**DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS HIDRÁULICOS E
AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE TUBOS DE BAMBU GIGANTE
(*Dendrocalamus giganteus*), PARA UTILIZAÇÃO EM DRENAGEM**

MARCELO DOS SANTOS TARGA

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. DÉCIO EUGÊNIO CRUCIANI

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", da
Universidade de São Paulo, para obtenção do
título de Doutor em Agronomia, Área de
Concentração: Irrigação e Drenagem.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Fevereiro de 1997

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Targa, Marcelo dos Santos

Determinação de parâmetros hidráulicos e avaliação econômica de tubos de bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*), para utilização em drenagem / Marcelo dos Santos Targa. - - Piracicaba, 1997.

173 p. : il.

Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997.
Bibliografia.

1. Avaliação econômica 2. Bambu (utilização) 3. Drenagem agrícola 4.
Hidráulica agrícola I. Título

CDD 631.6
631.7

**DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS HIDRÁULICOS E
AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE TUBOS DE BAMBU GIGANTE
(*Dendrocalamus giganteus*), PARA UTILIZAÇÃO EM DRENAGEM**

MARCELO DOS SANTOS TARGA

Aprovada em: 14 / 04 /1997

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Décio Eugênio Cruciani

ESALQ/USP

Prof. Dr. Tarlei Ariel Botrel

ESALQ/USP

Prof. Dr. Raimundo Leite Cruz

FCA/UNESP

Prof. Dr. João Carlos Curi Saad

FCA/UNESP

Prof. Dr. Antônio Augusto Alves Pereira

UFSC

Prof. Dr. **DECIO EUGENIO CRUCIANI**

Orientador

À Mã OSVANIL,

Esposa e companheira, que com amor,
me auxilia em todos os momentos,
e com quem compartilho as alegrias

À LORAINÉ, MARCELO E WALLACE,

meus filhos, pelo amor e compreensão.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À UNITAU - Universidade de Taubaté, na pessoa do Sr. Milton de Freitas Chagas, Magnífico Reitor, pelo incentivo e apoio à realização do doutorado.

À Pró - Reitoria de Pesquisa e Pós - Graduação - UNITAU, na pessoa da Prof. Dra. Maria Rezende San Martin, Digníssima Pró Reitora, pelo incentivo e apoio;

Ao Departamento de Ciências Agrárias - UNITAU, onde prestamos nosso serviço, que possibilitou a execução das etapas iniciais deste trabalho;

Ao Engo. Mecânico Argemiro Targa Neto, meu irmão, que com sua inteligência e dedicação, proporcionou o desenvolvimento e confecção da máquina perfuradora de bambu gigante, fundamental para a execução deste trabalho;

Ao Colega Geraldo Casa Grande Junior, Administrador da Fazenda - UNITAU, pelo apoio na execução das etapas iniciais deste trabalho;

À Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais - APAE - Taubaté - SP, pela doação de colmos de Bambu gigante.

Ao Dr. Anísio Azzini, da Seção de Plantas Fibrosas do IAC - Campinas, pelo apoio e auxílio na identificação do bambu gigante;

Aos Colegas de trabalho, Maria Cecília e Milton, pelo auxílio nas análises estatísticas, apoio e incentivo em todas as fases deste trabalho;

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" -ESALQ-USP, pela oportunidade de realização deste Curso e pelos ensinamentos;

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior CAPES, pela bolsa de estudos concedida durante o curso;

Ao prof. Dr. Décio Eugênio Cruciani, pela orientação dada durante a execução deste trabalho;

Aos Professores Drs. Tarley Ariel Botrel, José Antonio Frizone e Marcos Follegatii, pelas sugestões e críticas;

Ao colega Fenando Mendonça pelo grande apoio

Ao Colega Anderson pelo apoio nas análises estatísticas

Ao Amigo Altair Bertonha, pelo grande incentivo e apoio em momentos difíceis;

À todos os professores do Curso de Pós-Graduação, pelos importantíssimos ensinamentos;

Aos colegas Gilmar, Zezinho, Hélio e Cesar, funcionários do Departamento de Engenharia Rural pelo apoio em varias fases deste trabalho;

Aos Colegas Silvio Carlos Santos Nagy (UNESP - Botucatu), e José Augusto Geraldo (CETESB -Taubaté), pelo constante incentivo;

Aos colegas de curso, Bertonha, Vanglésio, Vital, Lázaro, Tangerino, Renato, pela amizade e convívio durante o curso;

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contibuiram de algum modo para a execução deste trabalho,

Agradecemos.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS.....	X
LISTA DE FIGURAS.....	XII
RESUMO.....	XIII
SUMMARY.....	XVI
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. A cultura do bambu.....	3
2.1.1. Generalidades.....	3
2.1.2. Características biológicas.....	6
2.1.2.1 Descrição das espécies principais.....	7
2.1.2.2. Anatomia do colmo.....	8
2.1.2.3. Propagação vegetativa.....	10
2.1.3. Cultivo.....	12
2.1.4. Crescimento, produção e colheita.....	13
2.1.5. Propriedades físicas e mecânicas.....	16
2.1.6. Secagem, armazenameto e vida útil.....	17
2.1.7 Métodos de tratamento.....	20
2.2. Utilização de bambus como tubo.....	23
2.2.1. Remoção dos septos nodulares.....	25
2.2.2. Uniões.....	26
2.2.3. Aspectos hidráulicos.....	27
2.2.4. Aspectos econômicos.....	28
2.3. Teoria de escoamento em condutos.....	29
2.3.1. Tipos de escoamento.....	30
2.3.2. Equações do escoamento de fluídos.....	34
2.3.2.1. Equação de Bernoulli.....	34
2.3.2.2. Equação da Continuidade.....	35
2.3.2.3. Equações para cálculo de perda de carga.....	36
2.4. Drenagem.....	43

2.4.1. Tubos de drenagem.....	43
2.4.2. Dimensionamento hidráulico.....	46
2.4.2.1. Equações.....	46
2.4.2.2. Gradiente hidráulico.....	50
2.4.2.3. Coeficientes de atrito e rugosidade.....	51
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	56
3.1. Tubos de bambu gigante.....	56
3.2. Colheita.....	56
3.3. Caracterização física dos colmos.....	57
3.4. Secagem.....	59
3.5. Remoção dos séptos nodulares.....	59
3.6. Mecanismo de perfuração.....	60
3.6.1. O Perfurador.....	60
3.6.2. Operação de perfuração.....	62
3.6.3. Perfuração da parede dos colmos.....	64
3.7. Instalação hidráulica experimental.....	65
3.7.1. Tubos testados.....	67
3.7.2. Preparação dos tubos.....	68
3.7.2.1. Tubo de pvc corrugado rígido.....	68
3.7.2.2. Tubo de pvc corrugado flexível.....	69
3.7.2.3. Tubos de Bambu.....	69
3.7.3. Métodos de medida de pressão.....	70
3.7.3.1. Instalação dos piezômetros.....	71
3.7.4. Métodos de medida de vazão.....	71
3.7.4.1. Instalação do diafragma.....	72
3.7.5. Procedimento experimental.....	73
3.8. Análise económica da utilização de bambu gigante como tubo.....	76
3.8.1. Custo de produção de tubos de bambu.....	76
3.8.2. Custo de implantação de sistemas de drenagem.....	77
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	78
4.1. Características físicas do bambu gigante.....	78
4.2. Secagem.....	81
4.3. Avaliação da confecção dos tubos.....	83
4.3.1. Remoção dos séptos.....	83
4.4. Caracterização hidráulica dos tubos.....	90
4.4.1. Análises de regressão.....	91

4.4.1.1. Perda de carga.....	92
4.4.1.2. Regime de fluxo.....	96
4.4.1.3. O Coeficiente (f).....	96
4.4.1.4. O Coeficiente (C).....	102
4.4.1.5. O Coeficiente (n).....	106
4.4.1.6. Rugosidade relativa (e/D).....	112
4.4.1.7. Rugosidade absoluta (e).....	112
4.5. Dimensionamento hidráulico.....	114
4.6. Análise econômica do uso de bambu gigante como tubo de drenagem.....	119
4.6.1. Custo de produção de colmos de bambu gigante.....	119
4.6.2. Custo de produção de tubos de bambu gigante.....	121
4.6.3. Custo de instalação de sistemas de drenagem.....	126
5. CONCLUSÕES.....	128
6. RECOMENDAÇÕES.....	130
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131
APÊNDICE.....	137

LISTA DE QUADROS

Quadros	Página
1. Características físicas de 25 olmos de bambu gigante verdes com 6 metros de comprimento.....	79
2. Características físicas de 25 colmos de bambu gigante secos ao ar com 6 metros de comprimento.....	80
3. Dimensões dos Tubos de drenagem utilizados.....	68
4. Diâmetro médio da seção de instalação dos piezômetros, para os conjuntos de tubos de bambu testados.....	75
5. Diferenças entre Diâmetro Interno, Espessura, Diâmetro Externo e Perímetro da base e do ápice, e valores das diferenças de massa, de 25 colmos de 6 metros de bambu gigante em função da secagem.....	82
6. Valores de diâmetro médio e das diferenças entre os diâmetros do internódio e do sépto nodular-nó, para os oito tubos fabricados.....	84
7. Valores médios do diâmetro do internódio, e do sépto nodular-nó, para o conjunto de tubos de bambu secos, denominado bambu 1.....	86
8. Valores médios do diâmetro do internódio, e do septo nodular nó, para o conjunto de tubos de bambu secos, denominado bambu 2.....	88
9. Valores médios do diâmetro do internódio, e do septo nodular-nó, para o conjunto de tubos de bambu secos, denominado bambu 3.....	89
10. Análise de regressão de $J \times Q$, para os tubos testados.....	92
11. Valores mínimo, médio, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação para os coeficientes (f) , (C) e (n) , rugosidades relativa (e/D) e absoluta (e) para os tubos de drenagem testados.....	97
12. Análises de regressão de $f \times R_e$, para os tubos testados.....	98

13. Análises de regressão de $f \times e/D$, para os tubos testados.....	100
14. Análises de regressão de $C \times f$, para os tubos testados.....	103
15. Análises de regressão de $C \times e/D$, para os tubos testados.....	105
16. Análises de regressão de $n \times e/D$, para os tubos testados.....	107
17. Análises de regressão de $n \times f$, para os tubos testados.....	108
18. Equações de $n \times f$, para os tubos testados, calculados a partir da equação (26).....	111
19. Custo operacional e a exigência física dos fatores de produção de 1,0 hectare de bambu gigante.....	120
20. Custo operacional e exigência física dos fatores de produção agroindustrial de tubos de bambu gigante para drenagem.....	122
21. Elementos econômicos de uma agroindústria de tubos de bambu gigante para drenagem.....	124
22. Dados econômicos da rentabilidade de uma agroindústria de tubos de bambu gigante.....	125
23. Custo de implantação de 1,0 ha de drenagem subterrânea, em função do tipo de tubo.....	126

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Touceira de bambu gigante da espécie Dendrocalamus giganteus	58
2. O Perfurador.....	61
3. Processo de perfuração.....	63
4. Perfuração da parede dos colmos.....	64
5. Sistema de recirculação de água (seção de testes hidráulicos).....	66
7. Gráfico de barras da diferença entre os diâmetro do internódio e do nó para os tubos de bambu fabricados por processo mecânico.....	85
8. Gráfico de barras da diferença entre os diâmetro do internódio e do nó para os conjuntos de bambu testados hidraulicamente, e valor médio de todos os tubos de bambu.....	87
9. Curvas de regressão de $J \times Q$, para tubos de drenagem testados.....	95
10. Curvas de regressão de $f \times Re$, para os tubos de drenagem testados.....	99
11. Curvas de regressão de $f \times e/D$, para os tubos de drenagem testados.....	101
12. Curvas de regressão de $C \times f$, para os tubos de drenagem testados.....	104
13. Curvas de regressão de $C \times e/D$, para todos os tubos testados.....	105
14. Curvas de regressão de $n \times e/D$, para os tubos testados.....	107
15. Curvas de regressão de $n \times f$, para os tubos de drenagem testados.....	109
16. Relação entre a perda de carga ou gradiente hidráulico (J) em %, e a vazão em (l/s), para os três tubos de drenagem em escoamento uniforme.....	117
17. Relação entre a perda de carga ou gradiente hidráulico (J), em %, e a vazão em (l/s), para os três tubos de drenagem em escoamento não uniforme.....	118

DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS HIDRÁULICOS E AVALIAÇÃO ECÔNOMICA DE TUBOS DE BAMBU GIGANTE (*Dendrocalamus giganteus*) PARA UTILIZAÇÃO EM DRENAGEM

Autor : Marcelo dos Santos Targa.

Orientador : Prof. Dr. Décio Eugênio Cruciani.

RESUMO

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Drenagem do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, localizado no município de Piracicaba (SP) e teve por objetivo determinar as características hidráulicas e econômicas da utilização de condutos de bambu gigante perfurados por processo mecânico em drenagem agrícola, sendo dividido em quatro etapas.

Inicialmente, procurou-se levantar os conhecimentos existentes sobre os aspectos culturais do bambu gigante e de sua utilização como conduto, sendo possível visualizar que a remoção dos séptos nodulares para transformação de colmos de bambu gigante da espécie **Dendrocalamus giganteus** seria tecnicamente, a melhor solução.

A segunda etapa deste trabalho consistiu no desenvolvimento e

construção de um protótipo, perfurador longitudinal de bambu gigante e da avaliação de sua eficiência na fabricação de tubos. Nesta etapa, foi possível definir que as dificuldades a serem vencidas eram relativas a fabricação de tubos de bambu gigante com pelo menos 6,0 metros de comprimento, e com um melhor acabamento interno, o que possibilitaria um melhor desempenho hidráulico.

A terceira etapa consistiu na caracterização hidráulica dos tubos de drenagem de bambu gigante em comparação a tubos comerciais de pvc, em um sistema de recirculação de água com carga constante. Nesta etapa foram levantados dados de temperatura da água, cargas piezométricas e pressões manométricas em coluna de mercúrio ou tetracloreto de carbono, para diferentes valores carga hidráulica no sistema de recirculação de água, visando a determinação de perda de carga (gradiente hidráulico), vazão, velocidade média, viscosidade cinemática, número de Reynolds e estimativa dos coeficientes de rugosidade para as equações de Darcy-Weisbach (f), Hazen-Williams (C) e Manning (n), bem como dos valores de rugosidade relativa (e/D) e rugosidade absoluta (e) dos tubos. Os dados experimentais foram relacionados entre si por processo de análise de regressão estatística.

Em uma quarta etapa procurou-se levantar os aspectos econômicos envolvidos na fabricação agroindustrial de tubos de drenagem de bambu gigante, e de sua utilização em sistema de drenagem comparados aos tubos de pvc. Nesta etapa, determinou-se o custo de produção de colmos de bambu gigante, o custo de fabricação de tubos de bambu gigante, bem como o custo de implantação de sistemas de drenagem.

Neste trabalho, o dispositivo mecânico de perfuração longitudinal de bambu gigante, possibilitou a fabricação de tubos com 6,0 metros de comprimento, com diâmetros do internódio variando de 96 mm até 128 mm, e com uma diferença média entre o diâmetro de contração do internódio e nó, de apenas 5,86 mm.

Com relação a caracterização hidráulica dos tubos, de um modo geral, a vazão nos testes variou de 0,0007 a 0,00705 m³/s, a perda de carga, variou de 0,0003 a

0,0283 m/m, a velocidade nos testes variou de 0,078 a 1,074 m/s, a carga hidráulica variou de 0,80 a 0,68 m, a montante e de 0,37 a 0,27 m, a jusante dos tubos, a temperatura variou de 17 a 28 °C, o número de Reynolds, variou de 9.790 a 106.694. Os diâmetros utilizados para cálculo dos parâmetros hidráulicos foram de 0,0914 m para o tubo corrugado flexível, 0,0964 m para o tubo corrugado rígido e 0,1052 m; 0,1185 m e 0,1056 m para os tubos de bambu. O valor médio dos parâmetros hidráulicos para tubos de bambu, foram $f = 0,049$; $C = 99$; $n = 0,0135$; $e/D = 0,0216$; $e = 0,0024$.

Os tubos de bambu apresentaram menor perda de carga hidráulica que os tubos de pvc, principalmente devido ao diâmetro característico desta espécie.

De um modo geral a relação entre os parâmetros hidráulicos se ajustaram melhor ao modelo potencial.

O custo de produção de colmos de bambu gigante, foi de US\$ 0,135 por metro de colmo produzido, e custo de fabricação de tubos de bambu gigante foi de US\$ 0,793/metro de tubo.

O mecanismo de perfuração bambu, mostrou-se eficiente, com relação ao serviço de perfuração, comprovado física e hidráulicamente.

O tubo de bambu gigante em relação aos tubos de pvc, mostrou-se viável hidráulica e economicamente, pois apresentou menor perda de carga, principalmente devido ao maior diâmetro, que é característico da espécie **Dendrocalamus giganteus**, bem como apresentou menor preço e custo de implantação do sistema de drenagem.

HYDRAULIC PARAMETERS DETERMINATION AND ECONOMIC EVALUATION OF GIANT BAMBOO PIPES (*Dendrocalamus giganteus*) TO BE USED IN DRAINAGE

Author : Marcelo dos Santos Targa.

Adviser : Prof. Dr. Décio Eugênio Cruciani.

SUMMARY

The present research was conducted at the Drainage Laboratory of the "Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz USP", Piracicaba. The purpose was to determine the hydraulic and economic characteristics of the use of giant bamboo pipes drilled by mechanic process, in agricultural drainage. The work was developed in four stages.

Firts of all, was searched the real knowledge about cultural aspects of the giant bamboo and its use a pipes. This way, was possible to conclude that the removal of the node septic to the transformation of the giant bamboo stem **Dendrocalamus giganteus** would be, tecnically, the best solution.

The second stage consisted in the development and construction of a giant bamboo longitudinal diller prototype and the valuation of its efficiency in manufacturing pipes. It was also possible to detect that the most difficult item to be solved, was in

preparing pipes with, at least, 6,0 meters long, as well as, their internal finishing, what would let them a better hydraulic performance.

The third step was summarized in the hydraulic characterization of the giant bamboo drainage pipes compared to comercial pvc tubes in a reflow water system under cosntant load. At that moment, were obtained datas from water temperature, piezometric loads and mamometric pressions in mercury column or in a tetraclorete carbon column, to different values of hydraulic loads in the water reflow system , aiming to determine the load losses (hydraulic gradient), the discharge, the mean velocity, the kinematic viscosity, Reynolds nunber and an estimated value of the rugosity coefficient to Darcy-Weisbach equations (f), Hazen-Willians (C) and Manning (n), as well as, the relative rugosity (e/D) and absolute rugosity (e) of the tubes.

In a fourth stage were considered the economic aspects envolved in the giant bamboo tubes manufacturing process and its utilization in drainage systems compared to pvc tubes. It was also calculed the stem giant bamboo production costs, their manufaturing and implantation costs of the whole system.

The giant bamboo longitudinal driller gave the possibility manufacturing 6.0 meters long pipes with internal internode diameters varying from 96 mm to 128 mm and with a medium difference contraction, between node and internodes, around 5.86 mm.

In relation to the tubes hydraulic chacacterization the discharge in the tests varied between 0.0007 and 0.00705 m³/s, the head losses varied fron 0.0003 to 0.0283 m/m, the mean velocity varied from 0.078 to 1.074 m/s, the hydraulic load from 0,80 to 0,68 meters in the upstream and from 0.27 to 0.37 in downstream of the tubes, the temperature varied 17º to 28 °C, Reynolds number from 9.970 to 106.694. The inside diameter used to calculate the hydraulic parametes were 0.0914 fo the flexibele corrugated tube, 0.0964 to the hard corrugated tube and 0.1052 m; 0.1185 m and 0.1056 m to bamboo tubes. The medium value of the hydraulic parameters to the bamboo

were $f = 0.049$, $C = 99$; $n = 0.0135$; $e/D = 0.0216$; $e = 0.0024$.

In general, the hydraulic parameters adjusted to one another, in a way to be better adopted to the potential model proposed.

The bamboo tubes showed less hydraulic head losses than pvc ones, mainly due to the characteristic diameter of this specie.

The stem giant bamboo production cost was US\$ 0.135 per meter of stem and the manufacturing cost of these same tubes was US\$ 0.79 per tube meter.

Drilling bamboo process showed to be efficient hydraulic and physically.

The giant bamboo tube, showed hydraulic and economic availability in relation to the pvc tubes because its less load losses and, mainly, due to the big diameter characteristic of the specie **Dendrocalamus giganteus** and the smaller prices and costs of implantation of the drainage system.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui aproximadamente 30 milhões de hectares de várzeas irrigáveis que apresentam em estado natural um lençol freático próximo a superfície do solo. Existe uma tendência à intensificação do uso agrícola destas áreas em virtude das características que as tornam adequadas à prática de uma agricultura de alta produtividade, tais como topografia plana, proximidade de rios permitindo o uso de irrigação por gravidade e com baixo custo de bombeamento. Contudo, a incorporação destas áreas ao processo produtivo só é possível através de trabalhos de engenharia, tais como a drenagem e a sistematização.

Por outro lado a difusão de tecnologia no meio agrícola, tem de modo seletivo impossibilitado a maior parte dos pequenos e médios agricultores, ao acesso a estas tecnologias, que necessitam de investimentos em capital, mão de obra especializada, e ainda de outras técnicas complementares modernas.

Drenos abertos tem sido instalados para remoção também da água subsuperficial. Contudo, a redução de área útil bem como a inexistência de maquinário para a construção e manutenção de taludes adequados ao tipo de solo, contribui para a adoção de drenos cobertos.

No Brasil grande parte dos projetos de drenagem subterrânea instalados são de manilha e bambu em feixes. Entretanto, o desempenho hidráulico dos mais variados tubos de drenagem, juntamente com a tolerância de culturas ao excesso de água no solo em função de sua produção, consistem nos problemas específicos da drenagem,

dificultando o dimensionamento de sistemas de drenagem subterrânea em base mais técnica, principalmente com materiais alternativos

Os tubos corrugados, apresentam custo de aproximadamente 50 % do custo de implantação de um sistema de drenagem.

Por outro lado alguns tipos de bambus, como o **Dendrocalamus giganteus**, possuem qualidades, como retidão, resistência, diâmetro, espessura da parede e comprimento elevado, que os torna áptos à utilização de colmos como conduto.

Para atender aos anseios dos pequenos e médios agricultores, que representam uma grande parcela da produção de alimentos básicos no Brasil, faz-se necessário a difusão de tecnologias de baixo custo, mas de eficiência comprovada

Neste contexto insere-se o bambu gigante **Dendrocalamus giganteus**, como uma das principais alternativas econômicas para a incorporação de áreas de várzea ao processo produtivo.

O trabalho desenvolvido por NWA, 1981 na Nigéria, é um bom indicativo da viabilidade técnica de utilização de tubos de bambu gigante em drenagem agrícola.

Pode se pressupor as seguintes hipóteses:

1. É possível desenvolver um processo de perfuração de colmos de bambu para que possam ser utilizados como condutores de água e tubos de drenagem.

2. O mecanismo de perfuração de colmos de bambu gigante da espécie **Dendrocalamus giganteus**, pode produzir tubos hidráulicamente equivalentes aos tubos de drenagem comerciais.

3. O tubo de bambu gigante **Dendrocalamus giganteus** utilizado em drenagem é mais econômico que os tubos de pvc comerciais.

Este trabalho teve por objetivo determinar as características hidráulicas e fazer a avaliação econômica da utilização tubos de bambu gigante perfurados por processo mecânico em drenagem agrícola.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Cultura do bambu

2.1.1. Generalidades

O bambu, planta fibrosa pertencente à família Gramineae, é uma angiosperma monocotiledônea, com espécies conhecidas no mundo todo, exceto a Europa, que não possui espécies nativas (McCLURE, 1966).

A espécie vegetal vulgarmente conhecida por bambu consiste de aproximadamente 45 gêneros e mais de 1300 espécies espalhadas pelo mundo, originárias em sua maior parte da Ásia e da América (SALGADO, et alii 1987).

No transcorrer dos séculos e desde os tempos pré-históricos, o bambu tem sido fonte de inúmeras aplicações em todos os campos da atividade humana. Do bambu, o homem tem obtido alimento, vestuário, moradia, armamento, instrumentos musicais, além de grande diversidade de aplicações domésticas, rurais e industriais. Muitos dos usos primitivos do bambu foram a origem de grandes invenções, como as pontes suspensas, as cúpulas dos templos e os aparatos tão sofisticados como o avião, o helicóptero e o motor a explosão (SALGADO, et alii 1992)

A literatura revela a possibilidade de utilização agrícola e industrial do bambu, em construções rurais, combate a erosão, alimentação, irrigação, drenagem e condução de água para abastecimento público, produção de, celulose, papel, álcool

etílico, amido, carvão, etc.

Em uma propriedade rural a utilização do bambu é a mais variada: instalações agrícolas e avícolas, cercados para animais, alimento forrageiro, controle de erosão, delimitação de áreas, cerca vivas, quebra-ventos, tutores para diversas culturas, marcação de canteiros, jacás, cestos, esteiras, cerca e alimentação humana, além de empregos medicinais.

Na América do Sul, na Colômbia e no Equador principalmente, o bambu do gênero *Gradua* encontra grande aplicação em substituição à madeira e aos ferros na construção civil (LÓPEZ, 1981).

SALGADO et alii (1992), demonstra método de utilização de bambu como reforço em concreto para a fabricação de mourões em substituição ao ferro, e diz que os cuidados na concretagem devem ser idênticos: evitar a presença de ar no interior da massa, que deverá estar em proporção e mistura adequadas. E ainda que dependendo da habilidade dos operários, pode-se fazer de tudo em construção de residências com bambu, do alicerce até o telhado, com telhas feitas de pedaços de colmos, cortados e trabalhados.

Como material de construção, o bambu reúne características físicas e mecânicas, que permitem grande diversidade de usos na construção de: estruturas, pisos, paredes, tetos e cortinas (LÓPEZ, 1974)

Como alimentação humana, na Ásia a industrialização do broto de bambu (bamboo shoot) é uma realidade, constituindo-se em importante fonte de divisas, graças principalmente à exportação para os Estados Unidos. No Brasil, o consumo ainda é feito em escala bastante reduzida, sendo concentrado em feiras livres, sobretudo para o abastecimento das colônias japonesa e chinesa. O principal valor nutritivo do bambu deve-se aos altos teores de carboidratos e minerais (cálcio, fósforo e ferro).

Na condução de água, a utilização de tubos de bambu também é uma

realidade nos países asiáticos.

Segundo a UNIVERSITY OF DAR ES SALAAM, (1979), na Tanzânia, experiências conduzidas nos últimos 13 anos tem mostrado a viabilidade da utilização do bambu na construção de sistemas de abastecimento de água. Cerca de 150.000 pessoas são beneficiadas por este tipo de sistema. Um total de 200 Km de linhas de tubos de bambu foram completadas e outras estão em construção.

LIPANGILE (1985), comenta que o propósito dos sistemas de condução de água com o bambu é geralmente doméstico porém, destaca a possibilidade da utilização do bambu em sistemas de irrigação em pequena escala.

No Brasil, tubos de bambu para fins de irrigação foram introduzidos nesta década, e desde então tem surgido trabalhos científicos de utilização destes tubos com a preocupação da necessária caracterização do funcionamento hidráulico dos mesmos, tanto em laboratório como no campo.

Neste sentido podem ser citados os trabalhos desenvolvidos por (ALMEIDA NETO 1992, OLIVEIRA 1992, PEREIRA 1992; PEREIRA, et alii, 1993 e ALMEIDA NETO & TESTEZLAF, 1994).

No Brasil, a utilização de bambu em drenagem foi introduzida e difundida pelo sistema PROVÁRZEAS, com a utilização de bambu verde comum amarrados em feixes. Já a utilização de bambu do tipo gigante como tubo de drenagem não se tem informação.

O trabalho realizado por NWA, 1981 na Nigéria consiste em um bom indicativo da viabilidade de utilização de tubos de bambu como material drenante.

Na indústria de papel e celulose, o bambu foi uma das primeiras matérias-primas fibrosas utilizadas. Atualmente dos países asiáticos, a Índia, é atualmene o maior produtor de celulose e papel a partir do bambu, representando cerca de 70 % da matéria-prima fibrosa empregada (AZZINI, 1980).

No Brasil, a utilização de bambu na indústria de celulose é muito pequena, embora muitos pesquisadores tenham comprovado a viabilidade de sua utilização AZZINI, 1980. Em 1975, a produção de celulose a partir de bambu foi de 17.472 toneladas, correspondendo a 1,4 % da produção nacional (CORREA, 1977)

A fabricação de álcool etílico é de grande potencialidade, e de acordo com a Seção de Fermentações Industriais do ITAL - Campinas, SP, é possível produzir até 40 litros de etanol anidro por tonelada de bambu seco (*Bambusa vulgaris*). Considerando uma produção de 20 t/ha/ano, com uma eficiência na sacarificação de 80 %, pode-se esperar uma produção de etanol da ordem de 6.800 litros/ha/ano, enquanto que para a cana-de-açúcar este valor é de 3.015 l/ha/ano (AZZINI, 1980).

Em recente trabalho de pesquisa realizado pelo IAC, foi demonstrada a possibilidade de se obter amido a partir do colmo de bambu (SALGADO et alii (1992).

Sem dúvida não existe na natureza uma planta que tenha sido mais intensa e extensivamente utilizada que o bambu. Seu plantio é interessante por se tratar de cultura perene, onde os colmos são produzidos assexuadamente ano após ano, sem necessidade de replantio. Nos últimos anos com a ajuda da moderna tecnologia, tem-se revivido muitos dos antigos usos do bambu, além das novas aplicações na medicina, farmácia, química e em outros campos industriais.

2.1.2. Características biológicas

A espécie vegetal vulgarmente conhecida por bambu consiste de aproximadamente 45 gêneros e mais de 1300 espécies espalhadas pelo mundo, originárias em sua maior parte Ásia e da América (SALGADO, et alii 1987).

2.1.2.1. Descrição das espécies principais

Os principais tipos de bambu difundidas pelo Brasil segundo DEDECA (1958) são:

a) **Banbusa vulgaris** Schrad - é uma das espécies mais difundidas no Brasil. Sua introdução em nossas terras remonta à época da colonização. Apresenta colmos de cor verde-escura, tendendo para a tonalidade amarelada à medida que envelhecem, fortemente fistulosos, vigorosos, medindo até 15 metros de altura e 5 - 10 cm de diâmetro; entrenós com 25 a 40 cm de comprimento; folhas largas com 15 - 20 cm de comprimento e 16 - 40 mm de largura, muito próximas entre si, com lígula larga, denteada ou frinbiada. Forma touceiras densas.

b) **Banbusa vulgaris** Schrad., variedade *vittata* - bastante semelhante ao anterior, diferenciando-se principalmente pela coloração dos colmos, que são amarelos listados de verde, e de grande efeito ornamental.

c) **Banbusa tuldoidea** Munro (bambu comum) - apresenta colmos verde-escuros, com 8 - 12 metros de altura e 3 - 8 cm de diâmetro, com entrenós sulcados e estriados, com 30 - 50 cm de comprimento; folhas longas com 12 - 20 cm de comprimento e com 15 - 20 mm de largura, arredondadas na base, pecioladas, com bordos denteados.

d) **Dendrocalamus giganteus** Munro - apresenta colmos vigorosos, medindo 15 - 25 metros de altura, 100 Kg de peso, 10 - 20 cm de diâmetro; paredes do colmo com 2 - 3 cm de espessura, entrenós com 20 a 40 cm de comprimento. Folhas largas, com 10 - 20 cm de comprimento e 20 - 40 mm de largura, pecioladas.

e) **Phyllostachys sp.** - são alastrantes, apresentando colmos pequenos, com 3 - 6 metros de comprimento, 1 - 2 cm de diâmetro, folhas pequenas, coloração verde intensa ou verde-amarelada, entrenós de 20 - 20 cm de comprimento, sulcados,

estriados.

SALGADO et alii, (1992), em trabalho conjunto com o DER - SP percorreram 4.000 km pelas principais estradas do Estado de São Paulo e levantaram a ocorrência de bambus no estado como sendo:

a - Hábito alastrante: **Phyllostachys aurea** (bambu-chinês ou vara de pescar), **Phyllostachys edulis** (bambu-japonês) e **Phyllostachys sp** (bambu-chinês);

b) Hábito entouceirante: **Bambusa tuldooides** Munro (bambu comum), **Bambusa vulgaris** Schrad (bambu verde), **Bambusa vulgaris** Schrad - variedade vittata (bambu imperial), **Dendrocalamus giganteus** Munro (bambu balde, bambu gigante).

2.1.2.2. Anatomia do colmo

Segundo HSIUNG (1988), as propriedades como retidão, leveza, força, dureza, conteúdo de fibras, flexibilidade e facilidade de trabalho, fazem dos colmos de bambu ideais para os diferentes propósitos tecnológicos.

De acordo com LIESE (1985), tais propriedades são determinadas por sua estrutura anatômica. As células nos internódios são orientadas axialmente, enquanto os nós fornecem interconexões transversais. A parte externa do colmo acha-se formada por duas camadas de células epidérmicas cobertas por uma camada cutinizada e com cera, já a parte interna é mais espessa e altamente lignificada, consistindo de numerosas células esclerenquimáticas (fibras), dificultando qualquer movimento lateral de líquidos.

O bambu tal como as árvores, acha-se constituído por uma parte aérea e outra subterrânea. A parte subterrânea, que nas árvores constitui a raiz, no bambu é denominada de rizoma e tem grande importância, não só como armazenador e distribuidor de nutrientes, mas também como elemento básico na reprodução natural que ocorre por ramificação do rizoma (LÓPEZ, 1982)

A parte aérea das árvores (tronco), é denominada de colmo nos bambus, sendo normalmente oco. Este espaço vazio dentro do colmo é denominado cavidade, as quais são separadas por diafrágmata, que externamente aparecem como nós, de onde saem os ramos e folhas. A porção do colmo entre dois nós é chamada de internódio, e a espessura do colmo é chamada de parede (JANSSEN, 1988).

Basicamente existem dois grupos distintos de bambu quanto ao tipo de rizoma: os que formam touceiras e os alastrantes. Os primeiros são geralmente tropicais ou subtropicais, incluindo os gêneros *Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Gradua* e *Thyrsostachys*. Os alastrantes são bambus mais densos e mais tolerantes ao frio, incluindo os gêneros *Phyllostachys* e *Arundinária*. (SALGADO et alii, 1992).

LIESE (1985), descreve os bambus do tipo entouceirante como tendo rizomas mais curtos, firmes e grossos que o outro tipo.

SALGADO et alii, (1992), comentam que tendo em vista o desenvolvimento dos rizomas, suas ramificações se apresentam de diferentes formas, com hábito de crescimento também diferentes, o que permite classificá-los em dois grupos principais, a saber:

Grupo Paquimorfo, também conhecido como entouceirantes, são caracterizados por englobar, em sua maioria, as espécies tropicais, sendo chamados de paquimorfos devido a seus rizomas serem curtos e grossos, sólidos e com raízes em sua parte inferior. Os rizomas deste grupo tem gemas laterais solitárias em forma de círculo ou semi-esfera, que se desenvolvem em novos rizomas e consequentemente em novos colmos; todavia, a maior parte permanece inativa ou dormente. Os novos rizomas crescem horizontalmente por curta distância e logo seu ápice se volta para cima formando um colmo. No ano seguinte uma das gemas deste rizoma se ativa, formando outro rizoma, que por sua vez forma um colmo secundário. Este processo continua de tal maneira que os rizomas se desenvolvem perifericamente, formando uma touceira de colmos

aglutinados.

Grupo Leptomorfo, também conhecidos como alastrante, se caracteriza pela resistência a temperaturas baixas. Seus rizomas são cilíndricos, e geralmente, têm diâmetro menor que os colmos a que dão origem. Tipicamente são ocos, porém interrompidos em cada nó por um diafragma. Em cada um dos nós dos rizomas, existe, em geral uma gema solitária que fica permanente ou temporariamente dormente, e a maioria das que se ativam brotam, produzindo colmos espaçados, e umas poucas produzem novos rizomas. Os rizomas se ramificam percorrendo consideráveis distâncias, formando um sistema de redes entrelaçadas.

A propagação do bambu pode ser feita por sementes ou por fracionamento vegetal, sendo a reprodução por sementes pouco utilizada, pois depende do florescimento, que para muitas espécies apresenta ciclos muito longos (30, 60, 90 e 120 anos) e não propicia uniformidade genética (LÓPEZ, 1974).

2.1.2.3. Propagação vegetativa

A propagação vegetativa, para os bambus do tipo entouceirante, segundo SALGADO et alii, (1992), pode ser feita por:

a - Transplante direto (desdobramento de touceira), sendo a muda neste caso constituída por um colmo completo com ramos, folhas e rizomas com raízes;

b - Rizoma e parte do colmo, consiste também em um desdobramento de touceira, contudo este método é preferido devido a apresentar maiores vantagens que o anterior, principalmente no que se refere à economia de material, transporte e facilidade de preparação e obtenção. As mudas devem ser obtidas de plantas jovens, cujo rizoma contenha pelo menos uma gema e os colmos devem ser cortados com 70 a 100 cm;

c - Por pedaço do colmo, neste caso a parte propagadora é constituída por

um pedaço do colmo obtido de planta de planta jovem, e deverá ter um ou vários nós com gemas ou ramos, podendo ser plantados vertical ou horizontalmente e devendo ter pelo menos um nó bem coberto. Neste método, a colocação de estacas de ramos, com pedaços de colmo em areia para enraizamento, tem fornecido bons resultados, variando de 15 a 100 %.

Normalmente, os bambus explorados para industrialização pertencem ao grupo dos entouceirantes, e a melhor, a mais econômica e mais fácil maneira de multiplicação é por pedaços de colmos, os quais devem se retirados de colmos com idade de um a dois anos, e levados ao solo dentro do menor prazo possível, colocando mais de um pedaço de colmo dentro do sulco de plantio (SALGADO et alii, 1992).

AZZINI et al (1993) determinaram a porcentagem de enraizamento de três tipos de propágulos de bambu do tipo entouceirante, (**Banbusa vulgaris** - placas de colmos, gemas primárias brotadas e gemas secundárias), como sendo 59,7 % para placa de colmo, 41 % para gemas primárias brotadas e 3,5 % para gemas secundárias e comentaram que o método de propagação por meio de placas de colmo é mais adequado que o plantio de pedaços duplos de colmo, sobretudo quando se consideram plantios industriais de grandes áreas, pois além das melhores condições na coleta, armazenamento e transporte, obtém-se drástica redução no consumo de material fibroso que se verifica no plantio de pedaços duplos de colmo.

A propagação dos bambus do grupo alastrante, segundo SALGADO et alii, (1992) pode ser feita do seguinte modo:

- a - Por transplante direto;
- b - Por colmos, raízes e rizomas;
- c - Por rizomas com raízes.

2.1.3. Cultivo

A prática de cultivar bambu é relativamente nova e teve sua origem em vários estudos relacionados com o desenvolvimento da planta, realizados na Índia na segunda década deste século. Tais estudos visavam o aproveitamento do bambu para a fabricação de papel (LÓPEZ, 1974).

No Brasil informações sobre o cultivo do bambu são escassas, contudo SALGADO et alii (1987), fazem a seguinte recomendação para os gêneros *Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Phyllostachys* e *Grassia*:

Época de plantio: período das chuvas.

Espaçamento: para bambu de porte grande como *Dendrocalamus*, *Grassia*, *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys bambusoides*, em torno de 5 x 10 metros. Para bambus menores, como *Bambusa tuldoidea*, espaçamentos menores, de 5 x 3 metros.

Multiplicação: mudas obtidas pelo desmembramento de touceiras, ou pelo enraizamento de pedaços do colmo e de ramos.

Controle de erosão: plantio em nível.

Calagem e adubação: de acordo com a análise de solo, elevar o índice de saturação em bases para 60 %, quando inferior a 50 %. A adubação no plantio consiste na aplicação de 12 Kg/ha de N, 24 Kg/ha de P_2O_5 e 12 Kg/ha de K_2O .

Outros tratos culturais: capinas manuais e mecânicas, durante a fase de formação. Catação de folhas. Pode-se fazer culturas intercalares com plantas anuais, nos dois primeiros anos.

Controle de pragas e moléstias: dispensável, pois as existentes não apresentam importância econômica.

Colheita: de acordo com a finalidade. Três anos após o plantio, podem ser colhidos os colmos mais velhos.

Produtividade Normal: bastante variável, dependendo da espécie, solo, clima e tratos culturais. De modo geral pode-se obter, por hectare, cerca de 40 toneladas de colmo seco/ano.

Dentre os fatores climáticos, observa-se que o bambu desenvolve-se bem entre 1270 mm e 4050 mm de precipitação média anual, podendo suportar uma precipitação mínima de 762 mm por ano (LÓPEZ, 1974).

2.1.4. Crescimento, produção e colheita

A cultura do bambu é a que apresenta maior crescimento vegetativo do mundo. O bambu gigante, como é conhecida a espécie **Dendrocalamus giganteus**, por exemplo, cresce em média 10 cm por dia, podendo crescer até 40 cm em 24 horas (MEDINA, 1958).

O bambu é a planta de mais rápido crescimento, sendo que os do tipo entouceirante alcançam sua altura final de 15 a 35 metros em cerca de 2 a 4 meses, através do contínuo alongamento dos brotos, à taxas que vão de 0,20 a 1,0 metros diários. Os colmos são densamente agrupados formando moitas com 30 a 100 colmos, com produção de 5 a 10 novos brotos por colmo a cada ano, sendo que cada broto possui ao emergir, o seu diâmetro final, pois o bambu não apresenta crescimento radial (LIESE, 1985).

Segundo NOMURA et alli, (1986), o bambu brota do solo com o diâmetro máximo que atingirá, não aumentando mais. O crescimento de início é lento, depois cresce rapidamente até atingir sua altura máxima em 80 e 110 dias, para as espécies do grupo entouceirante, como no caso do bambu gigante.

CIARAMELLO & AZZINI (1971), em trabalho sobre o emprego de bambus do gênero *Dendrocalamus* na produção de pasta celulósica para produção de

papel, descrevem a espécie **Dendrocalamus giganteus**, como tendo 16 metros de comprimento útil, com peso úmido de 84 Kg, e peso seco de 40,73 Kg, diâmetro de 0,14 metros, 47 nós, e comprimento dos entrenós de 0,37 metros, estando bem adaptada às nossas condições ecológicas.

SALGADO et alii (1987), relatando dados de pesquisas realizadas em touceiras do Instituto Agronômico de Campinas, descrevem a espécie **Dendrocalamus giganteus** Munro como a que produz os maiores colmos, medindo de 15 a 25 metros de altura, cerca de 100 Kg de peso úmido, paredes de 0,01 a 0,03 m de espessura e entrenós de 0,20 a 0,45 metros de comprimento, com folhas largas pecioladas, com 0,10 a 0,20 m de comprimento e 0,020 a 0,040 m de largura, produzindo brotos anualmente nos meses de janeiro a março.

NASCIMENTO (1990), em estudos sobre a estrutura do colmo e propriedades físicas do bambu gigante **Dendrocalamus giganteus**, em Viçosa MG, caracterizou os colmos como tendo uma altura média de 29 metros, 116 kg de peso úmido, 61 kg de peso seco e, entre outros dados pode-se citar diâmetro do entrenó variando de 13 a 18 cm, até os 12 metros, comprimento dos entrenós, variando de 18 a 60 cm.

PEREIRA (1992), em estudos sobre os aspectos técnicos da viabilidade de utilização do bambu para fins de irrigação, trabalhou com colmos da espécie **Dendrocalamus giganteus** de Bauru - SP, que possuíam entre 25 e 29 metros de comprimento, aproveitando 12 metros úteis para produzir 3 tubos de 4,0 metros, com peso seco variando de 8 a 20 kg em média, para cada tubo.

A produtividade é bastante variável, dependendo da espécie, solo, clima e tratamentos culturais, mas de um modo geral, pode-se colher cerca de 40 t/ha/ano de colmos secos ao ar (SALGADO et alii, 1987)

NOMURA et alii (1986), observaram um crescimento de 2,7 metros no

diâmetro da moita de *Dendrocalamus latifloras* após 4 anos do plantio, contendo 67 colmos e 66 brotos, sendo 22 em crescimento. Acrescentam ainda os autores que se esta espécie de bambu for plantado em espaçamento de 8,0 metros, serão obtidos 144 moitas/ha, e considerando que o peso seco de cada colmo é de 20 kg., e que o incremento anual de cerca de 20 colmos por moita, no fim de um ano pode ser obtido um rendimento, em peso seco ao ar, de 46,5 t/ha.

De um modo geral, o colmo atinge sua resistência máxima entre 3 e 6 anos, tanto com relação aos esforços mecânicos, quanto a deterioração. É aconselhável que seu corte seja feito no outono/inverno, quando o fluxo de seiva na parte superior da planta é menor, facilitando a secagem e tornando a planta mais resistente ao ataque de insetos xilófagos (LÓPEZ, 1974).

Segundo JANSSEN (1988), somente colmos adultos devem se colhidos, devendo-se deixar os colmos jovens na moita, não apenas para crescerem, mas principalmente para fornecerem alimento para a planta. Dependendo da espécie e do clima um colmo de bambu estará maduro de 3 a 5 anos.

Para LIESE (1985), a seleção dos colmos a serem cortados deve ser baseada na idade, cor e qualidade. Colmos recentes e de 1 ano, possuem ainda folhas de cobertura aderidas aos nós e uma camada de cera sobre os internódios, são mais escuros, contém pelos em volta dos nós. Colmos de 2 anos, raramente retêm as folhas de cobertura, os internódios aparecem esverdeados e os ramos são formados nos nós. Com 3 anos torna-se amarelado e de aparência seca. Colmos jovens são considerados imaturos com resistência diferente dos maduros que possuem de 2 a 3 anos. Contudo, a maturidade é um termo relativo, e um dado exato só é possível, com a colocação de marcas ano a ano nos colmos.

A colheita deve ser feita na estação seca, porque os colmos tem o menor teor de umidade, facilitando o transporte e reduzindo o ataque por fungos. O corte nas

espécies de grande porte deve se feito com machado ou serra, a 0,30 m acima do solo, evitando assim danificar as raízes e um pouco acima do nó para evitar o armazenamento de água e o apodrecimento (JANSSEN, 1988).

Em florestas de bambu, a densidade de bambu é de 5.000 a 10.000 colmos/ha (LIPANGILE, 1988).

2.1.5. Propriedades físicas e mecânicas

As propriedades mecânicas dos bambus dependem da espécie botânica, da idade do colmo cortado, do conteúdo de umidade, da posição ao longo do colmo (topo ou base) e das posições dos nós e internódios (JANSSEN, 1988).

LIESE (1985) diz que o bambu possui excelentes propriedades mecânicas, as quais são influenciadas pelo conteúdo de umidade do colmo e se correlacionam com sua idade e densidade, mas que, dependem principalmente do seu conteúdo de fibras. Investigações feitas com **Dendrocalamus strictus** revelaram que na condição verde (recém cortados), colmos mais velhos apresentam propriedades de resistência maiores do que colmos jovens, que possuem conteúdo de umidade maior. Entretanto na condição seca, os maiores valores de resistência foram obtidos com colmos de 1 a 2 anos.

Não somente as espécies, mas também a idade do colmo, sua localização e outras condições podem afetar sua resistência, e, geralmente a pressão máxima que um tubo de bambu pode suportar, diminui quando amostras são tomadas de posições mais próximas do topo do colmo (LIPPERT, 1976).

MAMISAO (1930), trabalhando com colmos da espécie **Bambusa espinosa** com idade entre 1 e 1,5 anos, encontrou para a resistência ao quebramento por compressão entre 1,333 e 1,666 Kg/m para tubos de 2" a 3 1/2" com espessura de parede de 0,0029 a 0,0139 m.

Para LIESE (1985), existe uma estreita correlação entre a máxima resistência à compressão e a densidade, que nos bambus varia entre 500 e 800 Kg/m³, sendo maior na parte externa do colmo que na parte interna, aumentando da base para o topo, de acordo com o teor de fibras. Para fins práticos pode-se multiplicar os seguintes coeficientes pela massa específica dos bambus em Kg/m³, para se obter a tensão máxima admissível (JANSSEN, 1988):

	Compressão-N/m ²	Flexão-N/m ²	Cisalhamento-N/m ²
Bambu seco (12 %)	13.000	20.000	3.000
Bambu verde	11.000	15.000	

SALGADO et alii (1992) apresenta dados médios de algumas propriedades físicas de bambus obtidos em ensaios de várias espécies, como parte de experimentos sobre o emprego de bambu como reforço em concreto, dentre os quais destacamos, a resistência a compressão de: 863 kg/cm² (máxima) e 562 kg/cm² (mínima).

HSIUNG (1988), relata que estudos sobre as propriedades físicas, mecânicas e químicas de várias espécies comerciais de bambu tem sido conduzidas desde a segunda guerra mundial e que fornecem informações úteis para a utilização do colmo, tais como: conteúdo de umidade, ponto de saturação de fibras (30 - 35%), densidade (600 - 770 Kg/m³), contração radial (4 - 5%), longitudinal (0,3 - 0,5%), combustão (4550 - 4680 cal/g).

2.1.6. Secagem, armazenamento e vida útil

A preparação correta do bambu para se minimizar a deterioração causada por microorganismos, fungos e agentes atmosféricos, depende do uso pretendido e deve

ter início no corte.(ALMEIDA NETO, 1992)

A espessura da parede dos colmos de bambu é o mais importante fator no controle da taxa de secagem. Assim, a base dos colmos seca mais lentamente que o topo do colmo, e colmos imaturos secam mais rapidamente que os maduros. A secagem ao ar sob cobertura é preferida quando possível (LIESE, 1985).

Segundo JANSSEN (1988), bambu verde (recém cortado) colocado verticalmente seca em pelo menos 4 semanas enquanto que na posição horizontal leva o dobro do tempo.

De acordo com LIESE (1985), todas as espécies de bambu estão sujeitas a rachar durante o processo de secagem. Os rachos começam nos nós, mas sua extensão depende da espécie e da espessura da parede, e que o colapso do colmo é o mais sério defeito de secagem, conduzindo a uma cavidade na parte externa e largos rachos na parte interna, devido a tensão diferencial entre o feixe de fibras externas que são comprimidas juntas, enquanto a parte interna permanece esticada.

OLIVEIRA (1992), em testes preliminares de armazenamento de **Bambusa vulgaris**, para fabricação de tubos a serem utilizados em seus estudos, observou após 3 meses que, dos colmos curados na mata, 27 % estavam em perfeitas condições e 73 % apresentavam rachaduras, mas não possuíam sinais de ataque por brocas; e ainda que dos colmos que não tiveram nenhum tipo de tratamento, após 45 dias 39 % estavam em perfeitas condições, 39 % estavam somente rachados, e 22 % apresentavam rachaduras e ataque de brocas.

PEREIRA (1992), observou em seus estudos sobre os aspectos técnicos da utilização do bambu gigante **Dendrocalamus giganteus**, que dos colmos tratados pelo processo de cura na mata e sem tratamento, 66,7 % racharam durante a secagem, e que 81,8 % das seções que estavam em bom estado eram da parte basal do colmo; e que 40 % dos colmos tratados quimicamente racharam durante o processo de secagem. O autor

observou ainda que colmos com os nós removidos e armazenados em local coberto e fechado lateralmente racharam mais rapidamente que os colmos sem os nós removidos, nas mesmas condições de armazenamento e concluiu que o tempo de armazenamento e secagem dos colmos para uso como tubulações de irrigação deve ser o menor possível.

Segundo L■PANGILE (1988), pesquisas feitas em várias partes do mundo indicam que os bambus bem assentados no solo, podem ter vida útil de 15 a 20 anos, se forem bem preservados; se preservados e prevenido do contato com o solo, a vida útil passa para 20 a 30 anos e comenta que os tubos de bambu devem permanecer sempre cheios de água, evitando assim o apodrecimento do interior dos tubos, por manter sua superfície completamente saturada com água (livre do ataque do ar).

Na instalação de tubos de bambu da espécie **Dendrocalamus giganteus** como linha lateral de aspersão convencional, PEREIRA (1992), observou que após 3 dias da instalação de uma linha lateral aérea composta de 6 tubos, todos os tubos racharam, indicando a pequena resistência destes tubos quando expostos à atmosfera, mesmo mantidos cheios de água. O autor relatou ainda que das linhas laterais enterradas, as tratadas quimicamente não apresentaram rachaduras e sinais de presença de fungos, já as curadas na mata, não apresentaram rachaduras mas sim sinais externos de presença de fungos como manchas isoladas a partir de 3 meses da instalação.

L■PPERT (1976), citando dados da ONU (1972), diz que, quando tratado e em contato com o solo, o bambu apresenta vida útil em torno de 10 a 15 anos, e mais de 15 anos quando não em contato com o solo.

Segundo LIESE (1981), o método de tratamento, assim como condições específicas de trabalho, são fatores fundamentais para se ter parâmetros confiáveis de durabilidade dos colmos de bambu, e ainda que, quando se tem tratamento efetivo e econômico, eleva-se a vida útil para 10 a 15 anos quando exposto ao tempo, e para 15 a 25 anos quando protegido deste.

AZZINI et alii (1978) relatam que somente o tratamento com produtos químicos aumentou significativamente a vida útil de mourões de bambus enterrados.

2.1.7. Métodos de tratamento

O bambu é um material natural, barato e facilmente disponível, assim, sua preservação deve também ser barata, fácil de executar e prontamente disponível (LIESE, 1981).

Os métodos de tratamento tradicionais (não químico) são utilizados há muito tempo em muitos países, custam muito pouco e podem ser conduzidos facilmente sem qualquer equipamento especial, embora sua real eficiência não seja bem conhecida, podendo-se citar (BRASIL-EMBRATER, 1980; LÓPEZ, 1981; LIESE, 1981, 1985 e JANSSEN, 1988).

Segundo estes autores, o método de cura do bambu pode ser feito de 3 modos:

a - Cura na mata, onde os colmos de bambu depois de cortados em sua base, são deixados em seu lugar em posição vertical com ramos e folhas para que a transpiração das folhas continue e o conteúdo de amido diminua, por aproximadamente um mês, após o qual corta-se os galhos e folhas e deixa-se secar dentro de um local coberto e ventilado.

b - Cura por imersão em água, onde os colmos recém cortados são submergidos em água (tanque ou rio) por um tempo superior a 4 semanas, para que durante a saturação o teor de açúcar e amido sejam lixiviados das células do parenquima, removendo também o mau cheiro; Após são deixados a secar por algum tempo.

c - Cura pelo calor, onde os colmos depois de cortados são colocados

acima de um braseiro escavado no solo, para que a fuligem ascendente enegreça as paredes do colmo e forneçam alguma proteção pela impregnação de substâncias tóxicas e para a destruição do amido pelo calor.

Conforme LÓPEZ (1981), o tratamento com preservativos é mais eficiente que os métodos tradicionais, mas que devido a dureza e impermeabilidade da parte externa dos colmos, o tratamento é mais efetivo se o preservativo penetrar pelos extremos do colmo, que é por onde penetram também os insetos, ao invés de aplicá-los na parede externa.

Os principais métodos de impregnação com produtos químicos são os de imersão, de substituição da seiva, do banho quente e frio e de pressão, e são encontrados em LÓPEZ, (1981); LIESE, (1981, 1985) e JANSSEN, (1988) e podendo ser descritos como segue:

a - Imersão, onde os colmos recém cortados ou secos ao ar, são mergulhados e mantidos horizontalmente dentro de um tanque contendo preservativo hidrossolúvel por vários dias.

b - Substituição da seiva, onde são aproveitados os mecanismos de circulação da seiva nos tecidos de colmos recém cortados, para deslocá-la e substituí-la por um produto hidrossolúvel, destacando-se os processos de transpiração, de topo e Boucherie.

b.1 - Transpiração: neste, os colmos são colocados dentro de um tambor contendo o preservativo e as folhas devido ao processo continuado de transpiração atuam como uma bomba, succionando a solução para dentro do colmo;

b.2. - Topo: os colmos são colocados na posição vertical e o primeiro entrenó do topo é arranhado internamente e usado como reservatório para o produto químico, que vai penetrando nas células da parede por gravidade até sair pela extremidade inferior, sendo que o tratamento termina quando a solução sai com concentração igual a

de entrada.

b.3. - Boucherie: os colmos são conectados às várias saídas de um tambor que está em posição mais elevada e contém o produto químico, que penetra através dos vasos condutores dos colmos por ação da gravidade até que saia do outro lado, sendo o processo terminado no momento em que a concentração de saída se iguala a de entrada, o que pode levar vários dias.

Somente os preservativos de boa difusão devem ser utilizados para o tratamento de bambu, devido aos vasos ocuparem somente 5 a 10% da seção transversal do colmo, sendo que o preservativo deve ser solúvel em água, não sofrer lixiviação se usado no tempo e não conter elementos perigosos aos homens e animais (LIESE 1981). O autor diz que é frequente a utilização de solução a 5% do preservativo CCA Arseniato de Cobre Cromatado.

O uso de preservativos orgânicos como o Creosôto e o Pentaclorofenol deve ser restrito, devido a desconhecida toxicidade, custo elevado e sabor desagradável, que é transmitido à água. A prática de pulverizar pesticidas clorados nas valas em torno dos tubos é desaconselhável, devido aos danos que pode causar ao meio ambiente (HEUVEL, 1983).

Segundo LIPANGILE (1985), os métodos de impregnação dos colmos com produtos químicos tem falhado ao apresentar lixiviação dos produtos dentro da água, e que as tecnologias consideradas seguras e práticas consiste em remover a seiva do colmo com água corrente, manter os tubos cheios de água e usar água limpa, filtrada ou clorada (10 mg/l), para proteção contra fungos; revestir externamente os tubos com uma mistura de piche (que atua como fungicida) com piretróides (que são inseticidas). O piche é impermeável e seguro, fixando também o piretróide. Internamente, o colmo pode ser impregnado com cobre amoniacal pelo método Boucherie e coberto internamente por uma pintura betuminosa ou mesmo utilizar um filme de polietileno para prevenir a

lixiviação. Na Tanzânia existe sistema de condução de água de tubos de bambu, com 7 anos funcionando normalmente.

OLIVEIRA, (1992), em estudos de utilização de **Bambusa vulgaris** como tubos de irrigação, observou nos métodos de tratamento que, os métodos de cura na mata e cura na mata mais neutrol e cobertura com lona plástica, foram mais práticos que os métodos químicos Boucherie e do topo, os quais considerou, de difícil execução e inviáveis devido a ineficiência do tratamento, decorrente da má distribuição do produto pelo colmo.

PEREIRA (1992), utilizou o tratamento químico com Arseniato de Cobre cromatado CCA e Borato de Cobre Cromatado CCB a 5 %, um dia após o corte, 4 horas após o corte e 2 a 3 horas após o corte, pelo método Boucherie modificado, onde o tambor que continha o produto teve a pressão interna mantida por um compressor de ar manual e após análises químicas constatou que das 9 seções de colmo testados, somente 3, apresentaram retenções do produto entre 5 e 6 kg/m³, o restante, retenções menores que isto. O autor sugeriu a utilização de maiores concentrações e comenta que o tratamento 1 dia após o corte não teve sucesso, não saindo seiva e nem produto pela extremidade inferior do colmo.

2.2. Utilização de bambus como tubo

A utilização de bambu em tubos para condução de água no meio agrícola é bem antiga, tendo sido utilizada principalmente em locais onde não haviam outros tipos de tubos.

Os colmos de certos bambus com os nós removidos são adequados para a fabricação de tubos (McCLURE, 1966).

LIPANGILE (1985), comenta que o propósito dos sistemas de condução

de água com o bambu é geralmente doméstico porém, destaca a possibilidade da utilização do bambu em sistemas de irrigação em pequena escala.

LIPANGILE (1988), relata que o uso do bambu como material para tubulação é prática antiga, porém, argumenta que existem poucas informações científicas do seu comportamento como tubo para água.

NWA (1981) instalou na Nigéria, duas linhas de drenos paralelos de bambu (*Bambusa vulgaris*), com 4 metros de comprimento, com séptos removidos com ferramenta circular cortante. O autor concluiu que este tipo de bambu pode ser efetivamente utilizado para drenagem em campo, e recomendou que esforços devem ser feitos para determinar critérios de projeto, bem como o tempo de vida do material.

Segundo o boletim da UNIVERSITY OF DAR ES SALAAM, (1979), na Tanzânia experiências conduzidas tem mostrado a viabilidade da utilização do bambu na construção de sistemas de abastecimento de água. Cerca de 150.000 pessoas são beneficiadas por este tipo de sistema. Um total de 200 Km de linhas de tubos de bambu foram completadas e outras estão em construção.

No Brasil, tubos de bambu para fins de irrigação foram introduzidos nesta década, e desde então tem surgido trabalhos científicos de utilização destes tubos com a preocupação da necessária caracterização do funcionamento hidráulico dos mesmos, tanto em laboratório como no campo, podendo se citar os trabalhos desenvolvidos por ALMEIDA NETO (1992), OLIVEIRA (1992), PEREIRA (1992); PEREIRA et alii (1993) e ALMEIDA NETO & TESTEZLAF (1994).

PEREIRA (1992) aproveitou 12 metros úteis de colmos de bambu da espécie ***Dendrocalamus giganteus*** que possuíam entre 25 e 29 metros de comprimento, para produzir 3 tubos de 4,0 metros, com diâmetro interno variando de 67 a 124 mm na entrada e de 77 a 124 mm na saída.

OLIVEIRA (1992) utilizou 12 metros de colmos de bambu da espécie

Bambusa vulgaris, para produzir de 1 a 2 tubos de 4,0 metros com diâmetro médio variando entre 75,4 e 79,5 mm. Segundo o autor as dificuldades de utilização acima de 8 metros deve-se a pequena espessura da parede que racha facilmente durante o processo de remoção dos diafragmas.

2.2.1. Remoção dos séptos nodulares

Vários procedimentos de limpeza dos diafragmas (nós), são relatados na literatura:

HEUVEL (1983) recomenda que o bambu deve ser segurado por um torno mecânico enquanto uma pessoa empurra a broca escolhida em movimento giratório para aumentar o furo.

OLIVEIRA (1992), estudou viabilidade de utilização do bambu como condutor de água para fins de irrigação como solução de baixo custo, fez a limpeza dos nós manualmente através de uma ferramenta composta de um cano de ferro de 2 1/4" (0,057 m) de diâmetro e 0,3 m de comprimento, afiado nas extremidades e soldado em um cano de 1" (0,0254 m) de diâmetro e 2 metros de comprimento, que servia como cabo da ferramenta, que podia ser ampliado através de uma luva com rosca. A limpeza era feita com o bambu preso em uma bancada e com a ferramenta trabalhando em sistema vai e vem. O autor recomendou maior cuidado no uso deste tipo de ferramenta para bambus onde a espessura da parede seja inferior a 5 mm, devido a rachaduras na parede, inviabilizando a sua utilização como condutor de água.

PEREIRA (1992), utilizando a ferramenta descrita em OLIVEIRA (1992), comenta que uma remoção de 100% dos nós, não deixando qualquer contração interna nos tubos é difícil de ser executada com uma ferramenta simples e manual e deve ser evitada, principalmente devido ao risco de se rachar os tubos.

ALMEIDA NETO (1992) desenvolveu um equipamento eletromecânico para a remoção dos diafragmas dos nós. Concluiu que o protótipo tornou viável perfuração de colmo com diâmetro interno variando entre 0,090 e 0,130 m, sendo que o perfurador apresentou melhor acabamento nos colmos com diâmetro interno de 0,09 a 0,105 m, e que a queda na qualidade da remoção nas faixas de diâmetros de 0,105 m a 0,115 m e de 0,115 m a 0,130 m, foi determinada principalmente por limitações na pressão exercida pela mola do perfurador.

2.2.2. Uniões

Segundo LIPANGLE (1984) e HEUVEL (1983) a melhor união para tubos de bambu é através de peças de PVC de 0,20 m de comprimento e mesmo diâmetro dos tubos, que é aquecida para expandir e encaixar nas pontas afinadas dos tubos.

A possibilidade de utilização de uniões feitas com couro de vaca ou borracha (câmaras de pneu amarrados com arame) é relatada por MORGAN (1974), que diz serem estes materiais muito uteis, pois permitem dobras nas juntas, e ainda que as uniões feitas com pedaços de colmo, resultaram em rachaduras, quando se tentou curvar a linha.

OLIVEIRA (1992) utilizou para a união dos tubos juntas de borracha (câmara de ar de pneus) com aproximadamente 30 cm de comprimento enroladas e posteriormente amarradas com tiras de borracha do mesmo tipo, com 5 a 10 cm de largura e 1 a 2 metros de comprimento. A montagem da rede de tubos no campo mostrou-se simples e rápida; sendo que as uniões entre os tubos de bambu, não apresentaram vazamentos significativos, e levaram em média 10 a 15 minutos para serem executadas.

PEREIRA (1992) em seu estudo, testou uniões com luvas de borracha

(câmara de ar), com luvas de bambu amarradas com borracha por cima, e por ultimo com encaixe direto entre os bambus e amarradas esternamente com borracha. Os tres tipos de união mostraram bons resultados quanto a resistência às pressões utilizadas e a vazamentos. Porém, a união com luvas de borracha amarradas mostrou maior facilidade de execução, reparos e acomodação no terreno, ao permitir pequenos movimentos de acomodação dos tubos. As uniões deste tipo utilizaram, em média, 6 tiras de borracha para amarração e vedação e levarem em média de 10 a 15 minutos, para serem bem executadas no campo.

2.2.3. Aspectos hidraulicos

GUBLER (1979) realizou experimento com tubos de bambu, para a determinação dos coeficientes de rugosidade de Manning e Hazen-Willians, variando a qualidade de remoção dos nós feita com formão circular, como má e boa remoção. O referido autor recomenda os valores obtidos para nós mal removidos para uma qualidade de nó desconhecida.

ALMEIDA NETO (1992) e ALMEIDA NETO & TESTEZLAF (1994) trabalharam com tubos bambu (**Dendrocalamus giganteus**) nas condições de pressão de trabalho variando de 146,6 a 195,5 KPa, faixa de vazão de 3 a 12,9 l/s, e diâmetros de 90 a 130 mm. Os autores concluíram que, os tubos perfurados mecanicamente apresentaram valores de perda de carga inferiores aos tubos perfurados por impacto, o que confirma a hipótese da perda de carga ser função da qualidade do acabamento na remoção dos nós.

OLIVEIRA (1992) estabeleceu valores do coeficiente de rugosidade “C” para a equação de Hazen-Willians, para o dimensionamento de tubos de bambu (**Bambusa vulgaris**) como linha principal de sistemas irrigação por gotejamento e micro-aspersão.

LIPANGILE (1988) relatou que tubos de bambu tem sido utilizados com sucesso com pressões da água de até 6,0 atmosferas, graças a amarração de arame galvanizado em anéis espaçados de aproximadamente 5 centímetros.

LIPPERT (1876), trabalhou com as espécies **Bambusa vulgaris** e **Gradua angustifolia** e comentou que o uso do tubo de bambu para conduzir água em pressões de 4,92 atmosferas é possível de ser feito.

2.2.4. Aspectos econômicos

Com relação preço de produto, LIPANGILE (1985), comenta que na Tanzânia, os tubos de bambu são várias vezes mais baratos que tubos de plástico ou aço nas mesmas dimensões e relata que um tubo de bambu de 63 mm de diâmetro é cerca de 4 vezes mais barato que um similar de plástico comprado naquela região.

HERRERA (1974) comparou os custos de um tubo de bambu da espécie **Gradua angustifolia** de 3" (0,0762 m) com um tubo plástico de mesmas dimensões, utilizando preços de mercado da Colômbia. O autor encontrou valores de US\$ 0,22/metro para o bambu e US\$ 1,70/metro para plástico. Para o autor, a diferença, é o valor máximo que pode ser utilizado no tratamento, para tornar o bambu um material competitivo com o plástico.

LIPANGILE (1988) relata que os principais componentes que envolvem a produção de tubos de bambu na Tanzânia são o material de junta, para união dos tubos, os anéis de arame galvanizado para reforço, o método de preservação dos colmos, a mão-de-obra de confecção dos tubos, e o transporte dos colmos até o local de uso.

OLIVEIRA (1992), relata que os parâmetros a serem levados em conta na composição dos custos de execução de tubos de bambu **Bambusa vulgaris** para fins de irrigação são: a matéria prima, o corte dos colmos nas moitas, o corte dos colmos em

tubos, o transporte dos tubos, a limpeza dos tubos (retirada dos nós), a impermeabilização com betume e colocação de lona plástica, e a execução de juntas de borracha.

2.3. Teoria de escoamento em condutos

Um dos mais básicos problemas de engenharia é aquele da condução de água ou outro líquido qualquer por meio de algum tipo de fluxo em determinado conduto.

Uma compreensiva teoria de escoamento em condutos é apresentada por STREETER (1968).

Quando um fluido escoa através de um conduto cuja superfície é sólida, podem ser observados dois tipos de atrito, um interno e outro externo. O atrito interno é conhecido como viscosidade do fluido é a propriedade que determina o grau de resistência encontrada pelas partículas fluidas ao se deslizarem uma sobre as outras.. O atrito externo consiste na resistência oferecida pela superfície sólida ao deslizamento do fluido ao longo desta, formando uma camada aderida na superfície sólida e que não participa do movimento.

Segundo a hipótese de Newton, a força tangencial de resistência por unidade de superfície que determina o escorregamento de duas camadas planas no seio de um fluido, ou tensão de cisalhamento, é proporcional a viscosidade do fluido, e pode ser expresso por:

$$\frac{F}{A} = \mu \frac{dv}{dy} \quad (1)$$

Onde,

$$\frac{F}{A} = \text{Tensão de cisalhamento}$$

μ = viscosidade dinâmica do fluido (água)

d = incremento de velocidade correspondente a coordenada .

Nos problemas que envolvem hidráulica é mais prático utilizar a viscosidade cinemática, devido a sua independencia da massa do fluido, que pode ser expressa por:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

Onde,

μ é a viscosidade cinemática em m^2/s

ρ é a massa específica do fluido em Kg/m^3

Todos estes parâmetros são expressos no Sistema Internacional de Unidades (SI).

A viscosidade cinemática decresce com a temperatura do fluido, e valores para diferentes temperatura são encontrados na literatura.

2.3.1. Tipos de escoamento

O escoamento dos fluidos pode ser classificado como permanente e não permanente, uniforme e não uniforme, laminar e turbulento.

O escoamento é dito permanente quando as propriedades do fluido, bem como as condições que regem o movimento, são funções do ponto de referência e independem do tempo. Com o movimento permanente a vazão é constante.

Quando ocorrer variação de alguma das propriedades do fluido com o tempo, o escoamento é dito não permanente , e portanto, a vazão não é constante.

O escoamento permanente é dito uniforme quando a velocidade média permanece constante ao longo do tubo de corrente, e neste caso as seções transversais da

corrente são iguais. Caso contrário o escoamento é dito permanente não uniforme.

Para cumprir sua função de drenagem um tubo dreno enterrado recebe água através das perfurações existentes em sua parede, de modo que a vazão Q aumenta gradualmente de $Q = 0$ na extremidade superior até um valor Q máximo na extremidade inferior ou saída. Assim, pode-se classificar o escoamento em um tubo de drenagem no campo como permanente e não uniforme.

Embora exista esta classificação, na literatura são encontrados valores de coeficientes de rugosidade e equações obtidos de caracterizações hidráulicas de tubos de drenagem feitos em escoamento uniforme, sendo recomendados para uso direto em projetos. Tal fato se dá principalmente devido a dificuldade em se obter dados em tubulações de drenagem em escoamento não uniforme, tanto no campo como em laboratório.

CAVELAARS (1978) integrou a equação de Manning expressa em função do gradiente hidráulico em sua forma geral para escoamento uniforme, transformando-a em uma equação para escoamento não uniforme. O autor encontrou que, para igual gradiente, a vazão de um dreno em escoamento não uniforme, é maior que aquela em escoamento uniforme da ordem de $3^{0.5}$.

O escoamento é dito laminar quando as partículas do fluido em movimento percorrem trajetórias paralelas bem definidas e não se cruzam. Em 1880, Osborne Reynolds observou em suas experiências que este fato ocorria para velocidades de escoamento abaixo de certos limites. A lei de viscosidade de Newton é válida para escoamento laminar.

Demonstra-se para o escoamento laminar em conduto forçado de seção circular que, o perfil de velocidade é parabolóide, cujo eixo coincide com o eixo do conduto, sendo a velocidade média correspondente a metade da velocidade máxima (GUILLES, 1971).

O escoamento, na maioria dos problemas de engenharia é turbulento, com pressões e velocidades locais variando continuamente, mas pode ser visualizado como tendo pressões e velocidades médias (MILLER, 1984).

Osborne Reynolds procurou observar o comportamento dos líquidos em escoamento e, assim mostrou que a melhor forma para caracterizar o tipo de movimento em uma tubulação não se prende exclusivamente ao valor da velocidade média ($\bar{v}$) do escoamento, mas ao valor de uma expressão adimensional, que considera também o diâmetro e a viscosidade cinemática do líquido. Expressão essa que ficou conhecida como número de Reynolds, e pode ser assim escrita:

$$Re = \frac{\rho D \bar{v}}{\mu} = \frac{D \bar{v}}{\nu} \quad (3)$$

Onde:

Re = número de Reynolds, adimensional;

$\bar{v}$ = velocidade média do líquido, m/s;

ν = viscosidade cinemática do fluido, m²/s;

ρ = massa específica do fluido, Kg/m³

D = Diâmetro do conduto , m.

A literatura cita os seguintes limites para o escoamento em função do número de Reynolds:

- Se o escoamento se verificar em Re superior a 4.000, o movimento será dito turbulento;

- Se Re for inferior a 2000, o movimento será dito laminar

Contudo, entre estes dois valores encontra-se uma região crítica onde não se pode determinar com segurança a perda de carga, existindo a possibilidade de um fluxo passar de laminar a turbulento por qualquer perturbação no sistema.

No regime turbulento, ASSY (1977) diz que condições especiais reinam

nas vizinhanças imediatas da parede do conduto. Nesta região, a presença de um contorno sólido impede o movimento transversal dos elementos fluidos, tornando impossível, também a flutuação das velocidades. Forma-se assim, dentro da camada limite turbulenta, uma sub-região justaposta à parede do conduto, extremamente delgada, onde o movimento é laminar (filme laminar). Observa-se que para um determinado conduto com dada dimensão de diâmetro e de rugosidade da parede, a espessura do filme laminar é função decrescente do número de Reynolds. Deste modo se o Re é suficientemente pequeno, a espessura do filme aumenta e minimiza o efeito das asperezas ou rugosidade da parede e o conduto, neste caso, é considerado hidráulicamente liso. Do mesmo modo se Re aumenta, a espessura relativa do filme laminar diminui e entram em contato direto com a parte do fluido em escoamento turbulento, e uma superfície inicialmente considerada hidráulicamente lisa torna-se hidráulicamente rugosa.

A drenagem subterrânea a partir da década de 60 tem sido feita em sua grande maioria pelo uso de tubulações corrugadas, sendo que no processo de fabricação, a forma das corrugações são produzidas para atender a uma relação força/deformação. Entretanto a natureza corrugada da parede interna faz com que a tubulação seja hidráulicamente rugosa, conferindo ao processo de fluxo uma perda de carga adicional (IRWIN & MOTYCKA, 1979).

Devido à grande complexidade das superfícies naturais, a maioria dos avanços realizados na dedução das relações fundamentais foram feitas mediante experiência com tubos de rugosidade artificial. Moody construiu um dos gráficos mais práticos para a determinação do coeficiente de rugosidade (f) para tubos comerciais. que ficou conhecido como diagrama de Moody e, expressa o coeficiente (f) como uma função do número de Reynolds (Re) e da rugosidade relativa (e/D) (STREETER, 1968).

2.3.2. Equações do escoamento de fluidos

2.3.2.1. Equação de Bernoulli

O teorema de Bernoulli, diz que ao longo de uma linha de corrente qualquer, a soma das alturas cinética, piezométrica e geométrica é constante. Assim, considerando dois pontos de uma linha de corrente em escoamento de líquidos perfeitos, pode-se descrever o teorema, como segue:

$$\frac{(v_1)^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{(v_2)^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 \quad (4)$$

Onde:

$\frac{v^2}{2g}$ = energia cinética;

$\frac{P_1}{\gamma}$ = energia de pressão ou piezométrica;

z = energia de posição ou potencial.

Cada um desses termos pode ser expresso em metros (unidade linear do sistema MKS Técnico) constituindo o que se denomina carga (AZEVEDO NETTO & ALVAREZ, 1988).

No caso acima em que o fluido é considerado perfeito, não ocorrem perdas por atrito entre o fluido e a parede do conduto, e entre as próprias partículas do fluido. Nestas condições a equação de Bernoulli é a própria lei de conservação de energia.

2.3.2.2. Equação da continuidade

O princípio da equação de continuidade está baseado na lei de conservação de massa, que diz que a massa não pode ser criada nem destruída, admitindo que o fluido é incompressível. Desta forma considerando dois pontos dentro de um tubo de corrente, a vazão será igual. Pode-se assim escrever:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (5)$$

Onde:

A = área da seção transversal do tubo, m²;

V = velocidade média do fluido, m/s;

Q = vazão, m³/s.

Na dedução do Teorema de Bernoulli, várias hipóteses foram feitas:

- 1) o escoamento do fluido é feito sem atrito, não sendo considerada a influência da viscosidade;
- 2) o movimento é permanente;
- 3) o escoamento do fluido se dá ao longo de um tubo de corrente de dimensões infinitesimais;
- 4) o líquido é incompressível.

A experiência não confirma rigorosamente o Teorema de Bernoulli, isto porque os fluidos reais ou naturais se afastam do modelo perfeito. A viscosidade e o atrito externo são os principais responsáveis pela diferença, pois em consequência das forças de atrito, o escoamento só ocorre com uma perda de energia: perda de carga (energia que se dissipa na forma de calor), AZEVEDO NETTO & ALVAREZ (1988).

Por esta razão é introduzida na equação de Bernoulli uma correção (hf), correspondente a esta perda de carga, deste modo:

$$\frac{(v_1)^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{(v_2)^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + hf \quad (6)$$

Onde:

hf = perda de carga

Todas as fórmulas para cálculo da perda de carga são derivadas da equação de Bernoulli, com modificações no que diz respeito às perdas devidas ao atrito (STREETER, 1968).

2.3.2.3. Equações para cálculo da perda de carga

A partir da equação de Bernoulli corrigida (eq. 6), por similaridade e análise dimensional, faz-se a dedução da equação fundamental para a determinação da perda de carga, conhecida como fórmula universal ou de Darcy-Weisbach, que fica na sua forma final (KNUNDSSEN & KATS, 1958):

$$hf = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

Onde:

hf = perda de carga friccional em altura de coluna do fluido, m;

f = coeficiente de fricção, adimensional;

v = velocidade média, m/s;

L = comprimento da tubulação, m;

D = diâmetro da tubulação, m;

g = aceleração da gravidade, m/s^2

A equação de Darcy-Weisbach ou Formula Universal para dimensionamento de sistemas hidráulicos, tem um amplo campo de aplicação, sendo válida para escoamento turbulento e laminar de qualquer líquido Newtoniano dentro de um conduto de diâmetro constante, bem como, para o dimensionamento de tubos inclinados, na vertical ou de diâmetro variável, desde que as variações de pressão, devido às mudanças na velocidade, e densidade do fluido estejam de acordo com o teorema de Bernoulli.

A fórmula de Darcy-Weisbach pode ser racionalmente derivada por análise dimensional, a excessão do coeficiente de atrito que deve ser determinado experimentalmente. Informações mais detalhadas sobre análise dimensional são encontradas em AZEVEDO NETTO & ALVAREZ (1988). Contudo, a pesquisa desenvolveu expressões específicas para o cálculo do coeficiente (f), para os regimes laminar e turbulento.

Assim no regime de escoamento laminar ($Re < 2000$) o coeficiente de atrito é função somente do número de Reynolds, $f(Re)$ e independe da rugosidade da parede do conduto, e deve ser calculado por:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (8)$$

No regime de escoamento turbulento, se o conduto é considerado hidráulicamente liso, isto é, as irregularidades da superfície de escoamento são totalmente cobertas pela camada limite, o coeficiente de atrito é função somente do número de Reynolds e pode ser determinado pela fórmula de Prantl-von Karman, para $Re > 10^5$:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log(Re \sqrt{f}) - 0,8 \quad (9)$$

ou pela fórmula de Blasius, para $Re < 10^5$:

$$f = 0,316 Re^{-0,25} \quad (10)$$

De outro modo se o conduto for considerado hidraulicamente rugoso, distingue-se o regime turbulento de transição e o regime de turbulência plena, onde as irregularidades da parede perfuram totalmente a camada limite, contribuindo para um aumento da turbulência. Assim, para tubos rugosos funcionando na zona de turbulência plena, Nikuradse encontrou a seguinte relação :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1,74 + 2 \log \frac{D}{2k} \quad (11)$$

Para a região compreendida entre as condições de tubos lisos e a zona de turbulência plena, Colebrook propôs em 1938 uma equação implícita em f , ou seja:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left[\frac{k}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right] \quad (12)$$

Onde:

k/D = rugosidade relativa;

k = rugosidade absoluta.

Segundo AZEVEDO NETTO & ALVAREZ (1988) é conveniente notar

que a equação (11) de Nikuradse, não inclui o Re e que, para uma determinada tubulação com certo diâmetro (D), o valor de f só depende da rugosidade, e ainda que a equação (12) tende para a equação (10) dos tubos lisos quando $\frac{k}{3,7D}$ torna-se muito pequeno, assim como tende para a equação (11), quando se reduz o valor de $\frac{2,51}{Re\sqrt{f}}$. Nestas condições, quando a espessura do filme laminar for grande comparada à altura das projeções rugosas, a perda de carga será a mesma que ocorreria se a canalização fosse muito lisa.

Extraídos de AZEVEDO NETTO (1966), os valores de rugosidade absoluta (k) para diversos materiais, podem ser assim sumarizados:

MATERIAL	k (novos)	k (velhos)
Cimento amianto	0,000013	
Concreto liso	0,0003 - 0,0010	
Aço galvanizado	0,0004	0,0005 - 0,0012
Concreto ordinário	0,0010 - 0,0020	
Cerâmica	0,0006	0,0003
Ferro fundido	0,00025 - 0,0005	0,0003 - 0,0050
Madeira	0,0002 - 0,0010	
Ferro forjado	0,00004 - 0,000016	0,0024

A utilização de fórmulas empíricas tais como aquelas desenvolvidas por Manning, Kuter, Scobey, Hazen-Williams e muitos outros, apresentam o grave defeito da natureza empírica da previsão feita pelo efeito da rugosidade limite, frequentemente demonstrada por um coeficiente de rugosidade, que não varia somente com a natureza específica da superfície interna do conduto, mas que, varia frequentemente com o número

de Reynolds, raio hidráulico e muitos outros fatores (MORRIS, 1961).

Dentre as fórmulas empíricas existentes e mais utilizadas, destacam-se as de Hazen-Williams e Manning.

A fórmula de Hazen-Williams é aplicável somente para fluxos de água em tubos com diâmetro acima de 2 polegadas (50 mm) e para velocidades menores que 3,0 m/s. Contudo AZEVEDO NETTO & ALVAREZ, (1988) recomendam seu uso também para canais abertos, e pode ser escrita como:

$$v = 0,355CD^{0,63}J^{0,54} \quad (13)$$

Onde:

v = velocidade de fluxo, m/s;

C = coeficiente de rugosidade de Hazem-Williams, adimensional.;

D = diâmetro do tubo, m;

J = perda de carga, m/m;

Os valores de perda de carga calculados pelas fórmulas de Hazen-Williams e de Manning, muito utilizadas pelos engenheiros, apresentam resultados bastante distintos dos valores obtidos pela equação teórica de Darcy-Weisbach, principalmente por assumirem um valor único para o coeficiente de atrito para todos os diâmetros de tubos e velocidades de fluxo, enquanto que na equação teórica o coeficiente de atrito varia com as condições de fluxo (KAMAND, 1989).

Extraídos de AZEVEDO NETO (1966), os valores do coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C) para os diversos materiais podem ser assim sumarizados:

MATERIAL	C
Cimento amianto	140
Concreto liso	130
Aço galvanizado	125
Concreto ordinário	120
Cerâmica	110
Tijolos	100
Ferro fundido (em uso)	90

A fórmula de Manning é utilizada para dimensionamento tanto de canais como de tubos funcionando a plena ou a meia seção, e pode ser descrita como:

$$v = \frac{1}{n} R^{0.667} S^{0.5} \quad (14)$$

Onde:

v = velocidade de fluxo, m/s;

n = coeficiente de rugosidade de Manning, adimensional;

R = raio hidráulico, m;

S = gradiente hidráulico, m/m

O fluxo de água em tubos de drenagem agrícola ocorre geralmente em regime turbulento liso e o uso da expressão empírica de Manning é inapropriado, pois ela negligencia o efeito da viscosidade e o efeito do tamanho absoluto do tubo (TSANG & IRWIN, 1971).

Extraído de AZEVEDO NETO (1966), os valores do coeficiente de atrito de Manning (n), para os diversos materiais podem ser assim sumarizados:

MATERIAL	n
Cimento amianto	0,0090
Concreto liso	0,0010
Aço galvanizado	0,0010
Concreto ordinário	0,0011
Cerâmica	0,0012
Tijolos	0,0013
Ferro fundido (em uso)	0,0014

WESSELING & HOMMA (1967) afirmaram que a velocidade da água em tubos de drenagem pode ser calculada por Manning. Contudo, a equação de Manning não é exata, pois os coeficientes do diâmetro e declividade não são constantes, e variam levemente com a rugosidade das paredes, com o diâmetro, e com a velocidade do fluxo (CAVELAARS, 1978).

Por outro lado, a variação causada pelo uso de expoentes constantes é insignificante, quando comparado com a variação a resistência ao escoamento entre tubos de fabricantes diferentes. Assim, a equação de Manning fornece uma aproximação suficientemente acurada para propósitos práticos (CAVELAARS, 1978).

IRWIN & MOTYCKA (1979) estudaram fatores de fricção para tubos plásticos corrugados para drenagem sem perfuração, nos diâmetros de 100, 200, 250 e 300 mm, trabalhando a plena seção em Re entre $1,5 \times 10^4$ e $3,5 \times 10^5$ e comentaram que nestes tipos de tubo, o fator de forma parece ter importância na formação do fluxo turbulento, pois o tubo de 100 mm possuía perfil de corrugação diferente dos demais e apresentou maior valor do fator de fricção f .

SHIPTON & GRAZE (1976) estudaram o fluxo em tubos corrugados sem perfuração, em um intervalo de Re variando desde 3200 até 324000, e utilizando-se de

dados experimentais existentes na literatura e demonstraram que os dados utilizados até o momento não são suficientes para estabelecer uma razoável dependência do fator de fricção f sobre o espaçamento e fator de forma da corrugação.

HERMSMEIER & WILLARDSON (1970) estudaram os fatores de fricção de Darcy- Weisbach e Manning, para número de Reynolds entre $4,65 \times 10^3$ e $5,77 \times 10^4$ em vazões de 1,5 a 38 galões /min.

MORRIS (1961) desenvolveu um estudo sobre fluxo em condutos rugoso em função da natureza dos elementos rugosos, e definiu os seguintes tipos de fluxo turbulento: fluxo turbulento liso, fluxo turbulento normal, fluxo turbulento semi-liso, fluxo hiper turbulento e fluxo quase liso. O autor apresentou curvas para utilização em projetos para cada tipo de fluxo turbulento definido. Contudo, a falta de conhecimento sobre a forma dos elementos rugosos, principalmente quando mais de um elemento estão presentes, como é o caso de tubos corrugados de drenagem perfurados, torna a utilização impraticável.

2.4. Drenagem

2.4.1. Tubos de drenagem

Os drenos laterais ou secundários de um sistema de drenagem subterrânea geralmente são tubos enterrados, principalmente porque apresentam custo de manutenção menor do que drenos abertos, evitam a perda de área útil para cultivo, além de facilitar as operações com maquinários dentro da área.

Como tubos enterrados tem sido utilizados principalmente materiais de cerâmica, concreto, plástico e bambu, cujas características principais são:

Tubos de cerâmica: em geral, tem 30 centímetros de comprimento e seu diâmetro varia de 5 a 15 centímetros, podendo ser retos ou do tipo ponta-bolsa. A penetração da água dentro dos tubos ocorre na junção dos mesmos e segundo CAVELAARS (1978), a porosidade da parede destes tubos não tem significado prático, sendo ainda muito resistentes ao ataque químico não se deteriorando no solo.

Tubos de concreto: são fabricados e instalados mais facilmente que tubos de cerâmica, sendo contudo muito susceptíveis a desintegração em solos ácidos e com sulfatos. Sua utilização ocorre, principalmente, onde não se dispõe de tubos de cerâmica, ou onde se necessita de diâmetros maiores. A entrada de água em tubos de concreto se dá principalmente pela parede do tubo que possui elevada porosidade.

Tubos de plásticos: são fabricados nos tipos corrugado rígido e corrugado flexível. O de tipo corrugado rígido é comercializado como tubo rígido de 6,0 metros de comprimento, enquanto que os do tipo corrugado flexível é comercializados em rolos de 100 e 200 metros de comprimento, dependendo do diâmetro do tubo, e podem ter corrugações concêntricas ou helicoidais.

Os tubos corrugados flexíveis, possuem as seguintes vantagens sobre os rígidos:

- 1). são mais econômicos, pois, possuem menor quantidade de material plástico por unidade de comprimento, suportando muito mais a pressão exterior.
- 2). sua flexibilidade favorece a instalação no campo por máquinas especiais, sem a necessidade de abertura de valetas.

Tubos de bambu: não são utilizados em drenagem, e apresentam uma grande variabilidade no diâmetro interno do tubo, além de possuírem séptos internos. Estes aspectos em geral limitam a confecção de tubos de no máximo 4,0 metros de comprimento. Contudo, a utilização de tubos de bambu pode ser bastante vantajosa em situações onde outros materiais são escassos ou muito caros, e principalmente onde há

grande disponibilidade de bambu do tipo gigante.

O trabalho realizado por NWA (1981), na Nigéria consiste em um bom indicativo da viabilidade de utilização de tubos de bambu como material drenante. O autor instalou duas linhas de drenos paralelos, em profundidade de um metro e declive de 0,2 % e com 20 metros de comprimento em sentido transversal ao declive do terreno em uma área normalmente com problemas de alagamento na estação chuvosa. Os tubos de bambu (**Bambusa vulgaris**) tinham 4 metros de comprimento, seus séptos foram removidas com ferramenta circular cortante e a superfície dos tubos foi perfurada em 4 linhas com furos de 6 mm de diâmetro espaçados de 5 cm. No processo de instalação os tubos foram envelopados com pedra moída de 6,5 mm de diâmetro. Para o dreno colocado na parte superior da área, a taxa de fluxo aumentou com a quantidade de chuva, sendo que o dreno respondeu bem aos intervalos de chuva, aumentando, diminuindo ou mantendo constante a taxa de fluxo conforme o intervalo. Foi observada também que a taxa de fluxo máxima foi de 32 l/min. Embora o dreno da parte inferior tenha apresentado problemas de trabalhar afogado, os dois drenos foram eficientes na manutenção do lençol freático em posição desejável. O autor concluiu que este tipo de bambu pode ser efetivamente utilizado para drenagem em campo, e recomendou que esforços devem ser feitos para determinar critérios de projeto, bem como o tempo de vida do material.

Existem ainda outras iniciativas de utilização de materiais como o tijolo baiano, na região do Vale do Paraíba, no Estado de São Paulo, e o bambu em feixes muito empregado em sistemas de drenagem subterrânea pelo PROVARZEAS.

Não existe muita diferença na função de drenagem entre os distintos tipos de tubos se utilizados corretamente, sendo a escolha final ditada pelo aspecto econômico e eficiência em funcionamento, contudo, o costume parece ser um fator decisivo na escolha (CAVELAARS, 1978).

2.4.2. Dimensionamento hidráulico

Para o dimensionamento hidráulico de tubos de drenagem, o seguinte deve ser considerado:

- a) A equação a ser utilizada (fluxo uniforme);
- b) O gradiente hidráulico e a declividade da linha de tubo (que não são necessariamente iguais);
- c) O coeficiente de rugosidade da parede interna do tubo a ser utilizado;
- d) Um coeficiente de segurança para cobrir a redução na capacidade de descarga do tubo a ser utilizado, devido a limitações de projeto, sedimentação, intrusão de raízes entre outros.

2.4.2.1. Equações

A quantidade de água que pode ser conduzida por um tubo dreno é função do coeficiente de drenagem (q) e da área coberta pelo tubo, e pode ser descrita pela seguinte equação:

$$Q = q \cdot A = q \cdot W \cdot B \quad (15)$$

onde:

Q = descarga do tubo, em m^3/dia ;

q = coeficiente de drenagem, em m/dia ;

A = área a ser drenada, em m^2 ;

W = largura da área a ser drenada pelo tubo, em m ;

B = comprimento do tubo dreno, em m .

A maioria dos autores e técnicos, adotam a equação básica (14) de

Manning, para escoamento uniforme, no dimensionamento de tubos de drenagem, que pode ser descrita como:

$$Q = 0,312 \frac{1}{n} D^{2.67} S^{0.5} \quad (16)$$

onde:

Q = vazão conduzida pelo tubo, em m^3/s ;

n = coeficiente de rugosidade de Manning, adimensional;

D = diâmetro interno do tubo, em m;

S = gradiente hidráulico, em m/m.

A equação (14) de Manning, pode ser escrita em termos de gradiente hidráulico, como segue:

$$S = 10,3 n^2 Q^2 d^{-5.33} \quad (17)$$

Na equação de Manning, para fluxo a plena seção, é assumido que a vazão Q , é constante em todo o comprimento do tubo, entretanto, isto só é correto, para tubos sem perfuração ou de transporte, com velocidade de fluxo constante (fluxo uniforme).

Entretanto, um tubo dreno, recebe água através das perfurações existentes em sua parede, de modo que a vazão Q aumenta gradualmente de $Q = 0$ na extremidade superior até um valor Q máximo na extremidade inferior ou saída (fluxo não uniforme).

A adaptação feita por CAVELAARS (1978), na equação (17) de Manning transformando-a em uma equação para escoamento não uniforme, é assim descrita:

- Para que a descarga do dreno seja igual, tanto em fluxo uniforme como não uniforme, o gradiente hidráulico em fluxo uniforme, deverá ser três vezes maior, isto é: $dh_1 = 3 dh_2$

- Para fluxo aumentando gradualmente, a vazão de um dreno de campo (Q_d) em uma distância (x) qualquer será:

$$Q_d = Q_x = q W x \quad (18)$$

- O gradiente hidráulico para uma distância x , é:

$$S = \frac{dh}{dx} = 10,386 n^2 d^{-5,33} (Q_x)^2 \quad (19)$$

e, substituindo (17) em (18), fica:

$$S = \frac{dh}{dx} = 10,386 n^2 d^{-5,33} (q W x)^2 \quad (20)$$

ou,

$$S = \frac{dh}{dx} = F q^2 W^2 x^2 \quad (21)$$

onde:

x = distancia do ponto considerado;

F = constante que vale $10,386 n^2 d^{-5,33}$.

- Integrando a equação (21), nos limites, onde:

$h = 0$ em $x = 0$ e,

$h = h_B$ em $x = B$, segue que:

$$S = \frac{dh_B}{dB} = F q^2 W^2 B^2$$

e

$dh_b = Fq^2 W^2 B^2 dB$, que dá:

$$h_b = Fq^2 W^2 \frac{B^3}{3} \quad (22)$$

Calculando-se o gradiente hidráulico médio do dreno, (Sdr), dá:

$$Sdr = \frac{h_b}{B} = \frac{1}{3} Fq^2 W^2 B^2 \quad (23)$$

Para conduzir a mesma vazão em um dreno que em um tubo de transporte, o gradiente hidráulico (escoamento não uniforme) Sdr, será 1/3 menor que o gradiente hidráulico de um tubo de transporte (fluxo uniforme) Str, isto é:

$$3 S \text{ dreno} = S \text{ transporte}$$

Desde que a vazão Q, é função de $S^{0.5}$, conforme a equação (16), para um mesmo gradiente em ambos os regimes de escoamento, a vazão de um dreno de campo (fluxo não uniforme) Qdr, é $3^{0.5}$ maior que a vazão em um tubo de transporte (fluxo uniforme) Qtr, isto é:

$$Q \text{ dreno} = 3^{0.5} Q \text{ transporte, ou } Q_{dr} = 1,73 Q_{tr}.$$

IRWIN (1984) definiu uma equação para cálculo da taxa de fluxo em tubos corrugados utilizados em drenagem a partir da medição de dimensões físicas da geometria do tubo, utilizando dados reportados na literatura. Os diâmetros variaram de 80 a 750 mm, em uma faixa de número de Reynolds variando de 10^3 a 10^5 , em declividade menor que 2%, sendo a equação expressa por:

$$Q = 7,56 D^{2.5} S^{0.5} \left(\frac{R}{\lambda} \right)^{0.38} \quad (24)$$

Onde:

Q = vazão, m^3/s ;

S = gradiente hidráulico, m/m ;

R = raio interno mínimo, m

λ = rugosidade relativa, adimensional.

D = diâmetro interno, m .

IRWIN & MOTYCKA (1979) conduziram testes hidráulicos em tubos plásticos corrugados não perfurados nos diâmetros de 100, 200, 250 e 300 mm em circuito fechado, aplicando vazões por meio de uma bomba capaz de produzir 70 l/s e velocidade de 1,0 m/s no tubo de 300 mm. Os valores de n aumentaram linearmente com o aumento da rugosidade relativa para todos os tubos e podem ser descritos pela seguinte equação empírica:

$$n = 3,7 \left[\left(\frac{e}{D} - 0,03 \right) \right] \quad (25)$$

onde:

n = coeficiente de rugosidade de Manning, adimensional;

e = rugosidade absoluta, em m ;

D = Diâmetro interno mínimo, em m .

2.4.2.2. Gradiente hidráulico

Não é necessário instalar uma linha de drenos segundo um determinado ângulo, pois mesmo um dreno horizontal será capaz de desempenhar sua funções, posto

que o gradiente hidráulico necessário para o escoamento se estabelecerá naturalmente.

É pratica comum, no entanto, instalar os drenos segundo alguma declividade, por uma série de razões praticas, tais como:

- a) menor risco de que a água permaneça estagnada em partes da linha de drenos, o que acarretaria no risco de sedimentação de partículas de argila em suspensão;
- b) Menor risco de ângulos contrários em algumas partes da linha de tubo, o que provocaria o desenvolvimento de bolsões de ar.

Também é pratica comum considerar o gradiente hidráulico igual à declividade na qual o dreno tenha sido instalado.

Segundo MILLAR (1988), a declividade mínima recomendada pelos americanos é:

Diâmetro do tubo dreno (cm)	Declividade mínima %
10,0	0,10
12,5	0,07
15,0	0,05

2.4.2.3. Coeficientes de atrito e rugosidade

No meio agrícola o dimensionamento de um tipo de conduto para condução de água para irrigação ou drenagem, através das mais variadas fórmulas, apresenta um problema em comum, que consiste na incerteza de qual valor de fator de fricção deve ser adotado para um dimensionamento correto.

SHIPTON & GRAZE (1976) realizaram estudos em fluxo de água em tubos plásticos corrugados de 100 mm e determinaram o fator de fricção (f), para número de Reynolds entre 3200 e 324000; Eles utilizaram tubos com comprimento de 45 vezes o diâmetro, interconectados em um circuito fechado e, através de gráfico semi-log de $Re \times f$, observaram que o valor de f claramente subiu até 0,056 em Re 14000, caindo

para 0,043 em $Re = 40000$, o que representa uma queda de 24 % indicando, ser uma zona de transição para tubo liso. Observaram ainda que após este valor o fator de fricção f permaneceu constante até 120000, subindo gradualmente em Re superiores. Deste modo determinaram quatro zonas de transição de fluxo.

IRWIN & MOTYCKA (1979) determinaram parâmetros hidráulicos necessários ao cálculo dos coeficientes de fricção para as equações de Darcy-Weisbach (f) e Manning (n), e, observaram que f foi constante para todas as medições em Re superiores a 100000, ocorrendo um aumento linear no valor de f com a rugosidade relativa para os diâmetros de 200, 250 e 300 mm cujas corrugações eram similares. Os autores recomendam os valores de n para projeto como sendo:

Diâmetro (mm)	Coeficiente de Manning (n)
100	0,016
200	0,019
250	0,018
300	0,022

CAVELAARS et al (1994) relacionando as equações de Manning e de Darcy-Weisbach para fluxo a seção plena, chegaram à seguinte equação para Re maiores que 10^5 :

$$n = 0,090d^{0,167}f^{0,5} \quad (26)$$

onde:

n = coeficiente de rugosidade de Manning, adimensional;

d = diâmetro interno mínimo do tubo, em m;

f = coeficiente de atrito de Darcy-Weisbach.

Deste modo, pode-se utilizar o coeficiente de atrito da equação de Darcy para cálculo do coeficiente de atrito de Manning. Os autores apresentaram ainda uma compilação de dados para os valores de (f) medidos e (n) medidos ou calculados para tubos plásticos corrugados trabalhando a plena seção, com diâmetros variando desde 38

até 750 mm, de testes conduzidos em vários locais do globo, dando inclusive as dimensões das corrugações. Encontraram uma boa relação entre a altura das corrugações com a distância e com o diâmetro interno dos tubos, mas não encontraram boa relação para rugosidade relativa e distância relativa com o coeficiente de Manning. Sendo ainda que, a melhor relação encontrada para diâmetro interno e coeficiente de Manning, apresentou um coeficiente de regressão de $R^2 = 0,51$., recomendaram a seguinte equação para o cálculo de (n):

$$n = 0,015 + 0,02d - 0,013d^2 \quad (27)$$

onde:

n = coeficiente de rugosidade de Manning, adimensional;

d = diâmetro interno mínimo do tubo.

Os tubos de drenagem corrugados podem ter corrugação dos tipos concentrica ou helicoidal.

Rice 1961¹, citado por SILBERMAN (1970) observou que para um tubo helicoidal de um dado fabricante, o fator de fricção aumentava de acordo com o aumento do diâmetro do tubo. Contudo, SILBERMAN (1970), realizou testes com fluxos de água em tubos corrugados do tipo helicoidal, nos diâmetros de 12, 18 e 24 polegadas, trabalhando com número de Reynolds de 35000 até 2000000, e embora tenha confirmado os dados de Rice 1961, verificou que isto só ocorria porque para tal fabricante, o ângulo helicoidal também aumentava com o aumento do diâmetro do tubo e, demonstrou ainda, que para um ângulo helicoidal fixo, o fator de fricção na verdade decresce com o aumento do diâmetro. Segundo o autor isto poderia ser explicado devido ao fluxo espiral induzido na camada limite por corrugações do tipo helicoidal ser identico ao fluxo na camada limite desconectada do fluxo interior, fazendo com isso, o fluxo na camada limite

¹RICE, C.E. Friction factors for helical corrugated pipe. Agricultural Research Service/USDA, vol 18, p. 1-18, Fev 1961.

menos importante à medida que o diâmetro aumenta.

Valores de K_m ($1/n$) para tubos de concreto, manilhas e tubos lisos e corrugados são apresentados por IRWIN (1982, 1984) e CAVELAARS (1991).

Em geral para tubos de plástico corrugado (cloreto de polivinila e polietileno) o valor de K_m depende principalmente da distancia entre as corrugações, e em menor grau do diâmetro do tubo (IRWIN, 1982, 1984).

Pode-se dizer que para os diversos tubos corrugados de cloreto de polivinila (pvc), disponíveis no comércio de países como Holanda, Alemanha, Inglaterra e Estados Unidos cuja distância entre as corrugações é menor que 10 mm, são indicados para projetos de drenagem subterânea, valores de K_m iguais a 70 ou maiores. Já para tubos de polietileno (pe) ou polipropileno (pp), valores de K_m menores que 70 são indicados (CAVELAARS, 1991).

Segundo IRWIN & MOTYCKA (1979) tem sido prática padrão o uso de coeficientes de rugosidade de Manning de 0,011 para projetos de drenos no campo consistindo de tubos de argila ou concreto, valor que foi determinado por Yarnell & Woodward no ano de 1920.

HERMSMEIER & WILLARDSON (1970), trabalhando com fatores de fricção para tubos plásticos corrugados em um sistema de passagem de fluxo em circuito fechado, determinaram o coeficiente de Manning médio para tubulações de 1,37" até 4" de diâmetro nominal, recomendaram os seguintes valores de (n) para projeto:

Diâmetros (pol.)	Coeficiente de Manning
< 2	0,018
2 - 3	0,016 - 0,017
4	0,016

ALMEIDA NETO (1992) e ALMEIDA NETO & TESTEZLAF (1994) estimaram os coeficientes das equações de Hazen-Williams (C) e de Manning (n), para tubos de bambu gigante **Dendrocalamus giganteus** que tiveram os séptos retirados

manualmente por impacto de lâminas circulares, e para séptos removidos com um dispositivo mecânico Os valores de (c) e (n) para cada tipo de perfuração foram:

Tipo de Perfurador	Manning (n)	Hazen-Willians (C)
Manual	0,027	43
Mecânico	0,014	89

Os mesmos autores encontraram ainda, a rugosidade absoluta da parede interna do bambu gigante calculado pelas equações de Colebrook e Hopf, como sendo 0,0022 e 0,0013 m, respectivamente.

OLIVEIRA, (1992) baseado na literatura existente estabeleceu valores do coeficiente de rugosidade (C) de Hazen-Willians para o dimensionamento de tubos de bambu gigante como linha principal de sistemas irrigação por gotejamento e micro-aspersão em função da inexperiência ou experiência dos operadores no trato com as ferramentas para a remoção manual dos séptos, e para a remoção mecânica, como sendo:

	Hazen-Willians (C)
Remoção manual (inexperiente)	60
Remoção manual (experiente)	75
Remoção mecânica	90

Análise de fluxos em tubos de drenagem corrugados tem sido conduzida por vários autores, o que tem gerado equações e gráficos para dimensionamento prático.

IRWIN & MOTYCKA (1979), recomendam a utilização direta de um gráfico relacionando a taxa de fluxo em(l/s) e o gradiente hidráulico (H/L), em porcentagem, para o dimensionamento de tubos corrugados flexíveis nos diâmetros de 100, 200, 250 e 300 mm.

LÓPEZ,(1981), apresenta um ábaco para dimensionamento tubos de bambu variando o diâmetro de 40 até 150 mm, e vazões de 0,10 até 20 l/s. O ábaco foi tirado de Water Supply and Sanitation in Developing Countries - AID - UNC/IPSED - Séries ítem 3.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Drenagem do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, localizado no município de Piracicaba (SP).

3.1. Condutos de bambu

Os condutos de bambu para drenagem foram feitos a partir de colmos de bambu gigante, através da retirada mecânica dos séptos internos, localizados na posição dos nós, seguido de perfuração mecânica da parede.

3.2. Colheita

Os tubos de bambu foram obtidos a partir de colmos de plantas adultas de bambu gigante da espécie **Dendrocalamus giganteus**, retirados de touceira cultivada sem nenhum trato cultural (Figura 1), na Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais - APAE, localizada na Rodovia Oswaldo Cruz Km 4 s/n, no município de Taubaté -SP, os quais foram selecionados, em função de suas características anatômicas que mais se adequassem as condições experimentais, tais como: comprimento, diâmetro, espessura da parede, idade (presença de líquens e musgos) e linearidade do colmo.

A colheita, foi realizada em julho de 1996, devido a este se constituir em

um dos meses mais secos do ano no Estado de São Paulo, conforme as recomendações de LIESE (1985) e JANSEN (1988).

Na colheita, os colmos de bambu foram cortados com machado, pouco acima do primeiro nó, a aproximadamente 0,40 metros de altura, para não possibilitar o apodrecimento da base do colmo e posterior comprometimento da moita devido acúmulo de água, conforme relataram LIESE (1985) e JANSEN (1988). Os colmos de bambu foram retirados da moita, desganhados e em seguida serrados em comprimentos de 6,0 metros, úteis para utilização como tubos. Devido ao grande comprimento dos colmos na moita, o uso de corda na retirada dos colmos, fêz-se necessário.

Após a colheita, os colmos de bambu foram transportados em caminhão até o local de secagem, onde foram caracterizados fisicamente.

3.3. Caracterização física dos colmos

A caracterização física dos colmos de bambu gigante foi realizada mediante a medição na base e no ápice, de parâmetros como diâmetro interno, espessura da parede e perímetro, além da medição do comprimento dos internódios e massa do colmo. Os dados referentes aos colmos verdes encontram-se no Quadro 3, enquanto os referentes aos colmos secos ao ar, encontram-se no Quadro 4.

Na caracterização física, o diâmetro interno (DI) foi determinado através da medição com paquímetro de precisão (0,1 mm), em dois sentidos perpendiculares, previamente marcados. A espessura (E) da parede dos colmos foi medida com paquímetro de precisão (0,1 mm), nos mesmos pontos utilizados para a medição do diâmetro. O diâmetro externo (DE) dos colmos foi obtido pela soma das espessuras com os diâmetros internos. O perímetro (P) foi medido utilizando-se uma fita métrica de alfaiate, com precisão de 5 mm e 1,50 metros de comprimento. A distância entre os nós,

ou comprimento dos internódios (C) foi medida em um alinhamento previamente marcado, utilizando-se uma trena com precisão de 1 mm e 30 metros de comprimento. A massa (m) dos colmos foi determinada em balança com capacidade para 200 kg e precisão de 0,1 kg.

Figura 1. Touceira de bambu gigante da espécie ***Dendrocalamus giganteus***.

3.4. Secagem

A secagem dos colmos de bambu foi feita em um barracão localizado na Fazenda Piloto do Departamento de Ciências Agrárias - UNITAU, e teve a duração de 40 dias.

O processo de secagem foi feito de dois modos, a saber:

No primeiro, duas parcelas de 5 (cinco) colmos de bambu, foram colocados para secar deitados, dispostos sobre o piso cimentado do barracão, um ao lado do outro.

A primeira parcela foi composta pelos colmos de número 01, 02, 09, 17, 19, e a segunda parcela pelos colmos 15, 18, 22, 24 e 25.

No segundo, três parcelas de 5 (cinco) colmos de bambu, foram colocados para secar em pé, dispostos ao redor das colunas de concreto que sustentam o telhado do barracão.

A terceira parcela foi composta pelos colmos de número 04, 05, 08, 11, 23, a quarta parcela pelos colmos 06, 07, 16, 20, 21, e a quinta parcela pelos colmos 03, 10, 12, 13 e 14.

A distinção em dois modos de secagem, teve como objetivo observar visualmente as diferenças no perfil dos colmos, em função do método de secagem.

3.5. Remoção dos séptos nodulares

A revisão de literatura revelou que o processo manual de perfuração (remoção dos séptos nodulares) de colmos de bambu gigante, causa uma perda de carga maior se comparado ao processo mecânico (ALMEIDA NETO, 1992). Assim, neste trabalho utilizou-se o processo de perfuração mecânico.

Para a remoção mecânica dos séptos nodulares foi desenvolvido um mecanismo de perfuração eletro-mecânico, cuja avaliação da eficiência na perfuração do tubo de bambu foi vinculada às diferenças entre os diâmetros do nó e internó, bem como, na avaliação hidráulica dos condutos.

3.6. Mecanismo de perfuração

O dispositivo de perfuração de tubos de bambu (Figura 1 do Apêndice), foi projetado e construído pelo Eng. Mec. Argemiro Targa Neto, em Taubaté -SP.

O dispositivo de perfuração de tubos de bambu gigante possui as seguintes especificações: um perfurador de bambu, um eixo de transmissão do torque (tubo de aço de 1 1/4" e espessura de 1,20 mm com comprimento de 3,0 m), acoplado a uma furadeira de bancada com motor 1/2 Hp, cinco velocidades, um mandril com capacidade de 5/8" e um carrinho para fixação e movimentação da furadeira. O movimento de translação do mecanismo é feito manualmente, devido a sensibilidade da operação de perfuração dos nós.

3.6.1. O Perfurador

O perfurador (Figura 2), é constituído por várias partes acopladas entre si e, todas elas, acopladas ao eixo de transmissão do torque. A hélice rompedora é composta por quatro pás triangulares em aço inóx, com capacidade de perfuração de 80 mm de diâmetro. O conjunto de corte é composto por duas lâminas de corte (seção de serra de aço), dois bits de desbaste de 1/4" e duas hastes de autoajuste das lâminas, dispostas radialmente, e que são ajustadas através de molas, para diâmetros internos de bambu variando de 95 a 128 mm. O centralizador é constituído por um corpo tubular de

diâmetro 2" e comprimento de 270 mm, com rolamentos nas extremidades para permitir a rotação do eixo sem que o mesmo gire, tendo apenas movimento de translação dentro do bambu. A centralização é feita através de dois conjuntos de três roldanas cada nas extremidades do corpo centralizador, as quais se mantêm em contato com a parede interna do bambu através de molas. Estas roldanas estão dispostas radialmente num ângulo de 120° entre si. O eixo deste perfurador é feito de uma barra de aço cilíndrica de diâmetro 5/8" (Figura 2 do Apêndice).

Figura 2. O Perfurador.

3.6.2. Operação de perfuração

Após o desenvolvimento do mecanismo de perfuração, 8 colmos de bambu gigante sorteados (2 que secaram em posição horizontal, e 6 que secaram em posição vertical) , foram transportados do local de secagem, até a serralheria, onde efetuou-se a transformação dos colmos em condutos de drenagem .

Na operação de remoção dos séptos (perfuração), os colmos de bambu gigante foram amarrados com tensores de latex, em grupos de três, formando uma pirâmide disposta longitudinalmente na direção do mecanismo de perfuração, sendo sempre perfurado o colmo posicionado no topo da pirâmide (Figura 3).

Devido ao tamanho do conjunto de corte e centralização ser 0,60 metros, o primeiro sépto nodular foi removido com o mecanismo de perfuração adaptado a uma furadeira manual, após o que fêz-se a perfuração normalmente.

No procedimento de perfuração propriamente dito, a ferramenta de corte foi posicionada a alguns milímetros do sépto a ser removido, a máquina foi colocada em movimento e os séptos removidos em tempo médio de 4 minutos, com uma velocidade de avanço de 22,50 mm/minuto, após o que a máquina foi desligada, e movimentada manualmente para frente até o próximo sépto. Este procedimento foi feito até o limite de 3,0 metros, sendo a máquina movimentada manualmente para trás até a retirada da ferramenta de corte, e então a pirâmide foi tombada, de modo que um dos colmos da base ficasse posicionado no topo da pirâmide, para a remoção dos séptos. Após os três colmos terem seus séptos removidos nos primeiros 3,0 metros, o conjunto foi virado para a remoção dos séptos nos 3,0 metros seguintes.

Após a perfuração (retirada dos séptos), os condutos de bambu foram perfurados em sua superfície, para transformação final do colmo em um conduto de drenagem.

Figura 3. Processo de perfuração.

3.6.3. Perfuração da parede dos colmos

Após a retirada dos séptos nodulares, a parede dos colmos foi perfurada, utilizando-se um gabarito de metal e uma furadeira manual do tipo profissional, contendo capacidade de mandril variando de 1/32" até 3/8", velocidade de 0 até 1200 RPM, funcionando a 110 volts e com uma potência de 350 W (Figura 4.).

Figura 4. Perfuração da parede dos colmos.

Foram feitas em cada colmo 12 linhas de furos espaçados em 40 mm no sentido longitudinal, e aproximadamente 30 mm em sentido radial, o que proporcionou uma densidade de furos de aproximadamente 312 furos/metro. Os furos na parede dos colmos foram feitos com broca 3/16", que corresponde a um diâmetro de aproximadamente 5,0 mm. Em seguida os tubos foram limpos internamente pela passagem de escovas de fibra de coco fixadas na extremidade de um tubo de PVC de 1/2" com 6,0 metros de comprimento.

Após a confecção dos 8 condutos de drenagem, os mesmos foram transportados da Universidade de Taubaté, em Taubaté - SP, para o Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP, em Piracicaba - SP., onde foram submetidos aos testes hidráulicos.

3.7. Instalação hidráulica experimental

A instalação experimental consistiu de um sistema de recirculação de água que foi construído, no laboratório de Drenagem da ESALQ e foi baseado em modelos descritos em HERSMSMEIER & WILLARDSON (1970), SHIPTON & GRAZE (1976) e IRWIN & MOTYCKA (1979).

O sistema de recirculação de água (Figura 5) é constituído dos seguintes elementos: um reservatório (1), construído em alvenaria e impermeabilizado, com capacidade para 650 litros; uma bomba centrífuga modelo INAPI - 3500 rpm, movida por um motor elétrico assíncrono trifásico, de 220 volts e potência de 2 cv, acionado por chave magnética tripolar; um duto de recalque de ferro de 508 mm, um medidor de vazão placa orifício, tipo diafragma de 317,5 mm, com duto de entrada e saída em ferro de 635 mm; um manômetro diferencial de mercúrio; um duto de condução de ferro, de 508 mm, até o registro tipo gaveta de 2"; um reservatório (2), com capacidade para 1300

litros; saída inferior do reservatório em tubo de ferro de 6" com rosca; uma flange de ferro de 6"; uma luva de redução de ferro de 6 x 4"; um registro tipo gaveta de 4"; uma união 4"; um adaptador de 4" de PVC tipo rosca x junta elástica e uma seção de testes dos tubos. Na seção de teste, à jusante do reservatório 2, os tubos de PVC e Bambu são conectados ao adaptador

Esquema para a determinação da Perda de Carga em tubos de drenagem - Lab. Drenagem - ESALQ-USP

Figura 5 Sistema de recirculação de água (seção de testes hidráulicos).

A montante do reservatório 1 os tubos são conectados a um adaptador de PVC de 4", do tipo rosca x junta elástica, seguido por uma luva de 4 x 6" e a saída inferior para o reservatório (1) em ferro de 6". A vedação dos tubos de PVC nas conexões com os reservatórios, foi feita com aplicação de massa para calafetar e enrolamento de filme de polietileno preto de baixa densidade fixada com fita isolante elétrico e amarrado com fio plástico (amarelo).

No caso dos condutos de bambu, o processo de vedação consistiu de colocação de uma luva de borracha (câmara de ar de pneu de carro) amarrada com arame de construção civil do tipo cozido.

A fim de evitar a entrada de bolhas de ar no sistema, a turbulência normalmente gerada pela circulação da água, principalmente nos pontos de entrada e saída dos reservatórios foi eliminada pela colocação de tijolos do tipo baiano nos dois reservatórios.

3.7.1. Tubos testados

Neste trabalho foram testados hidraulicamente condutos de bambu gigante da espécie **Dendrocalamus giganteus**, para utilização em drenagem, com diâmetro aproximado de 4 polegadas e comparados a tubos de drenagem perfurados, dos tipos, corrugado rígido e corrugado flexível helicoidal no diâmetro de 4 polegadas.

A revisão de literatura, revelou em trabalhos como de HERSMSMEIER & WILLARDSON (1970), SHIPTON & GRAZE (1976) e IRWIN & MOTYCKA (1979), que a caracterização hidráulica de tubos de drenagem corrugados normalmente é feita em tubos não perfurados. Entretanto, tubos de drenagem de campo são perfurados, e visando trabalhar em condições mais próximas à realidade, utilizou-se neste trabalho tubos de drenagem perfurados vedados externamente de modo que permaneceram internamente a

ranhuras das perfurações. Os processos de vedação foram desenvolvidos e previamente testados e aprovados, não apresentando vazamentos.

3.7.2. Preparação dos tubos

3.7.2.1. Tubo de pvc corrugado rígido

Os tubos de PVC rígido para drenagem são fabricados por extrusão contínua, através de um processo que apresenta uma corrugação na parede em forma de onda, a qual se desenvolve helicoidalmente no tubo, com passo constante. No Brasil estes tubos são fabricados em barras de 6,0 metros de comprimento e nos diâmetros de 50, 75, 100 e 150 mm.

No presente trabalho utilizou-se tubo de drenagem corrugado rígido (TDC - rígido) com diâmetro nominal 100 mm (DN 100), e as suas dimensões reais, são mostradas no Quadro 1.

Quadro 1. Dimensões dos Tubos de drenagem utilizados.

Parâmetros	TDC RÍGIDO	TDC FLEXÍVEL	CONDUTO DE BAMBU
Diâmetro Nominal (mm)	100,0	100,0	"100,0"
Comprimento máximo (m)	6,0	100,0	6,0
Massa aproximada (kg)	5,4	37,0	
Diâmetro externo (mm)	100,0	100,3	123,0
Diâmetro interno (mm)	96,4	91,4	112,0
Espessura da parede (mm)	1,8	0,8	11,0
Altura das corrugações (mm)	4,0	3,9	2,9
Dist. entre corrugações (mm)	38,0	9,0	517,3
Densidade furos (furos/m)	312,0	625,0	312,0
Tamanho do furos (mm)	5,0	5,0	5,0
Area de furos / metro (cm ²)	61,2	31,0	61,2
Linha de furos	12,0	10,0	12,0

A vedação externa do tubo de pvc rígido, foi feito com o enrolamento de fita isolante elétrico de 19mm de largura sobre os furos e, de mais duas passadas da mesma fita, uma a direita e outra a esquerda da primeira, com uma sobreposição de 50% aproximadamente.

3.7.2.2 Tubo de pvc corrugado flexível

Os tubos de drenagem flexíveis são fabricados através de um processo que apresenta uma corrugação na parede em forma de dupla onda, a qual se desenvolve helicoidalmente no tubo, com passo constante. No Brasil estes tubos são comercializados em bobinas de 45, 50, 100, 150 e 200 metros. No presente trabalho utilizou-se tubo de drenagem corrugado flexível (TDC - flexível) com diâmetro nominal 100 mm (DN 100), e as suas dimensões reais, são mostradas no Quadro 1.

Os tubos foram vedados externamente visando garantir a não ocorrência de vazamentos, e o processo de vedação consistiu no enrolamento do tubo com filme de polietileno preto de baixa densidade em tiras de 12 cm de largura e com sobreposição de aproximadamente 50%, seguido de enrolamento de uma fita (amarelo) em todo o comprimento do tubo acompanhando as canaletas da corrugação e mais um enrolamento com filme de polietileno.

3.7.2.3. Tubos de bambu

Os tubos de bambu para drenagem foram feitos a partir de colmos de bambu gigante da espécie **Dendrocalamus giganteus**, através da retirada mecânica dos séptos internos, localizados na posição dos nós, seguido de perfuração da parede, cujas dimensões médias dos 8 tubos fabricados encontram-se no Quadro 1.

A vedação externa dos tubos de bambu gigante foi feita com o enrolamento de fita isolante elétrico de 19 mm de largura sobre os furos, e no enrolamento de dois filmes de polietileno preto de baixa densidade, um seguido do outro, em tiras de 12 cm de largura e com sobreposição de aproximadamente 50%.

Três conjuntos de bambu foram constituídos para compor a seção de teste hidráulico, a saber: Bambu 1 (junção dos bambus 02 e 22), Bambu 2 (junção dos bambus 11 e 26), e Bambu 3 (junção dos bambus 03 e 10).

3.7.3. Métodos de medida de pressão

Existe uma grande variação nos métodos de medição da pressão, cabendo ao experimentador escolher tecnicamente aquele que melhor lhe convier, movido principalmente por considerações sobre simplicidade, disponibilidade e precisão do método, bem como em função do intervalo de pressão a ser medida.

Assumindo a hipótese de que a área da seção da tubulação não varia significativamente, e portanto não há variação da velocidade média, também não há variação na pressão dinâmica. A variação então, ocorre no componente estático da pressão, e ainda pela disponibilidade, facilidade e pequenas cargas de pressão a serem medidas, optou-se neste trabalho, por medidas piezométricas de pressão estática.

O tubo piezométrico ou piezômetro consiste na inserção de um tubo transparente na tubulação onde se quer medir a pressão. O líquido sobe no tubo a uma altura correspondente à pressão interna, e sendo esta elevação em tubo de diâmetro pequeno, inversamente proporcional ao diâmetro AZEVEDO NETO & ALVAREZ (1988) recomendam o emprego de tubos piezométricos de pelo menos 1,0 cm de diâmetro, para que sejam desprezíveis os efeitos de capilaridade.

3.7.3.1. Instalação de piezômetros

Para instalação dos piezômetros, furos de 1,0 cm são feitos segundo uma linha central do tubo. Um cotovelo conectado a um pedaço de tubo da mesma medida do furo e espessura igual a da parede da tubulação é inserido no furo e fixado com massa epoxi em posição vertical. Na outra extremidade do cotovelo é inserida uma mangueira flexível tipo cristal que liga-se à base inferior de um tubo de acrílico transparente e rígido, fixado verticalmente à parede e contendo uma escala, cujo ponto inicial, foi nivelado com o ponto de inserção do cotovelo. Na base inferior do tubo piezométrico foi colocado um pequeno registro, cuja função é amortecer as leituras piezométricas.

Considerou-se um trecho dos tubos de comprimento L , correspondente a 7,41 metros, para a instalação dos piezômetros, sendo que, para os condutos de bambu e o tubo corrugado rígido, foram colocados piezômetros nas conexões dos tubos.

3.7.4. Método de medida de vazão

Um método prático e preciso para determinação da vazão de um fluido homogêneo em escoamento permanente, ao longo de condutos hidráulicos forçados, consiste em instalar um estrangulamento na linha de fluxo, que provoca o aumento da velocidade do fluido na seção estrangulada (ALMEIDA NETO, 1992).

KAMAL (1986), indica que dentre os medidores de vazão por pressão diferencial, o de placa orifício do tipo diafragma, apresenta uma precisão ao redor de 1 % e simplicidade na aplicação, sendo recomendado como instrumento de medida para líquidos com pressões até 10^7 N/m^2 .

3.7.4.1. Instalação do diafragma

No presente trabalho, optou-se por utilizar um medidor de vazão placa orifício do tipo diafragma, onde a relação D/d é igual a 0,5 e foi instalado após a unidade de bombeamento, em um trecho reto da seção experimental, que conduz a água bombeada do tanque 1, para o tanque 2.

O diafragma utilizado foi construído e previamente calibrado pelo Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ - USP, e apresenta as seguintes características:

Coeficiente de descarga (C_d) = 0,62;

Diâmetro da tubulação (D) = 2 1/2";

diâmetro da contração (d) = 1 1/4".

A vazão é obtida pela utilização da seguinte equação:

$$Q = 3,48 \left(\frac{C_d D^2 2\sqrt{h}}{\sqrt{\left(\frac{D}{d}\right)^4 - 1}} \right) \quad (29)$$

Onde:

Q = vazão, m^3/s ;

C_d = coeficiente de descarga, adimensional;

D = diâmetro da canalização, m;

d = diâmetro da seção contraída, m;

$H = 12,6 \times$ leitura do manômetro diferencial de mercúrio(h).

$H = 1,85 \times$ leitura do manômetro diferencial de tetracloreto de carbono (h).

3.7.5. Procedimento experimental

O procedimento experimental em laboratório consistiu na determinação das características hidráulicas de “tubos de drenagem” em um sistema de recirculação de água através de reservatórios de carga constante unidos pelos tubos, onde foram feitas as leituras de temperatura da água, das cargas piezométricas e das pressões manométricas em coluna de mercúrio ou tetracloreto de carbono, para diferentes valores carga hidráulica nos tanques, visando a determinação da perda de carga ou gradiente hidráulico, vazão, velocidade média, numero de Reynolds e os coeficientes de rugosidade para as equações de Darcy-Weisbach, Hazen-Williams e Manning, bem como os valores de rugosidade relativa e rugosidade absoluta.

Os dados experimentais foram obtidos da seguinte forma: o sistema foi preenchido com água para verificação de possíveis vazamentos, a bomba foi ligada e os registros foram abertos em capacidade máxima para desprendimento de bolhas do interior do tubo. Após cessado o desprendimento de bolhas, o manômetro diferencial de mercúrio foi zerado, e então, a vazão foi regulada no máximo de leitura do manômetro. Esperou-se até ocorrer o equilíbrio dinâmico, onde $Q_{entrada} = Q_{saida}$, e satisfeita esta condição fez-se as leituras de:

Diferença da coluna de mercúrio no manômetro, ou tetracloreto de carbono (h);

Altura da coluna d'água nos piezômetros (P);

Temperatura da água (°C).

Após , alterou-se a vazão nos registros e repetiu-se o procedimento, a partir do equilíbrio dinâmico.

Para cada vazão aplicada a cada tubo na seção de testes, o procedimento acima foi realizado 6 (seis) vezes. De posse destes dados, foram feitos os cálculos para determinação dos parâmetros hidráulicos:.

A vazão, foi obtida através da equação do diafragma (eq. 29).

O diâmetro médio considerado nos cálculos hidráulicos foram de $D = 0,0964$ m para o tubo corrugado rígido e $D = 0,0914$ m para o tubo corrugado flexível, obtidos junto ao fabricante.

O diâmetro médio dos conjuntos de tubos de bambu utilizados no teste hidráulico, foi obtido através da média de quatro medidas espaçadas de 45° uma da outra, no ponto de tomada das pressões piezométricas. As medidas foram feitas com paquímetro de 0,1 mm de precisão, e os valores encontram-se no Quadro 2.

A velocidade, foi obtida através da equação da continuidade (eq. 5).

A perda de carga total, foi calculada através da diferença entre os piezômetros P1 e P4.

A perda de carga localizada, foi calculada através da diferença entre os piezômetros P2 e P3.

A viscosidade cinemática foi obtida através da equação:

$\nu = e^{(-13,27252 - 0,023457 t)}$, com r^2 de 0,99, ajustada, a partir de dados de viscosidade cinemática e temperatura encontrados na literatura.

Número de Reynolds, foi calculado através da equação de Reynolds (eq. 3).

Coefficiente de atrito f , através da equação de Darcy-Weisbach (eq. 7).

Coefficiente de rugosidade C , através da equação de Hazen-Williams (eq. 13).

Coefficiente de rugosidade n , através da substituição de R_h por $D/4$ na equação de Manning (eq. 14).

Quadro 2. Diâmetro médio da seção de instalação dos piezômetros, para os conjuntos de tubos de bambu testados.

bambu 2+22	D1(mm)	D2(mm)	D3(mm)	D4(mm)	D médio(mm)
P1	106,0	106,6	109,7	109,0	107,8
P2	104,2	099,5	097,6	102,7	101,0
P3	102,0	102,7	105,3	103,6	103,4
P4	111,0	110,4	109,5	109,8	110,1
Média	105,9	104,8	105,5	106,2	105,6

bambu 11+26	D1(mm)	D2(mm)	D3(mm)	D4(mm)	D médio(mm)
P1	115,1	115,6	116,9	116,2	115,9
P2	112,3	111,2	109,0	112,0	111,1
P3	129,2	128,7	129,0	129,4	129,0
P4	116,6	119,4	119,3	115,8	117,7
Média	118,3	118,7	118,5	118,3	118,5

bambu03+10	D1(mm)	D2(mm)	D3(mm)	D4(mm)	D médio(mm)
P1	100,2	100,8	099,0	098,9	099,7
P2	102,0	100,4	099,6	099,6	100,4
P3	108,0	110,0	113,6	112,1	110,9
P4	110,3	109,3	109,0	110,8	109,8
Média	105,1	105,1	105,3	105,3	105,2

A rugosidade relativa e/D , foi calculada através da substituição dos valores experimentais do coeficiente de atrito (f) e do número de Reynolds (Re), na equação de Colebrook (eq. 12).

A rugosidade absoluta foi obtida através do produto entre os diferentes diâmetros e os valores de rugosidade relativa.

A partir do cálculo dos valores dos parâmetros acima descritos, efetuou-se a análise de regressão entre os parâmetros hidráulicos coeficiente de atrito e de rugosidade, rugosidade relativa, Número de Reynolds, e entre as vazões e as perdas de carga, visando verificar o comportamento hidráulico de cada tubo testado.

3.8. Análise econômica da utilização de bambu gigante como tubo

A análise econômica foi baseada em dois aspectos principais: o primeiro diz respeito ao custo envolvido no processo de fabricação dos tubos de bambu e ao preço que este produto teria se fosse vendido em uma estabelecimento comercial; o segundo diz respeito ao custo de implantação de um hectare de várzea drenada com bambu gigante, comparado aos demais tubos testados.

3.8.1. Custo de produção de tubos de bambu gigante

No Brasil o bambu de um modo geral não tem valor comercial de mercado e poucos agricultores cultivam em suas propriedades moitas de bambu gigante, para muitas finalidades, mas não para condução de água de um modo geral. Desta forma o custo da matéria prima bambu para fabricação de tubos de drenagem, foi obtido do custo

de produção de 1,0 hectare de bambu gigante.

Na composição do custo de produção de bambu gigante, os fatores de produção relativos ao cultivo, foram baseados nas recomendações encontradas em SALGADO et alii (1987).

Na transformação dos colmos em tubos de drenagem, tanto o processo de remoção dos séptos nodulares, como o de perfuração das paredes dos colmos de bambu, foi feito mecanicamente. Para a remoção dos séptos necessitou-se de uma pessoa para a operação da máquina de perfuração, que sem treinamento apresentou um rendimento de 52,5 minutos/colmo de 6,0 metros, sendo o consumo de energia elétrica correspondente a 0,322 Kwh/colmo. Para a perfuração da parede dos colmos, necessitou-se de uma pessoa que, sem treinamento, e utilizando-se do gabarito anteriormente citado, apresentou um rendimento de 36 minutos/colmo de 6,0 metros, sendo o consumo de energia elétrica correspondente a 0,21 Kwh/colmo de 6,0 metros.

O custo da energia elétrica foi obtido através de informação verbal na EletroPaulo - SA do Município de Taubaté -SP.

Para a composição do custo de produção total consultou-se SÉRIE INFORMAÇÕES ESTATÍSTICAS DA AGRICULTURA (1996).

3.8.2. Custo de implantação de sistema de drenagem

A metodologia de custo de implantação de 1,0 hectare de sistema de drenagem subterrânea, com drenos de pvc corrugado flexível, espaçados de 30 m, foi obtido em COSTA (1994), e comparado aos demais tubos utilizados neste trabalho.

Informações mais detalhada da composição dos custos são encontradas em resultados e discussão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características físicas do bambu gigante

Com relação às características físicas dos 25 colmos de bambu gigante, os dados constantes do Quadro 3, revelam que:

O diâmetro interno variou de 95 a 130,15 mm para base, com valor médio de 114,43 mm, e de 91,7 a 134,15 mm para o ápice, com valor médio de 105,48 mm.

A espessura da parede variou de 10,4 a 21,9 mm para base, com valor médio de 13,7 mm, e de 7,3 a 12,2 mm para o ápice, com valor médio de 9,3 mm. Os valores encontrados para a espessura dos colmos de bambu gigante neste trabalho estão compreendidos no intervalo de espessura de 0,01 a 0,03 m, encontrado para essa espécie por SALGADO et alii (1987).

O diâmetro externo variou de 122,1 a 165,8 mm para a base, com valor médio de 141,8 mm, e de 109,5 a 152,6 mm para o ápice, com valor médio de 124,2 mm. Estes valores são próximos aos valores de diâmetros encontrados de 10 a 20 cm por DEDECA (1958), de 14 cm por CIARAMELLO & AZZINI (1971) e de 13 a 18 cm por NASCIMENTO (1990), para essa espécie de bambu gigante.

O perímetro variou de 405 a 525 mm para base, com valor médio de 446,6 mm, e de 345 a 500 mm para o ápice, com valor médio de 393,4 mm.

O comprimento dos internódios variou de 447,08 a 636,44 mm, com valor médio de 517,26 mm. Estes valores, são superiores aos valores de 20 a 40 cm encontrados por DEDECA, (1958), de 37 cm, por CIARAMELLO & AZZINI (1971),

de 20 a 45 cm por SALGADO et alii (1987), e de 18 a 60 cm, encontrado por NASCIMENTO (1990).

Quadro 3. Características físicas de 25 colmos de bambu gigante verdes com 6 metros de comprimento.

bambu	base DI *	ápice DI (mm)	base E	ápice E	base DE	ápice DE	base P	ápice P	internódio C	massa m
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg)
01	115,00	106,20	12,125	09,88	139,25	125,95	435	395	520,45	18,40
02	115,35	097,00	12,20	09,58	139,75	116,15	440	370	489,33	24,90
03	104,30	098,75	11,88	08,02	128,05	114,80	405	360	519,27	24,10
04	130,15	109,45	10,40	09,72	150,95	128,90	480	415	661,56	27,60
05	127,70	104,30	15,28	08,85	158,25	122,00	505	387	442,08	31,00
06	124,95	094,85	10,48	09,22	145,90	113,30	465	365	530,18	27,40
07	115,45	106,25	15,95	10,44	147,35	127,12	470	400	449,31	33,50
08	106,85	103,70	14,72	08,35	136,30	120,40	430	380	544,54	26,80
09	095,00	091,70	13,58	08,52	122,15	108,75	390	345	488,67	23,50
10	113,00	104,95	14,02	09,98	141,05	124,90	445	400	497,42	26,30
11	116,75	108,25	10,50	08,35	137,75	124,95	440	390	636,44	23,70
12	116,15	100,20	12,08	08,15	140,30	116,50	445	370	530,40	27,00
13	123,30	134,15	21,90	12,28	167,10	158,70	520	500	509,36	49,70
14	103,70	095,35	13,08	07,08	129,85	109,50	410	350	472,50	23,20
15	112,50	109,15	13,75	08,55	140,00	126,25	415	400	481,42	30,20
16	116,10	095,35	11,42	07,32	138,95	110,00	440	350	458,33	22,60
17	117,05	108,35	13,22	09,35	143,50	127,05	450	405	531,09	26,00
18	101,10	097,70	14,48	09,50	130,05	116,70	410	375	508,27	26,50
19	119,00	109,95	10,88	09,98	140,75	129,90	445	410	576,50	26,10
20	133,70	125,80	16,08	10,95	165,85	147,70	525	465	571,70	41,20
21	113,95	104,20	11,65	07,68	137,25	119,55	445	380	505,64	25,90
22	102,70	105,85	14,45	10,05	131,60	125,95	415	395	560,40	31,20
23	106,00	092,95	13,85	10,65	133,70	114,25	405	370	447,08	25,80
24	102,70	102,60	17,85	10,12	138,40	122,85	435	390	451,38	34,40
25	128,25	130,05	17,30	11,28	162,85	152,60	500	480	548,10	43,20
MÉDIA	114,43	105,48	13,72	9,35	141,88	124,19	446,6	393,9	517,26	28,81

* DI = diâmetro interno, E = espessura, DE = diâmetro externo, P = perímetro, C = comprimento dos internódios e m = massa do colmo.

A massa dos colmos de 6,0 metros, variou de 18,4 a 49,7 kg, com valor médio de 28,81 kg

Quadro 4. Características físicas de 25 colmos de bambu gigante secos ao ar, com 6 metros de comprimento.

bambu	base DI (mm)	ápice DI (mm)	base E (mm)	ápice E (mm)	base DE (mm)	ápice DE (mm)	base P (mm)	ápice P (mm)	intenódio C (mm)	massa m (kg)
01	114,00	106,20	11,72	09,72	137,45	125,65	430	390	520,45	017,60
02	111,55	096,30	12,20	09,50	135,95	115,30	420	370	489,33	24,90
03	101,20	096,60	11,42	07,98	124,05	112,55	385	355	519,27	18,00
04	127,35	108,60	10,40	09,62	148,15	127,85	470	407	661,56	22,60
05	125,35	101,70	14,72	08,78	154,80	119,25	490	375	442,08	20,90
06	121,85	093,10	10,22	08,85	142,30	110,80	455	360	530,18	22,20
07	112,90	103,65	15,55	10,32	144,00	124,30	455	395	449,31	25,40
08	101,30	101,15	13,80	08,22	128,90	117,60	405	370	544,54	17,80
09	090,85	090,75	12,70	08,35	116,25	107,45	365	340	488,67	18,60
10	109,90	102,80	13,30	09,58	136,50	121,95	430	385	497,42	19,60
11	111,45	107,20	10,02	08,35	131,50	123,90	415	385	636,44	17,30
12	110,10	096,20	11,65	08,08	133,40	112,35	420	360	530,40	18,10
13	123,30	134,15	21,90	12,28	167,10	158,70	520	500	509,36	49,70
14	099,00	090,25	12,18	07,08	123,35	104,40	390	335	472,50	11,30
15	100,35	107,35	12,95	08,40	126,25	124,15	405	395	481,42	22,40
16	113,90	095,35	10,75	07,32	135,40	110,00	430	345	458,33	17,40
17	111,75	107,65	12,00	09,15	135,75	125,95	425	395	531,09	17,90
18	099,45	097,65	14,32	09,32	128,10	116,30	400	375	508,27	22,20
19	116,95	107,15	10,80	09,98	138,55	127,10	430	405	576,50	17,60
20	133,70	120,10	14,25	10,35	162,20	140,80	515	455	571,70	30,70
21	109,70	100,05	10,60	07,65	130,90	115,35	415	370	505,64	15,00
22	101,90	105,85	14,02	09,72	129,95	125,30	410	395	560,40	30,00
23	094,80	89,80	12,68	10,42	120,15	110,65	380	360	447,08	16,80
24	102,20	101,25	17,28	09,73	136,75	120,72	430	385	451,38	29,60
25	119,50	128,85	16,80	11,10	153,10	151,05	485	475	548,10	36,70
MÉDIA	110,57	103,59	13,13	09,19	136,83	121,98	431	387,28	517,26	22,41

obs: valores entre asterísticos *25* representam colmos colocados para secar horizontalmente.

* DI = diâmetro interno, E = espessura, DE = diâmetro externo, P = perímetro, C = comprimento dos intenódios e m = massa do colmo.

Considerando os valores médios obtidos para a base e ápice dos 25 colmos verdes, os valores médios foram:

Diâmetro Interno	109,96 mm
Espessura	11,54 mm
Diâmetro Externo	133,04 mm
Perímetro	420 mm
Internódios	517,26 mm
Massa	28,81 kg

4.2. Secagem

A distinção entre dois métodos de secagem visou unicamente a observação visual de mudanças na linearidade dos colmos, quando estes são colocados horizontalmente no processo de secagem; Neste sentido, pode-se dizer que não houve diferença visual na linearidade dos colmos que secaram na horizontal, em relação aos que secaram na posição vertical.

As diferenças nas características físicas dos 25 colmos de bambu gigante devido a secagem, foram obtidas dos dados constantes dos Quadros 3 e 4, e podem ser observadas no Quadro 5.

HSIUNG (1988) relata contrações radiais de 4 a 5% e longitudinais de 0,3 a 0,5%; Entretanto, através dos dados médios dos Quadros 5 e 3, pode-se calcular em termos de valores médios, que a redução nos diâmetros interno e externo, bem como no perímetro, devido ao processo de secagem, foi da ordem de 3,5 % para a base, e de 1,8 % para o ápice, sendo que não se encontrou redução no comprimento dos colmos neste trabalho.

Pelo mesmo raciocínio, a espessura da parede dos colmos, reduziu em 4,3 % para a base e 1,7 % para o ápice devido ao processo de secagem.

Quadro 5. Diferenças entre Diâmetro Interno (DI), Espessura (E), Diâmetro Externo (DE) e Perímetro (P) da base e do ápice, e valores em kg das diferenças de massa (M), de 25 colmos de 6 metros de bambu gigante em função da secagem.

bambu	base DI (mm)	ápice DI (mm)	base E (mm)	ápice E (mm)	base DE (mm)	ápice DE (mm)	base P (mm)	ápice P (mm)	M (kg)
01	01,00	00,00	0,400	0,150	01,80	00,30	05,0	05,0	00,80
02	03,80	00,70	0,000	0,075	03,80	00,85	20,0	0,00	00,00
03	03,10	02,15	0,450	0,050	04,00	02,25	20,0	05,0	06,10
04	02,80	00,85	0,000	0,100	02,80	01,05	10,0	08,0	05,00
05	02,35	02,60	0,550	0,075	03,45	02,75	15,0	12,5	10,10
06	03,10	01,75	0,250	0,375	03,60	02,50	10,0	05,0	05,20
07	02,55	02,60	0,400	0,112	03,35	02,82	15,0	05,0	08,10
08	05,55	02,55	0,925	0,125	07,40	02,80	25,0	10,0	09,00
09	04,15	00,95	0,875	0,175	05,90	01,30	25,0	05,0	04,90
10	03,10	02,15	0,725	0,400	04,55	02,95	15,0	15,0	06,70
11	05,30	01,05	0,475	0,000	06,25	01,05	25,0	05,0	06,40
12	06,05	04,00	0,425	0,075	06,90	04,15	25,0	10,0	08,90
13	0,000	00,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	00,0	00,00
14	04,70	05,10	0,900	0,000	06,50	05,10	20,0	15,0	11,90
15	12,15	01,80	0,800	0,150	13,75	02,10	10,0	05,0	07,80
16	02,20	00,00	0,675	0,000	03,55	0,000	10,0	05,0	05,20
17	05,30	00,70	1,225	0,200	07,75	01,10	25,0	10,0	08,10
18	01,65	00,05	0,150	0,175	01,95	00,40	10,0	00,0	04,30
19	02,05	02,80	0,075	0,000	02,20	02,80	15,0	05,0	08,50
20	00,00	05,70	1,825	0,600	03,65	06,90	10,0	10,0	10,50
21	04,25	04,15	1,050	0,025	06,35	04,20	30,0	10,0	10,90
22	00,80	00,00	0,425	0,325	01,65	00,65	05,0	00,0	01,20
23	11,20	03,15	1,175	0,225	13,55	03,60	25,0	10,0	09,00
24	00,50	01,35	0,575	0,392	01,65	02,14	05,0	05,0	04,80
25	08,75	01,20	0,500	0,175	09,75	01,55	15,0	05,0	06,50
MÉDIA	04,03	01,97	0,619	0,165	05,25	02,30	16,2	6,90	06,67

valores entre asteriscos, *25* representam colmos que secaram na horizontal.

De acordo com LIESE (1985) todas as espécies de bambu estão sujeitas a rachar durante o processo de secagem, sendo que as rachaduras começam nos nós, mas sua extensão depende da espécie e da espessura da parede.

OLIVEIRA (1992) observou após 45 dias de secagem que, dos colmos de **Bambusa vulgaris** utilizados para a fabricação de tubos, que não tiveram nenhum tipo de tratamento, 39 % estavam em perfeitas condições, 39 % estavam somente rachados, e 22 % apresentavam rachaduras e ataque de brocas.

Embora o bambu seja um material biológico, a diferença encontrada entre os valores médios de espessura da parede da base e do ápice dos colmos de bambu verde foi de apenas 4,37 mm (Quadro 3).

Neste trabalho, onde se utilizou o bambu **Dendrocalamus giganteus**, não ocorreram rachaduras nos colmos de bambu, devido ao processo de secagem e/ou armazenamento, o que provavelmente se deve à homogeneidade dos colmos em termos de espessura, bem como ao baixo teor de umidade na época de colheita, e a espécie utilizada.

A literatura revela que a redução na massa de colmos do bambu gigante **Dendrocalamus giganteus** devido à secagem é da ordem de 50 %, conforme CIARAMELLO & AZZINI (1971) e NASCIMENTO (1990). Através dos dados médios dos Quadros 5 e 3, deduz-se uma redução na massa do colmo devido ao processo de secagem em termos médios de apenas 22 %, o que provavelmente deve-se ao baixo teor de umidade dos colmos, na época de colheita.

4.3. Avaliação da confecção dos tubos

4.3.1. Remoção dos séptos

Na confecção de tubos a partir de colmos de bambu gigante, o maior obstáculo é o diafragma ou sépto, existente na parte interna, nos nós, e que portanto necessita ser removido.

Neste trabalho, a remoção dos séptos foi feita por um dispositivo eletromecânico (protótipo), especificamente desenvolvido.

Os valores medidos dos diâmetros do internódio e nó para os oito tubos fabricados, encontram-se no Quadro 1 do Apêndice.

Para avaliação da remoção dos séptos feito pelo protótipo (perfurador longitudinal de bambu gigante) foram determinados, a partir dos dados do Quadro 1 do Apêndice, o diâmetro médio, do internódio e do sépto nodular (nó) para os oito tubos fabricados, e, calculadas as diferenças entre estes, conforme pode ser observado no

Quadro 6.

Quadro 6. Valores de diâmetro médio e das diferenças entre os diâmetros do internódio e do sépto nodular-nó, para os oito tubos fabricados.

BAMBU	Diâmetro	Diâmetro	Diâmetro	Diferença
Nº.	Médio (m)	Internódio (m)	Nó (m)	(m)
02	0,1051	0,1073	0,1029	0,0044
03	0,0992	0,1015	0,0969	0,0048
07	0,1079	0,1106	0,1052	0,0054
10	0,1084	0,1107	0,1061	0,0047
11	0,1090	0,1119	0,1062	0,0057
16	0,1065	0,1095	0,1034	0,0061
22	0,1049	0,1079	0,1020	0,0058
26	0,1175	0,1215	0,1135	0,0080
Média	0,1073	0,1101	0,1045	0,0058

Através dos resultados apresentados no Quadro 6, pode -se considerar que a máquina de perfuração longitudinal de bambu gigante apresentou um bom desempenho, entre 101 e 112 mm, uma vez que este corresponde ao intervalo de diâmetro do internódio de aproximadamente 90% dos bambus secos. Embora esteja dentro deste intervalo de diâmetro, o bambu 16, foi o único que apresentou uma diferença entre os diâmetros de internódio e nó pouco superior a média. Contudo tal fato se deve provavelmente à maior tortuosidade apresentada por este colmo de bambu, comparativamente aos demais. Observa-se também que o máximo diâmetro do nó que o protótipo perfurou foi 113 mm, correspondente ao bambu 26, que apresentou o valor mais alto para a diferença entre os diâmetros do internódio e nó, com valor cerca de 2,3 mm superior ao valor médio de 5,8 mm. Esta maior diferença, é devida a uma menor pressão exercida pela mola da haste que controla a movimentação da ferramenta de corte,

forçando-a contra a parede interna do bambu, quando trabalha em bambu de maior diâmetro, conforme já relatou ALMEIDA NETO (1992). Assim, para fabricação de tubos de bambu em maior escala, deve-se pensar na possibilidade de se ter uma ferramenta de corte específica para dada faixa de diâmetro do colmo de bambu.

Os valores das diferenças entre diâmetros do internódio e nó, constantes do Quadro 6, estão graficamente representados na Figura 7.

Figura 7 Gráfico de barras da diferença entre os diâmetro do internódio e do nó para os tubos de bambu fabricados por processo mecânico.

Este sistema de perfuração permite a execução de condutos de bambu gigante com 6,0 metros de comprimento e diâmetro interno variando de 96 a 128 mm.

De um modo geral, os resultados obtidos para a diferença entre os diâmetros do internódio e do nó, neste trabalho, foram menores que os obtidos por ALMEIDA NETO (1992), que também utilizou um dispositivo mecânico para fabricar tubos de bambu gigante, tendo 6,9 mm como valor médio para as diferenças entre os diâmetros do internódio e do nó.

Os valores dos diâmetros, médio, do internódio e do sépto nodular (nó),

para os 3 conjuntos de tubos de bambus testados hidraulicamente, (Quadros 7, 8 e 9), foram obtidos da junção dos valores constantes do Quadro 1 do Apêndice.

Quadro 7. Valores médios do diâmetro do internódio (E), e do sépto nodular-nó (N), para o conjunto de tubos de bambu secos, denominado bambu 1, testados hidraulicamente.

bambu	D1	D2	D3 (mm)	D4	Dmédio
2+22	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)
E-06	104,5	107,3	111,6	107,6	107,75
N-06	103,7	107,7	107,4	102,2	105,25
E-07	105,2	108,5	110,5	107,8	108,00
N-07	101,4	102,3	102,8	105,0	102,88
E-08	105,5	107,7	109,1	106,8	107,23
N-08	101,4	103,4	104,0	102,4	102,80
E-09	105,1	108,6	108,5	104,3	106,62
N-09	097,0	102,8	100,9	100,2	100,22
E-10	102,8	106,3	107,3	104,9	105,32
N-10	096,2	99,8	098,8	097,0	097,95
E-11	101,7	104,3	106,4	102,7	103,78
N-11	094,8	098,6	098,3	097,0	097,18
E-12	097,8	104,4	106,8	103,6	103,15
N-12	097,4	098,9	097,4	100,1	098,45
N-01	101,9	099,0	100,0	101,4	100,56
E-02	104,9	103,8	105,0	106,4	105,02
N-02	102,0	100,5	101,4	103,8	101,92
E-03	106,4	105,0	105,8	107,5	106,18
N-03	103,4	101,5	103,6	105,0	103,38
E-04	107,7	107,5	109,0	109,6	108,45
N-04	102,8	100,8	101,5	099,5	101,15
E-05	109,1	106,5	105,4	108,0	107,25
N-05	102,3	100,2	100,8	102,8	101,52
E-06	111,6	108,8	107,7	110,4	109,62
N-06	104,4	102,0	102,3	102,7	102,85
E-07	109,6	108,1	110,6	111,6	109,98
N-07	104,8	101,6	101,4	101,0	102,20
E-08	111,3	108,0	107,5	111,0	109,45
N-08	102,2	102,4	102,7	102,0	102,32
E-09	109,0	108,1	111,1	111,4	109,90
N-09	104,3	102,9	100,9	102,2	102,58
E-10	111,0	110,5	108,4	108,8	109,68
N-10	102,6	103,4	100,7	101,1	101,95
E-11	107,5	107,9	108,9	108,8	108,28
média					101,44

Obs.: Valores entre asterísticos *E-12*, representam ponto de junção dos tubos

Através do Quadro 7 observa-se que conjunto denominado tubo de bambu 1 (tubo 02 + tubo 22), apresentou um diâmetro na entrada de 107,75 mm, referente ao internódio E-06, e um diâmetro na saída de 108,28 mm, referente ao internódio E-11, o

que corresponde a uma diferença de apenas 0,53 mm. O ponto de junção deste tubos foi feito entre os diâmetros 98,45 mm referente ao nó N-11, e 100,56 mm referente ao nó N-01, oque representa uma diferença de ampliação de apenas 2,11 mm no diâmetro..

Ainda no Quadro 7 calculando-se o diâmetro médio do internódio e do nó para o conjunto bambu 1, pode-se deduzir que o diâmetro médio dos internódios foi de 107,39 mm e que o diâmetro médio dos nós foi de 101,48 m, o que dá uma diferença entre estes diâmetros de 5,91 mm, valor considerado próximo ao valor médio 5,86 mm demonstrado no Quadro 6. Estas diferenças podem ser observadas na Figura 8.

Figura 8. Gráfico de barras da diferença entre os diâmetro do internódio e do nó para os conjuntos de bambu testados hidráulicamente, e valor médio de todos os tubos de bambu.

Deste modo, pode-se dizer que o conjunto de tubos denominado tubo de bambu 1, apresentou homogeneidade em termos de diâmetro, tanto de entrada e saída como para os internódios e nós.

Através do Quadro 8 observa-se que conjunto denominado tubo de bambu 2 (tubo 11 + tubo 26), apresentou um diâmetro médio na entrada de 115,88 mm, referente ao internódio E-01, e um diâmetro médio na saída de 114,08 mm, referente ao

internódio E-10, o que corresponde a uma diferença de apenas 1,8 mm. O ponto de junção deste tubos foi feito entre os diâmetros 108,60 mm referente ao internódio E-06, e 127,82 mm referente ao E-01, o que representa uma diferença de ampliação de 19 mm no diâmetro.

Quadro 8. Valores médios do diâmetro do internódio (E), e do sépto nodular-nó (N), para o conjunto de tubos de bambu secos, denominado bambu 2, testados hidráulicamente.

bambu 11+26	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)	Dmédio (mm)
E-01	113,7	116,4	118,0	115,4	115,88
N-01	110,5	110,4	109,8	109,9	110,15
E-02	116,5	117,7	113,3	114,2	115,42
N-02	109,7	111,4	109,4	110,3	110,20
E-03	111,9	116,9	116,2	116,2	115,30
N-03	106,7	106,6	107,3	109,7	107,58
E-04	116,0	112,1	110,4	113,0	112,88
N-04	106,0	105,5	104,3	103,9	104,92
E-05	111,4	112,0	110,3	110,7	111,10
N-05	104,3	102,5	099,8	101,7	102,08
E-06	111,0	110,0	106,8	106,6	108,60
E-01	127,6	127,7	128,0	128,0	127,82
N-01	123,4	122,6	125,2	121,7	123,22
E-02	128,8	127,7	122,2	128,0	126,68
N-02	118,0	119,4	119,7	116,2	118,32
E-03	128,3	125,6	125,5	127,4	126,70
N-03	116,3	113,4	115,7	114,5	114,98
E-04	125,3	122,4	128,5	128,0	126,05
N-04	119,3	117,5	116,2	115,8	117,20
E-05	124,8	120,7	120,8	125,0	122,82
N-05	118,7	119,0	115,7	115,5	117,22
E-06	121,2	119,3	122,3	125,4	122,05
N-06	108,2	106,1	103,6	107,6	106,38
E-07	120,3	118,4	118,2	121,5	119,60
N-07	110,8	108,5	111,7	112,1	110,78
E-08	118,7	116,0	117,8	120,5	118,25
N-08	107,4	105,8	106,4	110,5	107,52
E-09	116,2	113,5	105,7	108,3	110,92
N-09	105,8	106,0	106,8	104,2	105,70
E10	113,8	115,8	114,2	112,5	114,08
média					118,98

Obs.: Valores entre asteriscos *E-12*, representam ponto de junção dos tubos

Ainda no Quadro 8 calculando-se o diâmetro médio dos internódios e dos nós para o conjunto bambu 2, pode-se deduzir, que o diâmetro médio dos internódios foi de 126,28 mm e que o diâmetro médio dos nós foi de 111,16 m, o que dá uma diferença

entre estes diâmetros de 15,12 mm, valor considerado muito maior que o valor médio 5,86 mm demonstrado no Quadro 6. Estas diferenças podem ser observadas na Figura 8.

Deste modo, pode-se dizer que o conjunto de tubos denominado bambu 2, embora tenha apresentado homogeneidade devido a pequena diferença entre os diâmetros de entrada e saída, o mesmo não ocorreu com relação aos diâmetros dos internódios e dos nós.

Quadro 9. Valores médios do diâmetro do internódio (E), e do sépto nodular-nó (N), para o conjunto de tubos de bambu secos, denominado bambu 3, testados hidráulicamente.

bambu 03+10	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)	Dmédio (mm)
N-08	098,9	098,5	097,6	098,1	098,28
E-09	105,3	102,6	101,2	102,7	102,95
N-09	095,9	094,9	095,0	096,7	095,62
E-10	103,6	101,7	100,5	101,0	101,70
N-10	095,9	095,7	098,0	094,0	095,90
E-11	103,0	100,0	099,0	100,7	100,68
N-11	093,2	092,4	090,9	092,4	092,22
E-12	099,9	100,3	096,7	097,8	098,68
N-01	109,0	114,3	109,7	106,4	109,85
E-02	110,6	107,7	110,5	114,8	110,90
N-02	105,5	103,7	105,5	114,8	107,38
E-03	112,4	109,8	111,5	115,3	112,25
N-03	106,6	104,3	106,4	108,5	106,45
E-04	115,2	111,9	111,0	114,5	113,15
N-04	104,0	103,0	105,0	108,0	105,00
E-05	113,0	110,4	112,0	114,6	112,50
N-05	108,4	107,0	107,0	109,0	107,85
E-06	113,6	112,2	111,0	112,4	112,30
N-06	101,8	102,1	102,4	102,5	102,20
E-07	113,5	109,8	110,7	111,3	111,32
N-07	108,9	106,6	108,3	108,8	108,15
E-08	111,1	111,6	112,0	113,0	111,92
N-08	106,5	103,8	105,8	106,1	105,55
E-09	111,2	111,3	111,7	111,3	111,38
N-09	107,1	107,4	105,0	105,2	106,18
E-10	110,0	108,6	110,0	109,7	109,58
N-10	107,2	106,6	105,5	106,5	106,45
E-11	109,0	107,2	108,1	109,7	108,50
N-11	104,7	105,5	106,0	106,0	105,55
E-12	108,9	108,0	107,7	109,4	108,50
N-12	104,4	102,9	101,2	101,5	102,50
E-13	106,6	105,4	107,1	107,3	106,60
média					105,88

Obs.: Valores entre asterísticos *E-12*, representam ponto de junção dos tubos

Do mesmo modo, no Quadro 9., observa-se que o conjunto denominado tubo de bambu 3 (tubo 03 + tubo 10) apresentou um diâmetro médio na entrada de 98,28 mm, referente ao internódio E-08, e um diâmetro médio na saída de 106,60 mm, referente ao internódio E-13, o que corresponde a uma diferença de 8,32 mm. A junção deste tubos foi feito entre os diâmetros 98,68 mm referente ao internódio E-12, e 109,85 mm referente ao N-01, o que representa uma diferença de ampliação de 11,17 mm no diâmetro.

Ainda no Quadro 9 calculando-se o diâmetro médio dos internódios e dos nós para o conjunto bambu 3 deduz-se que o diâmetro médio dos internódios foi de 108,31 mm, e que o diâmetro médio dos nós foi de 103,44 mm, o que dá uma diferença entre estes diâmetros de 4,87 mm, valor considerado menor que o valor médio 5,86 mm demonstrado no Quadro 6. Estas diferenças podem ser observadas na Figura 8.

Pode-se dizer que o conjunto de tubos denominado tubo de bambu 3, apresentou homogeneidade devido a pequena diferença entre os diâmetros dos internódios e dos nós, embora o mesmo não tenha ocorrido em termos dos diâmetros de entrada e saída.

4.4. Caracterização hidráulica dos tubos

Os dados experimentais de seis repetições, referentes às variações da coluna de mercúrio ou tetracloreto de carbono, no diafragma (h), a altura da coluna de água nos piezômetros (P), e temperatura (t) da água utilizada no teste, obtidos para tubos de drenagem de bambu gigante, perfurados mecanicamente, e para tubos de drenagem, corrugados dos tipos rígido e flexível, encontram-se nos Quadros 2, 3, 4, e 5, 6 do Apêndice respectivamente.

A partir daqueles dados, foram calculados os valores de vazão (Q), velocidade (v), perda de carga (J), viscosidade cinemática (ν), número de Reynolds (Re), coeficiente de atrito da equação de Darcy-Weisbach (f), coeficiente de rugosidade da equação de Hazen-Williams (C), coeficiente de rugosidade da equação de Manning (n), rugosidade relativa (e/D) e rugosidade absoluta (e), cujos valores encontram-se nos Quadros 7, 8, 9, 10 e 11 do Apêndice.

A vazão nos testes variou de 0,0007 a 0,00705 m³/s, sendo o valor superior limitado pela capacidade do sistema e o inferior limitado pela leitura nos piezômetros. A perda de carga de modo geral, variou de 0,0003 a 0,0283 m/m, para os tubos testados. A velocidade nos testes variou de 0,078 a 1,074 m/s, a carga hidráulica variou de 0,80 a 0,68 metros, a montante, e, de 0,37 a 0,27 metros a jusante dos tubos, a temperatura variou de 17 a 28 °C, e o número de Reynolds variou de 9.790 a 106.694.

4.4.1. Análises de regressão

Com os dados constantes dos Quadros 7, 8, 9, 10 e 11 do Apêndice, fez-se uma análise de regressão estatística, através do programa computacional ESTATIGRAF, obtendo os melhores ajustes para os dados experimentais, bem como o nível de significância do modelo pelo teste F, através da análise de variância.

De um modo geral quando se tem repetições dos valores da variável dependente (x), é comum expressar um resultado médio das repetições, contudo, neste trabalho os valores da variável dependente não foram iguais, pois cada curva foi considerada uma repetição. Assim, o efeito médio foi expresso como o somatório de todas as repetições, fazendo-se a regressão, sobre todas as repetições juntas.

4.4.1.1. Perda de carga

Através do Quadro 10 observa-se que as equações de regressão da perda de carga hidráulica J (m/m) versus a vazão Q (m³/s), foram altamente significativas, apresentando coeficientes de determinação $r^2 = 0,99$, bem como a análise de variância revelou que o modelo é significativo pelo teste F , ao nível de 1% de probabilidade.

Através das equações de regressão da perda de carga hidráulica J (m/m) versus a vazão Q (m³/s), constantes do Quadro 10, pode-se observar que os tubos de bambu gigante apresentaram utilizando a equação média, valores de perda de carga hidráulica cerca de 60 % inferiores ao tubo de pvc corrugado flexível, e 48 % inferiores ao tubo corrugado rígido, considerando uma vazão de 0,001 m³/s, como exemplo.

Quadro 10. Análise de regressão de $J \times Q$, para os tubos testados.

Tubos drenagem	Mod.	Equação	r^2	P
corrugado.rigido	Pot.	$J= 156,36 Q^{1,88}$	0,99	< 0,01 **
corrugado flexível	Pot.	$J= 253,48 Q^{1,84}$	0,99	< 0,01 **
bambu 1	Pot.	$J= 55,84 Q^{1,74}$	0,99	< 0,01 **
bambu 2	Pot.	$J= 62,99 Q^{1,78}$	0,99	< 0,01 **
bambu 3	Pot.	$J= 67,92 Q^{1,78}$	0,98	< 0,01 **
bambu médio		$J= 62,25 Q^{1,77}$		

** expressam significância pelo teste F , ao nível de 1% de probabilidade.

De acordo com IRWYN & MOTYCKA, 1979, em tubos de drenagem corrugados, a natureza corrugada da parede interna faz com que a tubulação seja hidraulicamente rugosa, conferindo ao processo de fluxo uma perda de carga adicional, podendo-se considerar normal a ocorrência de maior perda de carga nos do tipo corrugado flexível devido ao menor espaçamento das corrugações, do que em tubos corrugados rígidos, ou tubos de bambu.

Por outro lado, deve-se considerar, entretanto, que o diâmetro dos tubos de pvc flexível e pvc rígido utilizados eram, respectivamente, cerca de 16,1 % e 11,56 % menores que o diâmetro médio dos tubos de bambu.

Através da substituição da velocidade (v), pela relação Q/S na equação de Darcy-Weisbach (eq. 7), e rearranjando-a, chega-se a seguinte expressão:

$$\frac{hf}{L} = J = \frac{8fQ^2}{g\pi^2 D^5}. \quad (30)$$

Verifica-se, então pela equação (30), que a perda de carga é diretamente proporcional a Q^2 , e inversamente proporcional a D^5 , e considerando, o diâmetro médio dos bambus como 0,109 m, uma vazão de 0,001 m³/s e um coeficiente de atrito médio dos bambus (f) de 0,049 conforme Quadro 11 obtém-se uma perda de carga média de 0,00025 m/m. Uma redução de 16,1 % e 11,56 % no diâmetro médio do tubo de bambu, causaria uma inversão nos valores, ficando então os tubos de pvc corrugado, com perda de carga inferiores aos bambus, entre 60 e 65 % para o flexível e entre 15 e 31 % para o rígido, considerando os valores mínimo e máximo de vazão utilizados neste trabalho. Deste modo pode-se afirmar que a diferença experimental observada é totalmente devida ao maior diâmetro do bambu.

Um outro aspecto é que, tanto os tubos de bambu quanto o tubo corrugado rígido apresentam uniões, que são responsáveis por uma perda de carga localizada que ocorreram somente em vazões mais elevadas e foram da ordem de 2 % e 25 % para os conjuntos de tubos de bambu 1 e 2 respectivamente, e 10 % para o tubo corrugado rígido. Em vazões mais baixas, os piezômetros P2 e P3, devido a baixa velocidade da água não tiveram sensibilidade para registrar a perda de carga localizada. O conjunto tubo de bambu 3 não apresentou perda de carga localizada. A variação nas perdas de carga localizadas entre os três tubos de bambu, deve-se às diferenças de

ampliação de diâmetro nas uniões, pois, como foi visto as uniões foram compostas por ampliação de diâmetro, em 2,11 mm, 19 mm e 11,17 mm para os tubos bambu 1, 2 e 3, respectivamente.

Contudo, deve-se também observar que o bambu é um material biológico e que o diâmetro externo e espessura de parede médios para a espécie *Dendrocalamus giganteus* são respectivamente, 0,14 m (CIARAMELLO & AZZINI, 1971) e 0,02 m (SALGADO et alii, 1987), sendo praticamente impossível a obtenção de tubos deste bambu com diâmetros semelhantes aos de pvc, e deve-se então ter um cuidado especial na adoção de outras espécies de bambu para utilização em drenagem, principalmente porque possuem diâmetros menores que os apresentados pelo ***Dendrocalamus giganteus***, e poderiam proporcionar uma perda de carga muito elevada.

Com relação somente aos tubos de bambu, o tubo de bambu 2, possui diâmetro cerca de 12 % maior que os tubos de bambu 1 e 3. Assim, tomando-se a vazão de 0,001 m³/s como exemplo e calculando a perda de carga dos tubos de bambu através das respectivas equações de regressão, pode-se observar que a perda de carga do bambu 2, é cerca de 11 % inferior à perda de carga média dos bambus 1 e 3. Observando o acréscimo médio de 12 % para o diâmetro do bambu 2 em relação aos bambus 1 e 3, utilizando o coeficiente (f) médio de 0,049 dos bambus (Quadro 11) e, fazendo-se a mesma assunção anterior com relação às proporcionalidades da vazão e do diâmetro, chega-se a um valor de 44 % na redução da perda de carga, e pode-se então afirmar que a redução na perda de carga dos bambu 2 em relação aos bambus 1 e 3, é exclusivamente devida ao aumento do diâmetro no conjunto tubo de bambu 2.

Curvas de regressão de $J \times Q$, para tubos de drenagem testados, podem ser vistas na Figura 9.

Figura 9. Curvas de regressão de $J \times Q$, para tubos de drenagem testados

Tdc. Flex. est. = valores estimados para tubo de drenagem corrugado flexível.
 Tdc. Rig. est. = valores estimados para tubo de drenagem corrugado rígido.
 Td. Bambu est. = valores estimados para tubo de drenagem de bambu.

Com relação aos tubos de pvc, calculando-se a perda de carga para os dois tubos, através das respectivas equações de regressão (Quadro 10) tomando-se a vazão de $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$, observa-se que a perda de carga no tubo tipo rígido é cerca de 53 % menor que no tipo flexível. Entretanto, o diâmetro do tubo flexível é apenas 5,2 % menor que o diâmetro do tubo rígido. Assim, utilizando-se o coeficiente de rugosidade médio experimental de 0,031, para o tubo rígido, e aplicando a ele uma redução no diâmetro de 5,2 %, encontra-se para uma vazão de $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$, um aumento na perda de carga de cerca de 33 %, relativa à redução no diâmetro, portanto, pode-se deduzir, que pelo menos 14 % da perda de carga é devida às diferenças nas corrugações.

4.4.1.2 Regime de fluxo

O número de Reynolds é o adimensional que caracteriza o regime de um determinado fluxo em função da velocidade média do escoamento, do diâmetro do tubo e da viscosidade cinemática do líquido, e a literatura revela que se o escoamento ocorrer em Re inferior a 2000, o regime de fluxo é dito laminar, e se ocorre em Re superior a 4000, o regime de fluxo é dito turbulento.

Considerando todos os tubos testados, observa-se que o número de Reynolds calculado pela equação 3, apresentou um valor mínimo de $Re = 9790$ e um valor máximo de $Re = 106694$, o que caracteriza o regime de fluxo neste trabalho como turbulento.

Dentro dos limites experimentais utilizados neste trabalho, demonstra-se no Quadro 11 os valores mínimo, médio e máximo para o coeficiente de atrito da equação de Darcy-Weisbach, e de rugosidade das equações de Manning e Hazen-Williams, e para as rugosidades, relativa e absoluta, bem como os respectivos desvio padrão e coeficiente de variação para todos os tubos testados.

4.4.1.3. O Coeficiente (f)

Com relação ao coeficiente (f) da equação de Darcy-Weisbach, pode-se observar no Quadro 11, que os tubos de drenagem de bambu, apresentaram valores de f , mínimo de 0,032 e máximo de 0,198, com um valor médio de $f = 0,049$ e desvio padrão da média de 0,012 e coeficiente de variação de 26,17 %.

Verifica-se ainda que o valor médio de $f = 0,049$ para os tubos de bambu foi superior ao valor médio de $f = 0,031$ encontrado para o tubo corrugado rígido, mas ligeiramente inferior ao tubo corrugado flexível, cujos dados de desvio padrão e

coeficiente de variação são muito inferiores aos obtidos para os tubos de bambu.

Quadro 11. Valores mínimo, médio, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação para os coeficientes de rugosidade (f), (C) e (n), rugosidades relativa (e/D) e absoluta (e), para os tubos de drenagem testados.

		Tdc rígido.	Tdc flexível.	Td bambu 1	Td bambu 2	Td bambu 3	Td b média
--	--	------------------------	--------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	-----------------------

	min	0,026	0,042	0,032	0,038	0,030	
	med	0,031	0,051	0,042	0,065	0,039	0,049
f	max	0,046	0,077	0,083	0,138	0,198	
	dp	0,0033	0,006	0,009	0,012	0,015	
	cv %	10,66	11,47	20,92	18,65	38,95	

	min	0,0097	0,012	0,0110	0,0120	0,0109	
	med	0,0107	0,014	0,0126	0,0159	0,0121	0,0135
n	max	0,0130	0,017	0,0180	0,0230	0,0270	
	dp	0,0005	0,0008	0,0013	0,0014	0,0016	
	cv %	5,06	5,68	10,00	8,57	13,36	

	min	103	83	79	61	50	
	med	120	93	104	83	110	99
C	max	139	99	120	104	132	
	dp	5,12	2,32	7,04	4,62	8,02	
	cv %	4,26	2,49	6,71	5,54	7,28	

	min	0,0008	0,013	0,0051	0,0096	0,0020	
	med	0,0046	0,021	0,0134	0,0400	0,0113	0,0216
e/D	max	0,0130	0,055	0,0654	0,1640	0,2757	
	dp	0,002	0,006	0,009	0,0087	0,0240	
	cv %	44,17	30,58	65,14	46,22	212,70	

	min	0,00008	0,0012	0,0005	0,0011	0,0002	
	med	0,00044	0,0020	0,0014	0,0047	0,0012	0,0024
e	max	0,00151	0,0051	0,0069	0,0194	0,0290	
	dp	0,00019	0,0006	0,0009	0,0022	0,0025	
	cv %	44,14	30,59	65,12	46,22	212,72	

O valor médio de $f = 0,049$, dos bambus, é ligeiramente inferior a 0,050,

valor médio encontrado por ALMEIDA NETO (1992), para tubos de bambu gigante da mesma espécie utilizada neste trabalho, e com diâmetro interno variando entre 0,090 e 0,115 m.

Como se viu, para as condições deste trabalho, o regime de fluxo foi turbulento, e observando os valores do coeficiente f obtidos pela equação (7) para todos os tubos testados (Quadros 7, 8, 9, 10 e 11), verifica-se que estes se desenvolveram de modo geral em regime turbulento de transição, onde a resistência ao escoamento deve-se ao efeito combinado das forças devidas à velocidade e à inércia. Assim, a distribuição de velocidade no percurso de tubulação considerado depende da turbulência, que é influenciada pelas condições físicas da parede interna do tubo.

Embora a análise de regressão indique a existência de uma função que descreva a relação entre o número de Reynolds e o coeficiente de atrito (f), para tubos de bambu, observa-se através do Quadro 12., que dos tubos de drenagem de bambu, o bambu 3 apresentou um coeficiente de regressão muito baixo, mas apresentou significância pelo teste F, ao nível de 5%. Por outro lado, os bambus 1 e 2, apresentaram um valor marginal de coeficiente de determinação r^2 de 0,68 e 0,62, respectivamente para um ajuste potencial, mas, para o tubo de bambu 2, a análise de variância revelou que o modelo só foi significativo pelo teste F, ao nível de 8 %.

Quadro.12 Análises de regressão de $f \times Re$, para os tubos testados.

Tubos drenagem	Mod.	Equação	r^2	P
corrugado.rigido	Pot.	$f = 0,122 Re^{-0.126}$	0,39	< 0,05 *
corrugado.flexível	Pot.	$f = 0,318 Re^{-0.174}$	0,79	< 0,05 *
bambu 1	Pot.	$f = 0,712 Re^{-0.269}$	0,68	< 0,05 *
bambu 2	Pot.	$f = 0,656 Re^{-0.221}$	0,62	< 0,08 ns
bambu 3	Pot.	$f = 0,391 Re^{-0.221}$	0,40	< 0,05 *
bambu médio	Pot.	$f = 0,586 Re^{-0.237}$		

*representa significância pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade

Curvas de regressão de $f \times Re$, para os tubos de drenagem testados, são mostradas na Figura 10, considerando que a maioria dos dados está na região de transição entre os regimes de fluxo turbulento liso e turbulento rugoso, pode-se depreender que neste caso, a rugosidade relativa é um parâmetro mais adequado para a determinação de (f) .

Figura 10. Curvas de regressão de $f \times Re$, para os tubos de drenagem testados.

Tdc. Flex. est. = valores estimados para tubo de drenagem corrugado flexível.

Tdc. Rig. est. = valores estimados para tubo de drenagem corrugado rígido.

Td. Bambu est. = valores estimados para tubo de drenagem de bambu.

No Quadro 13, são demonstradas as equações de regressão de $f \times e/D$, para todos os tubos testados. Observa-se através das regressões efetuadas, que existe uma elevada e significativa correlação entre os valores estimados e os observados, com coeficientes de determinação variando entre um mínimo de 0,84 para o tubo corrugado rígido e um máximo de 0,99 para o tubo de bambu 1, por exemplo.

Quadro 13. Análises de regressão de $f \times e/D$, para os tubos testados.

Tubos drenagem	Mod.	Equação	r^2	P
corrugado rígido	Pot	$f = 0,12 (e/D)^{0,25}$	0,84	< 0,01 **
corrugado flexível	Pot	$f = 0,25 (e/D)^{0,42}$	0,99	< 0,01 **
bambu 1	Pot	$f = 0,20 (e/D)^{0,35}$	0,99	< 0,01 **
bambu 2	Pot	$f = 0,24 (e/D)^{0,46}$	0,99	< 0,01 **
bambu 3	Pot	$f = 0,23 (e/D)^{0,37}$	0,93	< 0,01 **
bambu médio	Pot	$f = 0,2233 (e/D)^{0,393}$		

*representa significância pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade

A análise de variância da regressão de $f \times e/D$ revelou que o modelo potencial foi significativo pelo teste F ao nível de 1 %, para todos os tubos testados. Deste modo, pode-se deduzir que o coeficiente (f) para tubos de drenagem é altamente dependente da rugosidade relativa, podendo-se definir uma equação média para tubos de bambu que possibilite o cálculo de f , a partir de valores de e/D . Deste modo, utilizando-se o valor médio de $e/D = 0,0216$, chega-se utilizando a equação média a um valor de $f = 0,0495$, que é praticamente idêntico ao valor médio encontrado para f neste trabalho.

Curvas de regressão de $f \times e/D$, para os tubos de drenagem testados, são mostradas na Figura 11.

Figura 11. Curvas de regressão de $f \times e/D$, para os tubos de drenagem testados.

Tdc. Flex. est. = valores estimados para tubo de drenagem corrugado flexível.

Tdc. Rig. est. = valores estimados para tubo de drenagem corrugado rígido.

Td. Bambu est. = valores estimados para tubo de drenagem de bambu.

Da mesma forma, pode-se utilizar o valor médio de e/D dos tubos corrugado rígido e flexível para calcular o valor de f dos mesmos. Assim, utilizando as respectivas equações, chega-se para o tubo corrugado rígido, ao valor de $f = 0,0312$ que é idêntico ao valor médio já determinado para este tubo, e para o tubo corrugado flexível, ao valor de $f = 0,0493$, que é levemente inferior ao valor já determinado de f para o este tubo.

4.4.1.4. O Coeficiente (C)

Com relação ao coeficiente (C) da equação de Hazen-Willians, pode-se observar no Quadro 11, que os tubos de drenagem de bambu, apresentaram valores de C variando entre 50 e 132, com um valor médio de $C = 99$ e com desvio padrão da média de 6,56 e coeficiente de variação de 10,64 %.

O valor médio de $C = 99$ para os tubos de bambu foi inferior ao valor médio encontrado para o tubo corrugado rígido, mas ligeiramente superior ao tubo corrugado flexível, cujos dados de desvio padrão e coeficiente de variação foram inferiores aos obtidos para os tubos de bambu.

O valor médio obtido de $C = 99$ para tubos de bambu gigante, é superior aos valores médios ($C = 90$) e ($C = 89$), encontrados respectivamente por LIPANGILE (1988) e ALMEIDA NETO (1992), para tubos de bambu da mesma espécie aqui utilizada, provavelmente devido ao melhor acabamento conseguido para a remoção mecânica dos nós neste trabalho.

Embora não se tenha encontrado valores de diferença menor que 1 mm entre o raio de contração do nó e o raio do internódio através da remoção mecânica do nó, o que caracterizaria o processo de remoção do nó como "Bom" nó, conforme proposto por GLUBER (1979), o valor médio do $C = 99$ encontrado, foi superior ao valor de $C = 90$, encontrado pelo referido autor. Assim, com relação ao processo de remoção do nó, pode-se considerar que o mesmo foi bom, classificando o nó como "Bom nó".

O valor do coeficiente C a ser utilizado na equação de Hazen-Willians, para o dimensionamento de tubos de drenagem, pode ser determinado através do estabelecimento de equações de regressão entre este parâmetro e outros, tais como, os coeficiente (f) e (n), bem como, a rugosidade relativa (e/D).

Equações de regressão de $C \times f$, para todos os tubos testados, são mostradas no Quadro 14, onde pode-se verificar, que o melhor modelo de ajuste para as equações de regressão de $C \times f$ para tubos corrugados foi Linear, que embora tenha apresentado baixos valores para o coeficiente de determinação, revelou através da análise de variância que é significativo pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade.

Quadro 14. Análises de regressão de $C \times f$, para os tubos testados.

Tubos drenagem	Mod.	Equação	r^2	P
corrugado.rigido	Lin	$C = 151,1 - 993,6 f$	0,43	< 0,01 **
corrugado flexível	Lin	$C = 105,6 - 246,9 f$	0,38	< 0,01 **
bambu 1	Pot	$C = 36,41 f^{-0,33}$	0,85	< 0,01 **
bambu 2	Pot	$C = 34,98 f^{-0,32}$	0,76	< 0,01 **
bambu 3	Pot	$C = 44,14 f^{-0,28}$	0,55	< 0,01 **
bambu médio	Pot	$C = 38,48 f^{-0,31}$		

**representa significância pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade

Curvas de regressão de $C \times f$, para os tubos de drenagem testados, são mostradas na figura 12.

Embora os coeficientes de regressão de $C \times f$, para os tubos de bambu tenham variado entre um mínimo de 0,55 e máximo de 0,85, a análise de variância também revelou que os modelos foram significativos ao nível de 1% de probabilidade. Utilizando-se a equação média para os tubos de bambu, conforme o Quadro 14 e valor médio de $f = 0,049$ para estes tubos, chega-se ao valor de $C = 98,02$, que é levemente inferior ao valor médio já determinado para C .

O coeficiente de rugosidade (C), da equação de Hazen-Willians, é um coeficiente que expressa as características de rugosidade da parede interna dos tubos.

Figura 12. Curvas de regressão de $C \times f$, para os tubos de drenagem testados

Tdc. Flex. est. = valores estimados para tubo de drenagem corrugado flexível.

Tdc. Rig. est. = valores estimados para tubo de drenagem corrugado rígido.

Td. Bambu est. = valores estimados para tubo de drenagem de bambu.

Equações de regressão de $C \times e/D$, para todos os tubos testados, são mostradas no Quadro 15, onde observa-se que, com exceção do tubo corrugado flexível que apresentou, um baixo valor de r^2 , os demais apresentaram valores razoáveis entre 0,74 e 0,88, contudo, a análise de variância destes modelos, indicou que todos foram significativos pelo teste F, ao nível de probabilidade de 1 %.

As curvas relativas às regressões de $C \times e/D$, para todos os tubos testados, são mostradas na Figura 13.

Utilizando-se o valor médio de $e/D = 0,0216$, e a equação média para tubos de bambu do Quadro 15, chega-se a um valor de $C = 95,23$ que é inferior ao valor médio já determinado para C , mas que entretanto, é também superior aos valores encontrados na literatura, para este tipo de bambu.

Quadro 15. Análises de regressão de $C \times e/D$, para os tubos testados.

Tubos drenagem	Mod	Equação	r^2	P
corrugado.rigido	Pot	$C = 69,5 (e/D)^{-0,10}$	0,74	< 0,01 **
corrugado flexível	Pot	$C = 73,2 (e/D)^{-0,06}$	0,39	< 0,01 **
bambu 1	Pot	$C = 61,1 (e/D)^{-0,12}$	0,88	< 0,01 **
bambu 2	Pot	$C = 51,3 (e/D)^{-0,15}$	0,77	< 0,01 **
bambu 3	Pot	$C = 53,1 (e/D)^{-0,15}$	0,83	< 0,01 **
bambu médio	Pot	$C = 55,77 (e/D)^{-0,14}$		

**representa significância pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade

Figura.13 Curvas de regressão de $C \times e/D$, para todos os tubos testados

Tdc. Flex. est. = valores estimados para tubo de drenagem corrugado flexível.

Tdc. Rig. est. = valores estimados para tubo de drenagem corrugado rígido.

Td. Bambu est. = valores estimados para tubo de drenagem de bambu.

4.4.1.5. O Coeficiente (n)

Com relação ao coeficiente (n) da equação de Manning, pode-se observar no Quadro 11, que os tubos de drenagem de bambu, apresentaram valores de n variando entre 0,0109 e 0,0270, com um valor médio de $n = 0,0135$ e desvio padrão da média de 0,0014 e coeficiente de variação de 10,64 %.

Verifica-se ainda que o valor médio de $n = 0,0135$, encontrado para os tubos de bambu, foi superior ao valor médio encontrado para o tubo corrugado rígido, mas semelhante ao encontrado para o tubo corrugado flexível, cujos dados de desvio padrão e coeficiente de variação inferiores aos obtidos para os tubos de bambu.

O valor médio obtido de $n = 0,0135$ para tubos de bambu gigante, ficou muito próximo do valor médio $n = 0,0130$ e $n = 0,0136$, encontrados respectivamente por LIPANGILE (1988) e ALMEIDA NETO (1992), para tubos de bambu da mesma espécie aqui utilizada.

Embora não se tenha encontrado valores de diferença menor que 1 mm entre o raio de contração do nó e o raio do internódio, através da remoção mecânica do nó, o que caracterizaria o processo de remoção do nó como "Bom nó", conforme proposto por GLUBER (1979), o valor médio do $n = 0,0135$ encontrado, ficou muito próximo do valor $n = 0,013$, encontrado pelo referido autor. Assim, com relação ao processo de remoção do nó, pode-se considerar que o mesmo foi bom, classificando o nó como "Bom nó".

O coeficiente de rugosidade (n) da equação de Manning (eq. 14), é um coeficiente que expressa as características de rugosidade da parede interna dos tubos, e pode ser também, para os tubos testados, determinado através de equações de regressão de $n \times e/D$, do Quadro 16, que estão representadas graficamente na Figura 14.

No Quadro 16 observa-se que existe uma alta correlação entre o coeficiente n e a rugosidade relativa, expresso pelos altos valores do coeficiente de determinação e pela significância do modelo pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade, para todos os tubos testados.

Quadro 16. Análises de regressão de $n \times e/D$, para os tubos testados.

Tubos drenagem	Mod	Equação	r^2	P
corrugado.rigido	Pot	$n = 0,021 (e/D)^{0,12}$	0,84	$< 0,01^{**}$
corrugado flexível	Pot	$n = 0,030 (e/D)^{0,21}$	0,99	$< 0,01^{**}$
bambu 1	Pot	$n = 0,028 (e/D)^{0,18}$	0,99	$< 0,01^{**}$
bambu 2	Pot	$n = 0,034 (e/D)^{0,23}$	0,99	$< 0,01^{**}$
bambu 3	Pot	$n = 0,029 (e/D)^{0,19}$	0,93	$< 0,01^{**}$
bambu médio	Pot	$n = 0,031 (e/D)^{0,203}$		

******representa significância pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade

Figura 14. Curvas de regressão de $n \times e/D$, para os tubos testados

Tdc. Flex. est. = valores estimados para tubo de drenagem corrugado flexível.

Tdc. Rig. est. = valores estimados para tubo de drenagem corrugado rígido.

Td. Bambu est. = valores estimados para tubo de drenagem de bambu.

Pode-se definir uma equação média para tubos de drenagem de bambu que possibilite o cálculo de n , a partir de um valor de e/D . Deste modo, utilizando-se o valor médio de $e/D = 0,0216$, e a equação média para os três tubos de bambu (Quadro 16), obtém-se um valor de $n = 0,0141$, que é bem próximo do valor médio já determinado.

Da mesma forma, pode-se utilizar o valor médio de e/D do tubo corrugado flexível para calcular o valor de n para o mesmo. Assim, utilizando a respectiva equação, chega-se ao valor de $n = 0,0134$ que é bem próximo do valor já determinado de n para o tubo corrugado flexível.

Entretanto, pode-se observar também através do Quadro 16, que das equações ajustadas neste trabalho para $n \times e/D$, a ajustada para o tubo corrugado rígido foi a que apresentou o menor coeficiente de regressão $r^2 = 0,84$, e pelo mesmo processo de análise, infere-se utilizando o valor médio de $e/D = 0,0046$ para este tipo de tubo, que o valor de n encontrado é $n = 0,0108$, que está levemente acima do valor médio encontrado para o tubo corrugado rígido neste parâmetro.

Uma outra maneira de se obter o coeficiente de rugosidade n da equação de Manning é através de equação de regressão de $n \times f$ (Quadro 17.)

Quadro 17. Análises de regressão de $n \times f$, para os tubos testados.

Tubos drenagem	Mod.	Equação	r^2	P
corrugado rígido	Pot	$n = 0,061 f^{0,5}$	1,00	$< 0,01^{**}$
corrugado flexível	Pot	$n = 0,060 f^{0,5}$	1,00	$< 0,01^{**}$
bambu 1	Pot	$n = 0,062 f^{0,5}$	1,00	$< 0,01^{**}$
bambu 2	Pot	$n = 0,063 f^{0,5}$	1,00	$< 0,01^{**}$
bambu 3	Pot	$n = 0,061 f^{0,5}$	1,00	$< 0,01^{**}$
bambu médio	Pot	$n = 0,0617 f^{0,5}$		

******representa significância pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade

As equações de regressão para estes parâmetros presentes no Quadro 17, indicam para todos os tubos testados coeficiente de determinação $r^2 = 1,00$. A análise de regressão revelou que a excessão do tubo corrugado que apresentou um erro padrão da estimativa, da ordem de $6 \text{ E-}10$, os demais não apresentaram erro.

A Figura 15. mostra a representação gráfica das curvas de regressão de n x f , para os tubos de drenagem testados nesse trabalho.

Figura 15. Curvas de regressão de n x f , para os tubos de drenagem testados

Tdc. Flex. est. = valores estimados para tubo de drenagem corrugado flexível.
 Tdc. Rig. est. = valores estimados para tubo de drenagem corrugado rígido.
 Td. Bambu est. = valores estimados para tubo de drenagem de bambu.

Tomando-se como base a equação média para tubos de bambu, constante do Quadro 17., e utilizando o valor médio de $f = 0,049$, chega-se ao valor de $n = 0,0137$, muito próximo ao valor médio $0,0135$ já determinado para tubos de bambu.

Utilizando o mesmo raciocínio para tubos corrugados, e utilizando os respectivos valores médios de f , demonstrados no Quadro 11, chega-se a $n = 0,0107$ para o tubo corrugado rígido, que é idêntico ao já determinado, e a $n = 0,0135$ para tubo corrugado flexível, que é muito próximo do valor médio já determinado.

Assim, nas equações de regressão dos valores experimentais de $n \times f$, observa-se que os valores do coeficiente b variaram de $0,060$ a $0,063$ que praticamente podem ser considerados idênticos para todos os tubos testados, e o expoente $a = 0,5$ é idêntico para todos.

CAVELAARS et al, (1994) relacionando as equações de Manning e de Darcy-Weisbach para fluxo a seção plena, chegaram a equação(26) e a indicaram para Re maiores que 10^5 :

$$n = 0,090d^{0,167}f^{0,5} \quad (26)$$

Matematicamente, a relação entre os coeficientes de rugosidade (n) e (f), feitas por CAVELAARS et al (1994) é descrita como segue:

A partir da equação (30), pode-se deduzir que a perda de carga unitária, é:

$$\frac{hf}{L} = J = \frac{fv^2}{19,62D} \quad (31)$$

A partir da equação (14) , pode-se deduzir que a perda de carga unitária, é:

$$\frac{hf}{L} = J = \frac{6,355v^2n^2}{D^{1,334}} \quad (32),$$

igualando-se as perdas de carga, através das equações (31) e (32), e isolando-se n , fica:

$$n = 0,0896 D^{0,167} f^{0,5} \quad (33),$$

Os diâmetros dos tubos de drenagem corrugados utilizados nos cálculos dos parâmetros hidráulicos deste trabalho, encontram-se nos Quadro 3., e dos tubos de bambu, no Quadro 4., substituindo-se cada um dos valores de diâmetro na equação (26), chega-se as equações constantes do Quadro 18.

Quadro 18. Equações de $n \times f$, para os tubos testados, calculados a partir da equação (26).

Tubos drenagem	Mod.	Equação
corrugado.rígido	Pot	$n = 0,0606 f^{0,5}$
corrugado flexível	Pot	$n = 0,0600 f^{0,5}$
bambu 1	Pot	$n = 0,0616 f^{0,5}$
bambu 2	Pot	$n = 0,0628 f^{0,5}$
bambu 3	Pot	$n = 0,0615 f^{0,5}$

Observa-se através do Quadro 18 , que os valores dos coeficientes b , são aproximadamente os mesmos encontrados através de dados experimentais., para qualquer dos tubos testados.

Provavelmente isto ocorreu devido ao fato de que n é função da raiz quadrada de f , e também devido aos valores dos coeficientes (n) e (f), serem provenientes de um mesmo valor de perda de carga, o que comprovou a relação matemática entre os dois coeficientes.

CAVELAARS et al (1994), indicou que a equação (26) deve ser utilizada para valores de Re maiores que 10^5 . Entretanto, através dos resultados obtidos neste trabalho, observa-se que a equação (26) pode ser utilizada para valores de Re menores que 10^5 e maiores que 10^4 , que corresponde ao intervalo de número de Reynolds utilizados neste trabalho.

4.4.1.6. Rugosidade relativa

A rugosidade relativa é o adimensional que expressa a relação entre a rugosidade interna da parede de um tubo e o seu diâmetro, e a sua determinação permite calcular a altura das asperezas (e) ou rugosidade absoluta do tubo.

A rugosidade relativa e/D foi determinada através da substituição dos valores experimentais do coeficiente de atrito (f) e do número de Reynolds (Re), na equação(12) de Colebrok rearranjada.

Pode-se verificar no Quadro 11 com relação aos tubos de drenagem de bambu, que os valores mínimo e máximo assumidos pela rugosidade relativa foram de $e/D = 0,0020$, e $e/D = 0,2757$ respectivamente, com um valor médio de $e/D = 0,0216$, com desvio padrão da média de $0,017$.

O valor médio de e/D encontrado para tubos de bambu, foi superior ao valor médio de $e/D = 0,00046$, encontrado para tubo corrugado rígido, é praticamente idêntico ao valor médio de $e/D = 0,021$ encontrado para o tubo corrugado flexível.

4.4.1.7. Rugosidade Absoluta

A rugosidade absoluta de um tubo consiste na altura em metros, das asperezas da superfície interna do tubo. Considerando os tubos de bambu, observa-se

através do Quadro 11, que os valores de rugosidade absoluta variaram de $e = 0,00021$ m até $e = 0,00474$ m, com um desvio padrão da média de $0,0019$ m. O valor médio encontrado foi de $e = 0,0024$ m, que é idêntico ao valor médio de $e = 0,0022$ encontrado por ALMEIDA NETO (1992), para tubos de bambu gigante da mesma espécie utilizada neste trabalho.

O valor médio de rugosidade absoluta obtido para os tubos de drenagem de bambu, foi superior ao valor médio de $e = 0,00044$ m, obtido para o tubo corrugado rígido, e muito próximo do valor médio de $e = 0,0020$ m, obtido para tubo corrugado flexível.

Considerando-se que o valor médio de rugosidade absoluta para tubos de drenagem de bambu testados neste trabalho $e = 0,0022$ é muito próximo do valor de rugosidade médio do tubo corrugado flexível, considerado de natureza rugosa e, comparando-se os valores de rugosidade absoluta encontrados para tubos de bambu com os extraídos de AZEVEDO NETTO (1966) verifica-se que, o valor médio de rugosidade absoluta encontrado para tubos de bambu gigante neste trabalho, é semelhante somente a rugosidade de uma superfície de ferro forjado velho ($0,0024$), e superior ao valor de rugosidade absoluta de todos os materiais novos. Deste modo, pode-se qualificar a superfície interna dos tubos de bambu como de natureza rugosa.

Embora o bambu gigante ***Dendrocalamus giganteus*** seja um material biológico, que depende de fatores climáticos e edáficos, o valor médio para as rugosidades absoluta e relativa obtidos para os tubos de bambu neste trabalho, comparado ao valor médio obtido por ALMEIDA NETO (1992) para a mesma espécie de bambu, demonstra que a sua superfície interna é bastante homogênea em termos de asperezas.

4.5. Dimensionamento hidráulico

Conforme CAVELAARS et al (1994), os tubos de drenagem são projetados para fluxo a plena seção, e a "máxima capacidade do descarga" é considerada.

No dimensionamento de tubos de drenagem, autores como CAVELAARS (1978); BELTRÁN (1986) e MILLAR (1988), adotam a equação básica de Manning (16), para escoamento uniforme:

$$Q = 0,312 \frac{I}{n} D^{2.67} S^{0.5} \quad (16)$$

No presente trabalho, os tubos foram testados em um sistema hidráulico em circuito fechado e trabalhando sempre a plena seção, o que caracteriza o escoamento como uniforme.

Conforme demonstra CRUCIANI (1989), a máxima capacidade dos tubos de drenagem só irá ocorrer em $0,95D$, decrescendo após este ponto.

Na equação de Manning, para fluxo a plena seção, é assumido que a vazão Q , é constante em todo o comprimento do tubo, entretanto, isto só é correto, para tubos sem perfuração, com velocidade de fluxo constante (escoamento uniforme).

Entretanto, um tubo dreno recebe água através das perfurações existentes em sua parede, de modo que a vazão Q aumenta gradualmente de $Q = 0$ na extremidade superior até um valor Q máximo na extremidade inferior ou saída (escoamento não uniforme).

Deste modo, o problema do dimensionamento está na aplicação de equações e coeficientes desenvolvidos em escoamento uniforme às condições de drenagem de campo, onde predomina o escoamento não uniforme.

CAVELAARS, (1978) integrando a equação de Manning (eq. 16) expressa em função do gradiente hidráulico (eq. 17) para escoamento uniforme, transformou-a para escoamento não uniforme, chegando a seguinte expressão:

$$Q_{\text{dreno}} = 3^{0.5} Q_{\text{transporte}}, \text{ ou } Q_{\text{dr}} = 1,73 Q_{\text{tr}}.$$

Deste modo infere-se que o dimensionamento de um tubo de drenagem que trabalha em escoamento não uniforme, deve ser feita com a equação de Manning (16), modificada, que pode ser assim descrita.

$$Q_{\text{dr}} = Q_{\text{tr}} \sqrt{3} = \frac{0,54}{n} D^{2,67} S^{0,5} \quad (31)$$

onde:

Q_{dr} = vazão conduzida por um tubo dreno, em m³/s.

A utilização da equação de Manning (16) em escoamento uniforme, para o dimensionamento determinação da vazão a partir de um diâmetro conhecido de drenos tubulares, irá prescrever uma vazão cerca de 42,19% menor que a determinada pela equação (31). De outro modo, para uma vazão conhecida, a equação (16) irá prescrever um o diâmetro para dreno tubular, também cerca de 42,19% menor que o prescrito pela equação (31).

Considerando-se um coeficiente de Manning médio $n = 0,0135$, por exemplo, para tubos de bambu com diâmetro médio de 0,1056 m, e utilizando-se a equação (31) para um gradiente hidráulico de 0,1 %, chega-se ao valor de vazão de $Q = 3,128$ l/s.

Utilizando a equação (16) para esta mesma situação, chega-se a $Q = 1,81$ l/s que multiplicado por 1,73 ou dividido por 0,58, obtem-se o valor 3,12 l/s.

De qualquer modo, pode-se dimensionar o tubo de drenagem tanto pela equação (31) para escoamento não uniforme diretamente, quanto indiretamente, pela equação (16) para escoamento uniforme, aplicando-se um coeficiente de ampliação na capacidade de descarga do dreno ou no diâmetro final.

Outra forma para dimensionar drenos tubulares bastante prática, é através da utilização de gráficos que relacionam a taxa de fluxo em (l/s) e o gradiente hidráulico (H/L), em porcentagem, para os diferentes diâmetros e tipos de tubos, conforme recomendaram e demonstraram IRWIN & MOTYCKA (1979), para o dimensionamento de tubos corrugados flexíveis nos diâmetros de 100, 200, 250 e 300 mm.

Nas figuras 16 e 17, os diâmetros internos correspondentes aos tubos são, 0,0964 m, para o tubo corrugado rígido (DN 100), 0,0914 m para o tubo corrugado flexível (DN 100), e 0,1100 m para a média dos tubos de bambu "(DN 100)".

A figura 16, mostra a relação entre a perda de carga, ou gradiente hidráulico (J), em %, com a vazão em (l/s), para os diferentes tubos utilizados neste trabalho, em escoamento uniforme.

Utilizando-se o gráfico da Figura 16, através dos valores de vazão 3,0 l/s e 4,0 l/s, por exemplo, chega-se para o tubo corrugado flexível, aos valores de gradiente hidráulico de 0,6 % e 1,0% respectivamente. Estes valores são idênticos aos encontrados graficamente em IRWIN & MOTYCKA (1979), para o dimensionamento de tubo corrugado flexível no diâmetro de 100 mm, em limites de vazão de 2,25 a 12,5 l/s.

A figura 17, mostra a relação entre a perda de carga, ou gradiente hidráulico (J), em %, com a vazão em (l/s), para os diferentes tubos utilizados neste trabalho, transformados para escoamento não uniforme.

Figura 16. Relação entre a perda de carga, ou gradiente hidráulico (J), em %, e a vazão em (l/s), para os três tubos de drenagem em escoamento uniforme.

Tdc. Flex. est. = valores estimados para tubo de drenagem corrugado flexível.

Tdc. Rig. est = valores estimados para tubo de drenagem corrugado rígido.

Td. Bambu est. = valores estimados para tubo de drenagem de bambu.

Figura 17. Relacionamento entre a perda de carga, ou gradiente hidráulico (J), em %, e a vazão em (l/s), para os três tubos de drenagem em escoamento não uniforme.

Tdc. Flex. est. = valores estimados para tubo de drenagem corrugado flexível.

Tdc. Rig. est = valores estimados para tubo de drenagem corrugado rígido.

Td. Bambu est. = valores estimados para tubo de drenagem de bambu.

4.6. Análise econômica do uso de bambu gigante como tubo de drenagem

A análise econômica, foi baseada em dois aspectos principais o primeiro diz respeito aos custos envolvidos no processo de fabricação dos tubos de bambu e ao preço que este produto teria se fosse vendido em um estabelecimento comercial; o segundo, diz respeito ao custo de implantação de um hectare de várzea drenada com bambu gigante, comparado aos demais tubos testados.

4.6.1. Custo de produção de colmos de bambu gigante

Observou-se através da revisão, que o bambu de um modo geral não tem valor de mercado, para os mais variados tipos de utilização no Brasil. De outro modo, OLIVEIRA (1992), revelou haver uma certa dificuldade em encontrar touceiras de bambu da espécie **Dendrocalamus giganteus** para pronta utilização na fabricação de tubos. Embora para a região do Vale do Paraíba-SP, isto não se constitua em problema, acredita-se que para utilização mais intensiva, o plantio desta espécie deve ser recomendado, e o custo da matéria prima consiste no custo de produção de bambu gigante.

No Quadro 19., encontra-se o custo operacional e a exigência física dos fatores de produção de 1,0 hectare de bambu gigante.

Na composição do custo de produção de bambu gigante, foram considerados:

1. Operações mecanizadas: Os valores de custo de operações mecanizadas, foram considerados como arrendamento, onde estão inclusos os valores de hora/máquina, hora/homem (tratorista), hora/implemento e transporte, sendo obtidos por informação na Cooperativa de Laticínios do Médio Vale do Paraíba, e corresponde a US\$ 15,00/hora

trabalhada.

2. Operações manuais: Os valores de homens/dia, foram obtidos de um salário mensal para a região do Vale do Paraíba, de US\$150,00 extraídos de INFORMAÇÕES ESTATÍSTICAS DA AGRICULTURA (1996).

Quadro 19. Custo operacional e a exigência física dos fatores de produção de 1,0 hectare de bambu gigante.

DESCRIÇÃO	ESPECIFICAÇÃO	V.U.	1. ANO		2. ANO		3. ANO		4. ANO		
			Quant.	Total	Quant.	Total	Quant.	Total	Quant.	Total	
1. Oper. Mecanizadas											
Calagem	HMTp77cv +distrib.	15.0	1,55	23.25							
Aração	HMTp 77cv +arado 3x26"	15.0	2,60	39.00							
Gradagem	HMTp77cv +grade 24x18"	15.0	1,70	25.50							
Sulcação/Adubação	HMTp77cv+sulcador	15.0	2,30	34.50							
Plantio	HMTp77cv+carreta 4 ton.	15.0	3,50	52.50							
Colheita	HMTp77cv+carreta 4 ton.	15.0							36	540.00	
Subtotal 1				174.75						540.00	
2. Oper. Manuais***											
Calagem	Homens-dia	5.77	0.2	1.15							
Aração	Homens-dia	5.77	0.2	1.15							
Gradagem	Homens-dia	5.77	0.2	1.15							
Sulcação/Adubação	Homens-dia	5.77	0.2	1.15							
Plantio	Homens-dia	5.77	1.65	9.52							
Catação Folhas	Homens-dia	5.77	0.5	2.89	0.5	2.89	0.5	2.89	0.5	2.89	
Cultivo	Homens-dia	5.77	0.8	4.62	0.8	4.62	0.8	4.62	0.8	4.62	
Replante	Homens-dia	5.77	0.12	0.69							
Colheita	UUS\$/ton	5.15							80	412.00	
Subtotal 2				22.32		7.51		7.51		419,51	
3. Insumos											
Calcário	US\$/ton	14.98	2.5	37.45							
Super Simples	US\$/ton	173.99	0.067	11.66							
Cloreto Potássio	US\$/ton	310.44	0.02	6.22							
Sulfato Amônio	US\$/ton	240.01	0.053	12.72							
Mudas	US\$	1.5	220	300.00							
Subtotal 3				368.05							
4.(Subtotal 1+2+3)											
Total (4 + ano ant.)				565.12		7.51		7.51		1,539.65	

obs: Os valores unitários e totais deste quadro, é dado em dolar comercial.

Na colheita, faz-se necessário cortar , retirar e desgalhar os colmos, e em seguida serrá-los em tamanhos úteis. O corte dos colmos feito com machado, foi muito simples, e de rápida execução, contudo, o processo de retirada, foi um pouco mais demorado, pois a espécie utilizada neste trabalho possui colmos com mais de 25 metros

de comprimento, e foi necessária a utilização de corda. Os procedimentos de retirada dos galhos e corte com serra em comprimentos úteis, foram relativamente rápidos. Neste trabalho, foram utilizados três homens sem experiência no corte de bambu gigante, e conseguiu-se cortar 26 colmos em seis horas de trabalho. Acredita-se que este tempo possa ser reduzido, à medida que os homens adquiriram experiência neste tipo de serviço, contudo, para efeito de cálculo, estimou-se o corte de 40 colmos/dia de serviço (8 horas), com peso médio de 84 kg/colmo de 25 m, conforme CIARAMELLO & AZZINI, 1979.

A produtividade anual média da espécie **Dendrocalamus giganteus** é de 40 toneladas de colmos secos ao ar por hectare, conforme indicam SALGADO et alii (1987), a um peso médio de 42 Kg/colmo seco, chega-se ao valor de 952,38 colmos/ha ano, que em termos médios corresponde a 23 809,52 metros de colmos.

Considerando que somente 12 metros ou 48% são úteis em termos de diâmetro, chega-se a importância de 11 428,57 metros de colmos, ou 1905 colmos de bambu de 6,0 metros por hectare e ano.

3. Insumos: Os valores de custo dos insumos foram extraídos de INFORMAÇÕES ESTATÍSTICAS DA AGRICULTURA (1996).

Como pode-se observar, o custo de produção de bambu gigante é baixo, principalmente por ser uma cultura perene que produz novos colmos assexuadamente ano após ano, e não necessita de tratos culturais específicos como aplicação de defensivos por exemplo. Deste modo chegou-se a um valor de 38.49 US\$/ tonelada de colmos secos anuais, ou US\$ 0,135 por metro de colmo produzido.

4.6.2. Custo de produção de tubos de bambu gigante.

Na composição do custo de fabricação de tubos de drenagem de bambu gigante(Quadro 20), os seguintes aspectos foram considerados:

1. Operações mecânicas: Os valores de horas máquina sem depreciação, foram considerados juros (3,3 %), diversos (1 %), seguro (0,75 %), Manutenção (8 %), Bonificação (0,20 US\$/hora), conforme metodologia FNP (1996).

Quadro 20. Custo operacional e exigência física dos fatores de produção agroindustrial de 11428,57 metros de tubos de bambu gigante para drenagem.

DESCRIÇÃO	ESPECIFICAÇÃO	V.U.	1. ANO	
			Quant.	Total
1. Oper. Mecânicas				
Remoção Nó		0.47	1600	752.00
Perf. Parede colmo		0.32	1144	366,08
Limpeza com ar		4.72	31.75	149.86
Subtotal 1				1,267.94
2. Oper. Manuais				
Preparação Tubo	Homens-dia	5.77	25	144.25
Remoção Nó	Homens-dia	5.77	200	1,154.00
Perf. Parede colmo	Homens-dia	5.77	143	825.11
Limpeza com ar	Homens-dia	5.77	31.75	183.20
Subtotal 2				2,306.36
3. Insumos				
Bambu	US\$	1,536.65	1	1,536.65
Energia p/ remoção nó	US\$/Kw.h (a)	0.20	617,14	123.43
Energia p/ perfuração	US\$/Kw.h (b)	0.20	400	80.00
Energia p/ compressor	US\$/Kw.h (c)	0.20	93,11	18.62
Energia p/ lâmpadas	US\$/Kw.h (d)	0.20	4992	998.40
ICMS - Energia	%(a+b+c+d)	25	1,220.45	305.11
Subtotal 3				3,062.21
4. Administração				
M.O. Administrativa	%(Subtotal 1+2+3)	2	1	132.73
Manutenção	%(Subtotal 1+2+3)	2	1	132.73
Contabilidade	%(Subtotal 1+2+3)	1,5	1	99.55
Consev/Deprec.	%(Subtotal 1+2+3)	2	1	132.73
Impostos	%(Subtotal 1+2+3)	10		663.65
Subtotal 4				1,161.39
Total (1 +2+3+4)				7,797.90

2. Operações manuais: Os valores de homens dia, foram obtidos de um salário mensal para a região do Vale do Paraíba, de US\$ 150,00, extraídos de INFORMAÇÕES ESTATÍSTICAS DA AGRICULTURA (1996)

3.Insumos: O valor de custo do insumo bambu foi obtido do Quadro 19, enquanto os valores ou quantidades do insumo energia elétrica foram obtidos considerando o consumo energético horário de cada máquina, e um custo de energia obtido por informações pessoais na Eletropaulo de Taubaté -SP.

Na transformação dos colmos em tubos de drenagem, tanto o processo de remoção dos séptos nodulares, como o de perfuração das paredes dos colmos de bambu foram feitos mecanicamente.

Para a remoção dos séptos necessitou-se de uma pessoa para a operação da máquina de perfuração.

Considerou-se 13,125 nós, o número médio de nós dos oito tubos perfurados, e o tempo médio medido gasto na perfuração de 4 minutos por nó, o que perfaz um total de 52,5 minutos/tubo de 6,0 metros, que corresponde a um tempo médio de 0,146 horas/metro, e um consumo de energia elétrica de 0,054 Kwh/metro de tubo.

Para a perfuração da parede dos colmos, necessitou-se de uma pessoa que, sem treinamento e, utilizando-se do gabarito anteriormente citado, apresentou um rendimento de 3 minutos/linha de furo, correspondendo a 36 minutos/colmo ou 6 minutos/metro, sendo o consumo de energia elétrica correspondente a 0,035 Kw.h/metro de tubo.

Para a limpeza dos tubos por aspiração, necessita-se de uma pessoa, que leva cerca de 1 minuto para a limpeza de um tubo, sendo o consumo de energia correspondente a 0,0082 Kw.h/metro de tubo.

4.Administração: Os valores percentuais para cálculo de custo de mão de obra administrativa foram baseados em dados da FNP (1996).

O custo de fabricação de 11 428,57 metros de tubos de drenagem de bambu gigante é de US\$ 7.797,90, que corresponde a US\$ 0,793/metro de tubo. Assumindo-se uma margem de lucro de 30 % na venda, e mais 12 % de IPI, sobre custo de fabricação dos tubos, o mesmo chegaria ao mercado com um preço de custo para o revendedor de US\$ 1,15/ metro de tubo.

O preço de revenda ao consumidor, já incluso o custo de transporte e impostos, consiste de uma margem de 30% sobre o custo de compra pelo revendedor. Assim, o preço para o consumidor é de US\$ 1.50 por metro de tubo de bambu gigante.

Os elementos econômicos, necessários para a implantação de um processo agroindustrial de fabricação de tubos de bambu gigante para drenagem, encontram-se no Quadro 21.

Quadro 21 Elementos econômicos de uma agroindustria de tubos de bambu gigante para drenagem.

Investimento inicial (US\$)	7.797,90
Fator de recuperação do capital	0,1241
Anuidade (US\$)	967,72
Amortização do investimento	30 anos

Segundo HOFFMANN et al (1992), quando se considera que as amortizações devem ser colocadas em aplicações seguras, e rendem juros, pode-se calcular uma anuidade que engloba os custos de amortização e os juros do bem de capital, e corresponde ao produto entre o fator de recuperação de capital e o valor de investimento inicial.

O fator de recuperação de capital foi obtido de HOFFMANN et al (1992) em tabela, considerando um período de 30 anos e uma taxa anual de juros sobre o capital de 12%.

Os dados econômicos de rentabilidade da agroindústria de tubos de drenagem de bambu gigante, são mostrados no Quadro 22 onde o valor da renda líquida é calculado pela seguinte expressão:

$$RL = RB \times 2 - (CF + COFT \times 2), \text{ onde:}$$

RB = renda bruta obtida pela venda dos tubos;

CF = Custos fixos, correspondente ao valor da anuidade;

COFT = Custos operacionais de fabricação dos tubos.

Quadro 22. Dados econômicos de rentabilidade de uma agroindústria de tubos de bambu gigante.

Renda Bruta (US\$/ano)	13.177,14
Custos fixos (US\$/ano)	967,72
Custo operacional (US\$/ano)	7.797,90
Renda líquida (US\$/ano)	9.790,76

A renda líquida, constitui o saldo de renda que se destina a remunerar bens de capital como a terra, o salário do empresário, entre outros.

4.6.3. Custo de implantação de sistema de drenagem

O custo de implantação de sistema de drenagem , baseado nos três tipos de tubos utilizados, encontra-se no Quadro 23.

Quadro 23. Custo de implantação de 1,0 ha de drenagem subterrânea, em função do tipo de tubo.

Tubo dren. corr. rígido				Preço Unit.	Preço Total
Ítem	Dreno lateral (30,0 m)	Unid.	Quant.	(US\$)	(US\$)
01	Tubos de drenagem Tdc rig.	m	333,4	6.60	2,200.44
02	Envelope manta poliéster	m ²	166,7	1.61	268.39
03	Escavação Mec. valas	m ³	166,7	2.90	483.43
04	Acabamento manual valas	h/d	2,0	2.93	5.86
05	Levantamento altimétrico	d	1,0	10.50	10.50
06	Amarrio manta poliéster	h/d	1,0	2.93	2.93
07	Aterro mec. de valas	m ³	116,7	1.92	224.06
Total					3,195.61

*** Tubo dren. corr. flexível				Preço Unit.	Preço Total
Ítem	Dreno lateral (30,0 m)	Unid.	Quant.	(US\$)	(US\$)
01	Tubos de drenagem Tdc flex..	m	333,4	2.70	900.07
02	Envelope manta poliéster	m ²	166,7	1.61	268.39
03	Escavação Mec. valas	m ³	166,7	2.90	483.43
04	Acabamento manual valas	h/d	2,0	2.93	5.86
05	Levantamento altimétrico	d	1,0	10.50	10.50
06	Amarrio manta poliéster	h/d	1,0	2.93	2.93
07	Aterro mec. de valas	m ³	116,7	1.92	224.06
Total					1,895.24

Tubo dren. bambu gigante.				Preço Unit.	Preço Total
Ítem	Dreno lateral (30,0 m)	Unid.	Quant.	(US\$)	(US\$)
01	Tubos de drenagem de bambu.	m	333,4	1.50	500.10
02	Envelope manta poliéster	m ²	166,7	1.61	268.39
03	Escavação Mec. valas	m ³	166,7	2.90	483.43
04	Acabamento manual valas	h/d	2,0	2.93	5.86
05	Levantamento altimétrico	d	1,0	10.50	10.50
06	Amarrio manta poliéster	h/d	1,0	2.93	2.93
07	Aterro mec. de valas	m ³	116,7	1.92	224.06
Total					1,495.27

*** Quadro extraído de COSTA (1994).

Na avaliação econômica sobre o custo de implantação de um hectare de drenagem subterrânea com drenos de pvc, realizado por COSTA:(1994), observa-se que o preço do tubo dreno, corresponde a 47,49 % do custo de implantação do sistema.

Considerando-se para os tubos de drenagem utilizados neste trabalho o mesmo tipo de avaliação econômica, observa-se através do Quadro 23 que o menor custo de implantação de 1,0 hectare drenado é apresentado pelo tubo de bambu gigante, que devido ao menor preço reduziu a porcentagem de participação do tubo drenagem, na composição do custo de implantação do sistema de drenagem, de 47,49 %, conforme COSTA (1994), para 33,44 %. De outro modo, o tubo corrugado rígido, aumentou esta participação para 68,86 %.

Conforme observado neste trabalho, o tubo de drenagem bambu gigante, em relação aos tubos de pvc, mostrou-se viável hidráulica e economicamente, pois, apresentou menor perda de carga, principalmente devido ao seu maior diâmetro, que é característico da espécie **Dendrocalamus giganteus**, bem como apresentou menor preço de mercado, possibilitando a redução do custo de implantação dos sistemas de drenagem subterrânea.

5. CONCLUSÕES

Baseado no desenvolvimento da metodologia adotada, nas condições experimentais em que foi realizada a pesquisa e, principalmente nos resultados obtidos, conclui-se que:

O mecanismo de perfuração longitudinal de bambu gigante possibilitou de modo efetivo a perfuração de colmos com diâmetro interno variando entre 96 e 128 mm, tendo contudo melhor desempenho para diâmetros do internódio entre 101 e 112 mm, sendo que a qualidade na remoção dos séptos nodulares foi considerada boa, e proporcionou uma diferença de apenas 5,86 mm entre os diâmetros dos internódios e dos nós.

Os tubos de drenagem de bambu **Dendrocalamus giganteus** apresentaram valores de perda de carga 60 % inferior ao tubo de drenagem corrugado flexível, e 48 % inferior ao tubo de drenagem corrugado rígido, principalmente devido ao elevado diâmetro interno, característico desta espécie.

O valor médio de rugosidade absoluta de $e = 0,0024$ foi levemente superior ao encontrado para o tubo corrugado flexível, mas considerado alto quando comparado a outros materiais, o que caracteriza o tubo de drenagem de bambu como tendo superfície rugosa.

Os coeficientes (f) e (n), das equações de Darcy-Weisbach e de Manning, especificamente dos tubos de drenagem de bambu e de pvc corrugado flexível foram praticamente idênticos e da ordem de $f = 0,050$ e $n = 0,014$ sendo ambos superiores ao

encontrado para o tubo de pvc corrugado rígido que foram da ordem de $f = 0,030$ e $n = 0,011$.

O coeficiente de rugosidade da equação de Hazen-Williams, para tubos de drenagem de bambu **Dendrocalamus giganteus** foi na média $C = 99$, superior aos valores encontrados para esta espécie na literatura e para o tubo de drenagem corrugado flexível com $C = 93$, mas inferior ao tubo de drenagem de pvc corrugado rígido com $C = 120$ que possui a parede interna mais lisa.

O regime de fluxo foi classificado como turbulento de transição, com número de Reynolds entre 9790 e 106694.

De modo geral, a análise de regressão da relação entre os parâmetros hidráulicos revelou um melhor ajuste ao modelo potencial.

A determinação do valor do coeficiente (n), a partir do (f), através da análise de regressão dos dados experimentais, pode ser feita através de uma única equação ($n = 0,062 f^{0,5}$), para todos os tubos testados hidráulicamente neste trabalho.

A produção de 1,0 hectare de colmos de bambu gigante, apresentou um custo de produção estimado em US\$ 0,135/metro de colmo, e a produção agroindustrial de tubos de drenagem de bambu gigante apresentou um custo de produção estimativo de US\$ 0,79/metro de tubo.

O custo de implantação de sistemas de drenagem com tubos de bambu gigante é menor que dos demais tubos utilizados neste trabalho, na mesma situação.

Tubos de drenagem de 6,0 metros de comprimento feitos a partir de colmos de bambu gigante **Dendrocalamus giganteus** por processo de perfuração mecânica, pode desempenhar as mesmas funções hidráulicas realizadas por tubos de drenagem corrugados, com vantagens por apresentar menor perda de carga, devido ao elevado diâmetro, e por ter menor custo de instalação do sistema.

6. RECOMENDAÇÕES

A realização deste trabalho proporcionou uma visão mais ampla sobre a cultura do bambu gigante e de suas possibilidades de sua utilização como material alternativo, não só para drenagem, mas também para irrigação, condução de água e construções rurais em geral, principalmente devido as suas características anatômicas e de resistência, bem como pelo seu custo.

Considerando os resultados obtidos e que o "bambu gigante" se constitui em uma vasta linha de pesquisa, este trabalho deve ser encarado como um ponto de partida para estudos mais aprofundados, e assim, sugerimos com relação a drenagem os seguintes temas para investigação;

1. Estudos sobre a deterioração química e biológica em ambientes saturados ou não nas condições climáticas brasileiras;
2. Técnicas de preservação e armazenamento para colmos e tubos;
3. Métodos de propagação vegetativa;
4. Relações entre quantidade e diâmetros de furos na parede do tubo de bambu com a resistência do mesmo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA NETO, J.A. Contribuição ao estudo do bambu: O comportamento hidráulico de tubos de bambu gigante (**Dendrocalamus giganteus**). Campinas, 1992. 128p. (Mestrado - Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP).
- ALMEIDA NETO, J.A. & TESTEZLAF, R. Parâmetros hidráulicos de tubos de bambu gigante. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., Campinas, 1994. **Anais**. Campinas, UNICAMP/FEAGRI, 1994. p.207.
- ASSY, T.M., **O emprego da formula universal de perda de carga e as limitações das fórmulas empíricas**, São Paulo, CETESB, 1977. 64p.
- AZEVEDO NETTO, J.M. & ALVAREZ, G.A. **Manual de Hidráulica**. 7ª ed. São Paulo. Edgard Blucher Ltda. 1988. 355p.
- AZZINI, A.. Aspectos agronômicos da produção do bambu industrial. **O Papel**, São Paulo, 41: 87-95, nov/1980.
- AZZINI, A.; SALGADO, A.L.B. Enraizamento de propágulos de bambu em difeentes substratos. **Bragantia**, Campinas (52):113-118, 1993.
- BELTRÁN, J.M. **Drenaje Agrícola**. Madrid. Ministério de Agricultura, Pesca y Alimentacion / IRIDA. 1986. vol.1, manual técnico nº 5.
- BRASIIL. Tratamento do bambu. In: EMBRATER **Fichário de tecnologias adaptadas**, 3.Brasília - DF, EMBRATER, 1980. p56-57

- CAVELAARS, J.C. Sistemas subsuperficiales de drenaje agrícola. In: **ILRI Princípios y Aplicaciones del Drenaje. Diseño y manejo de los sistemas de drenaje.** Wageningen-Netherlands, International Institute for Land Reclamation and Improvement / ILRI, 1978 16(4): cap. 27, p. 3-76.
- CAVELAARS, J.C., VLOTMAN, W.F. & SPOOR, G. Subsurface Drainage Systems. In: **ILRI Drainage Principles and Applications** 2 ed. Wageningen-Netherlands, International Institute for Land Reclamation and Improvement / ILRI, 1994, 16 cap.18, p. 691-724.
- CIARAMELLO, D.& AZZINI, A. Bambu como matéria prima para papel V - Estudos sobre o emprego de quatro espécies de *Dendrocalamus* na produção de celulose e sulfato. **Bragantia**. Campinas, (30): 321-336, 1971.
- COELHO, f.C. & PEREIRA, M.P. Desempenho de drenos de bambu e pvc em solo de várzea. **Pesq. Agropec. bras.** Brasília-DF., 27(6): 901-14.
- CORREIA, A. de A.; LUIZ, C.N.R. & FRAZÃO, F.J.L. Características papeleiras dos bambus da região do Acre. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, 10., São Paulo, 1977. **Anais** São Paulo, 1977. p.97-112.
- COSTA, R.N.T. Espaçamento econômico de drenos laterais e a dinâmica do lençol freático sobre o rendimento da cultura do milho (*Zea mays* L). Piracicaba, 1994. 88p. Tese de Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- CRUCIANI, D.E. **A drenagem na agricultura**. 4.ed. São Paulo, Nobel, 1989, 337p.
- DEDECA, D.M. A identificação dos bambus. **O Agrônomo**, Campinas, (10):8-14, 1958.
- FNP. **Agrianual 96 - Anuário estatístico da agricultura brasileira**. São Paulo, FNP Consultoria e Comércio. 1996, 392p.

- GUILLES, R.V. **Mecânica dos fluidos e hidráulica**. Rio de Janeiro, McGraw-hill, 1971. 401p.
- GUBLER, D. **Hydraulic properties of bambu pipes**. Tanzânia Hydraulics Laboratory. Dar es Salaam University. Tanzania, 1979, 79p.
- HERMSMEIER, L.F. & WILLARDSON, L.S. Friction Factors for Corrugated Plastic Drain Tubing. **Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE**. 96(3): 265-71, Set 1970.
- HERRERA, E.O. Feseability stydy on the use of Bamboo in pressurized water systems. Massachusetts, 1974. 24p (Parte da Dissertação de Mestrado - University of Massachusetts).
- HEUVEL, K. van den. **Wood and bamboo for rural water supply**. 2 ed. The Netherlands, Delph University, Press, 1983. 76p.
- HSIUNG, W. Prospects for bamboo development in the world. In IBC 88, **Prafrance**, June 7-9, 1988.
- IRWIN, R.W. Hydraulic Roughness of Corrugated Plastic Tubing. In: **INTERNATIONAL DRAINAGE WORKSHOP WASHINGTON**, 2nd DC. . Washington - USA, 1982. **Proceedings**. Washington. 1982.
- IRWIN, R.W. Corrugated Pipe Flow Rate from Pipe Geometry. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE**. 110(2): 237-41, Jun 1984.
- IRWIN, R.W. & MOTYCKA, J. Friction Factors for Corrugated Plastic Drainage Pipe. **Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE**. 105(1): 29-36, Mar 1979.
- JANSSEN, J.J.A. **Building with bamboo**. London, Intermediate Tecnology Publycations, 1988. 68p.
- KAMAND, F.Z. Hydraulic friction factors for pipe flow, **Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE**, 114(2), 311-323. 1989.
- KAMAL, A.R. **Técnicas de medidas e instrumentação em engenharia**, texto didático., cap. 2 e 3 - Faculdade de Engenharia de Campinas/UNICAMP, 1986.

- KNUNDSSEN, J.G. & KATZ, D.L. **Fluids dynamics and heat transfer**. New York, McGraw-Hill, 1958.
- LIESE, W. **Bamboo methods of treatment and preservation**. Gate 1, 1981 p 9-11.
- LIESE, W. **Bamboos - Biology, silvies, properties, utilization**. Eschborn, dt. Ges. für Techn. Zusammenarbeit (G.T.Z.), 1985, 132p.
- LIPANGILE, T.N. Bamboo waterpipes for Tanzânia. **Appropriate Technology**, 11 (3): 10 - 11, 1984.
- LIPANGILE, T.N. The use of bamboo as waterpipes. In: INTERNATIONAL BAMBOO WORKSHOP, Hangzhou, 1985. **Anais**. IRDC, p.315-20.
- LIPANGILE, T.N. Manufature and construction of bamboo supply systems. In: I.B.C. 88, Prafrance, **Procedings**. June 7 -9, 1988.
- LIPPERT, S. **Bamboo pipes for pressurized water systems, a feasibility study**. Amherst, University of Massachussets, Massachussets, 1976.
- LOPEZ, O.H. **El bambu: su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, arquitetura, ingeneria e artesanía**. Colombia, Estudios Técnicos Colombianos, 1974. 318p.
- LOPEZ, O.H. **Manual de construção com bambu**. Bogotá, Estudios Técnicos Colombianos. 1981. 71p.
- LOPEZ, O.H. Tipos de bambues i metodos de cultivo. In: SIMPOSIO LATINO AMERICANO DEL BAMBU, 2. Guaiquil, 1982 **Anais**, Guaiquil, 1982.
- MAMISAO, J.P. Bamboo as drain tile. Phillipines, 1930. 121p.(Mestrado - College of Agriculture).
- McCLURE, F.A. **The Bamboos. A fresh perspective**. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, 1966.
- MEDINA, J.C. **Plantas fibrosas da flora mundial**. Campinas, Instituto Agrônômico, 1958. 913p.

- MILLAR, A.A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas**. 2ed. São Paulo. Edterra Editorial Ltda., 1988.306p.
- MILLER, D.S. **Internal flow systems. BHRA Fluid Engineering**, 1984. 290p BRA Fluid Engineering series, 5).
- MORGAN, J. Water pipes from bamboo in Mezan Teferi, Ethiopia. **Journal of Appropriate Technology**, 1 (2): 123 - 5, 1974.
- MORRIS,H.M. Design Methods for Flow in Rough Conduits. **Transactions, ASCE, Paper 3156**. 1961. p. 454-73.
- NOMURA, T.; TOMAZELLO FILHO, M. & AZZINI, A. Production and utilization of bamboo in Brasil. In: Bamboo production and utilization and related species. IUFRO CONGRESS, XVIII, **Proceedings**.1986, Yugoslavia, september 7 - 21, 1986.
- NASCIMENTO, A.M. Estrutura do colmo e propriedades físicas do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus* (Wall) Munro). Viçosa, 1990. 85p. (Diss. Mestrado - Universidade Federal de Viçosa - UFV).
- NWA, E.W. Using the Bamboo (*Bambusa vulgaris*) as Field Drainage Material. **Transc. of ASAE**, 24(4): 974-76, Jan 1981.
- OLIVEIRA, E.L. de. Utilização do bambu como condutor de água para fins de irrigação: uma solução de baixo custo. Botucatu, 1992. 104p. (Mestrado - Faculdade de Ciências Agrônômicas do Campus de Botucatu / UNESP).
- PEREIRA, M.A. dos R. Viabilidade da utilização do bambu para fins de irrigação: aspectos técnicos. Botucatu, 1992. 104p. (Mestrado - Faculdade de Ciências Agrônômicas do Campus de Botucatu / UNESP).
- PEREIRA, M.A. M. dos R.; SILVA, C.L. da; ARAÚJO, J.A.C. de Características dos colmos do bambu gigante utilizados como tubulação em um sistema de irrigação por aspersão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., Ilhéus, 1993. **Anais**. Ilhéus, Fundação Banco do Brasil, 1993. p.2359-71.

- SALGADO, A.L. de B.; AZZINI, A.; CIARAMELLO, D.; MACEDO, E.L.de & SALGADO, A.L. **Instruções Técnicas sobre o Bambu**. Instituto Agronômico de Campinas, Campinas. BT. 143. 1992.43p.
- SALGADO, A.L. de B.;CIARAMELLO, D.& AZZINI, A. Bambu. In: IAC. **Instruções Agrícolas para o Estado de São Paulo**. Instituto Agronômico de Campinas, Campinas. BT. 200. 1987. p33-34.
- SÉRIE INFORMAÇÕES ESTATÍSTICAS DA AGRICULTURA: (Sér. inf. estat. agric.), São Paulo, Instituto de Economia Agrícola. v.1. n.1, 1990.
- SHIPTON, R.J. & GRAZE, H.R. Flow in Corrugated Pipes. **Journal of Hydraulics Division, ASCE**. 102(9): 1343-51, Set 1976.
- SILBERMAN, E. Effect of Helix Angle on Flow in Corrugated Pipes. **Journal of Hydraulics Division, ASCE**. 96(11): 2253-263, Nov 1970.
- SMEDEMA, L.K. & RYCROFT, D.W. Graundwater drainage systems. In: SMEDEMA & RYCROFT. **Land Drainage. Planing and Desing of Agricultural Drainage Systems**. London, B.T. Batsford Ltd, 1988. cap. 3, p.50-61.
- STREETTER, V.L. **Mecânica de los fluidos**, México, Libros Mc Graw-HILL, 4 Ed p. 11-312, 1968.
- TSANG, G. & IRWIN, R.W. Discussion of "Friction Factors for Corrugated Plastic Tubing, by Hersmsmeier, L.F. & Willardson, L.S. **Jounal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE**. 97(2): 330-42, Jun 1971.
- UNIVERSITY OF DAR ES SALAAM - Dept. of Civil Eng., **Report**: Hydraulic Design Conditions of Bamboo Pipes for Water Supply and Irrigation Projects in Rural Areas. Dar es Salaam - Tanzânia, 1979.
- WESSELING, J. & HOMMA, F. Hydraulics Resistance of Drain Pipes. **Netherlands Journal of Agricultural Science**. vol 15, 1967. p. 183-97.

APÊNDICE

Quadro 1. Valores médios do diâmetro do internódio (E), e do sépto nodular-nó (N)
para os oito tubos de bambu gigante fabricados.

Bambu 02	D1(mm)	D2(mm)	D3(mm)	D4(mm)	MÉDIA
E-01	108,3	112,6	111,6	108,4	110,23
N-01	106,6	110,3	110,8	106,5	108,55
E-02	110,3	111,8	110,6	109,1	110,45
N-02	107,1	109,6	107,2	105,0	107,23
E-03	109,6	112,6	107,7	106,3	109,05
N-03	104,6	106,1	107,9	104,4	105,75
E-04	106,2	109,8	111,7	107,3	108,75
N-04	105,4	107,6	104,5	102,8	105,08
E-05	109,2	111,4	105,3	104,5	107,60
N-05	104,0	101,2	103,0	107,0	103,80
E-06	104,5	107,3	111,6	107,6	107,75
N-06	103,7	107,7	107,4	102,2	105,25
E-07	105,2	108,5	110,5	107,8	108,00
N-07	101,4	102,3	102,8	105,0	102,88
E-08	105,5	107,7	109,1	106,8	107,28
N-08	101,4	103,4	104,0	102,4	102,80
E-09	105,1	108,6	108,5	104,3	106,63
N-09	097,0	102,8	100,9	100,2	100,23
E-10	102,8	106,3	107,3	104,9	105,33
N-10	96,2	099,8	098,8	097,0	097,95
E-11	101,7	104,3	106,4	102,7	103,78
N-11	094,8	098,6	098,3	097,0	097,18
E-12	097,8	104,4	106,8	103,6	103,15
N-12	097,4	098,9	097,4	100,1	098,45
MÉDIA					105,13

Bambu 03	D1(mm)	D2(mm)	D3(mm)	D4(mm)	MÉDIA
E-01	098,8	098,3	101,3	099,5	099,48
N-01	098,6	096,6	097,8	098,3	097,83
E-02	100,3	103,8	102,7	100,3	101,78
N-02	096,4	097,0	096,9	097,1	096,85
E-03	098,2	101,3	102,6	101,4	100,88
N-03	095,9	097,7	096,5	097,6	096,93
E-04	101,9	101,7	100,0	101,8	101,35
N-04	097,2	100,0	099,6	099,5	099,08
E-05	100,6	101,4	103,0	102,3	101,83
N-05	097,5	097,3	097,4	097,1	097,33
E-06	101,7	103,3	102,5	102,2	102,43
N-06	098,0	097,3	098,7	098,8	098,20
E-07	103,6	103,4	103,0	102,6	103,15
N-07	097,8	097,7	098,8	097,9	098,05
E-08	102,9	102,5	103,8	103,6	103,20
N-08	098,9	098,5	097,6	098,1	098,28
E-09	105,3	102,6	101,2	102,7	102,95
N-09	095,9	094,9	095,0	096,7	095,63
E-10	103,6	101,7	100,5	101,0	101,70
N-10	095,9	095,7	098,0	094,0	095,90
E-11	103,0	100,0	099,0	100,7	100,68
N-11	093,2	092,4	090,9	092,4	092,23
E-12	099,9	100,3	096,7	097,8	098,68
MÉDIA					099,32

Quadro 1. Continuação.

Bambu 7	D1(mm)	D2(mm)	D3(mm)	D4(mm)	MÉDIA
E-01	110,9	111,5	113,8	109,6	111,45
N-01	109,8	108,5	108,5	108,5	108,83
E-02	114,0	112,7	110,5	110,9	112,03
N-02	109,8	108,7	109,5	109,2	109,30
E-03	111,3	110,3	114,4	112,4	112,10
N-03	108,8	106,8	108,8	108,5	108,23
E-04	113,5	113,7	112,1	111,4	112,68
N-04	107,1	105,5	105,8	109,0	106,85
E-05	112,9	109,1	114,7	115,5	113,05
N-05	103,6	101,8	103,5	106,6	103,88
E-06	111,8	111,6	112,1	112,3	111,95
N-06	106,5	106,6	110,5	108,7	108,08
E-07	111,8	108,9	113,4	113,8	111,98
N-07	106,0	105,9	107,4	108,0	106,83
E-08	110,4	110,7	111,5	111,1	110,93
N-08	107,5	106,4	108,3	108,6	107,70
E-09	109,5	107,9	111,2	112,7	110,33
N-09	101,3	102,8	102,6	104,6	102,83
E-10	107,8	107,7	109,7	109,3	108,63
N-10	101,0	105,9	102,7	102,6	103,05
E-11	106,5	109,0	110,1	108,9	108,63
N-11	099,5	101,6	101,8	102,7	101,40
E-12	105,2	107,7	109,1	107,5	107,38
N-12	097,3	100,5	102,2	099,3	99,83
E-13	103,6	105,5	108,6	107,5	106,30
N-13	099,1	099,3	103,8	099,2	100,35
MÉDIA					107,87

Bambu 10	D1(mm)	D2(mm)	D3(mm)	D4(mm)	MÉDIA
N-01	109,0	114,3	109,7	106,4	109,85
E-02	110,6	107,7	110,5	114,8	110,90
N-02	105,5	103,7	105,5	114,8	107,38
E-03	112,4	109,8	111,5	115,3	112,25
N-03	106,6	104,3	106,4	108,5	106,45
E-04	115,2	111,9	111,0	114,5	113,15
N-04	104,0	103,0	105,0	108,0	105,00
E-05	113,0	110,4	112,0	114,6	112,50
N-05	108,4	107,0	107,0	109,0	107,85
E-06	113,6	112,2	111,0	112,4	112,30
N-06	101,8	102,1	102,4	102,5	102,20
E-07	113,5	109,8	110,7	111,3	111,33
N-07	108,9	106,6	108,3	108,8	108,15
E-08	111,1	111,6	112,0	113,0	111,93
N-08	106,5	103,8	105,8	106,1	105,55
E-09	111,2	111,3	111,7	111,3	111,38
N-09	107,1	107,4	105,0	105,2	106,18
E-10	110,0	108,6	110,0	109,7	109,58
N-10	107,2	106,6	105,5	106,5	106,45
E-11	109,0	107,2	108,1	109,7	108,50
N-11	104,7	105,5	106,0	106,0	105,55
E-12	108,9	108,0	107,7	109,4	108,50
N-12	104,4	102,9	101,2	101,5	102,50
E-13	106,6	105,4	107,1	107,3	106,60
MÉDIA					108,42

Quadro 1. Continuação.

Bambu 11	D1(mm)	D2(mm)	D3(mm)	D4(mm)	MÉDIA
E-01	113,7	116,4	118,0	115,4	115,88
N-01	110,5	110,4	109,8	109,9	110,15
E-02	116,5	117,7	113,3	114,2	115,43
N-02	109,7	111,4	109,4	110,3	110,20
E-03	111,9	116,9	116,2	116,2	115,30
N-03	106,7	106,6	107,3	109,7	107,58
E-04	116,0	112,1	110,4	113,0	112,88
N-04	106,0	105,5	104,3	103,9	104,93
E-05	111,4	112,0	110,3	110,7	111,10
N-05	104,3	102,5	099,8	101,7	102,08
E-06	111,0	110,0	106,8	106,6	108,60
N-06	105,3	105,7	106,1	105,0	105,53
E-07	109,4	110,0	109,3	110,6	109,83
N-07	107,6	103,8	104,8	107,2	105,85
E-08	107,6	112,8	109,2	109,5	109,78
N-08	105,5	106,6	108,0	106,9	106,75
E-09	107,8	107,4	107,5	109,6	108,08
N-09	103,4	101,4	101,6	103,5	102,48
MÉDIA					109,02

Bambu 16	D1(mm)	D2(mm)	D3(mm)	D4(mm)	MÉDIA
E-01	105,2	111,1	111,6	114,2	110,53
N-01	106,9	108	105,6	104,9	106,35
E-02	105,7	114,0	112,9	112,9	111,38
N-02	107,4	105,2	105,0	104,9	105,63
E-03	112,7	113,8	112,4	111,7	112,65
N-03	103,7	101,6	107,3	104,8	104,35
E-04	112,8	112,8	111,8	112,6	112,50
N-04	104,0	105,9	106,5	106,6	105,75
E-05	112,8	112,9	111,4	111,6	112,18
N-05	102,7	106,9	104,9	103,4	104,48
E-06	112,0	110,4	111,8	112,0	111,55
N-06	105,3	103,2	104,2	104,8	104,38
E-07	110,4	111,6	110,0	109,9	110,48
N-07	103,6	105,0	102,0	101,5	103,03
E-08	108,7	108,3	111,0	111,0	109,75
N-08	100,6	101,0	100,8	101,4	100,95
E-09	107,5	107,3	108,8	107,2	107,70
N-09	100,7	101,4	098,8	099,6	100,13
E-10	103,6	106,2	106,3	105,0	105,28
N-10	098,3	100,7	099,9	098,6	099,38
E-11	101,5	101,0	102,3	100,1	101,23
MÉDIA					106,65

Quadro 1. Continuação.

Bambu 22	D1(mm)	D2(mm)	D3(mm)	D4(mm)	MÉDIA
E-01	101,1	102,0	104,8	102,6	102,63
N-01	101,9	99,0	100,0	101,4	100,58
E-02	104,9	103,8	105,0	106,4	105,03
N-02	102,0	100,5	101,4	103,8	101,93
E-03	106,4	105,0	105,8	107,5	106,18
N-03	103,4	101,5	103,6	105,0	103,38
E-04	107,7	107,5	109,0	109,6	108,45
N-04	102,8	100,8	101,5	099,5	101,15
E-05	109,1	106,5	105,4	108,0	107,25
N-05	102,3	100,2	100,8	102,8	101,53
E-06	111,6	108,8	107,7	110,4	109,63
N-06	104,4	102,0	102,3	102,7	102,85
E-07	109,6	108,1	110,6	111,6	109,98
N-07	104,8	101,6	101,4	101,0	102,20
E-08	111,3	108,0	107,5	111,0	109,45
N-08	102,2	102,4	102,7	102,0	102,33
E-09	109,0	108,1	111,1	111,4	109,90
N-09	104,3	102,9	100,9	102,2	102,58
E-10	111,0	110,5	108,4	108,8	109,68
N-10	102,6	103,4	100,7	101,1	101,95
E-11	107,5	107,9	108,9	108,8	108,28
MÉDIA					105,09

Bambu 26	D1(mm)	D2(mm)	D3(mm)	D4(mm)	MÉDIA
E-01	127,6	127,7	128,0	128,0	127,83
N-01	123,4	122,6	125,2	121,7	123,23
E-02	128,8	127,7	122,2	128,0	126,68
N-02	118,0	119,4	119,7	116,2	118,33
E-03	128,3	125,6	125,5	127,4	126,70
N-03	116,3	113,4	115,7	114,5	114,98
E-04	125,3	122,4	128,5	128,0	126,05
N-04	119,3	117,5	116,2	115,8	117,20
E-05	124,8	120,7	120,8	125,0	122,83
N-05	118,7	119,0	115,7	115,5	117,23
E-06	121,2	119,3	122,3	125,4	122,05
N-06	108,2	106,1	103,6	107,6	106,38
E-07	120,3	118,4	118,2	121,5	119,60
N-07	110,8	108,5	111,7	112,1	110,78
E-08	118,7	116,0	117,8	120,5	118,25
N-08	107,4	105,8	106,4	110,5	107,53
E-09	116,2	113,5	105,7	108,3	110,93
N-09	105,8	106,0	106,8	104,2	105,70
E-10	113,8	115,8	114,2	112,5	114,08
MÉDIA					117,70

Quadro 2. Valores de leituras de Altura de mercúrio h, Alturas piezométricas P, e temperatura da água t, para tubo de bambu gigante número 1, em 6 repetições.

Repetição 1

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
77,00	51,60	48,30	48,10	44,30	24,50
72,80	51,50	48,40	48,20	44,60	25,00
61,00	51,30	48,70	48,60	45,50	25,50
53,00	50,70	48,30	48,10	45,30	24,50
45,80	51,00	48,80	48,60	46,20	24,50
39,40	47,80	46,00	45,80	43,70	25,00
35,40	46,80	45,20	45,00	43,00	26,00
31,40	47,80	46,40	46,20	44,30	26,50
27,10	48,10	46,80	46,70	45,00	27,00
22,90	46,00	44,90	44,90	43,50	27,00
19,30	45,40	44,30	44,30	43,20	27,50
15,80	42,40	41,60	41,60	40,40	28,00
12,70	44,20	43,60	43,60	42,10	28,00
11,00	43,70	43,10	43,10	42,20	28,00
10,30	42,20	41,70	41,70	40,80	25,00
08,70	44,10	43,70	43,70	42,40	25,50
07,80	42,40	42,00	42,00	41,30	26,00
06,90	41,90	41,50	41,50	40,90	28,00
32,50	39,00	38,80	38,80	38,40	27,50
24,10	40,60	40,40	40,40	40,10	28,00
15,90	34,20	34,10	34,10	33,90	25,00
12,00	35,30	35,30	35,30	35,00	26,00
09,00	40,30	40,30	40,30	40,10	27,00

Repetição 2

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
77,80	51,50	48,10	47,90	44,10	24,50
72,70	51,60	48,40	48,30	44,70	25,00
60,50	51,30	48,70	48,60	45,50	25,50
51,30	51,20	48,90	48,70	46,00	24,50
44,20	50,80	48,70	48,50	46,20	25,00
39,00	48,00	46,20	46,00	43,90	25,50
33,30	47,60	46,00	45,90	44,00	26,00
27,90	48,50	47,30	47,10	45,50	26,50
23,50	45,70	44,60	44,50	43,00	27,00
20,50	44,50	43,60	43,50	42,20	27,50
17,00	39,90	39,10	39,10	38,00	27,50
13,50	44,60	44,00	44,00	42,90	28,00
11,40	44,90	44,30	44,30	43,40	28,00
10,90	42,60	42,00	42,00	41,10	25,00
09,80	42,80	42,30	42,30	41,50	25,00
08,30	43,10	42,70	42,70	41,90	26,00
07,40	42,50	42,10	42,10	41,30	27,00
06,30*	41,30	41,00	41,00	40,40	28,00
30,80	39,90	39,60	39,60	39,20	27,50
23,20	41,80	41,60	41,60	41,20	28,00
14,70	34,40	34,30	34,30	34,00	25,00
11,20	36,30	36,30	36,30	36,10	26,50
08,80	40,60	40,60	40,60	40,40	27,00

valores de h (cm) entre asteriscos, *30,80*, representa medição com tetracloreto

Quadro2. Continuação.**Repetição 3**

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
78,00	51,40	47,90	47,70	43,90	24,50
71,50	51,70	48,50	48,40	44,80	25,00
59,60	51,30	48,80	48,70	45,70	25,50
51,30	51,20	49,00	48,80	46,10	24,50
42,80	51,10	49,20	49,00	46,60	25,00
39,00	48,00	46,20	46,00	43,90	25,50
32,70	47,80	46,30	46,10	44,30	26,00
27,90	48,50	47,30	47,10	45,50	26,50
23,90	45,50	44,50	44,30	42,90	27,00
19,70	45,10	44,20	44,10	42,90	27,50
16,30	41,90	41,10	41,10	39,90	28,00
13,50	44,70	44,10	44,10	43,00	28,00
11,00	44,60	44,10	44,10	43,20	28,00
09,70	42,00	41,60	41,60	40,30	25,50
08,30	42,10	41,80	41,80	41,00	26,00
07,30	42,60	42,30	42,30	41,50	28,00
06,30	39,90	39,60	39,60	38,90	28,00
04,90	42,20	41,90	41,90	41,40	28,50
27,80	42,10	42,00	42,00	41,60	27,50
22,00	41,20	41,10	41,10	40,80	28,00
14,60	36,00	36,00	36,00	35,70	25,50
10,90	37,10	37,10	37,10	36,90	26,50
08,30	38,00	38,00	38,00	37,70	27,00

Repetição 4.

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
77,50	51,50	48,00	47,80	44,00	24,50
70,80	51,70	48,60	48,50	44,90	25,00
59,80	51,40	48,80	48,60	45,70	25,50
51,30	51,20	48,90	48,70	46,10	24,50
42,20	50,30	48,30	48,10	45,90	25,00
39,10	48,00	46,20	46,00	43,90	25,50
34,40	47,20	45,60	45,40	43,50	26,00
28,00	48,50	47,30	47,10	45,50	26,50
24,50	45,20	44,10	44,00	42,50	27,00
21,30	43,80	42,80	42,70	41,40	27,50
17,40	40,10	39,30	39,30	38,10	28,00
14,00	44,30	43,70	43,70	42,50	28,00
11,90	45,00	44,40	44,40	43,50	28,00
10,00	44,60	44,10	44,10	43,20	28,00
08,50	42,80	42,40	42,40	41,60	25,50
07,30	42,60	42,30	42,30	41,60	26,50
06,30	40,40	40,10	40,10	39,50	28,00
05,50	40,80	40,50	40,50	40,00	28,50
27,80	41,40	41,20	41,20	40,90	27,50
19,20	41,90	41,80	41,80	41,50	28,00
14,50	34,10	34,00	34,00	33,80	25,50
10,40	39,10	39,10	39,10	38,80	26,50
07,90	40,40	40,40	40,40	40,20	27,00

valores de h (cm) entre asteriscos, *30,80*, representa medição com tetracloreto

Quadro 2. Continuação.**Repetição 5.**

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
77,10	51,50	48,00	47,80	44,00	25,00
70,20	51,70	48,60	48,50	45,00	25,00
58,20	51,50	49,00	48,80	45,90	25,50
51,20	51,30	49,00	48,80	46,20	24,50
41,10	50,60	48,70	48,50	46,40	25,00
39,00	48,00	46,20	46,00	43,90	25,50
35,40	46,80	45,20	45,00	43,00	26,00
27,90	47,60	46,30	46,10	44,60	27,00
23,90	45,50	44,50	44,30	42,90	27,00
20,40	44,50	43,60	43,50	42,30	27,50
17,20	40,80	40,00	40,00	38,60	28,00
14,40	43,90	43,20	43,20	42,00	28,00
12,30	44,80	44,20	44,20	43,20	28,00
10,80	44,40	43,90	43,90	43,00	28,00
09,00	43,60	43,20	43,20	42,40	25,50
08,20	42,50	42,10	42,10	41,40	26,00
07,20	42,10	41,70	41,70	41,00	28,00
06,10	40,60	40,30	40,30	39,70	28,50
26,60	41,70	41,60	41,60	41,20	27,50
19,10	40,70	40,60	40,60	40,40	28,00
13,20	35,60	35,50	35,50	35,30	25,50
10,00	40,20	40,20	40,20	40,00	26,50
07,80	40,50	40,50	40,50	40,30	27,00

Repetição 6.

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
76,90	51,50	48,00	47,80	44,00	25,00
69,80	51,80	48,70	48,60	45,10	25,50
58,30	51,60	49,10	48,90	46,00	26,00
50,50	51,60	49,20	49,00	46,40	24,50
40,50	50,70	48,90	48,70	46,60	25,00
38,70	48,20	46,30	46,10	44,00	25,50
35,10	46,90	45,30	45,10	43,10	26,50
29,10	47,10	45,80	45,60	43,90	27,00
24,90	44,80	43,60	43,50	42,00	27,50
21,30	43,80	42,80	42,70	41,40	27,50
17,80	40,00	39,10	39,10	37,90	28,00
14,90	43,30	42,50	42,50	41,40	28,00
12,90	43,90	43,20	43,20	42,20	28,00
10,10	44,70	44,20	44,20	43,30	28,00
08,60	43,10	42,70	42,70	42,00	25,50
07,50	42,80	42,30	42,30	41,70	26,00
06,70	41,90	41,50	41,50	40,90	28,00
05,50	40,10	39,80	39,80	39,20	27,50
26,50	40,40	40,30	40,30	39,90	27,50
19,10	40,90	40,80	40,80	40,50	28,00
12,10	36,20	36,10	36,10	36,00	26,00
09,40	40,20	40,10	40,10	40,00	26,50

valores de h (cm) entre asteriscos, *30,80*, representa medição com tetracloreto

Quadro 3 Valores de leituras de Altura de mercúrio h, Alturas piezométricas P, e temperatura da água t, para tubo de bambu gigante número 2, em 6 repetições.

Repetição 1.

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
76,80	53,90	50,80	49,00	46,90	24,00
67,90	53,20	50,50	49,00	47,00	25,00
58,70	52,10	49,80	48,50	46,80	25,50
50,50	51,90	49,80	48,70	47,20	26,00
42,30	50,40	48,70	47,70	46,40	26,00
38,30	49,40	47,90	47,00	45,70	26,50
32,70	48,40	47,00	46,20	45,10	27,00
28,30	45,80	44,60	43,90	42,90	27,00
23,80	44,50	43,60	43,00	42,10	27,00
21,90	41,20	40,40	39,70	38,90	26,50
19,70	41,20	40,50	39,90	39,10	26,50
17,50	41,80	41,30	40,70	40,00	26,00
15,50	42,00	41,60	41,00	40,40	26,00
13,90	40,40	40,10	39,50	39,00	26,00
12,90	39,30	38,90	38,40	37,90	25,50
11,60	39,70	39,30	38,90	38,50	25,50
10,30	40,60	40,30	39,90	39,50	25,50
08,80	36,80	36,50	36,20	35,80	27,00
35,70	39,70	39,40	39,30	39,10	27,00
23,30	39,30	39,10	39,10	38,90	26,50
13,30	41,60	41,50	41,50	41,30	26,00
10,20	37,10	37,10	37,10	36,90	25,00
08,40	39,20	39,20	39,20	39,00	24,50

Repetição 2.

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
74,60	54,00	50,90	49,30	47,20	24,00
67,60	51,00	50,30	48,80	46,70	25,00
58,50	51,90	49,50	48,20	46,50	25,50
50,00	51,70	49,70	48,60	47,00	26,00
41,80	50,20	48,50	47,60	46,30	26,00
37,90	49,00	47,50	46,50	45,30	26,00
32,20	48,30	47,00	46,20	45,10	27,00
27,80	45,40	44,20	43,50	42,60	27,00
22,80	45,30	44,40	43,80	43,00	27,00
22,10	40,70	40,00	39,50	38,40	26,50
20,10	41,10	40,40	39,70	39,00	26,50
17,90	41,80	41,30	40,60	39,90	26,00
15,30	42,20	41,90	41,30	40,70	26,00
14,50	40,30	39,90	39,30	38,80	26,00
13,30	39,20	38,90	38,30	37,80	25,50
12,10	37,90	37,50	37,10	36,60	25,50
10,70	39,20	38,90	38,50	38,00	25,50
09,20	37,00	36,70	36,40	35,90	27,00
35,70	40,20	39,80	39,70	39,50	27,00
23,80	39,80	39,70	39,70	39,40	26,50
14,00	41,80	41,80	41,80	41,60	26,00
11,20	34,60	34,60	34,60	34,40	25,50
08,90	37,20	37,20	37,20	37,00	24,50

valores de h (cm) entre asteriscos, *30,80*, representa medição com tetracloreto

Quadro 3 Continuação.**Repetição 3.**

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
75,20	54,00	50,90	49,30	47,10	24,50
67,20	52,80	50,20	48,70	46,70	25,50
57,80	51,90	49,60	48,30	46,50	25,50
49,40	51,60	49,60	48,50	47,00	26,00
41,20	50,20	48,50	47,60	46,30	26,00
37,90	48,60	47,00	46,00	44,80	27,00
31,50	48,40	47,10	46,40	45,30	27,00
27,60	46,20	45,00	44,30	43,30	27,00
22,10	44,40	43,50	42,90	42,20	27,00
21,10	39,90	39,20	38,50	37,70	26,50
20,60	41,30	40,60	39,90	39,20	26,50
18,30	41,60	41,00	40,30	39,70	26,00
15,70	41,80	41,40	40,80	40,20	26,00
14,90	40,20	39,80	39,20	38,70	26,00
13,60	39,10	38,70	38,20	37,70	25,50
12,50	37,20	36,80	36,30	35,80	25,50
11,00	39,20	38,90	38,50	38,00	25,50
09,40	37,00	36,70	36,40	36,00	27,00
34,80	39,90	39,60	39,50	39,20	27,00
24,30	39,70	39,50	39,50	39,30	26,50
14,70	41,60	41,60	41,60	41,40	26,00
11,70	35,30	35,30	35,30	35,10	25,50
08,90	38,00	38,00	38,00	37,70	24,50

Repetição 4.

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
74,50	54,00	50,90	49,30	47,20	24,50
67,00	52,90	50,20	48,70	46,70	25,50
57,40	52,10	49,80	48,50	46,80	26,00
48,80	51,90	49,80	48,70	47,20	26,00
40,30	50,20	48,60	47,60	46,30	26,50
37,60	48,40	46,90	46,00	44,70	27,00
33,40	47,60	46,30	45,40	44,30	27,00
30,40	48,20	46,90	46,10	45,10	27,00
26,60	46,00	45,00	44,20	43,30	27,00
22,40	41,00	40,20	39,50	38,70	26,50
20,90	41,20	40,50	39,80	39,00	26,50
18,50	41,60	41,10	40,40	39,80	26,00
16,20	41,80	41,40	40,80	40,20	26,00
15,20	40,70	40,30	39,70	39,10	26,00
14,60	39,00	38,60	38,00	37,50	26,00
12,90	38,20	37,80	37,30	36,80	25,50
11,00	39,20	38,90	38,50	38,00	25,50
09,70	36,70	36,40	36,10	35,70	27,50
34,00	39,90	39,60	39,50	39,30	27,00
25,20	40,50	40,30	40,30	40,00	27,00
16,80	40,00	39,90	39,90	39,70	26,50
13,10	34,10	34,10	34,10	33,90	26,00
08,10	39,20	39,20	39,20	39,00	24,50

valores de h (cm) entre asteriscos, *30,80*, representa medição com tetracloreto

Quadro 3. Continuação.**Repetição 5.**

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
73,60	54,00	49,90	49,30	47,20	24,50
66,80	52,80	50,00	48,50	46,60	25,50
56,90	51,90	48,80	48,50	46,80	26,00
48,60	51,30	49,40	48,30	46,80	26,00
39,80	50,00	48,50	47,50	43,60	26,50
37,50	48,30	46,70	45,80	44,60	27,00
32,10	47,80	46,40	45,60	44,60	27,00
26,50	46,20	45,10	44,40	43,50	27,00
22,80	45,00	44,60	43,50	42,70	27,00
21,90	39,40	38,80	38,00	37,20	26,50
21,30	41,20	40,50	39,70	39,00	26,50
18,90	41,50	40,90	40,20	39,50	26,00
16,50	41,70	41,30	40,70	40,10	26,00
15,80	41,30	40,90	40,30	39,70	26,00
14,80	38,90	38,50	37,90	37,30	26,00
13,70	38,80	38,30	37,80	37,30	25,50
11,70	38,50	38,10	37,70	37,20	25,50
10,00	35,80	35,50	35,10	34,80	27,50
31,80	41,50	41,20	41,20	40,90	27,00
22,80	41,40	41,20	41,20	41,00	27,00
16,70	39,90	39,80	39,80	39,60	26,50
12,90	35,90	35,90	35,90	35,60	26,00
08,40	38,60	38,60	38,60	38,40	24,50

Repetição 6.

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
73,80	54,00	50,90	49,30	47,20	24,50
66,70	52,60	50,00	48,50	46,40	25,50
56,50	52,20	49,90	48,50	46,90	26,00
48,40	51,30	49,40	48,30	46,80	26,00
39,30	49,70	48,10	47,20	46,00	26,50
37,20	48,00	46,40	45,50	44,30	27,00
32,10	48,00	46,60	45,80	44,80	27,00
27,20	45,80	44,70	44,00	43,10	27,00
23,40	45,50	44,60	43,90	43,10	27,00
22,40	41,20	40,00	39,80	38,90	26,50
21,50	41,00	40,20	39,10	38,80	26,50
19,30	41,40	41,00	40,10	39,40	26,00
17,00	41,70	41,20	40,60	40,00	26,00
16,10	41,00	40,50	39,90	39,30	26,00
15,20	39,70	39,20	38,60	38,10	26,00
14,10	37,80	37,40	36,90	36,30	25,50
12,90	38,70	38,30	37,80	37,30	25,50
10,20	37,70	37,40	37,00	36,60	27,50
30,00	41,00	40,70	40,70	40,40	27,00
22,80	41,00	40,80	40,80	40,60	27,00
15,70	39,40	39,30	39,30	39,10	26,50
10,80	43,20	43,20	43,20	43,00	26,00
08,00	38,50	38,50	38,50	38,30	25,00

valores de h (cm) entre asteriscos, *30,80*, representa medição com tetracloreto

Quadro 4. Valores de leituras de Altura de mercúrio h, Alturas piezométrica P, e temperatura da água t, para tubo de bambu gigante número 3, em 6 repetições.

Repetição 1.

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
76,50	58,00	55,20	55,20	50,80	23,50
66,10	55,10	52,10	52,10	48,70	24,00
56,80	54,50	52,50	52,50	49,10	24,00
47,50	52,30	50,50	50,50	47,60	24,50
42,60	51,60	49,90	49,90	47,30	25,00
36,80	50,50	48,90	48,90	46,60	25,00
30,70	50,00	48,70	48,70	46,60	25,50
28,30	49,20	47,90	47,90	46,00	25,50
23,40	47,40	46,40	46,40	44,70	26,00
20,20	46,10	45,10	45,10	43,80	24,00
17,50	45,20	44,40	44,40	43,20	24,50
14,60	45,10	44,40	44,40	43,20	24,50
12,30	45,10	44,50	44,50	43,60	24,50
10,80	43,10	42,50	42,50	41,80	25,00
09,10	43,70	43,30	43,30	42,60	25,50
08,20	42,00	41,70	41,70	41,10	25,50
07,20	40,80	40,60	40,60	40,00	26,00
06,60	39,90	39,70	39,70	39,20	26,00
31,30	39,00	38,90	38,90	38,50	26,50
23,60	37,70	37,70	37,70	37,30	27,00
12,50	42,20	42,20	42,20	42,00	24,50
09,80	42,50	42,50	42,50	42,30	24,00
07,10	34,90	34,90	34,90	34,60	23,00

Repetição 2.

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
77,60	57,80	55,10	55,10	50,50	23,50
65,90	54,90	52,50	52,50	48,70	24,00
56,20	52,90	50,80	50,80	47,50	24,00
46,80	52,00	50,20	50,20	47,30	24,50
41,90	51,10	49,40	49,40	46,90	25,00
37,20	50,00	48,40	48,40	46,00	25,50
30,50	49,70	48,30	48,30	46,40	25,50
27,60	49,20	47,90	47,90	46,00	26,00
23,10	47,70	46,60	46,60	45,00	26,00
19,70	45,90	45,00	45,00	43,70	24,00
16,70	45,50	44,70	44,70	43,60	24,50
14,20	45,30	44,60	44,60	43,60	24,50
12,00	44,60	44,10	44,10	43,20	24,50
10,50	43,20	42,70	42,70	42,00	25,00
08,80	43,40	43,10	43,10	42,40	25,50
08,10	41,50	41,20	41,20	40,60	25,50
06,40	42,00	41,70	41,70	41,10	26,00
06,00	40,30	40,10	40,10	39,60	26,00
30,20	38,40	38,30	38,30	37,90	26,50
23,00	38,10	38,10	38,10	37,70	27,00
13,20	41,60	41,60	41,60	41,30	25,00
10,60	42,20	42,20	42,20	42,00	24,50
07,60	34,10	34,10	34,10	33,90	23,00

valores de h (cm) entre asteriscos, *30,80*, representa medição com tetracloreto

Quadro 4. Continuação**Repetição 3.**

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
76,50	57,30	54,50	54,50	50,00	23,50
64,200	55,00	52,50	52,50	48,80	24,00
55,60	52,90	50,80	50,80	47,60	24,50
45,80	51,60	49,80	49,80	47,00	24,50
41,00	50,80	49,10	49,10	46,60	25,00
35,70	50,00	48,50	48,50	46,20	25,50
30,10	49,60	48,30	48,30	46,30	25,50
26,60	48,40	47,10	47,10	45,30	26,00
22,30	47,70	46,60	46,60	45,10	26,00
18,90	45,40	44,60	44,60	43,30	24,00
16,10	45,80	45,00	45,00	44,00	24,50
13,70	45,50	44,90	44,90	43,90	24,50
11,50	45,00	44,60	44,60	43,70	25,00
10,20	43,40	42,90	42,90	42,20	25,00
08,60	43,30	42,90	42,90	42,30	25,50
07,90	41,50	41,20	41,20	40,60	26,00
06,60	41,30	41,10	41,10	40,60	26,00
05,90	40,60	40,40	40,40	39,90	26,00
27,60	39,20	39,10	39,10	38,70	26,50
22,70	38,20	38,20	38,20	37,90	27,00
14,50	39,40	39,40	39,40	39,10	25,00
10,90	42,90	42,90	42,90	42,70	24,50
08,40	42,30	42,30	42,30	42,10	23,50

Repetição 4.

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
75,70	57,20	54,50	54,50	50,00	23,50
63,80	54,90	52,50	52,50	48,80	24,00
54,60	52,70	50,60	50,60	47,50	24,50
44,70	51,70	49,90	49,90	47,20	25,00
39,60	50,20	48,60	48,60	46,20	25,00
34,30	50,20	48,70	48,70	46,50	25,50
29,50	49,10	47,80	47,80	45,90	25,50
25,70	48,00	46,80	46,80	45,00	26,00
21,80	47,50	46,50	46,50	45,00	26,00
18,40	45,20	44,40	44,40	43,20	24,00
15,60	45,90	45,10	45,10	44,10	24,50
13,40	45,90	44,90	44,90	43,90	24,50
11,20	44,50	44,00	44,00	43,20	25,00
09,90	43,50	43,10	43,10	42,40	25,00
08,20	43,00	42,70	42,70	42,10	25,50
07,20	41,70	41,40	41,40	40,80	26,00
06,40	41,30	41,20	41,20	40,60	26,00
05,70	39,60	39,50	39,50	38,90	26,50
26,90	39,90	39,80	39,80	39,40	26,50
21,80	38,00	38,00	38,00	37,60	27,00
15,30	39,40	39,40	39,40	39,10	25,00
11,20	43,70	43,70	43,70	43,40	24,50
08,90	39,70	39,70	39,70	39,40	23,50

valores de h (cm) entre asteriscos, *30,80*, representa medição com tetracloreto

Quadro 4. Continuação**Repetição 5.**

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
75,30	56,90	54,3	54,30	49,90	23,50
63,00	54,50	52,3	52,30	48,50	24,00
53,70	52,80	50,7	50,70	47,70	24,50
46,80	52,10	50,1	50,10	47,30	24,50
39,50	49,90	48,3	48,30	45,90	25,00
33,10	50,20	48,8	48,80	46,60	25,50
28,80	49,20	47,9	47,90	46,00	25,50
25,20	47,40	46,3	46,30	44,50	26,00
21,20	47,20	46,2	46,20	44,60	26,00
17,90	45,50	44,7	44,70	43,50	24,00
15,20	45,50	44,7	44,70	43,70	24,50
13,10	45,30	44,8	44,80	43,90	24,50
11,10	44,10	43,7	43,70	42,80	25,00
09,60	43,50	43,1	43,10	42,50	25,00
08,00	43,00	42,7	42,70	42,00	25,50
07,00	41,80	41,5	41,50	41,00	26,00
06,20	41,20	41,0	41,00	40,50	26,00
05,40	39,30	39,1	39,10	38,60	26,50
26,10	40,60	40,5	40,50	40,10	27,00
21,10	37,20	37,2	37,20	36,80	27,00
15,80	38,70	38,7	38,70	38,40	25,00
11,20	43,50	43,5	43,50	43,30	24,50
09,30	43,20	43,2	43,20	43,00	24,00

Repetição 6.

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
75,00	56,80	54,10	54,10	49,70	23,50
61,90	54,90	52,50	52,50	48,80	24,00
52,60	52,90	50,90	50,90	47,70	24,50
43,90	51,70	49,90	49,90	47,20	25,00
37,80	50,50	48,90	48,90	46,50	25,00
32,30	50,30	48,90	48,90	46,80	25,50
28,50	49,10	47,80	47,80	45,90	25,50
24,50	47,40	46,30	46,30	44,50	26,00
20,00	47,80	46,90	46,90	45,40	26,00
16,60	45,90	45,10	45,10	43,90	24,00
14,60	45,20	44,50	44,50	43,50	24,50
12,30	45,70	45,20	45,20	44,40	24,50
10,80	44,30	43,90	43,90	43,10	25,00
09,40	43,30	42,90	42,90	42,20	25,50
07,80	43,00	42,70	42,70	42,10	25,50
06,80	41,70	41,50	41,50	40,90	26,00
06,00	41,90	41,70	41,70	41,20	26,00
05,20	38,20	38,10	38,10	37,60	26,50
24,30	37,30	37,20	37,20	36,90	27,00
19,30	35,50	35,50	35,50	35,10	27,00
16,70	39,00	39,00	39,00	38,70	25,00
11,50	42,70	42,70	42,70	42,50	24,50
09,30	42,50	42,50	42,50	42,30	24,00

valores de h (cm) entre asteriscos, *30,80*, representa medição com tetracloreto

Quadro 5. Valores de leituras de Altura de mercúrio h, Alturas piezométricas P, e temperatura da água t, para tubo corrugado rígido, em 6 repetições.

Repetição 1.

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
78,10	49,30	46,10	45,00	38,60	25,00
75,90	49,30	46,30	45,40	39,30	25,00
73,60	49,40	46,40	45,50	39,50	25,50
72,20	49,50	46,60	45,60	39,70	26,00
70,60	49,60	46,80	45,90	40,10	26,00
67,90	49,80	47,00	46,20	40,70	26,00
64,90	50,10	47,40	46,60	41,40	26,00
62,30	50,10	47,50	46,70	41,60	26,00
58,70	49,80	47,50	46,70	41,90	26,00
54,60	48,70	46,60	45,80	41,30	26,00
50,80	47,80	45,80	45,00	40,80	26,50
44,10	47,60	45,70	45,10	41,30	27,00
41,50	47,20	45,50	44,90	41,30	27,00
37,40	46,70	45,10	44,50	41,30	27,00
34,40	46,40	45,00	44,50	41,30	27,00
30,00	46,00	44,80	44,30	41,60	27,00
25,00	45,40	44,40	43,90	41,60	27,00
19,30	43,30	42,50	42,10	40,30	27,00
13,90	42,30	41,80	41,40	40,10	27,00
10,60	42,30	41,90	41,70	40,70	27,00
08,20	42,70	42,50	42,30	41,50	28,00
07,40	40,80	40,60	40,30	39,60	27,00
06,30	41,00	40,90	40,70	40,10	28,00
05,00	41,20	41,00	40,90	40,30	27,00
04,20	38,60	38,50	38,40	38,00	28,00
03,30	40,10	40,00	39,90	39,50	27,00
03,00	42,40	42,40	42,30	41,90	28,00

Repetição 2.

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
77,60	53,60	50,50	49,50	43,20	26,00
74,70	53,70	50,70	49,70	43,60	26,00
70,20	51,80	48,90	48,00	42,20	26,00
64,00	52,10	49,50	48,60	43,30	26,00
59,70	51,40	49,00	48,20	43,20	26,50
55,00	50,40	48,20	47,50	42,90	26,50
49,20	50,20	48,10	47,50	43,20	26,50
43,60	49,00	47,10	46,50	42,70	26,50
39,10	48,20	46,50	46,00	42,60	27,00
35,90	46,40	44,90	44,30	41,30	27,00
29,70	46,90	45,60	45,10	42,50	27,00
24,00	43,00	42,00	41,60	39,50	27,00
22,00	43,00	42,00	41,70	39,70	27,00
19,60	43,10	42,80	42,40	40,60	27,00
18,10	43,90	43,10	42,70	41,00	27,00
15,90	44,90	43,80	43,50	41,90	27,00
12,00	44,60	44,10	43,80	42,60	27,50
10,30	42,80	42,50	42,20	41,20	27,50
07,70	42,70	42,50	42,20	41,40	27,50
06,10	40,00	39,90	39,60	38,90	27,50
05,60	37,60	37,50	37,30	36,60	28,00
04,50	39,10	39,00	38,80	38,30	28,00
03,90	41,90	41,80	41,60	41,10	28,00
03,70	41,00	40,90	40,70	40,20	28,00
03,30	39,70	39,70	39,50	39,10	28,00

Quadro 5. Continuação**Repetição 3.**

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
77,80	49,20	46,10	45,00	38,70	28,00
75,60	49,10	46,10	45,00	38,80	28,00
69,60	49,10	46,30	45,30	39,60	28,00
66,50	48,80	46,20	45,30	39,90	28,00
59,80	49,10	46,90	46,10	41,20	25,00
52,80	48,40	46,40	45,60	41,30	25,50
45,40	47,80	46,10	45,40	41,50	25,50
39,40	47,80	46,30	45,80	42,40	25,50
36,90	47,20	45,80	45,30	42,10	26,00
33,60	45,30	44,20	43,70	40,70	26,00
30,60	43,30	42,30	41,70	39,10	26,00
26,80	42,10	41,70	41,20	38,90	26,00
23,90	44,40	43,40	43,00	41,00	26,00
20,70	44,50	43,80	43,40	41,50	26,00
16,50	45,00	44,40	44,10	42,60	26,50
13,50	43,40	43,00	42,70	41,40	26,50
12,60	41,90	41,50	41,20	40,00	27,00
10,20	44,80	44,50	44,20	43,20	27,00
09,10	44,10	44,00	43,70	42,70	27,00
08,00	44,30	44,30	44,00	43,10	27,00
07,20	42,70	42,50	42,30	41,60	27,00
06,60	39,50	39,50	39,30	38,60	27,00
05,20	43,20	43,20	43,00	42,40	27,00
04,60	39,00	39,00	38,90	38,30	27,00
04,00	43,80	43,70	43,60	43,30	27,00
03,40	38,70	38,70	38,60	38,20	27,50

Repetição 4.

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
77,70	49,90	46,70	45,30	39,60	27,00
71,60	50,50	47,60	46,80	41,40	27,00
61,90	49,10	46,50	45,90	39,90	28,00
50,60	47,40	45,40	44,80	40,80	29,00
42,10	46,30	44,50	44,10	40,50	29,00
32,80	46,00	44,60	44,30	41,50	29,00
26,10	45,00	43,90	43,60	41,40	29,50
23,00	43,10	42,10	41,80	39,80	29,50
20,30	42,10	41,20	41,00	39,20	30,00
18,20	41,30	40,40	40,30	38,70	30,00
16,70	44,00	43,10	43,00	41,40	28,00
14,50	42,90	42,20	42,10	40,80	28,00
12,50	42,00	41,40	41,30	40,10	28,00
10,50	38,80	38,30	38,20	37,30	28,50
08,90	39,80	39,40	39,40	38,50	29,00
08,10	38,60	38,20	38,20	37,50	29,50
07,00	41,60	41,20	41,20	40,50	29,50
05,90	39,30	39,00	39,00	38,50	30,00
05,10	38,70	38,50	38,50	37,90	30,50
04,30	35,20	35,00	35,00	34,60	30,50
03,50	40,40	40,20	40,20	39,70	30,50

Quadro 5. Continuação.**Repetição 5.**

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
78,40	50,50	47,30	46,40	40,30	27,00
70,00	50,30	47,30	46,50	41,00	27,50
59,50	49,80	47,40	46,70	41,90	28,50
49,70	47,30	45,20	44,70	40,70	29,00
41,20	46,30	44,50	44,10	40,60	29,00
32,00	46,40	45,00	44,70	42,00	29,00
25,90	43,10	41,90	41,70	39,50	29,50
22,30	43,50	42,50	42,20	40,20	29,50
18,80	40,80	39,90	39,80	38,20	29,50
17,00	43,20	42,30	42,20	40,60	30,00
15,30	45,40	44,60	44,50	43,10	28,00
13,20	41,40	40,80	40,70	39,50	28,00
10,80	39,10	38,60	38,50	37,60	28,50
08,70	38,50	38,00	38,00	37,20	29,00
07,80	42,10	41,70	41,70	40,90	29,50
06,70	42,30	41,90	41,90	41,20	30,00
05,70	37,50	37,20	37,20	36,70	30,00
05,00	39,00	38,80	38,80	38,30	30,50
04,10	35,70	35,60	35,60	35,10	30,50
03,70	37,30	37,10	37,10	36,70	30,50

Repetição 6.

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	P3(cm)	P4(cm)	t(C)
77,00	50,70	47,60	46,70	40,60	27,50
69,30	50,20	47,30	46,50	41,00	28,00
58,90	49,80	47,40	46,70	41,90	28,50
48,90	47,30	45,20	44,70	40,70	29,00
39,10	46,50	44,70	44,30	39,90	29,00
30,90	46,60	45,20	44,90	42,30	29,00
24,90	43,70	42,60	42,30	40,20	29,50
21,30	43,60	42,60	42,40	40,50	29,50
18,00	41,90	41,10	41,00	39,40	29,50
15,90	43,00	42,30	42,20	40,80	30,00
13,90	43,00	42,40	42,30	41,10	28,00
12,10	40,60	40,00	40,00	38,90	28,50
09,50	34,80	34,30	34,30	33,40	29,00
08,50	39,50	39,00	39,00	38,20	29,00
07,50	39,80	39,40	39,40	38,70	29,50
06,10	38,30	38,00	38,00	37,50	30,00
05,30	38,60	38,30	38,30	37,80	30,00
04,40	34,00	33,70	33,70	33,30	30,50
03,50	36,10	36,00	36,00	35,60	30,50
03,10	38,80	38,70	38,70	38,30	30,50

Quadro 6. Valores de leituras de Altura de mercúrio h , Alturas piezométricas P e temperatura da água t , para tubo corrugado flexível, em 6 repetições.

Repetição 1.

$h(\text{cm})$	$P1(\text{cm})$	$P2(\text{cm})$	$t(\text{C})$
78,20	68,00	47,00	20,00
76,90	67,80	46,90	20,00
65,50	66,50	48,70	19,50
57,80	63,00	48,10	20,50
47,20	57,90	45,20	21,00
41,20	52,30	40,40	21,50
37,70	53,30	42,40	22,00
33,60	52,50	43,00	18,00
27,80	52,30	44,40	18,50
24,40	52,20	45,20	19,00
20,00	49,50	43,70	19,50
17,00	50,50	45,40	20,00
13,20	45,80	41,90	20,50
11,00	45,70	42,30	20,50
08,90	42,10	39,40	19,50
07,80	41,40	39,00	20,00
06,70	41,10	39,00	20,00
06,00	42,70	40,80	20,50
05,10	40,70	39,10	20,50
04,60	39,40	37,90	21,00
34,70	36,90	35,10	25,00
25,80	37,90	36,50	26,00
15,50	35,30	34,50	26,50
12,30	37,40	36,70	26,50
06,90	27,80	27,40	25,00

Repetição 2.

$h(\text{m})$	$P1(\text{cm})$	$P2(\text{cm})$	$t(\text{C})$
77,60	67,80	46,70	20,50
72,10	67,40	47,70	21,00
62,30	66,00	49,00	20,00
51,40	62,20	48,60	21,00
42,80	57,40	45,70	21,00
39,50	52,70	41,30	22,00
34,70	52,4	42,50	17,50
28,60	52,30	43,50	18,00
23,80	52,20	45,00	19,00
19,00	49,80	44,20	19,50
14,30	45,70	41,40	20,50
11,40	44,80	41,30	20,50
09,30	41,40	38,40	19,00
08,30	40,20	37,70	19,50
06,80	41,20	39,10	20,00
06,20	41,60	39,70	20,50
05,50	40,20	38,50	20,50
04,80	39,00	37,50	21,00
33,20	37,90	36,10	25,00
23,80	37,20	35,90	26,00
15,10	36,50	35,70	26,50
05,80	37,70	37,30	25,00

valores de h (cm) entre asteriscos, *30,80*, representa medição com tetracloreto

Quadro 6. Continuação.**Repetição 3.**

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	t(C)
78,20	67,80	46,50	20,50
74,50	67,50	47,10	21,00
64,40	66,50	48,90	19,50
55,20	61,80	47,10	21,00
44,70	58,20	46,00	21,00
40,70	52,40	40,70	21,50
36,00	52,50	42,40	17,00
30,80	52,40	43,20	18,00
27,40	52,30	44,40	18,50
22,80	52,20	45,10	19,00
18,30	52,10	46,40	20,00
15,10	45,00	40,30	20,00
12,00	44,10	40,30	20,50
10,40	44,70	41,30	19,00
08,50	43,00	40,40	19,00
07,50	41,60	39,30	20,00
06,40	41,00	39,10	20,00
05,60	42,40	40,70	20,50
05,00	38,90	37,40	21,00
34,60	37,20	35,40	25,50
25,20	35,80	34,50	26,00
14,90	36,60	35,80	26,50
07,00	34,00	33,60	25,00

Repetição 4

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	t(C)
77,40	71,90	50,70	16,50
73,10	68,10	48,00	17,00
67,00	67,00	48,40	17,50
60,10	64,10	47,50	18,00
55,00	60,10	44,90	18,50
45,20	57,80	45,00	19,00
39,10	55,60	44,20	19,00
36,20	54,20	43,70	18,00
33,10	53,60	43,90	18,00
30,60	53,40	44,40	18,50
26,10	51,50	43,80	19,00
23,00	49,20	42,30	19,00
20,00	48,90	42,90	19,50
17,30	48,60	43,40	19,50
14,80	45,90	41,40	20,00
12,40	45,90	42,10	20,00
11,10	47,00	43,50	20,50
10,30	40,00	36,80	18,00
08,70	43,80	41,00	18,50
07,60	43,70	41,20	19,00
06,60	39,70	37,60	19,00
05,70	40,70	38,90	19,50
05,10	39,80	38,10	20,00
33,00	37,80	36,10	25,50
24,50	35,60	34,30	26,00
13,70	36,90	36,20	26,50
06,20	35,20	34,80	25,50

valores de h (cm) entre asteriscos, *30,80*, representa medição com tetracloreto

Quadro 6. Continuação.
Repetição 5.

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	t(C)
76,00	71,50	50,40	17,00
72,40	67,90	47,90	17,50
65,50	66,60	48,40	18,00
59,70	63,80	47,20	18,00
53,30	60,00	45,10	18,50
45,10	57,80	44,90	19,00
37,90	55,9	44,80	19,50
35,20	54,60	44,30	18,00
31,60	52,20	42,90	18,50
28,00	51,50	43,30	18,50
25,10	50,70	43,30	19,00
22,00	50,70	44,10	19,00
19,30	48,00	42,20	19,50
16,50	49,00	44,00	20,00
14,60	47,20	42,70	20,00
12,20	46,70	43,00	20,00
10,90	47,20	43,80	20,50
09,30	42,50	39,60	18,00
08,50	44,00	41,30	18,50
07,10	41,90	39,60	19,00
06,30	40,20	38,10	19,50
05,50	40,90	39,10	19,50
33,00	37,30	35,40	25,50
24,20	35,40	34,30	26,50
13,20	36,30	35,60	26,50
06,20	35,20	34,80	25,50

Repetição 6.

h(cm)	P1(cm)	P2(cm)	t(C)
76,50	70,60	49,60	17,00
71,70	67,90	47,90	17,50
63,90	65,80	47,90	18,00
59,00	63,20	46,70	18,0
51,80	60,20	45,70	18,50
44,40	57,70	44,90	19,00
36,10	56,50	45,90	19,50
33,40	53,60	43,70	18,00
29,50	53,20	44,50	18,00
26,00	51,00	43,40	18,50
23,40	49,80	42,80	19,00
20,70	48,80	42,50	19,00
18,20	48,50	43,10	19,50
15,50	45,00	40,20	20,00
13,40	48,00	43,90	20,00
12,00	47,20	43,50	20,00
10,70	45,80	42,40	20,50
08,90	43,20	40,50	18,50
08,20	43,40	40,80	18,50
06,80	41,40	39,30	19,00
05,90	40,00	38,00	19,50
05,20	40,90	39,10	19,50
32,00	38,00	36,40	26,00
23,80	35,80	34,70	26,50
12,30	37,40	36,70	26,50
06,10	35,70	35,40	26,00

valores de h (cm) entre asteriscos, *30,80*, representa medição com tetracloreto

Quadro 7. Valores de Perda de carga unitaria (J), e local (J'), Vazão (Q), Velocidade (v), Viscosidade cinemática (ν), Número de Reynolds (Re), Coeficientes de Atrito (f), e de Rugosidade (C) e (n), Rugosidades Relativa (e/D) e Absoluta (e), calculados a partir de dados experimentais de tubo de bambu gigante 1, em 6 repetições.

Repetição 1.

J	J'	Q	v	ν	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(m)
0,0099	0,002	0,0070	0,799	9,45E-07	89260	0,032	112	0,0110	0,0053	0,00056
0,0093	0,002	0,0068	0,777	9,34E-07	87815	0,032	113	0,0110	0,0053	0,00056
0,0078	0,001	0,0062	0,711	9,23E-07	81332	0,032	113	0,0110	0,0053	0,00056
0,0073	0,002	0,0058	0,663	9,45E-07	74054	0,034	110	0,0114	0,0068	0,00071
0,0065	0,002	0,0054	0,616	9,45E-07	68840	0,035	109	0,0116	0,0074	0,00078
0,0055	0,002	0,0050	0,571	9,34E-07	64603	0,035	110	0,0115	0,0072	0,00075
0,0051	0,002	0,0047	0,542	9,12E-07	62689	0,036	108	0,0117	0,0079	0,00083
0,0047	0,002	0,0045	0,510	9,02E-07	59738	0,038	107	0,0119	0,009	0,00094
0,0042	0,001	0,0042	0,474	8,91E-07	56152	0,039	106	0,0121	0,0097	0,00102
0,0034	0	0,0038	0,436	8,91E-07	51617	0,037	109	0,0118	0,0082	0,00087
0,0030	0	0,0035	0,400	8,81E-07	47946	0,038	108	0,0121	0,0094	0,00099
0,0027	0	0,0032	0,362	8,71E-07	43893	0,043	102	0,0127	0,0131	0,00137
0,0028	0	0,0028	0,324	8,71E-07	39352	0,056	089	0,0145	0,0273	0,00287
0,0020	0	0,0026	0,302	8,71E-07	36624	0,046	100	0,0132	0,0161	0,00169
0,0019	0	0,0025	0,292	9,34E-07	33031	0,046	100	0,0132	0,0158	0,00166
0,0023	0	0,0024	0,269	9,23E-07	30715	0,066	083	0,0158	0,0406	0,00428
0,0015	0	0,0022	0,254	9,12E-07	29426	0,048	099	0,0134	0,0174	0,00184
0,0013	0	0,0021	0,239	8,71E-07	29006	0,049	098	0,0136	0,0188	0,00198
0,0008	0	0,0017	0,199	8,81E-07	23840	0,042	108	0,0127	0,0119	0,00125
0,0007	0	0,0015	0,171	8,71E-07	20772	0,048	103	0,0134	0,0169	0,00178
0,0004	0	0,0012	0,139	9,34E-07	15725	0,043	110	0,0128	0,0118	0,00125
0,0004	0	0,0011	0,121	9,12E-07	13986	0,057	095	0,0147	0,0276	0,00291
0,0003	0	0,0009	0,105	8,91E-07	12399	0,051	103	0,0139	0,0194	0,00204

Repetição 2.

J	J'	Q	v	ν	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(m)
0,0100	0,002	0,0070	0,803	9,45E-07	89722	0,032	112	0,011	0,0054	0,00057
0,0093	0,001	0,0068	0,776	9,34E-07	87755	0,032	113	0,011	0,0053	0,00056
0,0078	0,001	0,0062	0,708	9,23E-07	80998	0,032	113	0,011	0,0055	0,00058
0,0070	0,002	0,0057	0,652	9,45E-07	72857	0,034	110	0,011	0,0066	0,00069
0,0062	0,002	0,0053	0,605	9,34E-07	68425	0,035	109	0,012	0,0072	0,00076
0,0055	0,002	0,0050	0,569	9,23E-07	65032	0,035	109	0,012	0,0074	0,00078
0,0049	0,001	0,0046	0,525	9,12E-07	60801	0,036	108	0,012	0,0081	0,00086
0,004	0,002	0,0042	0,481	9,02E-07	56310	0,036	109	0,012	0,0079	0,00083
0,0036	0,001	0,0039	0,441	8,91E-07	52289	0,039	106	0,012	0,0098	0,00103
0,0031	0,001	0,0036	0,412	8,81E-07	49414	0,038	108	0,012	0,0090	0,00094
0,0026	0	0,0033	0,375	8,81E-07	44998	0,038	109	0,012	0,0088	0,00092
0,0023	0	0,0029	0,335	8,71E-07	40573	0,042	103	0,013	0,0128	0,00134
0,0020	0	0,0027	0,307	8,71E-07	37284	0,044	102	0,013	0,0145	0,00152
0,0020	0	0,0026	0,301	9,34E-07	33979	0,046	099	0,013	0,0164	0,00173
0,0018	0	0,0025	0,285	9,34E-07	32219	0,045	102	0,013	0,0147	0,00155
0,0016	0	0,0023	0,262	9,12E-07	30355	0,049	098	0,014	0,0188	0,00198
0,0016	0	0,0022	0,248	8,91E-07	29342	0,055	092	0,014	0,0256	0,00270
0,0012	0	0,0020	0,229	8,71E-07	27716	0,048	100	0,014	0,0180	0,00190
0,0009	0	0,0017	0,194	8,81E-07	23209	0,052	097	0,014	0,0222	0,00235
0,0008	0	0,0015	0,168	8,71E-07	20380	0,059	091	0,015	0,0310	0,00328
0,0005	0	0,0012	0,134	9,34E-07	15120	0,063	090	0,015	0,0346	0,00365
0,0003	0	0,001	0,117	9,02E-07	13671	0,041	115	0,012	0,0092	0,00097
0,0003	0	0,0009	0,103	8,91E-07	12261	0,052	102	0,014	0,0207	0,00218

Obs: adm significa adimensional

Quadro 7. Continuação**Repetição 3.**

J	J'	Q	v	y	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(m)
0,0101	0,002	0,0070	0,804	9,45E-07	89837	0,032	112	0,011	0,0056	0,00059
0,0093	0,001	0,0067	0,77	9,34E-07	87027	0,033	112	0,011	0,0057	0,00060
0,0076	0,001	0,0062	0,703	9,23E-07	80393	0,032	114	0,011	0,0051	0,00054
0,0069	0,002	0,0057	0,652	9,45E-07	72857	0,034	111	0,011	0,0062	0,00065
0,0061	0,002	0,0052	0,596	9,34E-07	67333	0,035	109	0,012	0,0075	0,00079
0,0055	0,002	0,0050	0,569	9,23E-07	65032	0,035	109	0,012	0,0074	0,00078
0,0047	0,002	0,0046	0,521	9,12E-07	60251	0,036	109	0,012	0,0078	0,00083
0,0040	0,002	0,0042	0,481	9,02E-07	56310	0,036	109	0,012	0,0079	0,00083
0,0035	0,002	0,0039	0,445	8,91E-07	52732	0,037	109	0,012	0,0082	0,00086
0,003	0,001	0,0035	0,404	8,81E-07	48440	0,038	109	0,012	0,0088	0,00093
0,0027	0	0,0032	0,368	8,71E-07	44582	0,041	104	0,013	0,0119	0,00125
0,0023	0	0,0029	0,335	8,71E-07	40573	0,042	103	0,013	0,0128	0,00135
0,0019	0	0,0026	0,302	8,71E-07	36624	0,043	104	0,013	0,0131	0,00138
0,0023	0	0,0025	0,284	9,23E-07	32433	0,059	088	0,015	0,0313	0,00331
0,0015	0	0,0023	0,262	9,12E-07	30355	0,045	103	0,013	0,0145	0,00153
0,0015	0	0,0022	0,246	8,71E-07	29835	0,051	096	0,014	0,0210	0,00222
0,0013	0	0,0020	0,229	8,71E-07	27716	0,054	094	0,014	0,0241	0,00254
0,0011	0	0,0018	0,202	8,60E-07	24732	0,055	094	0,014	0,0258	0,00272
0,0007	0	0,0016	0,184	8,81E-07	22049	0,041	110	0,013	0,0108	0,00114
0,0005	0	0,0014	0,164	8,71E-07	19846	0,042	110	0,013	0,0110	0,00115
0,0004	0	0,0012	0,133	9,23E-07	15247	0,047	105	0,013	0,0157	0,00166
0,0003	0	0,0010	0,115	9,02E-07	13486	0,042	113	0,013	0,0102	0,00108
0,0004	0	0,0009	0,101	8,91E-07	11907	0,083	079	0,018	0,0654	0,00690

Repetição 4.

J	J'	Q	v	y	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(m)
0,0101	0,002	0,0070	0,801	9,45E-07	89549	0,033	111	0,011	0,0057	0,00061
0,0092	0,001	0,0067	0,766	9,34E-07	86600	0,032	112	0,011	0,0056	0,00059
0,0077	0,002	0,0062	0,704	9,23E-07	80528	0,032	113	0,011	0,0054	0,00057
0,0069	0,002	0,0057	0,652	9,45E-07	72857	0,034	111	0,011	0,0062	0,00065
0,0059	0,002	0,0052	0,591	9,34E-07	66859	0,035	109	0,012	0,0072	0,00076
0,0055	0,002	0,0050	0,569	9,23E-07	65116	0,035	109	0,012	0,0074	0,00078
0,0050	0,002	0,0047	0,534	9,12E-07	61797	0,036	108	0,012	0,0080	0,00084
0,0040	0,002	0,0042	0,482	9,02E-07	56411	0,036	110	0,012	0,0078	0,00082
0,0036	0,001	0,0039	0,451	8,91E-07	53390	0,037	109	0,012	0,0085	0,00090
0,0032	0,001	0,0037	0,420	8,81E-07	50369	0,038	108	0,012	0,0091	0,00096
0,0027	0	0,0033	0,380	8,71E-07	46062	0,039	108	0,012	0,0097	0,00102
0,0024	0	0,0030	0,341	8,71E-07	41317	0,043	102	0,013	0,0136	0,00144
0,0020	0	0,0028	0,314	8,71E-07	38092	0,043	104	0,013	0,0127	0,00134
0,0019	0	0,0025	0,288	8,71E-07	34919	0,047	099	0,013	0,0173	0,00182
0,0016	0	0,0023	0,265	9,23E-07	30360	0,048	099	0,013	0,0175	0,00185
0,0013	0	0,0022	0,246	9,02E-07	28804	0,046	101	0,013	0,0160	0,00169
0,0012	0	0,0020	0,229	8,71E-07	27716	0,048	100	0,014	0,0180	0,00190
0,0011	0	0,0019	0,214	8,60E-07	26202	0,049	099	0,014	0,0189	0,00199
0,0007	0	0,0016	0,184	8,81E-07	22049	0,041	110	0,013	0,0108	0,00114
0,0005	0	0,0013	0,153	8,71E-07	18540	0,048	103	0,013	0,0169	0,00178
0,0004	0	0,0012	0,133	9,23E-07	15194	0,048	105	0,013	0,0160	0,00169
0,0004	0	0,0010	0,113	9,02E-07	13174	0,066	089	0,016	0,0395	0,00417
0,0003	0	0,0009	0,098	8,91E-07	11617	0,058	096	0,015	0,0279	0,00295

Obs: adm significa adimensional

Quadro 7. Continuação

Repetição 5.

J	J'	Q	v	ν	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(m)
0,0101	0,002	0,0070	0,799	9,34E-07	90371	0,033	111	0,011	0,0059	0,00062
0,009	0,001	0,0067	0,763	9,34E-07	86233	0,032	112	0,011	0,0054	0,00058
0,0076	0,002	0,0061	0,695	9,23E-07	79444	0,032	113	0,011	0,0056	0,00059
0,0069	0,002	0,0057	0,651	9,45E-07	72785	0,034	111	0,011	0,0062	0,00066
0,0057	0,002	0,0051	0,584	9,34E-07	65982	0,034	111	0,011	0,0067	0,00071
0,0055	0,002	0,0050	0,569	9,23E-07	65032	0,035	109	0,012	0,0074	0,00078
0,0051	0,002	0,0047	0,542	9,12E-07	62689	0,036	108	0,012	0,0079	0,00084
0,0040	0,002	0,0042	0,481	8,91E-07	56974	0,036	109	0,012	0,0079	0,00084
0,0035	0,002	0,0039	0,445	8,91E-07	52732	0,037	109	0,012	0,0082	0,00086
0,0030	0,001	0,0036	0,411	8,81E-07	49293	0,036	111	0,012	0,0079	0,00083
0,0030	0	0,0033	0,378	8,71E-07	45796	0,043	102	0,013	0,0135	0,00143
0,0026	0	0,0030	0,345	8,71E-07	41903	0,045	101	0,013	0,0147	0,00156
0,0022	0	0,0028	0,319	8,71E-07	38727	0,044	102	0,013	0,0140	0,00148
0,0019	0	0,0026	0,299	8,71E-07	36289	0,044	103	0,013	0,0138	0,00146
0,0016	0	0,0024	0,273	9,23E-07	31241	0,045	102	0,013	0,0148	0,00157
0,0015	0	0,0023	0,261	9,12E-07	30172	0,045	102	0,013	0,0151	0,00159
0,0015	0	0,0021	0,244	8,71E-07	29630	0,052	096	0,014	0,0218	0,00230
0,0012	0	0,0020	0,225	8,60E-07	27595	0,050	098	0,014	0,0197	0,00208
0,0007	0	0,0016	0,180	8,81E-07	21568	0,043	108	0,013	0,0125	0,00132
0,0004	0	0,0013	0,152	8,71E-07	18492	0,036	120	0,012	0,0060	0,00063
0,0004	0	0,0011	0,127	9,23E-07	14497	0,052	100	0,014	0,0212	0,00224
0,0003	0	0,0010	0,110	9,02E-07	12918	0,046	108	0,013	0,0139	0,00146
0,0003	0	0,0009	0,097	8,91E-07	11543	0,059	096	0,015	0,0289	0,00305

Repetição 6.

J	J'	Q	v	ν	Re (adm)	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(m)
0,0101	0,002	0,0070	0,798	9,34E-07	90254	0,033	111	0,011	0,0059	0,00062
0,009	0,001	0,0067	0,761	9,23E-07	87001	0,032	112	0,011	0,0056	0,00059
0,0076	0,002	0,0061	0,695	9,12E-07	80450	0,032	113	0,011	0,0055	0,00058
0,0070	0,002	0,0057	0,647	9,45E-07	72286	0,035	109	0,011	0,0070	0,00074
0,0055	0,002	0,0051	0,579	9,34E-07	65498	0,034	111	0,011	0,0065	0,00069
0,0057	0,002	0,0050	0,566	9,23E-07	64782	0,037	107	0,012	0,0083	0,00087
0,0051	0,002	0,0047	0,539	9,02E-07	63159	0,037	108	0,012	0,0082	0,00086
0,0043	0,002	0,0043	0,491	8,91E-07	58187	0,037	108	0,012	0,0086	0,00090
0,0038	0,001	0,0040	0,454	8,81E-07	54459	0,038	107	0,012	0,0091	0,00097
0,0032	0,001	0,0037	0,420	8,81E-07	50369	0,038	108	0,012	0,0091	0,00096
0,0028	0	0,0034	0,384	8,71E-07	46588	0,040	106	0,012	0,0105	0,00111
0,0026	0	0,0031	0,351	8,71E-07	42624	0,043	102	0,013	0,0133	0,00141
0,0023	0	0,0029	0,327	8,71E-07	39661	0,044	101	0,013	0,0146	0,00154
0,0019	0	0,0025	0,289	8,71E-07	35093	0,047	099	0,013	0,0168	0,00177
0,0015	0	0,0023	0,267	9,23E-07	30538	0,043	104	0,013	0,0130	0,00138
0,0015	0	0,0022	0,249	9,12E-07	28855	0,049	097	0,014	0,0195	0,00206
0,0013	0	0,0021	0,236	8,71E-07	28583	0,050	097	0,014	0,0204	0,00216
0,0012	0	0,0019	0,214	8,81E-07	25595	0,055	093	0,014	0,0260	0,00275
0,0007	0	0,0016	0,180	8,81E-07	21528	0,043	107	0,013	0,0126	0,00133
0,0005	0	0,0013	0,152	8,71E-07	18492	0,048	103	0,013	0,0172	0,00181
0,0003	0	0,0011	0,121	9,12E-07	14044	0,038	119	0,012	0,0067	0,00070
0,0003	0	0,0009	0,107	9,02E-07	12524	0,049	105	0,014	0,0169	0,00178
0,0003	0	0,0008	0,094	8,81E-07	11299	0,063	093	0,015	0,0343	0,00362

Obs: adm significa adimensional

Quadro 8. Valores de Perda de carga (J), Vazão (Q), Velocidade (v), Viscosidade cinemática (ν), Número de Reynolds (Re), Coeficientes de Atrito (f) e de Rugosidade, (C) e (n), Rugosidades Relativa (e/D) e Absoluta (e), calculados a partir de dados experimentais de tubo de bambu gigante 2, em 6 repetições.

Repetição 1.

J	J'	Q	v	ν	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(m)
0,0094	0,018	0,0070	0,634	9,56E-07	78513	0,0547	85	0,0147	0,0264	0,00313
0,0084	0,015	0,0066	0,596	9,34E-07	75576	0,0548	85	0,0147	0,0265	0,00315
0,0072	0,013	0,0061	0,554	9,23E-07	71099	0,0542	86	0,0146	0,0258	0,00305
0,0063	0,011	0,0057	0,514	9,12E-07	66724	0,0559	85	0,0148	0,0278	0,00329
0,0054	0,010	0,0052	0,470	9,12E-07	61067	0,0568	85	0,0149	0,0288	0,00342
0,0050	0,009	0,0049	0,447	9,02E-07	58793	0,0580	85	0,0151	0,0304	0,00360
0,0045	0,008	0,0046	0,413	8,91E-07	54966	0,0606	83	0,0154	0,0337	0,00400
0,0039	0,007	0,0042	0,385	8,91E-07	51135	0,0615	83	0,0156	0,0349	0,00414
0,0032	0,006	0,0039	0,353	8,91E-07	46893	0,0605	84	0,0154	0,0335	0,00398
0,0031	0,007	0,0037	0,338	9,02E-07	44458	0,0630	83	0,0157	0,0369	0,00437
0,0028	0,006	0,0035	0,321	9,02E-07	42166	0,0640	82	0,0159	0,0382	0,00452
0,0024	0,006	0,0033	0,302	9,12E-07	39279	0,0617	84	0,0156	0,0350	0,00415
0,0022	0,006	0,0031	0,285	9,12E-07	36966	0,0620	85	0,0156	0,0353	0,00418
0,0019	0,006	0,0030	0,270	9,12E-07	35006	0,0605	86	0,0154	0,0332	0,00393
0,0019	0,005	0,0029	0,26	9,23E-07	33330	0,0651	83	0,0160	0,0366	0,00469
0,0016	0,004	0,0027	0,246	9,23E-07	31606	0,0621	85	0,0156	0,0353	0,00418
0,0015	0,004	0,0026	0,232	9,23E-07	29783	0,0641	84	0,0159	0,0380	0,00450
0,0013	0,003	0,0024	0,214	8,91E-07	28514	0,0682	82	0,0164	0,0438	0,00519
0,0008	0,001	0,0018	0,166	8,91E-07	22007	0,0687	84	0,0164	0,0442	0,00523
0,0005	0	0,0015	0,134	9,02E-07	17571	0,0702	84	0,0166	0,0460	0,00545
0,0004	0	0,0011	0,101	9,12E-07	13121	0,0922	74	0,0190	0,0812	0,00962
0,0003	0	0,0010	0,088	9,34E-07	11224	0,0802	81	0,0178	0,0605	0,00717
0,0003	0	0,0009	0,080	9,45E-07	10067	0,0973	73	0,0196	0,0894	0,01060

Repetição 2.

J	J'	Q	v	ν	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(m)
0,0092	0,016	0,0069	0,624	9,56E-07	77380	0,0547	85	0,0147	0,0264	0,00313
0,0058	0,015	0,0066	0,594	9,34E-07	75409	0,0382	104	0,0123	0,0096	0,00114
0,0073	0,013	0,0061	0,553	9,23E-07	70977	0,0554	85	0,0148	0,0272	0,00323
0,0063	0,011	0,0056	0,511	9,12E-07	66393	0,0564	85	0,0149	0,0285	0,00337
0,0053	0,009	0,0052	0,467	9,12E-07	60705	0,0560	86	0,0148	0,0279	0,00331
0,0050	0,010	0,0049	0,445	9,12E-07	57804	0,0586	84	0,0152	0,0312	0,00369
0,0043	0,008	0,0045	0,410	8,91E-07	54545	0,0597	84	0,0153	0,0325	0,00385
0,0038	0,007	0,0042	0,381	8,91E-07	50681	0,0605	84	0,0154	0,0335	0,00397
0,0031	0,006	0,0038	0,345	8,91E-07	45898	0,0606	84	0,0154	0,0336	0,00398
0,0031	0,005	0,0037	0,340	9,02E-07	44661	0,0625	83	0,0157	0,0361	0,00428
0,0028	0,007	0,0036	0,324	9,02E-07	42592	0,0627	83	0,0157	0,0364	0,00432
0,0026	0,007	0,0034	0,306	9,12E-07	39725	0,0637	83	0,0158	0,0377	0,00447
0,0020	0,006	0,0031	0,283	9,12E-07	36727	0,0588	87	0,0152	0,0311	0,00369
0,0020	0,006	0,0030	0,275	9,12E-07	35754	0,0621	85	0,0156	0,0354	0,00420
0,0019	0,006	0,0029	0,264	9,23E-07	33843	0,0632	84	0,0158	0,0368	0,00437
0,0018	0,004	0,0028	0,251	9,23E-07	32280	0,0645	84	0,0159	0,0386	0,00458
0,0016	0,004	0,0026	0,236	9,23E-07	30355	0,0673	82	0,0163	0,0426	0,00505
0,0015	0,003	0,0024	0,219	8,91E-07	29155	0,0718	80	0,0168	0,04910	0,00582
0,0009	0,001	0,0018	0,166	8,91E-07	22007	0,0802	77	0,0178	0,0619	0,00734
0,0005	0	0,0015	0,135	9,02E-07	17759	0,0687	85	0,0164	0,0438	0,00519
0,0003	0	0,0011	0,104	9,12E-07	13462	0,0584	95	0,0152	0,0287	0,00340
0,0003	0	0,0010	0,093	9,23E-07	11900	0,0730	85	0,0169	0,0493	0,00584
0,0003	0	0,0009	0,083	9,45E-07	10362	0,0919	75	0,0190	0,0800	0,00947

Obs: adm significa adimensional

Quadro 8. Continuação**Repetição 3.**

J	J'	Q	v	y	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(m)
0,0093	0,016	0,0069	0,627	9,45E-07	78608	0,0551	85	0,0147	0,0269	0,00319
0,0082	0,015	0,0065	0,593	9,23E-07	76072	0,0545	85	0,0146	0,0262	0,00310
0,0073	0,013	0,0061	0,550	9,23E-07	70552	0,0561	85	0,0149	0,0281	0,00333
0,0062	0,011	0,0056	0,508	9,12E-07	65993	0,0559	85	0,0148	0,0278	0,00330
0,0053	0,009	0,0051	0,464	9,12E-07	60268	0,0568	85	0,0150	0,0289	0,00343
0,0051	0,010	0,0049	0,445	8,91E-07	59176	0,0602	83	0,0154	0,0333	0,00394
0,0042	0,007	0,0045	0,406	8,91E-07	53948	0,0591	84	0,0152	0,0317	0,00376
0,0039	0,007	0,0042	0,380	8,91E-07	50498	0,0631	82	0,0158	0,0370	0,00439
0,0030	0,006	0,0037	0,340	8,91E-07	45188	0,0598	85	0,0153	0,0325	0,00385
0,0030	0,007	0,0037	0,332	9,02E-07	43639	0,0626	83	0,0157	0,0363	0,00430
0,0028	0,007	0,0036	0,328	9,02E-07	43118	0,0612	84	0,0155	0,0344	0,00407
0,0026	0,007	0,0034	0,309	9,12E-07	40166	0,0623	84	0,0157	0,0358	0,00425
0,0022	0,006	0,0032	0,286	9,12E-07	37204	0,0612	85	0,0155	0,0342	0,00405
0,0020	0,006	0,0031	0,279	9,12E-07	36243	0,0604	86	0,0154	0,0332	0,00393
0,0019	0,005	0,0029	0,267	9,23E-07	34223	0,0618	85	0,0156	0,0349	0,00414
0,0019	0,005	0,0028	0,256	9,23E-07	32809	0,0672	82	0,0163	0,0425	0,00504
0,0016	0,004	0,0026	0,240	9,23E-07	30778	0,0655	83	0,0161	0,0400	0,00474
0,0013	0,003	0,0024	0,222	8,91E-07	29470	0,0639	85	0,0159	0,0376	0,00446
0,0009	0,001	0,0018	0,163	8,91E-07	21728	0,0822	76	0,0180	0,0653	0,00774
0,0005	0	0,0015	0,137	9,02E-07	17945	0,0673	86	0,0163	0,0417	0,00495
0,0003	0	0,0012	0,106	9,12E-07	13794	0,0556	97	0,0148	0,0252	0,00299
0,0003	0	0,0010	0,095	9,23E-07	12163	0,0699	87	0,0166	0,0446	0,00529
0,0004	0	0,0009	0,083	9,45E-07	10362	0,1378	61	0,0233	0,1640	0,01944

Repetição 4.

J	J'	Q	v	y	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(m)
0,0092	0,016	0,0069	0,624	9,45E-07	78241	0,0548	85	0,0147	0,0265	0,00314
0,0084	0,015	0,0065	0,592	9,23E-07	75959	0,0555	85	0,0148	0,0275	0,00325
0,0072	0,013	0,0060	0,548	9,12E-07	71136	0,0554	85	0,0148	0,0273	0,00323
0,0063	0,011	0,0056	0,505	9,12E-07	65591	0,0578	84	0,0151	0,0302	0,00358
0,0053	0,010	0,0051	0,459	9,02E-07	60309	0,0581	84	0,0151	0,0305	0,00362
0,0050	0,009	0,0049	0,443	8,91E-07	58941	0,0591	84	0,0152	0,0318	0,00377
0,0045	0,009	0,0046	0,418	8,91E-07	55552	0,0593	84	0,0153	0,0321	0,0038
0,0042	0,008	0,0044	0,399	8,91E-07	52998	0,0612	83	0,0155	0,0346	0,00409
0,0036	0,008	0,0041	0,373	8,91E-07	49575	0,0609	83	0,0155	0,0341	0,00404
0,0031	0,007	0,0038	0,342	9,02E-07	44963	0,0616	84	0,0156	0,0350	0,00415
0,0030	0,007	0,0036	0,331	9,02E-07	43431	0,0632	83	0,0158	0,0371	0,00440
0,0024	0,007	0,0034	0,311	9,12E-07	40385	0,0584	87	0,0152	0,0306	0,00363
0,0022	0,006	0,0032	0,291	9,12E-07	37791	0,0593	86	0,0153	0,0317	0,00376
0,0022	0,006	0,0031	0,282	9,12E-07	36606	0,0632	84	0,0158	0,0369	0,00438
0,0020	0,006	0,0030	0,276	9,12E-07	35877	0,0617	85	0,0156	0,0348	0,00413
0,0019	0,005	0,0029	0,260	9,23E-07	33330	0,0651	83	0,0160	0,0396	0,00469
0,0016	0,004	0,0026	0,240	9,23E-07	30778	0,0655	83	0,0161	0,0400	0,00474
0,0013	0,003	0,0025	0,225	8,81E-07	30290	0,0619	86	0,0156	0,0349	0,00414
0,0008	0,001	0,0018	0,162	8,91E-07	21477	0,0721	81	0,0168	0,0493	0,00584
0,0007	0	0,0015	0,139	8,91E-07	18489	0,0811	77	0,0179	0,0632	0,00749
0,0004	0	0,0013	0,114	9,02E-07	14921	0,0730	83	0,0169	0,0499	0,00591
0,0003	0	0,0011	0,100	9,12E-07	13022	0,0624	92	0,0157	0,0340	0,00403
0,0003	0	0,0009	0,079	9,45E-07	9885	0,1009	72	0,0199	0,0958	0,01135

Obs: adm significa adimensional

Quadro 8. Continuação.**Repetição 5.**

J (m/m)	J' (m)	Q (m ³ /s)	v (m/s)	v (m ² /s)	Re (adm)	f (adm)	C (adm)	n (adm)	e/D (adm)	e (m)
0,0092	0,006	0,0068	0,620	9,45E-07	77767	0,0555	84	0,0148	0,0274	0,00324
0,0084	0,015	0,0065	0,591	9,23E-07	75846	0,0557	84	0,0148	0,0277	0,00328
0,0069	0,003	0,0060	0,545	9,12E-07	70826	0,0538	87	0,0145	0,0253	0,00300
0,0061	0,011	0,0056	0,504	9,12E-07	65457	0,0556	86	0,0148	0,0274	0,00325
0,0086	0,010	0,0050	0,456	9,02E-07	59934	0,0965	64	0,0195	0,0905	0,01072
0,0050	0,009	0,0049	0,443	8,91E-07	58863	0,0592	84	0,0153	0,0320	0,00379
0,0043	0,008	0,0045	0,410	8,91E-07	54460	0,0598	84	0,0153	0,0327	0,00388
0,0036	0,007	0,0041	0,372	8,91E-07	49482	0,0612	83	0,0155	0,0344	0,00408
0,0031	0,011	0,0038	0,345	8,91E-07	45898	0,0606	84	0,0154	0,0336	0,00398
0,0030	0,008	0,0037	0,338	9,02E-07	44458	0,0603	85	0,0154	0,0332	0,00393
0,0030	0,008	0,0037	0,334	9,02E-07	43845	0,0620	83	0,0156	0,0355	0,00420
0,0027	0,007	0,0035	0,314	9,12E-07	40819	0,0635	83	0,0158	0,0375	0,00444
0,0022	0,006	0,0032	0,294	9,12E-07	38140	0,0582	87	0,0151	0,0303	0,00359
0,0022	0,006	0,0032	0,287	9,12E-07	37322	0,0608	85	0,0155	0,0337	0,00399
0,0022	0,006	0,0031	0,278	9,12E-07	36122	0,0649	83	0,0160	0,0393	0,00466
0,0020	0,005	0,0030	0,268	9,23E-07	34348	0,0657	82	0,0161	0,0404	0,00479
0,0018	0,004	0,0027	0,247	9,23E-07	31742	0,0667	82	0,0162	0,0417	0,00495
0,0013	0,004	0,0025	0,229	8,81E-07	30755	0,0600	88	0,0154	0,0325	0,00385
0,0008	0	0,0017	0,156	8,91E-07	20770	0,0771	79	0,0174	0,0570	0,00675
0,0005	0	0,0015	0,132	8,91E-07	17587	0,0717	83	0,0168	0,0483	0,00572
0,0004	0	0,0012	0,113	9,02E-07	14876	0,0734	83	0,0170	0,0506	0,00599
0,0004	0	0,0011	0,099	9,12E-07	12922	0,0951	73	0,0193	0,0861	0,01020
0,0003	0	0,0009	0,080	9,45E-07	10067	0,0973	73	0,0196	0,0894	0,01060

Repetição 6.

J (m/m)	J' (m)	Q (m ³ /s)	v (m/s)	v (m ² /s)	Re (adm)	f (adm)	C (adm)	n (adm)	e/D (adm)	e (m)
0,0092	0,016	0,0068	0,621	9,45E-07	77872	0,0553	84	0,0148	0,0272	0,00322
0,0084	0,015	0,0065	0,590	9,23E-07	75789	0,0558	84	0,0148	0,0278	0,00329
0,0072	0,014	0,0060	0,543	9,12E-07	70577	0,0563	85	0,0149	0,0284	0,00336
0,0061	0,011	0,0055	0,503	9,12E-07	65322	0,0558	85	0,0148	0,0277	0,00328
0,0050	0,009	0,0050	0,453	9,02E-07	59556	0,0565	86	0,0149	0,0285	0,00338
0,0050	0,009	0,0049	0,441	8,91E-07	58627	0,0597	83	0,0153	0,0326	0,00386
0,0043	0,008	0,0045	0,410	8,91E-07	54460	0,0598	84	0,0153	0,0327	0,00388
0,0036	0,007	0,0042	0,377	8,91E-07	50131	0,0596	84	0,0153	0,0323	0,00383
0,0032	0,007	0,0039	0,350	8,91E-07	46498	0,0616	83	0,0156	0,0349	0,00414
0,0031	0,002	0,0038	0,342	9,02E-07	44963	0,0616	84	0,0156	0,0350	0,00415
0,0030	0,011	0,0037	0,335	9,02E-07	44050	0,0614	84	0,0155	0,0347	0,00411
0,0027	0,009	0,0035	0,318	9,12E-07	41249	0,0622	84	0,0156	0,0357	0,00423
0,0023	0,006	0,0033	0,298	9,12E-07	38713	0,0600	86	0,0154	0,0327	0,00388
0,0023	0,006	0,0032	0,290	9,12E-07	37675	0,0634	83	0,0158	0,0372	0,00441
0,0022	0,006	0,0031	0,282	9,12E-07	36606	0,0632	84	0,0158	0,0369	0,00438
0,0020	0,005	0,0030	0,271	9,23E-07	34846	0,0639	83	0,0159	0,0378	0,00448
0,0019	0,005	0,0029	0,260	9,23E-07	33330	0,0651	83	0,0160	0,0396	0,00469
0,0015	0,004	0,0025	0,231	8,81E-07	31061	0,0647	84	0,0160	0,0389	0,00461
0,0008	0	0,0017	0,152	8,91E-07	20174	0,0818	77	0,0179	0,0644	0,00763
0,0005	0	0,0015	0,132	8,91E-07	17587	0,0717	83	0,0168	0,0483	0,00572
0,0004	0	0,0012	0,110	9,02E-07	14424	0,0781	81	0,0175	0,0579	0,00686
0,0003	0	0,0010	0,091	9,12E-07	11824	0,0757	83	0,0173	0,0535	0,00634
0,0003	0	0,0009	0,078	9,34E-07	9940	0,1022	72	0,0201	0,0981	0,01162

Obs: adm significa adimensional

Quadro 9. Valores de Perda de carga (J), Vazão (Q), Velocidade (v), Viscosidade cinemática (ν), Número de Reynolds (Re), Coeficientes de Atrito (f), e de Rugosidade, (C) e (n), Rugosidades Relativa (e/D) e Absoluta (e), calculados a partir de dados experimentais de tubo de bambu gigante 3, em 6 repetições.

Repetição 1.

J	J'	Q	v	ν	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(m)
0,0097	0	0,0070	0,802	9,68E-07	87237	0,031	114	0,0109	0,0048	0,00051
0,0086	0	0,0065	0,746	9,56E-07	82047	0,032	113	0,0110	0,0053	0,00056
0,0073	0	0,0060	0,691	9,56E-07	76057	0,031	115	0,0109	0,0049	0,00052
0,0063	0	0,0055	0,632	9,45E-07	70373	0,033	113	0,0111	0,0057	0,00060
0,0058	0	0,0052	0,599	9,34E-07	67431	0,033	112	0,0112	0,0061	0,00064
0,0053	0	0,0048	0,556	9,34E-07	62672	0,035	110	0,0115	0,0071	0,00075
0,0046	0	0,0044	0,508	9,23E-07	57918	0,037	108	0,0118	0,0082	0,00086
0,0043	0	0,0042	0,488	9,23E-07	55608	0,037	107	0,0119	0,0088	0,00092
0,0036	0	0,0039	0,444	9,12E-07	51162	0,038	107	0,0120	0,0093	0,00098
0,0031	0	0,0036	0,412	9,56E-07	45357	0,038	109	0,0119	0,0088	0,00092
0,0027	0	0,0033	0,384	9,45E-07	42715	0,038	109	0,0120	0,0088	0,00093
0,0026	0	0,0030	0,351	9,45E-07	39015	0,043	102	0,0128	0,0133	0,00140
0,0020	0	0,0028	0,322	9,45E-07	35811	0,040	107	0,0124	0,0107	0,00113
0,0018	0	0,0026	0,301	9,34E-07	33952	0,040	108	0,0123	0,0102	0,00107
0,0015	0	0,0024	0,277	9,23E-07	31533	0,040	108	0,0123	0,0102	0,00108
0,0012	0	0,0023	0,263	9,23E-07	29933	0,036	115	0,0117	0,0072	0,00076
0,0011	0	0,0021	0,246	9,12E-07	28380	0,037	115	0,0118	0,0074	0,00078
0,0009	0	0,0020	0,236	9,12E-07	27171	0,035	118	0,0115	0,0061	0,00064
0,0007	0	0,0017	0,197	9,02E-07	22941	0,036	118	0,0117	0,0064	0,00068
0,0005	0	0,0015	0,171	8,91E-07	20155	0,038	116	0,0120	0,0079	0,00083
0,0003	0	0,0011	0,124	9,45E-07	13833	0,036	122	0,0117	0,0051	0,00054
0,0003	0	0,0010	0,110	9,56E-07	12105	0,046	108	0,0132	0,0137	0,00144
0,0004	0	0,0008	0,094	9,79E-07	10065	0,095	74	0,0190	0,0858	0,00902

Repetição 2.

J	J'	Q	v	ν	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(m)
0,0099	0	0,0070	0,808	9,68E-07	87862	0,031	114	0,0109	0,0048	0,00051
0,0084	0	0,0065	0,745	9,56E-07	81923	0,031	115	0,0109	0,0048	0,00050
0,0073	0	0,0060	0,688	9,56E-07	75654	0,032	114	0,0110	0,0051	0,00054
0,0063	0	0,0055	0,628	9,45E-07	69852	0,033	112	0,0112	0,0060	0,00063
0,0057	0	0,0052	0,594	9,34E-07	66874	0,033	113	0,0112	0,0059	0,00062
0,0054	0	0,0049	0,560	9,23E-07	63755	0,036	109	0,0116	0,0075	0,00079
0,0045	0	0,0044	0,507	9,23E-07	57729	0,036	110	0,0116	0,0076	0,00080
0,0043	0	0,0042	0,482	9,12E-07	55564	0,038	106	0,0120	0,0095	0,00100
0,0036	0	0,0038	0,441	9,12E-07	50833	0,039	106	0,0121	0,0097	0,00102
0,003	0	0,0035	0,407	9,56E-07	44792	0,037	110	0,0118	0,0082	0,00086
0,0026	0	0,0033	0,375	9,45E-07	41727	0,038	109	0,0119	0,0087	0,00091
0,0023	0	0,0030	0,346	9,45E-07	38477	0,040	107	0,0122	0,0102	0,00107
0,0019	0	0,0028	0,318	9,45E-07	35371	0,039	109	0,0121	0,0092	0,00097
0,0016	0	0,0026	0,297	9,34E-07	33477	0,038	111	0,0120	0,0085	0,00090
0,0013	0	0,0024	0,272	9,23E-07	31009	0,038	112	0,0119	0,0082	0,00087
0,0012	0	0,0023	0,261	9,23E-07	29750	0,037	114	0,0118	0,0075	0,00079
0,0012	0	0,0020	0,232	9,12E-07	26756	0,047	101	0,0133	0,0162	0,00170
0,0009	0	0,0020	0,225	9,12E-07	25907	0,039	112	0,0121	0,0087	0,00092
0,0007	0	0,0017	0,193	9,02E-07	22534	0,037	116	0,0119	0,0074	0,00078
0,0005	0	0,0015	0,169	8,91E-07	19897	0,039	114	0,0122	0,0087	0,00091
0,0004	0	0,0011	0,128	9,34E-07	14383	0,051	101	0,0139	0,0200	0,00211
0,0003	0	0,0010	0,114	9,45E-07	12738	0,043	113	0,0127	0,0104	0,00109
0,0003	0	0,0008	0,097	9,79E-07	10413	0,059	095	0,0150	0,0291	0,00306

Obs: adm significa adimensional

Quadro 9. Continuação**Repetição 3.**

J	J'	Q	v	$\frac{v}{y}$	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(m)
0,0099	0	0,0070	0,802	9,68E-07	87237	0,032	113	0,0109	0,0051	0,00054
0,0084	0	0,0064	0,735	9,56E-07	80860	0,032	113	0,0110	0,0053	0,00055
0,0072	0	0,0059	0,684	9,45E-07	76137	0,032	115	0,0109	0,0050	0,00052
0,0062	0	0,0054	0,621	9,45E-07	69102	0,033	112	0,0112	0,0060	0,00063
0,0057	0	0,0051	0,587	9,34E-07	66152	0,034	112	0,0113	0,0064	0,00067
0,0051	0	0,0048	0,548	9,23E-07	62457	0,035	110	0,0115	0,0072	0,00076
0,0045	0	0,0044	0,503	9,23E-07	57349	0,036	109	0,0117	0,0079	0,00083
0,0042	0	0,0041	0,473	9,12E-07	54548	0,039	106	0,0121	0,0097	0,00102
0,0035	0	0,0038	0,433	9,12E-07	49945	0,039	107	0,0121	0,0096	0,00101
0,0028	0	0,0035	0,399	9,56E-07	43873	0,037	110	0,0118	0,0080	0,00085
0,0024	0	0,0032	0,368	9,45E-07	40970	0,037	111	0,0118	0,0081	0,00086
0,0022	0	0,0030	0,340	9,45E-07	37794	0,039	109	0,0121	0,0093	0,00098
0,0018	0	0,0027	0,311	9,34E-07	35035	0,037	111	0,0119	0,0083	0,00087
0,0016	0	0,0025	0,293	9,34E-07	32995	0,039	110	0,0121	0,0094	0,00099
0,0013	0	0,0023	0,269	9,23E-07	30655	0,038	111	0,0121	0,0089	0,00094
0,0012	0	0,0022	0,258	9,12E-07	29727	0,038	113	0,0119	0,0082	0,00087
0,0009	0	0,0020	0,236	9,12E-07	27171	0,035	118	0,0115	0,0061	0,00064
0,0009	0	0,0019	0,223	9,12E-07	25690	0,039	111	0,0122	0,0093	0,00098
0,0007	0	0,0016	0,185	9,02E-07	21542	0,041	111	0,0124	0,0103	0,00108
0,0004	0	0,0015	0,167	8,91E-07	19767	0,030	132	0,0106	0,0020	0,00021
0,0004	0	0,0012	0,134	9,34E-07	15074	0,047	106	0,0133	0,0151	0,00158
0,0003	0	0,0010	0,116	9,45E-07	12917	0,041	114	0,0125	0,0093	0,00098
0,0003	0	0,0009	0,102	9,68E-07	11077	0,054	100	0,0142	0,0221	0,00232

Repetição 4.

J	J'	Q	v	$\frac{v}{y}$	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(m)
0,0097	0	0,0069	0,798	9,68E-07	86780	0,031	113	0,0109	0,0050	0,00053
0,0082	0	0,0064	0,733	9,56E-07	80607	0,032	114	0,0109	0,0051	0,00053
0,0070	0	0,0059	0,678	9,45E-07	75449	0,032	115	0,0109	0,0050	0,00052
0,0061	0	0,0053	0,613	9,34E-07	69073	0,033	112	0,0112	0,0060	0,00063
0,0054	0	0,0050	0,577	9,34E-07	65013	0,033	113	0,0112	0,0060	0,00064
0,0050	0	0,0047	0,537	9,23E-07	61220	0,036	109	0,0116	0,0076	0,00079
0,0043	0	0,0043	0,498	9,23E-07	56775	0,036	110	0,0117	0,0076	0,00080
0,004	0	0,0040	0,465	9,12E-07	53617	0,039	106	0,0121	0,0097	0,00102
0,0034	0	0,0037	0,428	9,12E-07	49382	0,038	108	0,0120	0,0091	0,00096
0,0027	0	0,0034	0,393	9,56E-07	43289	0,036	112	0,0117	0,0074	0,00078
0,0024	0	0,0031	0,362	9,45E-07	40329	0,038	109	0,0120	0,0090	0,00095
0,0027	0	0,0029	0,336	9,45E-07	37378	0,049	095	0,0137	0,0197	0,00207
0,0018	0	0,0027	0,307	9,34E-07	34575	0,038	110	0,0121	0,0090	0,00095
0,0015	0	0,0025	0,289	9,34E-07	32506	0,037	113	0,0118	0,0077	0,00080
0,0012	0	0,0023	0,263	9,23E-07	29933	0,036	115	0,0117	0,0072	0,00076
0,0012	0	0,0021	0,246	9,12E-07	28380	0,041	108	0,0125	0,0113	0,00119
0,0009	0	0,0021	0,246	9,12E-07	28380	0,032	123	0,0110	0,0042	0,00044
0,0009	0	0,0020	0,232	9,02E-07	27072	0,036	116	0,0117	0,0069	0,00073
0,0007	0	0,0007	0,084	9,02E-07	9790	0,198	050	0,0273	0,2757	0,02901
0,0005	0	0,0016	0,182	8,91E-07	21518	0,034	123	0,0113	0,0045	0,00048
0,0004	0	0,0014	0,164	9,34E-07	18483	0,031	130	0,0108	0,0025	0,00026
0,0004	0	0,0012	0,137	9,45E-07	15304	0,044	109	0,0129	0,0126	0,00133
0,0004	0	0,0010	0,118	9,68E-07	12790	0,060	093	0,0151	0,0312	0,00328

Obs: adm significa adimensional

Quadro 9. Continuação

Repetição 5.

J	J'	Q	v	ν	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(m)
0,0094	0	0,0069	0,796	9,68E-07	86550	0,031	115	0,0108	0,0046	0,00048
0,0081	0	0,0063	0,728	9,56E-07	80100	0,032	114	0,0109	0,0050	0,00053
0,0069	0	0,0058	0,672	9,45E-07	74825	0,031	115	0,0109	0,0049	0,00052
0,0065	0	0,0055	0,628	9,45E-07	69852	0,034	111	0,0113	0,0064	0,00068
0,0054	0	0,0050	0,577	9,34E-07	64931	0,034	113	0,0113	0,0061	0,00064
0,0049	0	0,0046	0,528	9,23E-07	60139	0,036	109	0,0117	0,0078	0,00082
0,0043	0	0,0043	0,492	9,23E-07	56097	0,037	108	0,0118	0,0083	0,00087
0,0039	0	0,0040	0,461	9,12E-07	53093	0,038	107	0,0120	0,0093	0,00097
0,0035	0	0,0037	0,422	9,12E-07	48698	0,041	104	0,0124	0,0113	0,00118
0,0027	0	0,0034	0,388	9,56E-07	42696	0,037	110	0,0118	0,0082	0,00086
0,0024	0	0,0031	0,358	9,45E-07	39809	0,039	107	0,0122	0,0099	0,00104
0,0019	0	0,0029	0,332	9,45E-07	36957	0,035	114	0,0116	0,0068	0,00071
0,0018	0	0,0027	0,306	9,34E-07	34420	0,039	109	0,0121	0,0093	0,00098
0,0013	0	0,0025	0,284	9,34E-07	32010	0,034	117	0,0114	0,0059	0,00063
0,0013	0	0,0023	0,259	9,23E-07	29566	0,041	107	0,0125	0,0113	0,00119
0,0011	0	0,0021	0,243	9,12E-07	27983	0,038	113	0,0120	0,0082	0,00087
0,0009	0	0,0020	0,228	9,12E-07	26335	0,037	114	0,0119	0,0078	0,00082
0,0009	0	0,0019	0,213	9,02E-07	24867	0,043	107	0,0127	0,0125	0,00131
0,0007	0	0,0016	0,180	8,91E-07	21196	0,043	108	0,0128	0,0124	0,00131
0,0005	0	0,0014	0,161	8,91E-07	19058	0,043	109	0,0127	0,0118	0,00124
0,0004	0	0,0012	0,140	9,34E-07	15736	0,043	110	0,0127	0,0113	0,00119
0,0003	0	0,0010	0,118	9,45E-07	13094	0,040	116	0,0123	0,0084	0,00088
0,0003	0	0,0009	0,107	9,56E-07	11793	0,048	105	0,0135	0,0163	0,00171

Repetição 6.

J	J'	Q	v	ν	Re	f	C	n (adm)	e/D	e
(m/m)	(m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)		(adm)	(m)
0,0096	0	0,0069	0,794	9,68E-07	86378	0,031	114	0,0109	0,0049	0,00052
0,0082	0	0,0063	0,722	9,56E-07	79398	0,033	112	0,0111	0,0057	0,00060
0,0070	0	0,0058	0,665	9,45E-07	74054	0,033	113	0,0111	0,0057	0,00060
0,0061	0	0,0053	0,608	9,34E-07	68452	0,034	111	0,0113	0,0064	0,00067
0,0054	0	0,0049	0,564	9,34E-07	63518	0,035	110	0,0115	0,0071	0,00075
0,0047	0	0,0045	0,521	9,23E-07	59408	0,036	109	0,0116	0,0076	0,00080
0,0043	0	0,0043	0,490	9,23E-07	55804	0,037	108	0,0119	0,0086	0,00090
0,0039	0	0,0039	0,454	9,12E-07	52351	0,039	105	0,0122	0,0101	0,00107
0,0032	0	0,0036	0,41	9,12E-07	47299	0,040	106	0,0123	0,0105	0,00110
0,0027	0	0,0032	0,374	9,56E-07	41117	0,040	106	0,0123	0,0105	0,00110
0,0023	0	0,0030	0,351	9,45E-07	39015	0,039	109	0,0121	0,0093	0,00098
0,0018	0	0,0028	0,322	9,45E-07	35811	0,035	115	0,0115	0,0065	0,00068
0,0016	0	0,0026	0,301	9,34E-07	33952	0,037	113	0,0118	0,0077	0,00081
0,0015	0	0,0024	0,281	9,23E-07	32049	0,039	110	0,0121	0,0092	0,00097
0,0012	0	0,0022	0,256	9,23E-07	29194	0,038	112	0,0120	0,0086	0,00090
0,0011	0	0,0021	0,239	9,12E-07	27580	0,039	111	0,0121	0,0091	0,00096
0,0009	0	0,0020	0,225	9,12E-07	25907	0,039	112	0,0121	0,0087	0,00092
0,0008	0	0,0018	0,209	9,02E-07	24402	0,038	114	0,0120	0,0083	0,00087
0,0005	0	0,0015	0,173	8,91E-07	20452	0,037	117	0,0118	0,0070	0,00074
0,0005	0	0,0013	0,154	8,91E-07	18227	0,047	105	0,0133	0,0156	0,00164
0,0004	0	0,0012	0,144	9,34E-07	16177	0,040	114	0,0124	0,0093	0,00098
0,0003	0	0,0010	0,119	9,45E-07	13268	0,039	117	0,0122	0,0075	0,00079
0,0003	0	0,0009	0,107	9,56E-07	11793	0,048	105	0,0135	0,0163	0,00171

Obs: adm significa adimensional

Quadro 10. Valores de Perda de carga unitaria (J),e local (J'), Vazão (Q), Velocidade (v), Viscosidade cinemática (ν), Número de Reynolds (Re), Coeficientes de Atrito (f), e de Rugosidade, (C) e (n), Rugosidades Relativa (e/D) e Absoluta (e), calculados a partir de dados experimentais de tubo corugado rígido, em 6 repetições.

Repetição 1.

J	J'	Q	v	ν	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(m)
0,0144	0,011	0,0070	0,965	9,34E-07	99636	0,029	117	0,0104	0,0039	0,00038
0,0135	0,009	0,0069	0,952	9,34E-07	98223	0,028	120	0,0102	0,0033	0,00032
0,0134	0,009	0,0068	0,937	9,23E-07	97864	0,029	118	0,0103	0,0036	0,00035
0,0132	0,010	0,0068	0,928	9,12E-07	98072	0,029	118	0,0103	0,0037	0,00036
0,0128	0,009	0,0067	0,918	9,12E-07	96980	0,029	119	0,0103	0,0036	0,00035
0,0123	0,008	0,0066	0,900	9,12E-07	95107	0,029	119	0,0103	0,0035	0,00034
0,0117	0,008	0,0064	0,880	9,12E-07	92982	0,029	119	0,0103	0,0035	0,00034
0,0115	0,008	0,0063	0,862	9,12E-07	91101	0,029	118	0,0104	0,0038	0,00036
0,0107	0,008	0,0061	0,837	9,12E-07	88429	0,029	120	0,0103	0,0036	0,00034
0,0100	0,008	0,0059	0,807	9,12E-07	85285	0,029	119	0,0103	0,0036	0,00035
0,0094	0,008	0,0057	0,779	9,02E-07	83234	0,029	119	0,0104	0,0039	0,00037
0,0085	0,006	0,0053	0,725	8,91E-07	78466	0,031	117	0,0106	0,0044	0,00043
0,0080	0,006	0,0051	0,704	8,91E-07	76118	0,030	118	0,0106	0,0043	0,00042
0,0073	0,006	0,0049	0,668	8,91E-07	72260	0,031	117	0,0106	0,0046	0,00044
0,0069	0,005	0,0047	0,641	8,91E-07	69302	0,032	116	0,0108	0,0050	0,00048
0,0059	0,005	0,0044	0,598	8,91E-07	64718	0,031	117	0,0107	0,0047	0,00046
0,0051	0,005	0,0040	0,546	8,91E-07	59079	0,033	116	0,0109	0,0054	0,00052
0,0040	0,004	0,0035	0,480	8,91E-07	51909	0,033	116	0,0110	0,0057	0,00055
0,0030	0,004	0,0030	0,407	8,91E-07	44053	0,034	116	0,0111	0,0059	0,00057
0,0022	0,002	0,0026	0,356	8,91E-07	38470	0,032	120	0,0109	0,0048	0,00046
0,0016	0,002	0,0023	0,313	8,71E-07	34638	0,031	124	0,0107	0,0040	0,00039
0,0016	0,003	0,0022	0,297	8,91E-07	32143	0,035	117	0,0113	0,0061	0,00059
0,0012	0,002	0,0020	0,274	8,71E-07	30361	0,031	127	0,0106	0,0034	0,00032
0,0012	0,001	0,0018	0,244	8,91E-07	26421	0,038	113	0,0119	0,0087	0,00084
0,0008	0,001	0,0016	0,224	8,71E-07	24790	0,031	129	0,0106	0,0030	0,00029
0,0008	0,001	0,0014	0,198	8,91E-07	21465	0,039	114	0,0119	0,0086	0,00083
0,0007	0,001	0,0014	0,189	8,71E-07	20951	0,036	120	0,0114	0,0060	0,00058

Repetição 2.

J	J'	Q	v	ν	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m/m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(m)
0,0140	0,010	0,0070	0,962	9,12E-07	101674	0,029	118	0,010	0,0036	0,00035
0,0136	0,010	0,0069	0,944	9,12E-07	99756	0,029	118	0,010	0,0037	0,00036
0,0130	0,009	0,0067	0,915	9,12E-07	96704	0,029	118	0,010	0,0038	0,00037
0,0119	0,009	0,0064	0,874	9,12E-07	92335	0,029	118	0,001	0,0039	0,00038
0,0111	0,008	0,0062	0,844	9,02E-07	90232	0,029	118	0,001	0,0039	0,00037
0,0101	0,007	0,0059	0,810	9,02E-07	86607	0,029	119	0,010	0,0037	0,00036
0,0094	0,006	0,0056	0,766	9,02E-07	81913	0,030	117	0,011	0,0044	0,00042
0,0085	0,006	0,0053	0,721	9,02E-07	77111	0,031	116	0,011	0,0046	0,00044
0,0076	0,005	0,0050	0,683	8,91E-07	73884	0,031	117	0,011	0,0044	0,00043
0,0069	0,006	0,0048	0,655	8,91E-07	70797	0,03	118	0,011	0,0043	0,00041
0,0059	0,005	0,0043	0,595	8,91E-07	64394	0,032	117	0,011	0,0049	0,00048
0,0047	0,004	0,0039	0,535	8,91E-07	57886	0,031	119	0,011	0,0045	0,00044
0,0045	0,003	0,0037	0,512	8,91E-07	55421	0,032	117	0,011	0,0050	0,00049
0,0034	0,004	0,0035	0,484	8,91E-07	52311	0,027	129	0,010	0,0024	0,00023
0,0039	0,004	0,0034	0,465	8,91E-07	50269	0,034	114	0,011	0,0064	0,00061
0,0040	0,003	0,0032	0,436	8,91E-07	47115	0,040	105	0,012	0,0110	0,00106
0,0027	0,003	0,0028	0,378	8,81E-07	41414	0,036	113	0,011	0,0071	0,00069
0,0022	0,003	0,0026	0,351	8,81E-07	38369	0,033	119	0,011	0,0054	0,00052
0,0018	0,003	0,0022	0,303	8,81E-07	33174	0,036	115	0,012	0,0072	0,00069
0,0015	0,003	0,0020	0,270	8,81E-07	29527	0,039	112	0,012	0,0089	0,00086
0,0013	0,002	0,0019	0,259	8,71E-07	28625	0,038	113	0,012	0,0086	0,00083
0,0011	0,002	0,0017	0,232	8,71E-07	25660	0,038	114	0,012	0,0082	0,00079
0,0011	0,002	0,0016	0,216	8,71E-07	23888	0,044	106	0,013	0,0133	0,00128
0,0011	0,002	0,0015	0,21	8,71E-07	23268	0,046	103	0,013	0,0156	0,00151
0,0008	0,002	0,0014	0,198	8,71E-07	21974	0,039	114	0,012	0,0086	0,00083

Quadro 10. Continuação.**Repetição 3.**

J (m/m)	J' (m)	Q (m ³ /s)	v (m/s)	v (m ² /s)	Re (adm)	f (adm)	C (adm)	n (adm)	e/D (adm)	e (m)
0,0142	0,011	0,0070	0,964	8,71E-07	106694	0,029	118	0,010	0,0037	0,00036
0,0139	0,011	0,0069	0,950	8,71E-07	105175	0,029	118	0,010	0,0038	0,00037
0,0128	0,010	0,0067	0,911	8,71E-07	100915	0,029	118	0,010	0,0038	0,00037
0,012	0,009	0,0065	0,891	8,71E-07	98642	0,029	119	0,010	0,0035	0,00034
0,0107	0,008	0,0062	0,845	9,34E-07	87185	0,028	121	0,010	0,0033	0,00032
0,0096	0,008	0,0058	0,794	9,23E-07	82890	0,029	120	0,010	0,0035	0,00034
0,0085	0,007	0,0054	0,736	9,23E-07	76862	0,030	119	0,010	0,0039	0,00038
0,0073	0,005	0,0050	0,686	9,23E-07	71603	0,029	120	0,010	0,0037	0,00036
0,0069	0,005	0,0048	0,664	9,12E-07	70112	0,030	120	0,010	0,0038	0,00037
0,0062	0,005	0,0046	0,633	9,12E-07	66903	0,029	121	0,010	0,0036	0,00035
0,0057	0,006	0,0044	0,604	9,12E-07	63847	0,029	121	0,010	0,0036	0,00035
0,0043	0,005	0,0041	0,566	9,12E-07	59751	0,026	132	0,010	0,0018	0,00017
0,0046	0,004	0,0039	0,534	9,12E-07	56426	0,030	120	0,011	0,0041	0,00039
0,004	0,004	0,0036	0,497	9,12E-07	52513	0,031	120	0,011	0,0043	0,00042
0,0032	0,003	0,0032	0,444	9,02E-07	47437	0,031	121	0,011	0,0043	0,00041
0,0027	0,003	0,0029	0,401	9,02E-07	42908	0,032	120	0,011	0,0045	0,00044
0,0026	0,003	0,0028	0,388	8,91E-07	41942	0,032	120	0,011	0,0048	0,00047
0,0022	0,003	0,0025	0,349	8,91E-07	37737	0,034	118	0,011	0,0055	0,00053
0,0019	0,003	0,0024	0,330	8,91E-07	35644	0,033	120	0,011	0,0050	0,00049
0,0016	0,003	0,0023	0,309	8,91E-07	33420	0,032	122	0,011	0,0044	0,00043
0,0015	0,002	0,0021	0,293	8,91E-07	31705	0,033	121	0,011	0,0047	0,00045
0,0012	0,002	0,0020	0,281	8,91E-07	30355	0,029	130	0,010	0,0026	0,00025
0,0011	0,002	0,0018	0,249	8,91E-07	26944	0,033	123	0,011	0,0046	0,00044
0,0009	0,001	0,0017	0,234	8,91E-07	25342	0,033	124	0,011	0,0042	0,00041
0,0007	0,001	0,0016	0,218	8,91E-07	23632	0,027	139	0,010	0,0008	0,00008
0,0007	0,001	0,0015	0,201	8,81E-07	22044	0,031	128	0,011	0,0032	0,00031

Repetição 4.

J (m/m)	J' (m)	Q (m ³ /s)	v (m/s)	v (m ² /s)	Re (adm)	f (adm)	C (adm)	n (adm)	e/D (adm)	e (m)
0,0139	0,014	0,0070	0,963	8,91E-07	104154	0,028	119	0,010	0,0034	0,00033
0,0123	0,008	0,0067	0,924	8,91E-07	99982	0,027	122	0,010	0,0029	0,00028
0,0124	0,006	0,0063	0,86	8,71E-07	95169	0,032	113	0,011	0,0053	0,00051
0,0089	0,006	0,0057	0,777	8,50E-07	88088	0,028	122	0,010	0,0031	0,00030
0,0078	0,004	0,0052	0,709	8,50E-07	80349	0,029	120	0,010	0,0038	0,00037
0,0061	0,003	0,0046	0,626	8,50E-07	70921	0,029	121	0,010	0,0037	0,00036
0,0049	0,003	0,0041	0,558	8,41E-07	64011	0,029	122	0,010	0,0037	0,00036
0,0045	0,003	0,0038	0,524	8,41E-07	60089	0,031	120	0,011	0,0043	0,00041
0,0039	0,002	0,0036	0,492	8,31E-07	57118	0,031	121	0,011	0,0042	0,00040
0,0035	0,001	0,0034	0,466	8,31E-07	54083	0,031	121	0,011	0,0041	0,00040
0,0035	0,001	0,0033	0,446	8,71E-07	49432	0,033	116	0,011	0,0057	0,00055
0,0028	0,001	0,0030	0,416	8,71E-07	46061	0,031	122	0,011	0,0042	0,00040
0,0026	0,001	0,0028	0,386	8,71E-07	42767	0,033	119	0,011	0,0050	0,00049
0,0020	0,001	0,0026	0,354	8,60E-07	39659	0,031	124	0,011	0,0038	0,00036
0,0018	0	0,0024	0,326	8,50E-07	36943	0,031	123	0,011	0,0041	0,00039
0,0015	0	0,0023	0,311	8,41E-07	35660	0,029	129	0,010	0,0028	0,00027
0,0015	0	0,0021	0,289	8,41E-07	33150	0,034	120	0,011	0,0054	0,00052
0,0011	0	0,0019	0,265	8,31E-07	30793	0,029	131	0,010	0,0025	0,00024
0,0011	0	0,0018	0,247	8,21E-07	28967	0,034	121	0,011	0,0051	0,00050
0,0008	0	0,0017	0,227	8,21E-07	26598	0,030	130	0,010	0,0027	0,00026
0,0009	0	0,0015	0,204	8,21E-07	23997	0,043	108	0,013	0,0123	0,00118

Obs: adm significa adimensional

Quadro 10. Continuação**Repetição 5.**

J	J'	Q	v	v^2	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(m)
0,0138	0,009	0,0071	0,967	8,91E-07	104622	0,028	120	0,001	0,0032	0,00031
0,0126	0,008	0,0067	0,914	8,81E-07	100025	0,028	120	0,010	0,0034	0,00033
0,0107	0,007	0,0062	0,843	8,60E-07	94407	0,028	120	0,010	0,0034	0,00033
0,0089	0,005	0,0056	0,770	8,50E-07	87301	0,028	121	0,001	0,0034	0,00032
0,0077	0,004	0,0051	0,701	8,50E-07	79486	0,030	119	0,001	0,0039	0,00038
0,0059	0,003	0,0045	0,618	8,50E-07	70051	0,029	121	0,001	0,0037	0,00036
0,0049	0,002	0,0041	0,556	8,41E-07	63765	0,030	121	0,001	0,0038	0,00037
0,0045	0,003	0,0038	0,516	8,41E-07	59168	0,032	118	0,011	0,0048	0,00047
0,0035	0,001	0,0035	0,474	8,41E-07	54327	0,030	123	0,010	0,0036	0,00035
0,0035	0,001	0,0033	0,450	8,31E-07	52270	0,033	117	0,011	0,0054	0,00052
0,0031	0,001	0,0031	0,427	8,71E-07	47315	0,032	119	0,011	0,0049	0,00047
0,0026	0,001	0,0029	0,397	8,71E-07	43948	0,031	122	0,011	0,0040	0,00039
0,002	0,001	0,0026	0,359	8,60E-07	40221	0,030	126	0,010	0,0033	0,00032
0,0018	0	0,0024	0,322	8,50E-07	36526	0,032	122	0,011	0,0045	0,00043
0,0016	0	0,0022	0,305	8,41E-07	34993	0,033	121	0,011	0,0050	0,00048
0,0015	0	0,0021	0,283	8,31E-07	32814	0,035	117	0,011	0,0064	0,00062
0,0011	0	0,0019	0,261	8,31E-07	30267	0,030	128	0,010	0,0030	0,00029
0,0009	0	0,0018	0,244	8,21E-07	28682	0,030	129	0,010	0,0029	0,00028
0,0008	0	0,0016	0,221	8,21E-07	25972	0,031	127	0,011	0,0035	0,00034
0,0008	0	0,0015	0,210	8,21E-07	24673	0,035	121	0,011	0,0056	0,00054

Repetição 6.

J	J'	Q	v	v^2	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m/m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(adm)	(m)
0,0136	0,009	0,0070	0,959	8,81E-07	104907	0,028	120	0,010	0,0033	0,00032
0,0124	0,008	0,0066	0,909	8,71E-07	100698	0,028	120	0,010	0,0034	0,00033
0,0107	0,007	0,0061	0,838	8,60E-07	93930	0,029	120	0,010	0,0035	0,00034
0,0089	0,005	0,0056	0,764	8,50E-07	86595	0,029	120	0,010	0,0036	0,00035
0,0089	0,004	0,0050	0,683	8,50E-07	77433	0,036	108	0,012	0,0080	0,00077
0,0058	0,003	0,0044	0,607	8,50E-07	68836	0,030	120	0,010	0,0039	0,00038
0,0047	0,003	0,0040	0,545	8,41E-07	62522	0,030	121	0,011	0,0040	0,00038
0,0042	0,002	0,0037	0,504	8,41E-07	57826	0,031	119	0,011	0,0045	0,00043
0,0034	0,001	0,0034	0,463	8,41E-07	53158	0,030	123	0,010	0,0036	0,00035
0,0030	0,001	0,0032	0,436	8,31E-07	50550	0,030	124	0,010	0,0035	0,00034
0,0026	0,001	0,0030	0,407	8,71E-07	45098	0,029	126	0,010	0,0032	0,00031
0,0023	0	0,0028	0,380	8,60E-07	42573	0,030	124	0,011	0,0036	0,00034
0,0019	0	0,0025	0,337	8,50E-07	38168	0,032	122	0,011	0,0043	0,00041
0,0018	0	0,0023	0,319	8,50E-07	36103	0,033	121	0,011	0,0049	0,00048
0,0015	0	0,0022	0,299	8,41E-07	34313	0,031	124	0,011	0,0040	0,00039
0,0011	0	0,0020	0,270	8,31E-07	31311	0,028	133	0,010	0,0021	0,00020
0,0011	0	0,0018	0,252	8,31E-07	29185	0,032	124	0,011	0,0043	0,00042
0,0009	0	0,0017	0,229	8,21E-07	26906	0,034	121	0,011	0,0053	0,00051
0,0007	0	0,0015	0,204	8,21E-07	23997	0,031	130	0,011	0,0029	0,00028
0,0007	0	0,0014	0,192	8,21E-07	22584	0,034	122	0,011	0,0053	0,00051

Obs: adm significa adimensional

Quadro 11. Valores de Perda de carga (J), Vazão (Q), Velocidade (v), Viscosidade cinemática (ν), Número de Reynolds (Re), Coeficientes de Atrito (f), e de Rugosidade, (C) e (n), Rugosidades Relativa (e/D) e Absoluta (e), calculados a partir de dados experimentais de tubo corugado flexível, em 6 repetições.

Repetição 1.

J	Q	v	ν	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm.)	(adm.)	(adm.)	(adm.)	(m)
0,0283	0,0071	1,075	1,08E-06	91232	0,044	94	0,013	0,0148	0,00135
0,0282	0,0070	1,066	1,08E-06	90471	0,045	93	0,013	0,0153	0,00140
0,0240	0,0065	0,984	1,09E-06	82522	0,045	94	0,013	0,0153	0,00140
0,0201	0,0061	0,924	1,06E-06	79360	0,042	97	0,012	0,0131	0,00120
0,0171	0,0055	0,835	1,05E-06	72561	0,044	95	0,013	0,0148	0,00135
0,0161	0,0051	0,780	1,04E-06	68592	0,047	92	0,013	0,0180	0,00164
0,0147	0,0049	0,746	1,03E-06	66388	0,047	93	0,013	0,0180	0,00165
0,0128	0,0046	0,704	1,13E-06	57061	0,046	94	0,013	0,0168	0,00154
0,0107	0,0042	0,641	1,12E-06	52515	0,047	95	0,013	0,0170	0,00155
0,0094	0,0039	0,600	1,10E-06	49780	0,047	95	0,013	0,0174	0,00159
0,0078	0,0036	0,543	1,09E-06	45600	0,048	95	0,013	0,0179	0,00163
0,0069	0,0033	0,501	1,08E-06	42537	0,049	94	0,013	0,0196	0,00179
0,0053	0,0029	0,442	1,06E-06	37925	0,048	95	0,013	0,0186	0,00170
0,0046	0,0026	0,403	1,06E-06	34621	0,051	94	0,014	0,0210	0,00192
0,0036	0,0024	0,363	1,09E-06	30419	0,050	96	0,013	0,0198	0,00181
0,0032	0,0022	0,339	1,08E-06	28813	0,050	95	0,013	0,0205	0,00188
0,0028	0,0021	0,315	1,08E-06	26704	0,051	95	0,014	0,0215	0,00196
0,0026	0,0020	0,298	1,06E-06	25569	0,052	95	0,014	0,0220	0,00201
0,0022	0,0018	0,274	1,06E-06	23573	0,051	96	0,014	0,0213	0,00195
0,0020	0,0017	0,261	1,05E-06	22652	0,053	94	0,014	0,0236	0,00216
0,0024	0,0018	0,274	9,57E-07	26185	0,058	90	0,014	0,0294	0,00269
0,0019	0,0016	0,237	9,35E-07	23114	0,061	89	0,015	0,0328	0,00299
0,0011	0,0012	0,183	9,24E-07	18127	0,058	93	0,014	0,0284	0,00260
0,0009	0,0011	0,163	9,24E-07	16148	0,064	89	0,015	0,0361	0,00330
0,0005	0,0008	0,122	9,57E-07	11676	0,065	90	0,015	0,0369	0,00337

Repetição 2.

J	Q	v	ν	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm.)	(adm.)	(adm.)	(adm.)	(m)
0,0285	0,0070	1,071	1,06E-06	91954	0,045	93	0,013	0,0154	0,00140
0,0266	0,0068	1,032	1,05E-06	89681	0,045	93	0,013	0,0156	0,00142
0,0229	0,0063	0,959	1,08E-06	81431	0,045	94	0,013	0,0154	0,00141
0,0184	0,0057	0,871	1,05E-06	75720	0,043	96	0,013	0,0141	0,00129
0,0158	0,0052	0,795	1,05E-06	69096	0,045	95	0,013	0,0154	0,00141
0,0154	0,0050	0,764	1,03E-06	67954	0,047	93	0,013	0,0180	0,00164
0,0134	0,0047	0,716	1,14E-06	57311	0,047	94	0,013	0,0173	0,00158
0,0119	0,0043	0,650	1,13E-06	52644	0,050	91	0,013	0,0212	0,00193
0,0097	0,0039	0,593	1,10E-06	49164	0,050	92	0,013	0,0202	0,00184
0,0076	0,0035	0,530	1,09E-06	44445	0,048	94	0,013	0,0187	0,00171
0,0058	0,0030	0,460	1,06E-06	39473	0,049	94	0,013	0,0196	0,00179
0,0047	0,0027	0,410	1,06E-06	35244	0,050	94	0,013	0,0207	0,00189
0,0040	0,0024	0,371	1,10E-06	30733	0,053	92	0,014	0,0234	0,00214
0,0034	0,0023	0,350	1,09E-06	29376	0,049	96	0,013	0,0194	0,00177
0,0028	0,0021	0,317	1,08E-06	26903	0,051	96	0,014	0,0206	0,00189
0,0026	0,0020	0,303	1,06E-06	25992	0,050	96	0,013	0,0201	0,00184
0,0023	0,0019	0,285	1,06E-06	24480	0,051	96	0,014	0,0205	0,00188
0,0020	0,0017	0,266	1,05E-06	23139	0,051	96	0,014	0,0211	0,00193
0,0024	0,0018	0,268	9,57E-07	25612	0,061	88	0,015	0,0328	0,0030
0,0018	0,0015	0,227	9,35E-07	22200	0,061	89	0,015	0,0332	0,00304
0,0011	0,0012	0,181	9,24E-07	17892	0,059	92	0,015	0,0304	0,00278
0,0005	0,0007	0,112	9,57E-07	10705	0,077	83	0,017	0,0552	0,00505

Obs: adm significa adimensional

Quadro 11. Continuação**Repetição 3.**

J	Q	v	y	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm.)	(adm.)	(adm.)	(adm.)	(m)
0,0287	0,0071	1,075	1,06E-06	92308	0,045	93	0,013	0,0154	0,00141
0,0275	0,0069	1,049	1,05E-06	91161	0,045	93	0,013	0,0157	0,00143
0,0238	0,0064	0,975	1,09E-06	81826	0,045	93	0,013	0,0155	0,00142
0,0198	0,0059	0,903	1,05E-06	78469	0,044	95	0,013	0,0144	0,00131
0,0165	0,0053	0,813	1,05E-06	70613	0,045	95	0,013	0,0154	0,00140
0,0158	0,0051	0,775	1,04E-06	68175	0,047	93	0,013	0,0178	0,00162
0,0136	0,0048	0,729	1,16E-06	57694	0,046	94	0,013	0,0165	0,00151
0,0124	0,0044	0,674	1,13E-06	54632	0,049	92	0,013	0,0196	0,00179
0,0107	0,0042	0,636	1,12E-06	52136	0,047	94	0,013	0,0177	0,00162
0,0096	0,0038	0,580	1,10E-06	48120	0,051	91	0,014	0,0218	0,00199
0,0077	0,0034	0,520	1,08E-06	44134	0,051	92	0,014	0,0217	0,00198
0,0063	0,0031	0,472	1,08E-06	40090	0,051	92	0,014	0,0216	0,00197
0,0051	0,0028	0,421	1,06E-06	36160	0,052	92	0,014	0,0225	0,00206
0,0046	0,0026	0,392	1,10E-06	32499	0,054	91	0,014	0,0243	0,00223
0,0035	0,0023	0,354	1,10E-06	29381	0,050	95	0,013	0,0202	0,00185
0,0031	0,0022	0,333	1,08E-06	28254	0,050	96	0,013	0,0203	0,00186
0,0026	0,0020	0,307	1,08E-06	26100	0,049	98	0,013	0,0184	0,00168
0,0023	0,0019	0,288	1,06E-06	24702	0,050	97	0,013	0,0195	0,00178
0,0020	0,0018	0,272	1,05E-06	23617	0,049	98	0,013	0,0188	0,00172
0,0024	0,0018	0,274	9,46E-07	26455	0,058	90	0,014	0,0297	0,00271
0,0018	0,0015	0,234	9,35E-07	22844	0,058	91	0,014	0,0288	0,00263
0,0011	0,0012	0,180	9,24E-07	17773	0,060	91	0,015	0,0314	0,00287
0,0005	0,0008	0,123	9,57E-07	11761	0,064	91	0,015	0,0356	0,00326

Repetição 4.

J	Q	v	y	Re	f	C	n	e/D	e
(m/m)	(m ³ /s)	(m/s)	(m ² /s)	(adm)	(adm.)	(adm.)	(adm.)	(adm.)	(m)
0,0286	0,0070	1,069	1,17E-06	83610	0,045	93	0,013	0,0156	0,00143
0,0271	0,0068	1,039	1,16E-06	82213	0,045	93	0,013	0,0158	0,00144
0,0251	0,0065	0,995	1,14E-06	79637	0,045	93	0,013	0,0162	0,00148
0,0224	0,0062	0,942	1,13E-06	76314	0,045	93	0,013	0,0159	0,00146
0,0205	0,0059	0,901	1,12E-06	73866	0,045	93	0,013	0,0160	0,00146
0,0173	0,0054	0,817	1,10E-06	67753	0,046	93	0,013	0,0170	0,00156
0,0154	0,0050	0,760	1,10E-06	63015	0,048	92	0,013	0,0184	0,00168
0,0142	0,0048	0,731	1,13E-06	59228	0,048	93	0,013	0,0181	0,00165
0,0131	0,0046	0,699	1,13E-06	56635	0,048	92	0,013	0,0186	0,00170
0,0121	0,0044	0,672	1,12E-06	55096	0,048	93	0,013	0,0188	0,00171
0,0104	0,0041	0,621	1,10E-06	51485	0,048	93	0,013	0,0189	0,00172
0,0093	0,0038	0,583	1,10E-06	48330	0,049	93	0,013	0,0197	0,00180
0,0081	0,0036	0,543	1,09E-06	45600	0,049	93	0,013	0,0196	0,00180
0,0070	0,0033	0,505	1,09E-06	42411	0,049	94	0,013	0,0197	0,00180
0,0061	0,0031	0,468	1,08E-06	39689	0,050	94	0,013	0,0202	0,00185
0,0051	0,0028	0,428	1,08E-06	36329	0,050	94	0,013	0,0206	0,00188
0,0047	0,0027	0,405	1,06E-06	34778	0,052	93	0,014	0,0222	0,00203
0,0043	0,0026	0,390	1,13E-06	31593	0,051	94	0,014	0,0212	0,00194
0,0038	0,0024	0,358	1,12E-06	29378	0,053	93	0,014	0,0232	0,00212
0,0034	0,0022	0,335	1,10E-06	27782	0,054	92	0,014	0,0245	0,00224
0,0028	0,0020	0,312	1,10E-06	25890	0,052	94	0,014	0,0223	0,00204
0,0024	0,0019	0,290	1,09E-06	24344	0,052	95	0,014	0,0218	0,00199
0,0023	0,0018	0,274	1,08E-06	23299	0,055	93	0,014	0,0251	0,00230
0,0023	0,0018	0,268	9,46E-07	25836	0,057	91	0,014	0,0289	0,00264
0,0018	0,0015	0,230	9,35E-07	22524	0,059	90	0,015	0,0309	0,00283
0,0009	0,0011	0,172	9,24E-07	17042	0,057	94	0,014	0,0275	0,00252
0,0005	0,0008	0,116	9,46E-07	11199	0,072	86	0,016	0,0476	0,00435

Obs: adm significa adimensional

Quadro 11. Continuação.

Repetição 5.

J (m/m)	Q (m ³ /s)	v (m/s)	ν (m ² /s)	Re (adm)	f (adm.)	C (adm.)	n (adm.)	e/D (adm.)	e (m)
0,0285	0,0070	1,059	1,16E-06	83828	0,045	92	0,013	0,0162	0,00148
0,0270	0,0068	1,034	1,14E-06	82784	0,045	92	0,013	0,0160	0,00146
0,0246	0,0065	0,984	1,13E-06	79669	0,046	93	0,013	0,0162	0,00148
0,0224	0,0062	0,939	1,13E-06	76060	0,046	93	0,013	0,0162	0,00148
0,0201	0,0058	0,887	1,12E-06	72715	0,046	93	0,013	0,0165	0,00151
0,0174	0,0054	0,816	1,10E-06	67678	0,047	92	0,013	0,0175	0,00160
0,0150	0,0049	0,748	1,09E-06	62773	0,048	92	0,013	0,0186	0,00170
0,0139	0,0047	0,721	1,13E-06	58404	0,048	92	0,013	0,0185	0,00169
0,0126	0,0045	0,683	1,12E-06	55990	0,048	92	0,013	0,0188	0,00172
0,0111	0,0042	0,643	1,12E-06	52704	0,048	93	0,013	0,0185	0,00169
0,0100	0,0040	0,609	1,10E-06	50489	0,048	93	0,013	0,0188	0,00172
0,0089	0,0037	0,570	1,10E-06	47268	0,049	93	0,013	0,0197	0,00180
0,0078	0,0035	0,534	1,09E-06	44795	0,049	93	0,013	0,0197	0,00180
0,0067	0,0032	0,494	1,08E-06	41907	0,050	93	0,013	0,0201	0,00184
0,0061	0,0030	0,464	1,08E-06	39420	0,051	93	0,013	0,0210	0,00192
0,0050	0,0028	0,424	1,08E-06	36035	0,050	94	0,013	0,0200	0,00183
0,0046	0,0026	0,401	1,06E-06	34463	0,051	93	0,014	0,0215	0,00197
0,0039	0,0024	0,371	1,13E-06	30020	0,051	94	0,014	0,0213	0,00195
0,0036	0,0023	0,354	1,12E-06	29038	0,052	93	0,014	0,0224	0,00205
0,0031	0,0021	0,324	1,10E-06	26853	0,053	93	0,014	0,0235	0,00215
0,0028	0,0020	0,305	1,09E-06	25593	0,055	92	0,014	0,0253	0,00231
0,0024	0,0019	0,285	1,09E-06	23913	0,054	94	0,014	0,0240	0,00219
0,0026	0,0018	0,268	9,46E-07	25836	0,064	85	0,015	0,0380	0,00347
0,0015	0,0015	0,229	9,24E-07	22650	0,051	98	0,014	0,0205	0,00187
0,0009	0,0011	0,169	9,24E-07	16728	0,059	92	0,015	0,0303	0,00277
0,0005	0,0008	0,116	9,46E-07	11199	0,072	86	0,016	0,0476	0,00435

Repetição 6.

J (m/m)	Q (m ³ /s)	v (m/s)	ν (m ² /s)	Re (adm)	f (adm.)	C (adm.)	n (adm.)	e/D (adm.)	e (m)
0,0283	0,0070	1,063	1,16E-06	84103	0,045	93	0,013	0,0157	0,00144
0,0270	0,0068	1,029	1,14E-06	82383	0,046	92	0,013	0,0164	0,0015
0,0242	0,0064	0,971	1,13E-06	78690	0,046	92	0,013	0,0166	0,00152
0,0223	0,0061	0,933	1,13E-06	75613	0,046	93	0,013	0,0165	0,00151
0,0196	0,0057	0,875	1,12E-06	71685	0,046	93	0,013	0,0165	0,00151
0,0173	0,0053	0,810	1,10E-06	67150	0,047	92	0,013	0,0179	0,00163
0,0143	0,0048	0,730	1,09E-06	61264	0,048	92	0,013	0,0188	0,00171
0,0134	0,0046	0,702	1,13E-06	56891	0,049	92	0,013	0,0192	0,00175
0,0117	0,0043	0,660	1,13E-06	53466	0,048	93	0,013	0,0189	0,00173
0,0103	0,0041	0,620	1,12E-06	50787	0,048	93	0,013	0,0184	0,00168
0,0094	0,0039	0,588	1,10E-06	48749	0,049	93	0,013	0,0196	0,00179
0,0085	0,0036	0,553	1,10E-06	45850	0,050	92	0,013	0,0204	0,00187
0,0073	0,0034	0,518	1,09E-06	43500	0,049	94	0,013	0,0190	0,00174
0,0065	0,0031	0,478	1,08E-06	40617	0,051	92	0,014	0,0213	0,00195
0,0055	0,0029	0,445	1,08E-06	37766	0,050	94	0,013	0,0205	0,00188
0,0050	0,0028	0,421	1,08E-06	35738	0,051	94	0,013	0,0209	0,00191
0,0046	0,0026	0,398	1,06E-06	34145	0,052	93	0,014	0,0226	0,00207
0,0036	0,0024	0,363	1,12E-06	29714	0,050	96	0,013	0,0198	0,00181
0,0035	0,0023	0,348	1,12E-06	28521	0,052	94	0,014	0,0223	0,00204
0,0028	0,0021	0,317	1,10E-06	26279	0,051	96	0,014	0,0206	0,00188
0,0027	0,0019	0,295	1,09E-06	24767	0,056	92	0,014	0,0264	0,00241
0,0024	0,0018	0,277	1,09E-06	23252	0,057	91	0,014	0,0278	0,00254
0,0022	0,0017	0,263	9,35E-07	25742	0,056	92	0,014	0,0268	0,00245
0,0015	0,0015	0,227	9,24E-07	22462	0,052	97	0,014	0,0214	0,00196
0,0009	0,0011	0,163	9,24E-07	16148	0,064	89	0,015	0,0361	0,00330
0,0004	0,0008	0,115	9,35E-07	11239	0,055	99	0,014	0,0236	0,00216

Obs: adm significa adimensional

Figura 1. Dispositivo eletromecânico de perfuração longitudinal de bambu gigante

1 Hélice rompedora	4 Haste de autoajuste da lâmina	7 Roldana centralizadora do perfurador	10 Rolamento do eixo de transmissão de rotação
2 Lâmina de corte	5 Mola da haste	8 Corpo cilíndrico do centralizador	11 Eixo de transmissão de rotação
3 Bits de desbaste	6 Corpo do conjunto de corte	9 Mola de ajuste da roldana	

Figura 2. O Perfurador