

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO BAMBU: O COMPORTAMENTO HIDRÁULICO DE
TUBOS DE BAMBU GIGANTE (*Dendrocalamus giganteus*)

POR

JOSÉ ADOLFO DE ALMEIDA NETO

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de M
Arts defendida por José Adolfo de Almeida Neto e aprovada
pela Comissão Julgadora em 10 de julho de 1992. Campinas
28 de setembro de 1992.

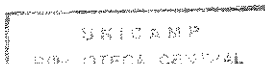
Roberto Testezlaf
Presidente da Banca

Orientador: PROF. DR. ROBERTO TESTEZLAF

Dissertação apresentada a Faculdade de Engenharia Agrícola da
Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos
para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

CAMPINAS-SP

Julho - 1992



A minha companheira
de estrada
Sílvia

OFEREÇO

A minha filha Manuela

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Enrique Ortega pelo estímulo inicial.

Ao Pesquisador Anísio Azzini pela paciência e pelos conhecimentos transmitidos sobre o bambu.

Ao Técnico agrícola Gelson Espindola pela amizade, pelo apoio e participação no trabalho experimental.

Ao Professor Dr. Roberto Testezlaf, pela orientação, pelo constante estímulo e pela experiência transmitida ao longo deste período de convivência.

A minha mulher Silvia pela cuidadosa correção dos originais.

Aos professores e técnicos do laboratório de protótipos do Departamento de Máquinas Agrícolas pela participação no desenvolvimento do perfurador.

Ao pessoal do Campo Experimental pela ajuda no corte e preparo dos colmos de bambu.

Ao Sr. Robinson pela colaboração nos desenhos.

A Seção de Plantas Fibrosas do Instituto Agrônomo de Campinas por ceder o bambu utilizado nos testes.

A Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP pelo auxílio fornecido na montagem da parte experimental.

Aos demais funcionários, professores e colegas da Faculdade de Engenharia Agrícola, que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMARIO

	Página
DEDICATÓRIA.....	1
AGRADECIMENTOS.....	ii
SUMÁRIO.....	iii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO.....	xi
SUMMARY.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	03
2.1. A cultura do bambu.....	03
2.1.1. ETMOLOGIA.....	03
2.1.2. ORIGEM.....	04
2.1.3. CLASSIFICAÇÃO.....	05
2.1.4. DESCRIÇÃO DA PLANTA.....	06
2.1.5. CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS.....	13
2.1.6. SILVICULTURA.....	15
2.1.7. PROPAGAÇÃO VEGETATIVA.....	18
2.1.8. UTILIZAÇÃO.....	20
2.1.9. TRATAMENTO E PRESERVAÇÃO DOS COLMOS.....	23
2.2. Teoria de escoamento em condutos.....	26
2.2.1. TIPOS DE FLUXO OU ESCOAMENTO.....	26
2.2.2. EQUAÇÕES BÁSICAS EM ESCOAMENTO DE FLUIDOS...	31
2.2.3. EQUAÇÕES DE PERDA DE CARGA EM ESCOAMENTO DE LÍQUIDOS ATRAVÉS DE CONDUTOS CIRCULARES.....	34

2.3.	O bambu como conduto.....	42
2.3.1.	GENERALIDADES.....	42
2.3.2.	DURABILIDADE E TÉCNICAS DE PRESERVAÇÃO.....	42
2.3.3.	ASPECTOS AMBIENTAIS E SANITÁRIOS.....	45
2.3.4.	PRESSÃO DE TRABALHO.....	46
2.3.5.	CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA.....	47
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	50
3.1.	Material.....	50
3.1.1.	A INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL.....	50
3.1.2.	AS TUBULAÇÕES.....	54
3.2.	Metodologia.....	60
3.2.1.	PREPARAÇÃO DOS TUBOS DE BAMBU.....	60
3.2.2.	AVALIAÇÃO DAS DIMENSÕES DOS TUBOS.....	62
3.2.3.	MÉTODO DE MEDIDA DE PRESSÃO.....	63
3.2.4.	MÉTODO DE MEDIDA DE VAZÃO.....	68
3.2.5.	SEQUENCIA EXPERIMENTAL.....	72
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
4.1.	O acabamento na remoção dos nós.....	75
4.2.	Caracterização hidráulica das tubulações.....	77
4.2.1.	PERDA DE CARGA: IMPACTO x MECÂNICO.....	85
4.2.2.	ANÁLISE DAS EQUAÇÕES DE PERDA DE CARGA.....	89
5.	CONCLUSÕES.....	107
6.	RECOMENDAÇÕES.....	109
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111
8.	ANEXOS.....	115

LISTA DE SIMBOLOS

- A = área da seção do conduto, L^2 ;
 A_d = área do orifício, L^2 ;
 C = coeficiente de rugosidade de *Hazen-Williams*;
 C_c = coeficiente de contração do orifício;
 C_q = coeficiente de vazão do medidor.
 C_v = coeficiente de velocidade do medidor;
 D = diâmetro do conduto, L ;
 dp = diferencial de pressão, $ML^{-1}T^{-2}$;
 dv = diferencial de velocidade, LT^{-1} ;
 dv_x = diferencial de velocidade na direção x , LT^{-1} ;
 dy = diferencial da coordenada y , L ;
 dz = diferencial da coordenada da altura, L ;
 f_d = coeficiente de fricção de Darcy-Weisbach;
 g = aceleração da gravidade, LT^{-2} ;
 h_f = perda de energia mecânica ou perda de carga, LL^{-1} ;
 $h_{f,exp.}$ = perda de carga experimental;
 $h_{f,teo.}$ = perda de carga teórica;
 L = comprimento da tubulação, L ;
 m = relação entre áreas no orifício;
 n = coeficiente de rugosidade de *Manning*;
 p = pressão estática num determinado ponto da linha de fluxo, ML^{-1} ;
 p_1, p_2 = pressão estática nos pontos 1 e 2, $ML^{-1}T^{-2}$;
 p_d, p_v = pressão dinâmica ou de velocidade, $ML^{-1}T^{-2}$;
 p_i = pressão estática indicada no sensor, $ML^{-1}T^{-2}$;
 p_t = pressão total ou de estagnação, $ML^{-1}T^{-2}$;
 Q = Vazão real que passa por um conduto, L^3T^{-1} ;

v_t = vazão teórica que passa pelo orifício, $L^3 T^{-1}$;

R_h = raio hidráulico, L;

Re = número de Reynolds;

S = gradiente da linha de energia ou perda de carga, LL^{-1} ;

v = velocidade numa linha de corrente, LT^{-1} ;

\bar{v} , \bar{V} = velocidade média do fluido, LT^{-1} ;

\hat{v} = valor do desvio quadrático médio (rms) da componente axial da velocidade, LT^{-1} ;

v_1 , v_2 = velocidade na linha de corrente relativo ao ponto 1 e 2, ;

z = coordenada da altura, L;

z_1 , z_2 = coordenada da altura no ponto 1 e 2 , respectivamente, L;

ϵ = rugosidade da parede do conduto, L;

μ = viscosidade dinâmica do fluido, $ML^{-1}T^{-1}$;

ρ = densidade do fluido, ML^{-3} ;

σ = desvio padrão da amostra;

τ_{yx} = tensão de cisalhamento, $ML^{-1}T^{-2}$;

ν = viscosidade cinemática do fluido, L^2T^{-1} ;

γ = peso específico do fluido, $ML^{-2}T^{-2}$;

- Figura 1 - Ideograma chinês que representa o bambu.....
- Figura 2 - Superfície hidraulicamente lisa.....
- Figura 3 - Superfície hidraulicamente rugosa.....
- Figura 4 - Diagrama de energia para um fluido ideal.....
- Figura 5 - Diagrama de energia para um fluido real.....
- Figura 6 - Esquema geral do sistema utilizado na seção de testes.....
- Figura 7 - Vista de cima da seção de testes.....
- Figura 8 - Detalhe da conexão entre o tubo de bambu e a flange..
- Figura 9 - Seção do nó de um tubo perfurado por impacto.....
- Figura 10 - Processo de perfuração por impacto.....
- Figura 11 - O dispositivo de perfuração mecânico.....
- Figura 12 - Vista da fonte de potência e da transmissão.....
- Figura 13 - A estrutura de fixação e movimentação do colmo.....
- Figura 14 - Detalhe da medição do diâmetro no nó.....
- Figura 15 - Orifício utilizado na medição da pressão estática..
- Figura 16 - Detalhe do dispositivo de tomada de pressão.....
- Figura 17 - Gráfico de barras da diferença entre o diâmetro do internó e do nó para tubos perfurados por impacto e mecanicamente.....
- Figura 18 - Gráfico de $h_f \times Q$, comparando a perda de carga entre tubos perfurados mecanicamente e por

Figura 19 - Gráfico de $h_f \times Q$, comparando a perda de carga entre tubos perfurados mecanicamente e por impacto, para a faixa 2.....	86
Figura 20 - Gráfico de $h_f \times Q$, comparando a perda de carga entre tubos perfurados mecanicamente e por impacto, para a faixa 3.....	88
Figura 21 - Gráfico de $f_d \times Re$ para as três faixas de diâmetro de tubos perfurados por impacto.....	89
Figura 22 - Gráfico de $f_d \times Re$ para as três faixas de diâmetro de tubos perfurados mecanicamente.....	90
Figura 23 - Gráfico de $C \times Re$ para as três faixas de diâmetro de tubos perfurados por impacto.....	96
Figura 24 - Gráfico de $C \times Re$ para as três faixas de diâmetro de tubos perfurados mecanicamente.....	97
Figura 25 - Gráfico de $n \times Re$ para as três faixas de diâmetro de tubos perfurados por impacto.....	99
Figura 26 - Gráfico de $n \times Re$ para as três faixas de diâmetro de tubos perfurados mecanicamente.....	100

- Tabela 1 - Valores da rugosidade absoluta para diversos materiais.....
- Tabela 2 - Valores do coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams.....
- Tabela 3 - Valores do coeficiente de rugosidade de Manning.....
- Tabela 4 - Diâmetro do internó, do nó e da diferença para os 18 tubos testados.....
- Tabela 5 - Valores calculados de Q , h_f , V , Re , f_d , C , n , ϵ/D dos tubos perfurados por impacto na faixa 1
- Tabela 6 - Valores calculados de Q , h_f , V , Re , f_d , C , n , ϵ/D dos tubos perfurados por impacto na faixa 2
- Tabela 7 - Valores calculados de Q , h_f , V , Re , f_d , C , n , ϵ/D dos tubos perfurados por impacto na faixa 3
- Tabela 8 - Valores calculados de Q , h_f , V , Re , f_d , C , n , ϵ/D dos tubos perfurados mecanicamente na faixa 1
- Tabela 9 - Valores calculados de Q , h_f , V , Re , f_d , C , n , ϵ/D dos tubos perfurados mecanicamente na faixa 2
- Tabela 10 - Valores calculados de Q , h_f , V , Re , f_d , C , n , ϵ/D dos tubos perfurados mecanicamente na faixa 3
- Tabela 11 - Valores da média e desvio padrão para $f_{d\text{exp}}$, $\epsilon_{\text{Col.}}$ e ϵ_{Hopf} dos tubos perfurados mecanicamente nas faixas 1 e 2
- Tabela 12 - Valores da rugosidade absoluta calculadas pelas equações [12] ($\epsilon_{\text{Col.}}$) e (ϵ_{Hopf}), perda de carga experimental ($h_{f\text{exp.}}$) e teórica ($h_{f\text{teo.}}$) para os tubos perfurados mecanicamente na faixa 1.....
- Tabela 13 - Valores da rugosidade absoluta calculadas pelas equações [12] ($\epsilon_{\text{Col.}}$) e (ϵ_{Hopf}), perda de carga

tubos perfurados mecanicamente na faixa 2.....93

- Tabela 14 - Valores da vazão, Q , perda de carga experimental ($h_{f,exp.}$), diâmetro (D) perda de carga teórica ($h_{f,teo.}$) e erro relativo, (ERRO) para os tubos perfurados por impacto, na faixa 1.....102
- Tabela 15 - Valores da vazão, Q , perda de carga experimental ($h_{f,exp.}$), diâmetro (D) perda de carga teórica ($h_{f,teo.}$) e erro relativo, (ERRO) para os tubos perfurados por impacto, na faixa 2.....103
- Tabela 16 - Valores da vazão, Q , perda de carga experimental ($h_{f,exp.}$), diâmetro (D) perda de carga teórica ($h_{f,teo.}$) e erro relativo (ERRO) para os tubos perfurados por impacto, na faixa 3.....104
- Tabela 17 - Valores da vazão, Q , perda de carga experimental ($h_{f,exp.}$), diâmetro (D) perda de carga teórica ($h_{f,teo.}$) e erro relativo, (ERRO) para os tubos perfurados mecanicamente, na faixa 1.....105
- Tabela 18 - Valores da vazão, Q , perda de carga experimental ($h_{f,exp.}$), diâmetro (D) perda de carga teórica ($h_{f,teo.}$) e erro relativo, (ERRO) para os tubos perfurados mecanicamente, na faixa 2.....106
- Tabela 19 - Faixas de diâmetro das tubulações utilizadas.61

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO BAMBU: O COMPORTAMENTO HIDRAULICO
DE TUBOS DE BAMBU GIGANTE (*Dendrocalamus giganteus*)

Autor: JOSÉ ADOLFO DE ALMEIDA NETO
Orientador: PROF. DR. ROBERTO TESTEZLAF

RESUMO

Inicialmente, este trabalho procurou levantar os conhecimentos existentes sobre a utilização do bambu como conduto pressurizado. Numa segunda etapa, foi desenvolvido um processo mecânico de remoção dos nós de colmos da espécie *Dendrocalamus giganteus* e, posteriormente, foram estudados alguns parâmetros hidráulicos, necessários ao projeto de uma rede hidráulica.

Foram testados dois processos de perfuração: através do método de impacto de lâminas circulares e através do dispositivo mecânico desenvolvido. Analisando-se os resultados, verificou-se que a remoção dos nós pelo dispositivo mecânico proporcionou melhor acabamento no tubo e conseqüentemente menor perda de carga por atrito.

Os seguintes parâmetros foram estimados para ambos os processos: os coeficientes das equações empíricas de Hazen-Williams, C, e Manning, n, e a rugosidade absoluta, ϵ , estimada através das equações de Hopf e Colebrook. Os valores obtidos foram $\epsilon_{\text{Hopf}} = 0.0013 \text{ m}$, $\epsilon_{\text{col.}} = 0.0022 \text{ m}$, C = 89 e n = 0.014, para os tubos perfurados mecanicamente, e C = 43 e n = 0.027, para os tubos perfurados por impacto. A presente análise foi realizada sob as

seguintes condições: faixa de vazão de $0 - 1.30 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, pressão de trabalho de 2.0 atm e intervalo de diâmetro de 90 a 130 mm.

BAMBOO - HYDRAULIC BEHAVIOR OF GIANT BAMBOO PIPES

▼ Author: JOSÉ ADOLFO DE ALMEIDA NETO

Adviser: PROF. DR. ROBERTO TESTEZLAF

SUMMARY

The present study reviewed the available information about pressurized and non-pressurized bamboo pipes. A mechanical node removing process was developed to perforate stalks of giant bamboo (*Dendrocalamus giganteus*), which allowed an analysis of some hydraulic parameters required by a water conveyance system.

Two node removing processes were studied: the traditional one - a circular steel blades impact method, and a new developed system - the mechanical perforator. Analysing the results, the mechanical perforator method presented better finishing quality and smaller head loss.

The following parameters were estimated for both perforating processes: the coefficients of Hazen-Williams empirical equation, C , the Manning coefficient, n , and the absolute roughness, ϵ , using the Hopf, and Colebrook equations. The average obtained results were: for the mechanically perforated pipes, $\epsilon_{hopf} = 0.0013 \text{ m}$, $\epsilon_{col.} = 0.0022 \text{ m}$, $C = 89$ and $n = 0.014$, and for the circular steel blades impact method, $C = 43$ and $n = 0.027$. These hydraulic analyses were done under the following conditions: discharge range, $0 - 1.30 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, working pressure, 2.0 atm and diameter intervals, $90 \text{ a } 130 \text{ mm}$.

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia de irrigação, atualmente difundida no Brasil, insere-se no contexto da política agrícola brasileira, que, nas últimas décadas, difundiu bens mecânico-industriais e químico-biológicos no ambiente agrícola.

Tal difusão atingiu de modo seletivo os produtores agrícolas, alijando grande parte dos pequenos produtores, atualmente responsáveis por mais de 60% da produção de culturas básicas (milho, feijão, arroz, mandioca, etc.), do acesso a esta tecnologia, principalmente por ser exigente em capital, necessitar muitas vezes de mão-de-obra especializada para instalação e/ou manutenção, e ainda necessitar de um conjunto de outras técnicas modernas para o real aproveitamento de seu pleno potencial.

A necessidade de atender à demanda tecnológica deste grupo de produtores, alijados do processo de modernização, motivou a busca de outros materiais. Entre eles, destaca-se o bambu, por corresponder aos anseios destes que, na maioria das vezes, têm que resolver os problemas com seus próprios meios e utilizando materiais e tecnologias locais, mais simples e que resultem em pouco investimento inicial.

Graças a sua fácil adaptação na maior parte do território brasileiro, seu rápido crescimento e a possibilidade de cultivá-lo em áreas inaptas à agricultura, protegendo o solo da erosão, o bambu seria uma alternativa para utilização, seja na condução de água de irrigação e drenagem, seja na condução de água para

abastecimento ou águas residuárias.

A espécie *Dendrocalamus giganteus*, conhecida vulgarmente por "bambu gigante", dentre as mais comuns no Brasil, destaca-se pela versatilidade de usos, rapidez de crescimento e dimensões apropriadas para o uso como conduto, apresentando a maior relação entre a área da seção transversal oca e a área total da seção, propiciando assim a melhor seção útil ao transporte de água.

Tendo em vista a falta de estudos e pesquisas que possibilitem o desenvolvimento de tecnologias para o real aproveitamento deste material, procurou-se neste trabalho estudar a viabilidade da utilização do bambu como tubulação pressurizada. O bambu, apesar de muito utilizado em nosso país, necessita ainda ser mais estudado e explorado. Com este trabalho, espera-se contribuir para que se tenham elementos de juízo suficientes para o seu aproveitamento adequado, valorizando sua incorporação no processo tecno-cultural do país, devido às suas inúmeras possibilidades.

Na revisão bibliográfica, buscou-se resgatar os vários aspectos da cultura do bambu, em especial os relacionados à sua utilização como tubulação; constatou-se a necessidade de aprimoramento do processo de perfuração dos colmos de bambu, procurando reduzir a perda de carga. Procurou-se verificar a validade da Equação Universal de Perda de Carga e das equações empíricas de *Hazen-Williams* e *Manning* na estimativa da perda de carga nas tubulações de bambu.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A cultura do bambu

2.1.1. ETMOLOGIA

É possível que o primeiro autor a fazer alusão ao bambu tenha sido *Ctesias*, em 400 A.C., na corte da Pérsia, onde ocupava o cargo de médico privado do rei *Artaxerxes Mnemon*. Em uma de suas histórias, comenta que "...as canas da Índia eram tão grandes que podiam ser utilizadas como botes" (HIDALGO, 1974).

Mitford F., citado em (HIDALGO, 1974), menciona que a origem da palavra bambu é um mistério para os etmologistas, assim como suas espécies são um enigma para os botânicos.

HIDALGO (1974) cita também algumas passagens de antigos livros, ilustrando os primeiros usos da palavra:

- *Acosta*, em seu *Tratado das Drogas e Medicinas das Índias Orientais*, em 1578, disse: "algumas destas canas, especialmente em Malabar, são encontradas tão grandes que a gente as utiliza como botes, não as abrindo, mas cortando-as longitudinalmente, deixando-se seus nós naturais nos extremos, logo, um par de negros desnudos sobe, cada um em um extremo do Mambu (como eles o chamam), providos de caniços em cada mão e sobre uma cana desta classe a gente atravessa os rios sentada e com as pernas dependuradas."

- *Fitch*, em *Hakluyt*, 1586: "todas as casas estavam feitas com canas que eles chamavam 'bambos'".

- *Linschoten*, em 1598: "uma cana tão grossa como a perna de um homem, que é chamada 'bambu'".

McCLURE (1966), apresenta o bambu como um vernáculo oriental de origem indeterminada.

2.1.2. ORIGEM

A história do bambu está ligada ao começo da civilização da Ásia, e, porque não, ao princípio da civilização humana. É provável que a planta teve sua origem na era Cretácea, um pouco antes da iniciação da Terciária, quando o homem apareceu.

Na China, o homem e o bambu estiveram estreitamente ligados desde os tempos pré-históricos, o que fica caracterizado pelo fato de um dos primeiros radicais ou elementos da ideografia chinesa ter sido um desenho do bambu, constituído por dois caules com ramos e folhas que se denominou "Chu". (CHIDALGO, 1974) (FIGURA 1).

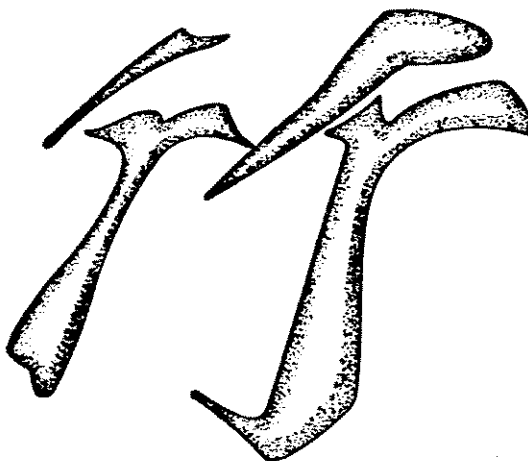


FIGURA 1: Ideograma chinês que representa o bambu.

2.1.3 CLASSIFICAÇÃO

O bambu é uma planta fibrosa, classificada na família das Gramíneas, subfamília Bambusoideae, da tribo Bambuseae. É uma Angiosperma monocotiledônea com espécies conhecidas no mundo todo, exceto a Europa, que não possui espécies nativas (McCLURE, 1966).

Apesar do bambu ser uma planta conhecida e empregada pelo homem há muito tempo, suas características botânicas ainda não são conhecidas completamente. Isto se deve, principalmente, ao fato do florescimento da maior parte das espécies se dar em intervalos muito longos (30, 60, 90 e até mais de 100 anos) e das flores e frutos serem indispensáveis à classificação. Em vista disso, observa-se que uma mesma espécie tem sido classificada por diferentes botânicos em gêneros distintos. A classificação botânica do bambu que tem sido empregada é baseada nos caracteres vegetativos das plantas, com especial ênfase à bainha dos colmos (MEDINA, 1958).

Até o momento não se tem registro preciso do número de gêneros e de espécies. *Benthan e Hooker* apud GALVEZ (1982) aceitam 21 gêneros; *Raizada e Chatterji* apud HIDALGO (1974) estimam 30 gêneros e 550 espécies; *Camus* apud GALVEZ (1982) inclui 33 gêneros e 487 espécies; *Makino e Nemoto* apud HIDALGO (1974) afirmam que existem no mundo 47 gêneros e 1250 espécies. De acordo com McCLURE (1960), no Novo Mundo existem 17 gêneros e mais de 256 espécies nativas.

No Brasil, as espécies nativas mais conhecidas são chamadas, devido aos índios, de taquara, taboca, taboca-açú, taquaraçú, jativoca, dependendo da região onde aparecem. Os números de bambus classificados são os seguintes: *Arundinaria* (17 espécies), *Chusquea* (22 espécies), *Merostachys* (16 espécies), *Guadua* (17 espécies), *Bambusa* (70 espécies), *Arthrostylidium* (3 espécies), *Streptogyne*, *Glaziophyton*, *Nastus* e *Streptochaeta*.

Porém, o uso destas espécies é ainda limitado, sendo que as asiáticas, trazidas pelos portugueses no início da colonização, adaptaram-se muito bem e são as de maior utilidade atualmente em nosso país. Dentre estas, destacam-se *Bambusa vulgaris*, *Bambusa vulgaris* var. *vittata*, *Bambusa tuldoides*, *Dendrocalamus giganteus* e *Phyllostachys* sp. (NOMURA et ALLI, 1986).

Em 1977, foi registrada a existência de 85.000m² de bosques de bambu com densidade entre 20 - 80%, no Estado do Acre, nos limites com a Bolívia e o Peru, onde se encontram espécies muito importantes para a exploração econômica, como por exemplo a *Bambusa guadua*, que domina aí a maior extensão (HIDALGO, 1974).

2.1.4 DESCRIÇÃO DA PLANTA

São plantas perenes, de crescimento contínuo em clima tropical e tipicamente estacional em clima temperado. Todos os eixos vegetativos são, em geral, fortemente lignificados, apresentando alta resistência às paredes do colmo do bambu, principalmente, em esforços no sentido axial. (McCLURE, 1966)

A estrutura anatômica do colmo é basicamente constituída por

feixes vasculares paralelos, circundados por tecido parenquimatoso, rico em substâncias amiláceas, que o tornam atraente ao ataque de xilófagos (AZZINI, 1980).

As plantas individuais se expandem por meio de um sistema ramificado de rizomas, que estão intimamente relacionados ao armazenamento e a translocação de substâncias necessárias à formação do novo colmo. Formando também a estrutura de fixação da planta no solo. Dos rizomas saem raízes fasciculadas, que permitem a absorção de água e nutrientes, e melhor fixação da planta no solo (SALGADO et ALLI, 1987).

A perenidade da touceira e o sistema de rizomas e raízes conferem ao bambu a característica de ser uma planta adaptada ao cultivo em áreas de relevo acidentado, em geral inaptas ao cultivo de culturas anuais.

Pode-se distinguir os rizomas em duas formas principais, permitindo a divisão dos bambus em dois grupos distintos, os do tipo entouceirantes e os do tipo alastrantes (MEDINA, 1958).

- Grupo entouceirante (Paquímorfo, Simpodial, Cespitoso) - os bambus deste grupo são formados, em sua maioria, por espécies tropicais e subtropicais, o rizoma na maioria das espécies do grupo é curto e grosso, com entrenós mais largos que longos, maciços, com raízes secundárias na parte inferior. De cada rizoma, através do crescimento de uma gema, surge outro lateralmente, que a curta distância se volta para cima, originando um novo colmo. Assim os rizomas se desenvolvem perifericamente, formando uma

touceira de colmos aglutinados. Os gêneros típicos deste grupo são: *Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Elytosthachys*, *Gigantocloa* e *Oxytenanthera* (McCLURE, 1960).

- Grupo alastrante (Leptomorfo, Monopodial, "Traçante") - os bambus deste gênero se caracterizam por sua resistência a temperaturas baixas. Seus rizomas têm forma cilíndrica ou quase cilíndrica, com diâmetros, em geral, menores que os dos colmos que geram; os entrenós são mais compridos que largos (McCLURE, 1966). Em cada nó do rizoma existe, em geral, uma gema solitária que permanece temporária ou permanentemente dormente. Algum fator ainda não determinado provoca seu brotamento em colmos espaçados ou em menor frequência em rizomas⁽¹⁾.

Os rizomas se ramificam lateral ou monopodialmente, percorrendo consideráveis distâncias e formando um sistema de redes entrelaçadas. A espécie *Phyllostachys bambusoides*, por exemplo, chega a atingir 560.000 metros de rizomas por hectare (UEDA, 1960).

Os gêneros típicos deste grupo são: *Arundinaria*, *Sasa*, *Semi-arundinaria*, *Shibataea*, *Sinobambusa* e *Phyllostachys* (McCLURE, 1966).

Podemos encontrar ainda alguns gêneros que possuem espécies em que ocorre o aparecimento de bambus com os dois tipos de ramificação na mesma planta, sendo chamados por alguns autores de anfipodial

¹AZZINI, Anísio. Seção de Plantas Fibrosas : Instituto Agronômico de Campinas (IAC), Campinas, SP. Comunicação Oral. 1990.

(McCLURE, 1966).

- Grupo anfipodial - os bambus deste grupo apresentam rizomas com ramificação dos tipos entouceirante ou alastrante, dependendo das condições de desenvolvimento. Os gêneros onde aparecem são: *Chusquea*, *Sasa*, *Indocalamus*, *Pseudosasa*, *Shibataea* e *Arundinaria* (McCLURE, 1966).

A parte aérea da planta é constituída por um sistema de hastes vegetativas segmentadas, formando os nós e internós, propiciando a formação de cilindros ocos chamados de colmos. Existem algumas espécies em que os colmos são diferenciados, apresentando entrenós oblíquos ou ainda secção quadrangular. Artificialmente, é possível dar-lhe forma quadrangular, através de talas de madeira amarradas ao seu redor, durante seu crescimento. Algumas espécies de bambus apresentam colmos maços (GALVEZ, 1982).

Os colmos diferem, segundo a espécie, em altura, diâmetro e forma de crescimento. Podem ir de pequenas ervas como os da espécie *Microbambus macrostachys*, passando por pequenos arbustos, como os do gênero *Arundinaria*, até atingir alturas da ordem de 40 metros e diâmetros de 30 centímetros, como os da espécie *Dendrocalamus giganteus*. Quanto à forma de crescimento, a maioria dos bambus têm colmos que crescem erectos. Alguns poucos, porém, como os da espécie *Ternostachyum helferi*, *Arundinaria prainii* e *Cephalostachyum capitatum* estendem-se lateralmente. Há os da espécie *Pseudostachyum polymorphum*, com hábitos trepadores, e ainda, algumas poucas espécies que são herbáceas, como o *Microbambus macrostachys* e *Atractocarpa oluryformis* CHIDALGO,

1974).

O colmo se origina, nas espécies do grupo entouceirante, no ápice do rizoma e, nas do grupo alastrante, em uma das gemas laterais do rizoma (McCLURE, 1966).

O bambu brota do solo com o diâmetro máximo que atingirá, não aumentando mais. De início, o crescimento do caule é muito lento, depois cresce rapidamente, até atingir sua altura máxima em 80 - 110 dias, para as espécies do grupo alastrante, e em 30 - 80 dias, para as espécies do grupo entouceirante (NOMURA et ALLI, 1986).

Após o crescimento, o colmo tem um período de formação de ramos e folhas e a maturação final, com a formação de fibras e a redução da quantidade de água. De um modo geral, sua maturação se completa ao redor dos três anos de idade, até os seis anos, quando se inicia o processo de envelhecimento e conseqüente morte do colmo (GALVEZ, 1982).

O ciclo da planta varia com a espécie, sendo definido pela floração e frutificação. A reprodução sexual é mono ou policárpica, apresentando características diferentes entre os diversos membros da tribo. Em geral, apresentam florescimento gregário, que pode, em alguns casos, dar-se em partes da planta ou em plantas individuais de uma população, sendo então chamado de florescimento esporádico (McCLURE, 1966). Em algumas espécies, não foi observada nenhuma forma de florescimento, conferindo uma característica de forte vigor físico à espécie, como, por exemplo, a espécie *Bambusa vulgaris*, que se reproduz vegetativamente com

facilidade.

A auto-esterilidade é comum na maioria das espécies, sendo que, em quase todas observa-se a morte da planta após a frutificação. Em algumas espécies do gênero *Phyllostachys*, esta morte não ocorre, mas há uma redução drástica do seu vigor físico (McCLURE, 1966).

Um fato interessante no florescimento gregário é que todos os bambuzais originários por reprodução vegetativa ou assexuada florescem quase ao mesmo tempo, independentemente da distância que estejam da planta mãe⁽²⁾.

O bambu é a planta que apresenta o maior crescimento vegetativo do mundo. O bambu gigante, como é chamada a espécie *Dendrocalamus giganteus*, por exemplo, cresce em média 10 cm por dia, podendo crescer até 40 cm em 24 horas (MEDINA, 1958). AZZINI, na Estação Experimental de Campinas, observou o crescimento de 22.4 cm em 24 horas para a espécie *Dendrocalamus giganteus*⁽³⁾. No Japão, observou-se o crescimento de 121 cm em 24 horas da espécie *Phyllostachys edulis* (UEDA, 1960).

Para se avaliar a idade de um colmo, Deogun apud HIDALGO (1974), observando a espécie *Dendrocalamus strictus*, obteve as seguintes informações, que servem como referência para outras espécies:

²AZZINI, Anísio. Seção de Plantas Fibrosas : Instituto Agronômico de Campinas (IAC), Campinas, SP. Comunicação Oral. 1990.

³AZZINI, Anísio. Seção de Plantas Fibrosas : Instituto Agronômico de Campinas (IAC), Campinas, SP. Comunicação Oral. 1990.

- Os colmos de até um ano apresentam-se livres de brácteas (folhas modificadas) e manchas, apresentando uma película cerosa nos internós e não possuindo folhas e ramos;
- Os de um a dois anos já apresentam algumas brácteas escurecidas e caindo dos nós, podendo ou não apresentar folhas e ramos.
- Os de 3 ou 4 anos já não apresentam mais brácteas e os talos são verdes e com pouca ou nenhuma pilosidade, já apresentando folhas e ramos bem formados.
- Os de mais de 4 anos já apresentam manchas amarelas, mostrando sinais de estarem maduros, não apresentam pilosidade e iniciam o final de seu ciclo, que termina, para a espécie *Dendrocalamus strictus*, ao redor dos 6 anos de idade.

AZZINI sugere outros critérios para o grupo entouceirante: os colmos maduros são os do centro da touceira, pois o desenvolvimento dos rizomas se faz deste ponto para a periferia; outro critério é quanto ao teor de umidade, os colmos ainda imaturos apresentam altos teores de umidade em toda sua altura, enquanto nos colmos maduros a umidade é menor e decresce ao longo da altura do colmo (⁴).

A idade do colmo pode ser estimada pelas cicatrizes que se formam nos ramos toda vez que o bambu renova suas folhas, geralmente uma vez por ano. Assim, o ramo de um ano não possui cicatriz, o de

⁴AZZINI, Anísio. Seção de Plantas Fibrosas : Instituto Agronômico de Campinas (IAC), Campinas, SP. Comunicação Oral. 1990.

dois anos apresenta uma cicatriz, e assim sucessivamente (UEDA, 1960).

2.1.5 CONDIÇÕES EDAFOCLIMATICAS

No desenvolvimento do bambu, como no de qualquer outra planta, existe uma série de fatores de ordem ecológica que interferem. Dentre os fatores climáticos, observamos que o bambu se desenvolve bem entre 1270 mm e 4050 mm de precipitação média anual, podendo suportar uma precipitação mínima de 762 mm por ano. Quanto à precipitação média máxima que o bambu pode suportar, existem espécies em zonas onde a precipitação é superior a 6350 mm anuais (HIDALGO, 1974).

A grande maioria das espécies desenvolvem-se a temperaturas entre 9°C e 36°C, mas há um grande número de espécies de zonas temperadas que suportam temperaturas baixas de até -15 °C, como algumas espécies do gênero *Phyllostachys* (McCLURE, 1966).

A umidade relativa é um dos fatores determinantes da distribuição das espécies nas diferentes zonas do planeta. Os bambus, em geral, desenvolvem-se em locais com umidade relativa alta, com valores de 80 % ou mais (OLIVEIRA, 1980).

Os solos sedimentares, areno-limosos e argilo-limosos são, em geral, os mais apropriados para o desenvolvimento da maioria das espécies. As cores dos solos em que mais se encontram os bambus são: amarelo, amarelo-castanho, amarelo-avermelhado de colorido vermelho claro e subsolos de colorido vermelho claro a amarelo e cinza azulado. Os solos bem drenados são os mais apropriados,

podendo-se encontrar espécies em solos úmidos. Não se conhecem espécies que se desenvolvam em solos salinos (GALVEZ, 1982).

Os bambus crescem bem em encostas inclinadas, mas que não estejam expostas a forte irradiação solar, portanto as encostas orientados para o Norte são preferíveis nas regiões de clima quente a moderado e os orientados para o Sul nas regiões frias. As encostas orientadas para o Ocidente, que recebem irradiação solar forte, não são recomendadas (UEDA, 1960). Neste caso, cabe observar que tais recomendações foram feitas para o hemisfério Norte, por conseguinte, no hemisfério Sul, estas recomendações se invertem.

É importante, na prática da silvicultura, observar-se a vegetação que acompanha o bambu, indicando as propriedades dos solos e as condições do microclima. Os bosques exclusivos de bambu, em geral, apresentam-se de forma compacta, não permitindo o desenvolvimento de outras espécies. É comum encontrar-se plantas do gênero *Arundinaria* em bosque onde existem cedros, carvalhos e abetos. Por outro lado, existem vários tipos de arbustos que crescem como vegetação baixa em lugares onde se desenvolvem bambus, orientando com a sua presença a escolha de terras apropriadas ao seu cultivo. A maior parte da vegetação baixa que indica boas condições para o cultivo do bambu é constituída por plantas de sombra, enquanto as que indicam uma condição não propícia são plantas de sol. Apresentam ainda um sistema radicular muito desenvolvido, dificultando o crescimento dos rizomas do bambu (HIDALGO, 1974).

As referências quanto às condições edafoclimáticas de desenvolvimento do bambu permitem constatar que a sua cultura não

apresenta maiores limitações para sua prática na maior parte do território brasileiro, podendo ser cultivada em solos de menor fertilidade e com limitações de relevo para culturas anuais.

2.1.6 SILVICULTURA

A prática de cultivar bambu é relativamente nova, tendo sua origem em diversos estudos relacionados com o desenvolvimento da planta, realizados na Índia na segunda década deste século. Tais estudos visavam o aproveitamento do bambu para a produção industrial de polpa para fabricação de papel (HIDALGO, 1974).

A silvicultura do bambu atualmente é praticada na Índia, Japão, Taiwan e China, e, em menor escala, em outros países da Ásia. No Japão, a área total cultivada é ao redor de 123.000 ha, sendo que as espécies mais comuns são: *Phyllostachys bambusoides* (42%), *Phyllostachys pubescens* (40%) e *Phyllostachys nigra* (5%), *Pleioblastus simoni* e outras espécies (9%) (UEDA, 1986).

No Brasil, sabe-se do cultivo de espécies asiáticas para a produção de polpa para papel (NOMURA et ALLI, 1986). Mas, de modo geral, nos países latino-americanos sua prática é pequena. As plantações naturais têm sido exploradas de forma descontrolada, tendendo à extinção de muitas espécies que ainda nem foram estudadas (HIDALGO, 1974).

A época de corte do bambu é muito importante, não só sob o aspecto da utilização desejada, como também com relação à produção da própria planta. Os rizomas, quando não solicitados, deixam de gerar novos colmos após 5 a 6 anos de idade. Quando se cortam os

colmos na época adequada, em menos de um ano os respectivos rizomas dão origem a novos colmos (HIDALGO, 1974).

Baseados na espécie *Dendrocalamus strictus*, foram propostos alguns sistemas de corte no cultivo de bambu (HIDALGO, 1974):

- corte total: seria o corte de todos os colmos da touceira de uma só vez. É o método mais simples para um aproveitamento em grande escala do bambu, mas apresenta inconvenientes para o sistema de produção da touceira. Experimentos realizados em Lansdowne em 1913, 1925, 1926 e 1927 condenam este método por causar deterioração, levando a touceira a produzir colmos mais delgados. Sua reincidência pode levar, inclusive, à morte da touceira;

- corte dos colmos maduros ou corte seletivo: é o mais indicado, mas quando são cortados todos os colmos maduros, a vitalidade da moita se reduz tanto que praticamente se inicia um novo ciclo de vida. Isto é indicado pela produção de colmos débeis em lugar dos de tamanho normal. Portanto, devem-se cortar os colmos mais velhos, em geral com três anos ou mais, que se encontram nas proximidades dos mais novos, pois dos rizomas dos primeiros surgirão os rizomas dos segundos que, por sua vez, vão originar os rizomas de outros colmos. Desse modo, não se afeta a atividade vegetativa da planta, que mantém sempre colmos novos e vigorosos, capazes de dar origem a novos colmos;

- corte da metade da mata: não foram obtidos resultados promissores com esta técnica, não sendo, portanto, recomendável. A metade cortada da mata recebe pouca ou nenhuma ajuda da outra

metade e tem que se recuperar independentemente;

- corte destrutivo: cortam-se os colmos mais novos, bem desenvolvidos, em geral na parte mais externa da touceira, no caso dos entouceirantes. Tal tipo de corte não é aconselhado de forma alguma, por eliminar a possibilidade de aparecimento de novos colmos;

Alguns critérios de corte são sugeridos para o melhor aproveitamento do bambuzal (GALVEZ, 1982):

- selecionar os colmos a serem cortados, para que sua distribuição propicie suporte aos novos colmos, não permitindo que se inclinem em demasia ou até caiam e se quebrem;

- os colmos ainda imaturos só devem ser cortados quando atacados por insetos ou doenças, ;

- remover os colmos velhos e deteriorados antes de cortar os maduros e sadios;

- os colmos devem ser cortados à altura de 0,15 a 0,30 m do nível do solo, imediatamente após um nó, de forma a evitar a deposição de água dentro do entrenó, o que provocaria o apodrecimento do rizoma. Cortes acima de 0,30 m do solo dificultam a penetração no bambuzal, devido ao próprio obstáculo que constituem e por propiciarem a formação de ramos nas gemas que porventura restarem no colmo;

- caules florescidos devem ser cortados somente após a queda das sementes.

A produção, ou rendimento de uma plantação de bambu depende da densidade (número de colmos por área plantada) e do ciclo de corte estabelecido. Há uma carência de dados disponíveis nesta área. Para se ter uma idéia da ordem de grandeza da densidade e do rendimento de uma plantação, tem-se que:

- uma plantação natural de *Bambusa guadua*, na Colômbia, apresenta em média 7.200 colmos por hectare. Estudos desenvolvidos no continente asiático indicam rendimentos médios da ordem de 3.000 a 9.000 colmos/hectare com ciclos de corte de 3 anos, o que representa de 2.5 a 7.5 toneladas/ano de colmos secos (15% de umidade em peso), podendo atingir, para algumas espécies, 15.000 colmos/hectare em ciclos de 3 anos (HIDALGO, 1974).

2.1.7 PROPAGAÇÃO VEGETATIVA

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

Os métodos de propagação vegetativa são similares, em muitos aspectos, para os bambus do grupo entouceirante e alastrante. Porém, a sua aplicação tem mostrado que alguns dos métodos são mais eficientes para um grupo do que para o outro, assim como estão sujeitos a limitações para uma determinada espécie deste grupo (SALGADO et ALLI, 1987).

Os métodos mais utilizados para os bambus do grupo entouceirante são (SALGADO et ALLI, 1987):

- por transplante direto ou desdobramento de touceira: consiste no plantio de colmos inteiros com folhas e rizomas com raízes adventícias, destacados da planta, em geral nas bordas da touceira e pela parte mais delgada, o colo. Apresenta o melhor resultado tanto de germinação quanto de desenvolvimento, mas apresenta desvantagens por causa do volume no transporte e no plantio, se mostrando-se trabalhoso e de baixo rendimento;

- por rizoma e parte do colmo: retira-se da touceira um pedaço de rizoma com parte de um colmo que apresente pelo menos uma gema, que não deve ser danificada durante o transporte e o armazenamento. O plantio se dá no período chuvoso, apresentando a vantagem de se ter um volume menor a ser transportado do que pelo método anterior. Tem sido muito usado na propagação de espécies como: *Dendrocalamus strictus*, *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa tuldoides* e *Guadua sp.* O sucesso do método, para ambos os grupos, dependerá em parte da vitalidade do rizoma utilizado, devendo-se utilizar rizomas jovens e saudáveis;

- por segmentos de colmo: utilizam-se pedaços de colmo de um a dois anos de idade e que contenham no mínimo um nó com gemas não danificadas. Este método é utilizado para algumas espécies como, por exemplo, *Bambusa vulgaris*. Para as outras espécies, entretanto, não funciona ou apresenta uma baixa porcentagem de pegamento.

Para os bambus do grupo **alastrante**, os métodos mais utilizados são (SALGADO et ALLI, 1987): ▶

- por transplante direto: é semelhante ao utilizado para bambus entouceirantes, com a diferença de que, neste caso, o rizoma é cortado em dois lugares. A planta pode ser podada para diminuir a perda de água;

- por colmos, raízes e rizomas: Utiliza-se colmos jovens, com pedaços de rizomas vigorosos, de 40 a 60 cm, com boas gemas, em número de 10 ou 12. Deixam-se ramos em vários nós, removendo-se os da parte superior do colmo;

- por pedaço de raiz e rizoma: consiste no uso de somente parte do rizoma. Os rizomas devem ser jovens e saudáveis, devendo ter de 50 a 60 cm de comprimento, com cerca de 15 gemas. Evita-se transportá-los sem a devida proteção contra ressecamento e insolação. A profundidade de plantio deve ser de 10 a 15 cm, em solo úmido;

Atualmente, o CIBAM - "Centro de Investigacion del Bambú y Fibras Vegetales" - , da Universidade Nacional da Colômbia tem pesquisado um outro método de propagação vegetativa denominado "Cultivo de Tecidos", que consiste na cultura em laboratório das zonas de crescimento da planta. Este sistema já deu resultados positivos com o feijão, tabaco, batata e cana-de-açúcar (CHIDALGO, 1974).

2.1.8 UTILIZAÇÃO

Os graus de dureza, flexibilidade e resistência, que o bambu

adquire ao longo do seu crescimento determinam os seus vários usos. Como alimento, são empregados os brotos de 10 a 15 dias de idade e as sementes, que, quando cozidas, assemelham-se às do arroz (GALVEZ, 1982). Na China e Índia as sementes são empregadas para fins medicinais, na cura de asma, tosse, febre e como afrodisíaco (HIDALGO, 1974).

Um estudo de avaliação do broto de bambu para consumo humano mostrou que o teor de proteína é bem superior ao do palmito, o *Bambusa nutans* chega a apresentar o dobro do palmito. O rendimento, comparado ao palmito, também se mostrou superior em favor do broto de bambu. Espécies do gênero *Dendrocalamus* são cultivadas em São Paulo para atender o consumo dos orientais e descendentes (FERREIRA et ALLI, 1986).

Na construção civil, empregado em estruturas, andaimes, construção de casas, templos ou em composição com a madeira, seu maior uso é nos países asiáticos, destacando-se o Japão, a China e a Índia; na América do Sul, empregado na construção de casas e andaimes, destaca-se a Colômbia e o Equador (HIDALGO, 1974).

No Japão encontram-se construções onde o bambu determina um estilo arquitetônico, por exemplo, na tradicional arquitetura para a "cerimônia do chá" (UEDA, 1986).

Na China, o bambu é muito utilizado no artesanato, no Japão é utilizado em paisagismo e em tribos da Índia e Bornéu fabricavam-se instrumentos de cirurgia (HIDALGO, 1974).

Seu carvão tem grande utilidade como fonte renovável de energia, experimentos no Japão revelaram que o bambu produz de 4.600 a 5.400 cal/kg, portanto, maior que o poder calorífico das madeiras, que está entre 3.000 a 4.000 cal/kg (UEDA, 1986). Seu carvão é muito utilizado na fabricação de baterias elétricas e pelos joalheiros orientais (HIDALGO, 1974).

Ainda como recurso energético, estudou-se a possibilidade do bambu na produção de álcool, tendo sido obtido um rendimento de 160 ml de álcool por Kg de bambu, o que corresponde a uma eficiência de fermentação de 85% do valor teórico (DE MENEZES et ALLI, 1985).

Seu maior uso em nosso país é na indústria. É usado na fabricação de papel, onde se optou pelo cultivo de uma espécie asiática (*Bambusa vulgaris*), com produtividade e manejo conhecidos, em detrimento de espécies nativas, em geral pouco estudadas (AZZINI & SALGADO, 1981). Na produção de móveis, destaca-se uma espécie do gênero *Phyllostachys*, chamada popularmente de cana-da-índia.

Estudos realizados no Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) mostraram que o aproveitamento conjunto do bambu para a produção de fibras celulósicas e etanol é tecnicamente viável. Os rendimentos obtidos foram de 46,85 a 56,04 % de fibra celulósica e 12,77 a 14,79 litros de etanol por cada 100 Kg de cavacos (AZZINI et ALLI, 1987).

Muitos dos usos primitivos do bambu deram origem a grandes inventos, como as pontes flutuantes, as cúpulas dos templos e aparelhos sofisticados como avião, helicóptero, etc. Pesquisas

arqueológicas descobriram cidades incas (Peru) totalmente feitas em bambu, e ainda hoje existe na Venezuela uma cidade com seu sistema de abastecimento de água, feito com tubulações subterrâneas de bambu (HIDALGO, 1974).

2.1.9 TRATAMENTO E PRESERVAÇÃO DOS COLMOS

A preparação correta do bambu, para minimizar os efeitos da deterioração causada por microorganismos, fungos e agentes atmosféricos, depende do uso pretendido, e tem início no corte.

De um modo geral, o colmo atinge sua resistência máxima entre 3 e 6 anos, tanto com relação aos esforços mecânicos quanto à 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 (HIDALGO, 1974).

Nenhuma experiência de cunho científico comprovou as crenças e os ditos populares sobre a influência das fases da lua na qualidade dos colmos cortados. O caboclo brasileiro, porém, acredita que o corte deva ser feito na fase quarto minguante, ou no máximo dois dias antes ou depois deste (HIDALGO, 1974).

A maioria dos tratamentos preservativos para o bambu são os utilizados no tratamento das madeiras, com algumas variações devido às características específicas do bambu, mostrando-se de maior importância em aplicações na área de construções (HIDALGO, 1974). A seguir, são descritos os métodos mais usados:

- cura na mata: após o corte, os colmos, ainda com ramos e folhas, são deixados em posição o mais vertical possível, afastados do contato com o solo através de um suporte. Ai serão mantidos de 4 a 8 semanas. Com este tipo de cura os colmos mantêm sua coloração natural, não sofrendo trincas e reduzindo o ataque de fungos.

- tratamento utilizando a transpiração das folhas: após cessar a saída de seiva na extremidade inferior do colmo que está sendo curado na mata, coloca-se um recipiente contendo um preservativo, indicado para o uso ao qual se destina o bambu, que será absorvido pelo efeito de transpiração, até o ápice do colmo.

- cura por imersão: após o corte mantêm-se os colmos submersos em água por mais de 4 semanas, sendo mais conveniente o uso de água corrente. Entre os inconvenientes deste método podem ser destacados: aparecimento de manchas nos colmos, possibilidade de rachaduras e do bambu ficar mais leve e quebradiço.

- cura por aquecimento ou "sapecamento": consiste em manter o colmo cortado sobre calor, sem queimá-lo, eliminando assim insetos do seu interior e tornando a superfície rígida, resistente ao ataque de insetos. Este método pode ser empregado também para alterar a forma do bambu. Pode-se usar o "sebo de boi" como impermeabilizante.

- tratamento pelo método Boucherie: este método consiste em fazer penetrar pelas extremidades do colmo, utilizando pressão hidrostática, sulfato de cobre em substituição à seiva. Pode-se necessitar de vários dias para realizar o tratamento, o que, de

certa forma, dificulta a sua utilização em grande escala.

- tratamento a pressão ou método de Boucherie modificado: visando reduzir o tempo de tratamento do método de Boucherie de vários dias para algumas horas, foi desenvolvido um processo em que se emprega uma pressão de 7.000 a 10.500 N/m^2 no recipiente do preservativo. A pressão acelera a absorção e dispensa a necessidade de manter o bambu em posição vertical.

Os principais produtos preservativos podem ser divididos em dois tipos:

- oleosos: soluções de creosoto e petróleo, com ou sem pentaclorofenol. São usados em bambus que irão permanecer em contato direto com o solo e com a umidade. Os mais conhecidos são: Creosoto alcatroado com ou sem a presença de cristais, azeite de antracina, creosoto extraído da madeira, solução de creosoto (alcatrão de hulha ou azeites de petróleo e creosoto alcatroado), pentaclorofenol e naftenato de cobre (HIDALGO, 1974).

- hidrossolúveis: são aplicados dissolvidos em água. Em geral, não se prestam quando o bambu terá contato com o solo. Protegem contra fungos, insetos e o fogo. Os mais utilizados são: cromato de zinco clorado, cromato de zinco clorado cobrizado, sais Wolman, cromato de cobre ácido, metarsenito de zinco, arseniato de cobre amoniacal e arseniato de zinco cromado.

Algumas combinações têm sido testadas com sucesso, como: cloreto de zinco e dicromato de sódio na proporção 1:1; ácido bórico, sulfato de cobre cristalino e dicromato de sódio na proporção de

1:5:3:4; ácido bórico, sulfato de cobre cristalizado, cloreto de zinco e dicromato de sódio na proporção 3:1:5:6 (OLIVEIRA, 1980).

2.2. Teoria de escoamento em condutos

A água é um fluido newtoniano, ou seja, obedece à lei da viscosidade de Newton, que estabelece que, para uma dada taxa de deformação do fluido, a tensão de cisalhamento é diretamente proporcional à viscosidade:

$$\tau_{yx} = \mu \frac{dv_x}{dy} \quad [1]$$

onde μ é o coeficiente de proporcionalidade, conhecido como a viscosidade dinâmica do fluido (água), e dv_x é o incremento de velocidade correspondente à coordenada y . Tal lei é válida para fluxos unidimensionais, utilizando-se fluidos com densidade constante (KNUNDTSEN & KATZ, 1958). Todos os valores são dados no Sistema Internacional de Unidades (SI).

2.2.1 TIPOS DE FLUXO OU ESCOAMENTO

Os movimentos dos fluidos ou fluxos podem ser caracterizados como (STREETER, 1968):

- escoamento permanente e não permanente: fluxo permanente é aquele em que as propriedades do fluido, bem como, as condições que regem o movimento, são funções exclusivas do ponto de referência e independem do tempo. Com o movimento permanente a vazão é constante. Quando alguma das propriedades do fluido variam com o tempo, o fluxo é dito não-permanente.

- escoamento uniforme e não-uniforme: um fluxo permanente é dito

uniforme quando a velocidade média permanece constante ao longo da linha de corrente. Nesse caso, as secções transversais da corrente são iguais. Caso contrário, o movimento permanente será não-uniforme, podendo ser classificado como acelerado ou retardado.

- fluido compressível e incompressível: um fluido é chamado é compressível quando sua densidade varia com o tempo, e incompressível quando não varia ao longo do tempo.

A observação dos líquidos em movimento permite distinguir dois tipos de movimento de grande importância:

a) regime laminar (tranquilo ou lamelar)

b) regime turbulento (agitado ou hidráulico)

STREETER (1968) caracteriza detalhadamente estes dois tipos de regime de escoamento. Com o regime laminar, as trajetórias das partículas em movimento são bem definidas e não se cruzam. Os problemas em escoamentos de regime laminar, em princípio, apresentam uma dificuldade de resolução menor, porque as equações de Navier-Stokes, que descrevem o movimento instantâneo dos fluidos, junto a condições de contorno adequadas, fornecem uma considerável compreensão do fenômeno. A lei da viscosidade de Newton é válida para os fluxos em regime laminar.

Quando se trata de escoamento turbulento, a enorme quantidade de informações necessárias torna proibitiva, ainda hoje, uma análise através de solução numérica das equações, ficando como recurso a

obtenção extensiva de dados experimentais e equações empíricas. O regime turbulento caracteriza-se pelo movimento desordenado das partículas, originando um intercâmbio de quantidade de movimento em direções variadas do fluxo. O escoamento turbulento permanente pode ser tratado como um escoamento médio permanente, superposto a outros secundários não permanentes, onde se desenvolvem componentes transversais de velocidade, apresentando, as partículas fluidas um movimento completamente aleatório, com um grande intercâmbio de quantidade de movimento em escala macroscópica, entre "camadas adjacentes" de fluido.

Nas fronteiras sólidas estacionárias, estabelecem-se tensões responsáveis por uma força tangencial, como consequência do movimento relativo. As paredes do conduto exercem uma força de arrasto sobre o fluido, devido a uma propriedade deste, conhecida como viscosidade, que origina tensões de cisalhamento tanto nas fronteiras sólidas como dentro da própria massa fluida em escoamento. Assim, a viscosidade introduz forças de atrito entre as partículas fluidas e entre estas e as paredes do conduto, responsáveis pela resistência ao escoamento. Essa estrutura caótica de movimentação das partículas resulta em maiores irreversibilidades e perdas.

Em qualquer ponto no interior da massa fluida tem-se uma rápida e irregular flutuação na velocidade em todas as direções. Contudo, se for considerada a velocidade média sobre vários períodos sucessivos de tempo, razoavelmente longos, encontrar-se-á que ela não varia, revelando com boa aproximação um escoamento médio

permanente.

Desta forma, ao escoamento de fluidos reais em condutos está sempre associada a existência da viscosidade, que introduz forças de resistência ao movimento, de maneira que se deve despendar energia continuamente, para manter as condições do escoamento. A essa conversão de energia mecânica em energia térmica de baixo grau, de característica irreversível, dá-se genericamente a denominação de perda de carga (KING & CROCKER, 1967).

Osborne Reynolds (1883) procurou observar o comportamento dos líquidos em escoamento e, com isto, conseguiu mostrar que o melhor critério para caracterizar o tipo de movimento em uma canalização não se prende exclusivamente ao valor da velocidade média (\bar{v}) do escoamento, mas ao valor de uma expressão adimensional, chamada de número de Reynolds, na qual se considera, também, o diâmetro e a viscosidade cinemática do líquido.

$$Re = \frac{\rho D \bar{v}}{\mu} = \frac{D \bar{v}}{\nu} \quad [2]$$

onde :

Re = número de Reynolds, adimensional;

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

ν = viscosidade cinemática do líquido, m²/s;

ρ = densidade do fluido em Kg/m³;

D = Diâmetro do conduto, m.

Se o escoamento se verificar com Re superior a 4000, o movimento nas condições correntes será turbulento. Para tubulações comuns, o escoamento em regime laminar ocorre e é estável para valores de Re < 2000. Entre 2000 e 4000 encontra-se uma zona crítica, na qual

não se pode determinar com segurança a perda de carga nas tubulações. O número de Reynolds pode ser considerado como a relação entre as forças dinâmicas do fluxo de massa e as inerciais devido à viscosidade.

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 necessariamente laminar (filme laminar). Observa-se que, para um conduto de diâmetro e de rugosidade dados, a espessura do filme laminar é uma função decrescente do número de Reynolds. Então, quando Re é suficientemente pequeno, a espessura do filme aumenta e minimiza o efeito das asperezas da parede e o conduto, neste caso, é chamado de hidráulicamente liso (FIGURA 2).

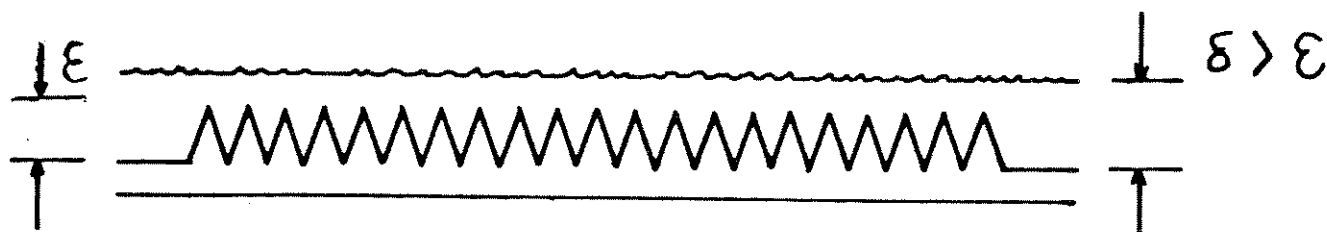


FIGURA 2: Superfície hidráulicamente lisa .

Se Re aumenta, a espessura relativa do filme diminui e para um dado Re as irregularidades da parede emergem do filme laminar e entram em contato direto com a parte do fluido em escoamento turbulento. Uma superfície inicialmente "lisa" torna-se "rugosa" (FIGURA 3).

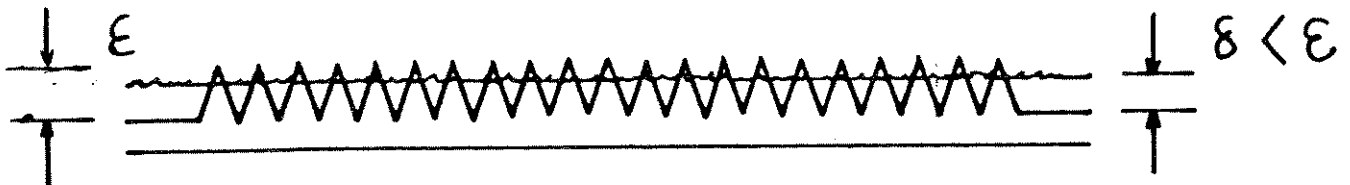


FIGURA 3: Superfície hidraulicamente rugosa.

2.2.2. EQUAÇÕES BÁSICAS EM ESCOAMENTOS DE FLUÍDOS

- Equação de Bernoulli

A equação de Euler [3] prevê que não há variação da energia total ao longo de uma linha de corrente, para um fluxo permanente de um fluido sem atrito ($\mu = 0$).

$$\frac{dp}{\rho} + g dz + v dv = 0 \quad [3]$$

onde:

- dp = incremento de pressão, N/m^2 ;
- g = aceleração da gravidade em m/s^2 ;
- dz = incremento de altura, m;

- v = velocidade numa linha de corrente, m/s;

- dv = incremento de velocidade, m/s.

Da integração da equação diferencial de Euler [3], para um fluxo ao longo de uma linha de corrente, considerando-se um fluido incompressível ($\rho = \text{constante}$), chega-se à equação integral de Bernoulli [4] (STREETER, 1968):

$$\frac{p}{\rho} + gz + \frac{v^2}{2} = \text{cte} \quad [4]$$

onde:

p = pressão em determinado ponto da linha de fluxo, N/m^2 ;

z = cordenada da altura, m;

cte = a constante de integração, chamada constante de Bernoulli, geralmente varia de uma linha de corrente a outra, mas permanece constante ao longo de uma mesma linha de corrente em fluxo permanente, incompressível e sem atrito.

Estas hipóteses são necessárias e devem ser levadas em conta ao aplicar esta equação. As dimensões de cada termo são de energia por unidade de massa (AZEVEDO NETO, 1966).

As linhas de corrente têm praticamente a mesma energia mecânica total, que seria teoricamente a constante de Bernoulli. Com isso, dividindo a equação [4] por g , podemos obter, entre dois pontos:

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} \quad [5]$$

com:

$$\gamma = \rho g \quad [6]$$

onde:

γ = peso específico, N/m^3 ;

z_1, z_2 = altura nos pontos 1 e 2, respectivamente, m;

v_1, v_2 = velocidade na linha de corrente 1 e 2, m/s;

p_1, p_2 = pressão estática nos pontos 1 e 2, N/m^2 .

Os termos desta equação têm as dimensões de comprimento e se denominam:

- z : altura de posição ou carga geométrica, m;

- $\frac{p}{\gamma}$: altura de pressão ou carga estática, m;

- $\frac{v^2}{2g}$: altura dinâmica ou carga cinética, m.

Representando-se cada um dos termos, em um escoamento de um conduto sob pressão, temos:

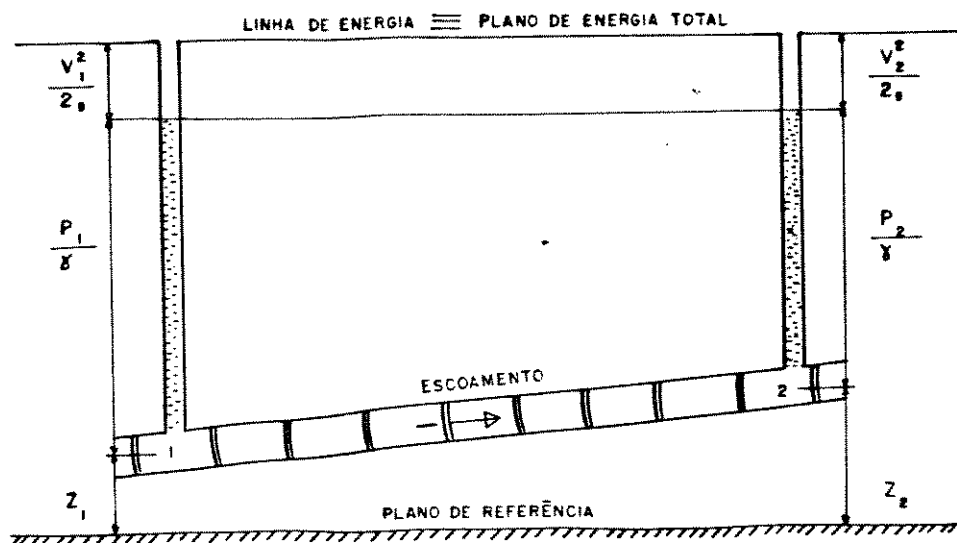


FIGURA 4 - Diagrama de energia para um fluido ideal.

No caso da FIGURA 4, em que o fluido é considerado perfeito, a linha de energia está coincidindo com o plano de energia total, ou seja, não ocorrem perdas por atrito entre o fluido e a parede do conduto, ou entre as próprias partículas do fluido. Conclui-se que, nestas condições, a energia se conserva de um ponto ao outro

do escoamento do fluido.

Pela equação de Bernoulli [4], pode-se deduzir que, se a área da secção transversal do conduto diminui, ou seja, o tubo de corrente se contrai, a velocidade de fluxo do líquido aumenta e a pressão diminui, e, ao contrário, quando o tubo de corrente se expande, a velocidade diminui e a pressão aumenta.

2.2.3 EQUAÇÕES DE PERDA DE CARGA EM ESCOAMENTO DE LÍQUIDOS ATRAVÉS DE CONDUTOS CIRCULARES

Nas hipóteses tomadas para a dedução da equação de Bernoulli [4], foram negligenciadas as perdas de energia devidas ao atrito, ou seja, considerou-se o escoamento de líquidos ideais. Todavia, na prática, trabalha-se com fluidos reais, e o fluido perde energia no escoamento, devido ao atrito interno, atrito contra as paredes e perturbações no escoamento. Esta energia é dissipada sob a forma de calor, devendo ser incluída na equação de Bernoulli modificada [7]. Esquematisando o balanço de energia entre dois pontos do líquido (fluido real), temos, através da FIGURA 5 (CRANE, 1972):

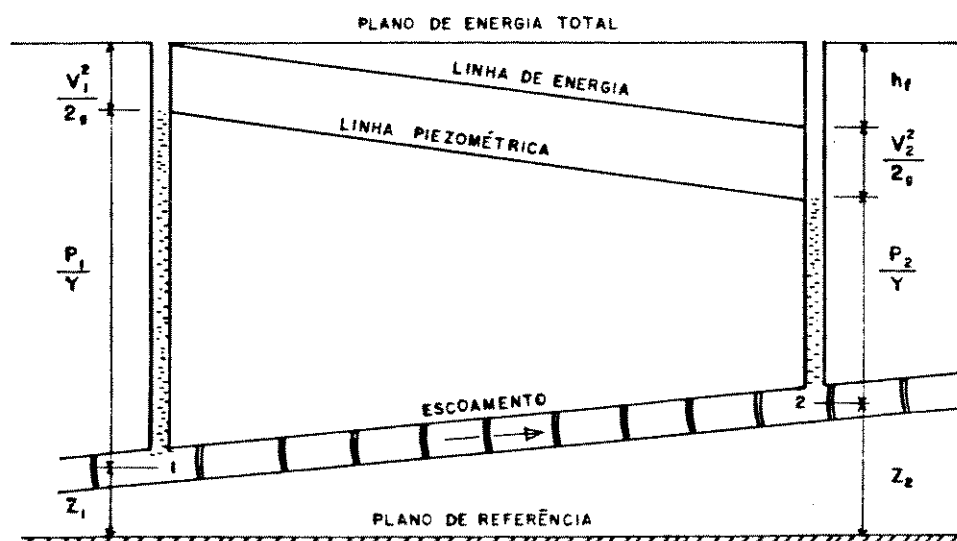


FIGURA 5: Diagrama de energia para um fluido real.

A equação de Bernoulli modificada ou de engenharia pode ser escrita como:

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + h_f \quad [7]$$

onde:

h_f = perda de energia específica, ou perda de carga, m;

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

A perda de energia específica, ou perda de carga, depende da forma, dimensões e rugosidade do conduto, da velocidade do fluxo e da viscosidade do líquido (AZEVEDO NETO, 1966).

Supondo-se agora, um escoamento incompressível em que o regime esteja dinamicamente estabelecido, isto é, o movimento se realiza em regime estacionário e as velocidades em uma secção transversal não dependem da variável que fixa a posição da secção no conduto, pode-se chegar à equação fundamental para a determinação de perda de carga, ou fórmula universal de perda de carga, ou fórmula de Darcy-Weisbach.

A partir de Bernoulli de engenharia [7], por similaridade e análise dimensional, faz-se a dedução desta fórmula, ficando na sua forma final (KNUNDSSEN & KATZ, 1958):

$$h_f = f_d \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad [8]$$

onde:

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

f_d = coeficiente de fricção de Darcy-Weisbach, adimensional;

- v = velocidade média, m/s;
 L = comprimento da tubulação, m;
 D = diâmetro da tubulação, m;

A equação de Darcy-Weisbach é válida para o escoamento turbulento e laminar de qualquer líquido newtoniano dentro de um conduto de diâmetro constante. Para tubos inclinados, verticais ou de diâmetro variável, as variações na pressão, devido às mudanças na velocidade, e densidade do fluido devem estar de acordo com o teorema de Bernoulli.

O conhecido diagrama de Moody (anexo 1), que relaciona o valor do coeficiente de atrito com o valor da rugosidade relativa e o valor do número de Reynolds, é uma das formas gráfico-manuais de determinação do valor do coeficiente de atrito. Atualmente, métodos numéricos mais exatos estão sendo preferidos na solução do valor de f_d , tanto para regimes laminares como para turbulentos.

A equação [8] pode ser racionalmente derivada por análise dimensional, à exceção do coeficiente de atrito, que precisa ser determinado experimentalmente (CRANE, 1972).

O coeficiente de atrito para escoamentos laminares ($Re < 2000$) é função somente do número de Reynolds; para escoamentos turbulentos ($Re > 4000$) é também função das características da superfície do conduto, e, para números de Reynolds altos, onde o fluxo turbulento está plenamente desenvolvido, o coeficiente de atrito deixa de depender do número de Reynolds, tornando-se uma constante que depende diretamente da rugosidade relativa. Na zona

crítica ($2000 < Re < 4000$), o valor do coeficiente de atrito é indeterminado (STREETER, 1968).

No regime laminar, para secções circulares, o valor de f_d pode ser obtido, tendo como expressão final (KNUNDSSEN & KATZ, 1958):

$$f_d = \frac{64}{Re} \quad [9]$$

No regime turbulento, como já citamos, para se estabelecer o valor do coeficiente de atrito $f_d = f(Re, \frac{\epsilon}{D})$, podem-se nos utilizar equações que relacionam f_d com Re e/ou a rugosidade relativa ($\frac{\epsilon}{D}$), sendo ϵ a rugosidade absoluta dada em m. As correlações mais comumente utilizadas estão no QUADRO 1. Valores para ϵ de diversos materiais podem ser encontrados na Tabela 1 (AZEVEDO NETO, 1966).

Tabela 1 - Valores da rugosidade absoluta para diversos materiais.

Material	ϵ (novos)	ϵ (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	0.0030
ferro fundido	0.00025 - 0.0005	0.0030 - 0.0050
aduelas madeira	0.0002 - 0.0010	*****
ferro forjado	0.00004 - 0.00006	0.0024

A equação [12] do Quadro 1 cobre a faixa de transição e a turbulenta plenamente desenvolvida, para tubos lisos e rugosos. Fazendo-se, $\epsilon \rightarrow 0$, a equação [12] tende para a equação [16] utilizada para tubos lisos. Fazendo-se $Re \rightarrow \infty$, a equação [12] tende para a equação [14] que cobre a faixa de turbulenta plenamente desenvolvida para tubos rugosos.

AUTOR	CORRELAÇÕES	OBSERVAÇÕES
[10] Cheen	$\frac{1}{f_d} = -2,0 \log \left[\frac{\epsilon}{3,707D} - \frac{5,045}{Re} \left(\log \left[\frac{\epsilon^{1,1098}}{2,826 D} + \frac{5,851}{Re^{0,8981}} \right] \right) \right]$	Ecoamento turbulento e laminar; com tubos lisos e rugosos; qualquer Re; q. q. $\frac{\epsilon}{D}$;
[11] Churchill	$f_d = 8 \left[\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + (A + B)^{-12} \right]^{-1/12}$ $A = 2,457 \ln \left[\frac{1}{\left(\frac{\epsilon}{Re} \right)^{0,9} + 0,27 \left(\frac{\epsilon}{D} \right)} \right]$ $B = \left[\frac{37530}{Re} \right]^{16}$	Ecoamento turbulento e laminar; com tubos lisos e rugosos; qualquer Re; q. q. $\frac{\epsilon}{D}$;
[12] Colebrook	$\frac{1}{\sqrt{f_d}} = -2,0 \log \left[\frac{\epsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f_d}} \right]$	Transição e turbulento plena/te desenvolvido; com tubos lisos e rugosos; $\left(\frac{D}{\epsilon} \right) \left(\frac{Re \sqrt{f_d}}{4,0} \right) < 0,01$
[13] Hooper	$f_d = 0,16 \left(\frac{2\epsilon}{D} \right)^{0,814}$	Ecoamento turbulento plena/te desenvolvido; tubos rugosos;
[14] von Karman	$\frac{1}{\sqrt{f_d}} = 2,0 \log \left(Re \sqrt{f_d} \right) - 0,8$	Ecoamento turbulento plena/te desenvolvido; tubos rugosos; $\left(\frac{D}{\epsilon} \right) \left(\frac{Re \sqrt{f_d}}{4,0} \right) < 0,01$
[15] Nikuradse	$\frac{1}{\sqrt{f_d}} = 0,86 \ln \left(Re \sqrt{f_d} \right) - 0,8$	Ecoamento turbulento plena/te desenvolvido; tubos lisos; $4000 < Re < 3,2 \times 10^6$
[16] Prandtl	$\frac{1}{\sqrt{f_d}} = 2,0 \log \left(Re \sqrt{f_d} \right) - 0,8$	Ecoamento turbulento plena/te desenvolvido; tubos lisos; $4000 < Re < 3,2 \times 10^6$

FONTE: DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUIMICA, "Tópicos de Laboratório Didático em Fenômenos de Transporte", UFSCAR, pp 52 - 63, São Carlos, 1983.

Quadro 1: As correlações $f_d \left[Re, \epsilon/D \right]$ mais utilizadas.

Assim, a equação [12], devida a Colebrook, parece ser a mais recomendada, apesar do inconveniente de ser implícita em f . Das correlações explícitas, a mais recomendada é a de Churchill, dada pela equação [11].

Foi desenvolvida uma boa aproximação para a equação de Colebrook-White, que facilita a determinação de f_d , por ser uma equação explícita (SERGHIDES, 1984). A equação é dada por:

$$f_d = \left[4,781 - \frac{(A - 4,781)^2}{B - 2A + 4,781} \right]^{-2} \quad [17]$$

onde:

$$A = -2,0 \log \left[\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{12}{Re} \right] \quad [18]$$

$$B = -2,0 \log \left[\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51A}{Re} \right] \quad [19]$$

Fórmulas empíricas utilizadas em cálculos de Perda de Carga

Na análise de escoamentos, relativo a determinação de perda de carga, muitas fórmulas empíricas têm sido frequentemente utilizadas.

Segundo ASSY, (1977): "O emprego de fórmulas empíricas pode induzir o engenheiro a dois erros essenciais, o primeiro devido à escolha inadequada do coeficiente numérico, que nem sempre corresponde aos materiais de que são feitos os tubos e aos demais dados em jogo. Embora as tabelas que acompanhem as fórmulas empíricas sejam detalhadas, quase sempre são genéricas demais para possibilitar uma escolha judiciosa dos coeficientes numéricos. O segundo erro é mais grave, porque é de natureza conceitual: os coeficientes numéricos nem sempre são compatíveis com o regime de escoamento que está se estabelecendo no conduto".

Dentre as fórmulas empíricas existentes, destacam-se como mais usadas as de *Hazen-Williams* e *Manning*. A fórmula de *Hazen-Williams*, aplicável somente para fluxo de água em tubos com diâmetros acima de 2 polegadas (50 mm) e para velocidades menores que 3,0 m/s, pode ser expressa, no sistema internacional de unidades (SI), como:

$$V = 0.355 C D^{0.69} S^{0.54} \quad [20]$$

onde:

- S = gradiente da linha de energia ou perda de carga em m/m;
- C = coeficiente de rugosidade de *Hazen-Williams*, adimensional;
- V = velocidade média da água em m/s.

Valores de C para diversos materiais podem ser vistos na Tabela 2 (AZEVEDO NETO, 1966):

Tabela 2 - Valores do coeficiente de rugosidade de *Hazen-Williams*.

Material	C
cimento amianto	140
concreto liso	130
aço galvanizado	125
concreto ordinário	120
cerâmica	110
tijolos	100
ferro fundido (em uso)	90

Outra fórmula empírica muito usada em canais abertos e tubos é a fórmula de *Manning*, publicada por *Robert Manning* em 1890. No SI, sua forma é:

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2} \quad [21]$$

onde:

- V = velocidade média do fluxo em m/s;
- R_h = raio hidráulico em m;

S = gradiente de energia em m/m;

n = coeficiente rugosidade de *Manning*, $m/s^{1/3}$.

Em termos de vazão, a equação acima pode ser expressa assim:

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} S^{1/2} \quad [22]$$

onde:

- Q = vazão em $\frac{m^3}{s}$.

Valores de n para diversos materiais podem ser vistos na Tabela 3 (AZEVEDO NETO, 1966):

Tabela 3 - Valores do coeficiente de rugosidade de *Manning*.

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

O coeficiente de rugosidade de *Manning* pode ser correlacionado com o coeficiente de fricção ou coeficiente de atrito f_d .

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

2.3 O bambu como conduto fechado

2.3.1 GENERALIDADES

O bambu como conduto é usado há séculos pelos povos do Oriente. Na China foi usado, ao redor de 1000 A.C., na condução de gás natural, percorrendo uma milha ou mais, para fornecer calor na produção de sal, sendo ainda utilizado na condução da salmoura. Na Indonésia, em Formosa e na China comumente empregam-se, ainda hoje, tubulações de bambu como aquedutos rurais e transporte de água em pequenas cidades (HIDALGO, 1974).

Na Tanzânia, experiências conduzidas nos últimos 13 anos têm mostrado a viabilidade da utilização de bambu na construção de sistemas de abastecimento de água. Ao redor 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 (UNIVERSITY OF DAR ES SALAAM, 1979).

2.3.2 DURABILIDADE E TÉCNICAS DE PRESERVAÇÃO

Sendo um material orgânico, o bambu, após o corte, degrada-se rapidamente. Sua durabilidade natural, dependendo da espécie e das condições ambientais a que é exposto, varia de um a três anos. *Bambusa vulgaris*, por exemplo, é suscetível de ataque por *Dinoderus*, um tipo de caruncho. *Guadua angustifolia*, por outro lado, é resistente ao ataque de fungos e insetos (LIPPERT, 1976).

Contrariamente, IPSED, 1966 observou que o bambu pode ser usado em condições naturais durante 3 a 4 anos, sendo que, pode atingir de 5 a 6 anos, desde que tratado quimicamente e protegido com o material fibroso de uma palmeira (geralmente, utilizam a

"*Chamaeropes humilis*"). A deterioração do tubo de bambu ocorre normalmente pelas juntas, que são as partes mais frágeis do sistema.

Para torná-lo viável e economicamente competitivo, é necessário submeter o bambu a tratamentos com preservativos que assegurem uma vida longa de serviço (UNIVERSITY DAR ES SALAAM, 1979).

Como tratamento geral, recomenda-se que, após o corte, os colmos do bambu, ainda com galhos e folhas, sejam colocados em posição vertical, com a base assentada dentro de um recipiente contendo solução 5% de ácido bórico:boráx na razão de 1:1 em peso. Devem permanecer assim por 3 a 4 semanas, para que a solução seja sugada pela transpiração das folhas, levando o preservativo ao longo de todos os vasos internos do bambu. Uma outra forma seria mergulhar todo o colmo, ainda verde, na mesma solução por 6 a 8 semanas. (IPSED, 1966).

Pesquisas conduzidas em algumas partes do mundo indicam que bambus enterrados no solo podem alcançar uma vida útil de serviço de 15 a 20 anos. Se preservados corretamente e prevenidos do contato com o solo, podem alcançar de 20 a 30 anos. Nestas pesquisas, não houve referência se os tratamentos foram ou não destinados a colmos utilizados no transporte de água (LIPANGILE, 1988).

Constatou-se, recentemente, que os preservativos usados, principalmente no tratamento de madeiras, como: Creosoto, Aldrin (cujo uso é proibido no Brasil), Dieldrin, etc, não servem para o tratamento dos tubos de bambu, por apresentarem riscos de

poluição dos solos e da água transportada. As tecnologias estudadas na Tanzânia, consideradas seguras e práticas para utilização em tubos de bambu usados em sistemas de abastecimento de água em povoados e pequenas localidades, são as seguintes (LIPANGILE, 1988):

- remoção da seiva do bambu, pela passagem de água corrente através dos colmos durante 8 semanas. Tal tratamento reduz a quantidade de seiva e remove o odor, deixando o bambu menos suscetível ao ataque de insetos;
- no projeto de um sistema de abastecimento de água com tubulações de bambu, a água é purificada, tornando-se livre de bactérias e fungos. Através da passagem constante desta água pelo tubo, saturando constantemente a superfície interior, previne-se qualquer processo de degradação. Um fluxo intermitente de cloro é também benéfico;
- o tubo de bambu é impregnado com uma solução cúprico-amoniacal ou alquil-amoniacal composta com um fungicida (AAC ou COA), usando-se um método por via úmida (semelhante ao método de Boucherie), difusão ou banho em tanque aberto. O composto químico fixa-se no colmo do bambu, que tem um alto valor de retenção. Visando prevenir o contato da água com o preservativo podemos revestir a superfície interna com um filme fino de polietileno (Alkathene) ou, alternativamente, com tinta betuminosa. O exterior pode ser revestido com uma mistura de alcatrão e um piretróide (Permethrin ou Deltamethrin). O alcatrão atua como um fungicida e o piretróide atua como um inseticida. O alcatrão fixa o piretróide

contra a rápida degradação pelas bactérias do solo.

- O tubo de bambu é impregnado com uma solução de boráx, pelo método da difusão úmida, prevenindo a degradação por fungos. Este composto não se fixa no colmo do bambu, mas o seu contato com a água transportada pode ser prevenido por um filme de polietileno ou tinta betuminosa revestindo a superfície interna. A superfície externa é revestida com alcatrão misturado com piretróide. Quando o ataque de cupins não se constitui num problema, só o alcatrão é suficiente.

A técnica de preservativo aplicada para tubos de bambu usados no transporte de água potável é bem recente para áreas infestadas por cupins, mas bem conhecida para o controle de degradação por fungos.

Assim, pode-se concluir razoavelmente que, para áreas sem problemas com cupins, a esperança de vida de um tubo de bambu tratado, para transporte de água em contato com o solo, pode ser de 10 a 20 anos. Para áreas com problemas de cupins, a esperança de vida pode ser acima de 10 anos, dependendo da estabilidade da mistura alcatrão/piretróide (LIPANGILE, 1988).

2.3.3 ASPECTOS AMBIENTAIS E SANITARIOS

A água transportada por um sistema de tubos de bambu deve receber os mesmos tratamentos usados para os sistemas convencionais de transporte de água. A tinta betuminosa e o filme de polietileno utilizados na superfície interna do tubo foram aprovados para uso em água potável. Análises da água, conduzidas na Tanzânia e em

Delft (Holanda), indicam que a qualidade da água conduzida em tubos de bambu está dentro dos padrões estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Poluição ambiental também não é acarretada, desde que o inseticida usado, um piretróide, tenha a aprovação da OMS como um agente químico não perigoso, nestas condições de uso (LIPANGILE, 1988).

2.3.4 PRESSÃO DE TRABALHO

Estudos na Universidade de Carolina do Norte, em 1966, confirmaram a viabilidade da utilização do bambu para condução de água para valores de pressão interna de 2,1 atm. Não se tem referência, nesta pesquisa, sobre a espécie que foi testada, nem de qual parte do colmo foi retirada a amostra (IPSED, 1966).

Na Universidade de Massachussets, LIPPERT (1976), estudando o uso do bambu como conduto forçado, mostrou ser viável seu uso com até 4,92 Kgf/cm² de pressão interna. As espécies testadas foram *Bambusa vulgaris*, *Guadua angustifolia*, uma espécie não identificada do Campus de Catie - Turrialba (Costa Rica) e outra da cidade de Tela (Honduras). Das espécies testadas naquele laboratório, a que obteve melhor comportamento com relação a resistência à pressão foi a *Bambusa vulgaris*, que, para partes do terço inferior do colmo, chegou a 15,82 Kgf/cm² sem ruptura. Nos testes de laboratório, foram utilizados pedaços de colmo com 0,91 m cada. Neste trabalho, há referências quanto ao aumento da pressão de ruptura do bambu através de um tratamento com formaldeído e ácido sulfúrico, criando uma ligação cruzada entre as fibras paralelas ("cross-link"), fortalecendo a parede contra

ruptura.

Na Tanzânia, pressões de até 6,0 kgf/cm² têm sido utilizadas com sucesso em projetos. As espécies em uso na Tanzânia são *Arundinaria Alpina* e *Bambusa vulgaris*. Este alto valor está associado a um reforço no bambu, utilizando-se um anel de arame de aço galvanizado, a cada intervalo de 5 cm (LIPANGILE, 1988).

A bibliografia consultada revela que há grande variabilidade da pressão interna de ruptura entre espécies, dentro de cada espécie, e mesmo nas diferentes partes do colmo, notando-se uma tendência geral de crescimento do valor da pressão, do ápice para a base do colmo.

Provavelmente, a variabilidade entre espécies deve-se às diferentes constituições físico-químicas dos bambus; dentro de cada espécie, às diferentes espessuras de parede de colmo para colmo, assim como à falta de uniformidade intrínseca ao material. A tendência de crescimento da pressão de ruptura do ápice para a base é justificada pela relação direta com a espessura da parede. Com relação a espécie *Dendrocalamus giganteus*, nenhuma referência quanto ao valor da pressão de ruptura foi encontrado.

2.3.5 CARACTERIZAÇÃO HIDRAULICA

São poucas as referências aos aspectos hidráulicos das tubulações de bambu, apesar do seu uso milenar. A investigação destes aspectos visa caracterizar as tubulações de bambu, possibilitando definir suas limitações e condições de projeto.

As características que se destacam como relevantes, na literatura

consultada são: pressão de trabalho, condições de trabalho (estudo da pressão do golpe de ariete para o sistema projetado), perda de carga, coeficiente de atrito da equação de Darcy-Weisbach, coeficiente de rugosidade para as várias equações empíricas existentes e vazão máxima. Dentre as características acima, destaca-se neste estudo a perda de carga, o coeficiente de atrito e os coeficientes de rugosidade para as equações empíricas de *Manning* e *Hazen-Williams*.

Com relação à perda de carga devido ao atrito, nas tubulações de bambu, os nós aparecem como a maior irregularidade na superfície do bambu; por outro lado, a superfície restante é lisa e polida, com um atrito bem inferior (UNIVERSITY OF DAR ES SALAAM, 1979).

Jacobs e Lundborg apud UNIVERSITY OF DAR ES SALAAM (1979), em 1978, propuseram uma definição com relação aos nós, em que os colmos que têm a diferença menor que 0,1 cm entre o raio da contração do nó e o raio do entrenó, são considerados com boa remoção ("bom nó"), e os que apresentam esta diferença maior são considerados com má remoção ("mau nó").

Obtiveram o valor de 70 para o coeficiente de rugosidade da equação empírica de *Hazen-Williams* (C), para bambus com boa remoção dos nós, e 60 para bambus com má remoção dos nós (UNIVERSITY DAR ES SALAAM, 1979).

Baseado no nomograma obtido na Universidade de Carolina do Norte (anexo 2), podem-se deduzir valores de $C = 60$ e $n = 0,019$. Não há referências quanto à qualidade na remoção do nó (IPSED, 1966).

Um estudo da Universidade de Dar es Salaam, de 1980, recomenda, para projetos usando tubulações de bambu, que se utilize $C = 75$ e $n = 0,016$ para tubos com má remoção dos nós e $C = 90$ e $n = 0,013$ para tubos com boa remoção dos nós. A vazão máxima, de 14 l/s, equivalente a uma velocidade de 5,0 m/s, foi limitada pela capacidade da bomba utilizada (LIPANGILE, 1988).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. A INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL

A instalação utilizada foi adaptada a partir de um módulo didático de experimentação em hidráulica, fabricado pela ICAM - São Carlos - modelo HG/79, localizado na Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP.

O módulo utilizado é constituído pelos seguintes elementos: uma bomba centrífuga, movida por um motor elétrico assíncrono trifásico, de 220 volts, modelo ER 1121, com uma potência efetiva de 7,5 Hp, acionado por uma chave magnética tripolar (a curva da bomba pode ser vista no anexo 3); um reservatório construído em fibra de vidro, com capacidade para 2000 l; duto de recalque até a seção de testes, em PVC rígido, com 78 mm de diâmetro; Um medidor de placa orifício - tipo diafragma; Um painel de acrílico contendo seis manômetros diferenciais de mercúrio; Um micromanômetro diferencial de mercúrio, com precisão de $5,0 \times 10^{-6}$ e um registro globo de 3". Na Figura 6 encontra-se um esquema geral do sistema utilizado nos testes.

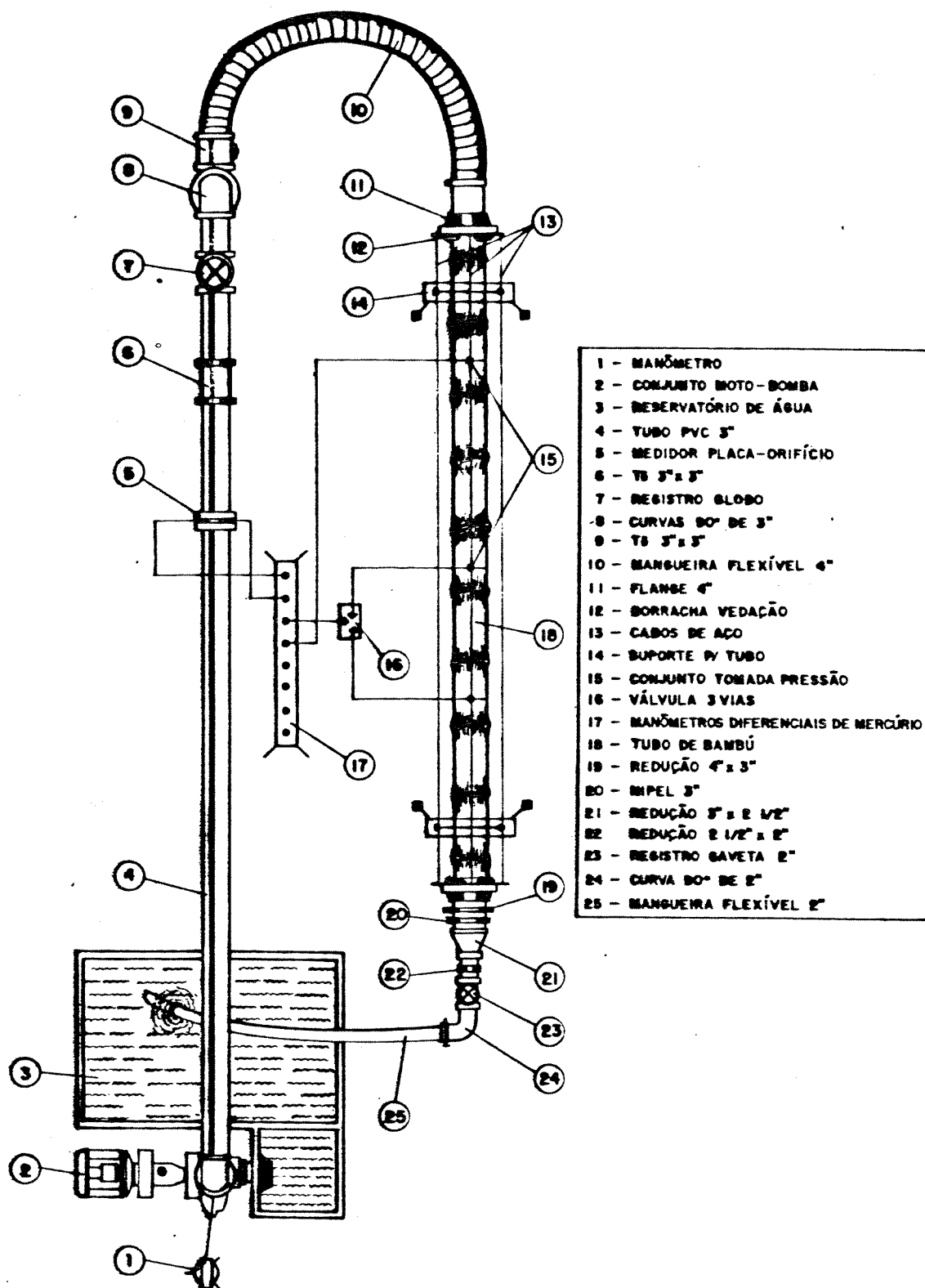


Figura 6 - Vista por cima do sistema experimental utilizado.

Para desviar a água do duto de alimentação do módulo para a seção de testes, foi desenvolvido um dispositivo que permitiu que a água circulasse da tubulação de PVC 75 mm do módulo às tubulações de bambu de diversos diâmetros. O dispositivo consistiu numa mangueira flexível de borracha de 3", conectada, através de uma braçadeira, a uma flange de ferro galvanizado com diâmetro de 4", localizada, a montante do tubo de bambu. Na extremidade a jusante do tubo de bambu, tem-se outra flange igual à primeira, conectada a um registro de gaveta de 2" de diâmetro e a uma mangueira de polietileno, também de 2" de diâmetro, por onde a água retorna da seção de testes ao reservatório. A Figura 7, mostra uma vista da seção de testes.

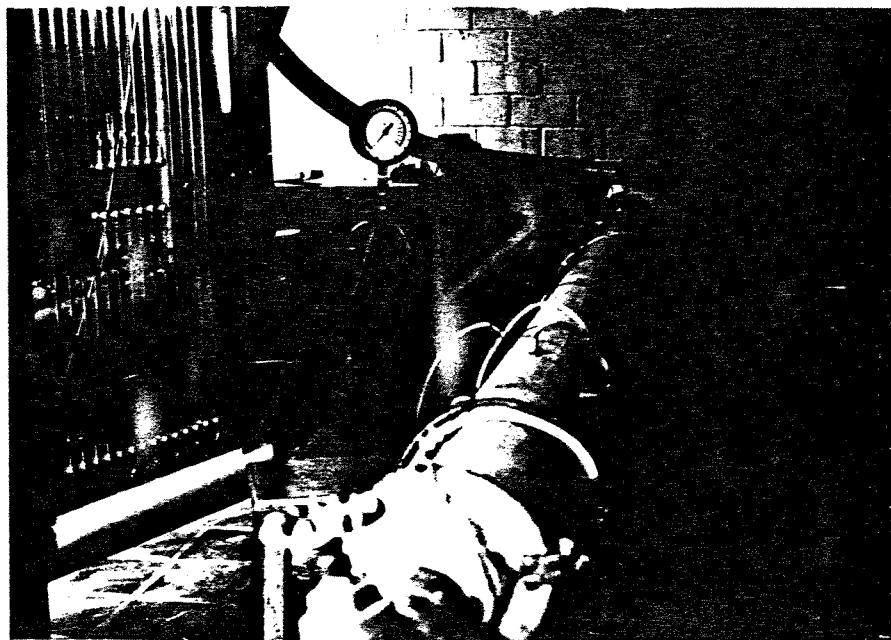


Figura 7 - Vista geral da seção de testes.

As flanges, situadas uma em cada extremidade do tubo de bambu, foram tracionadas uma contra a outra por meio de 4 cabos de aço, permitindo uma perfeita vedação na conexão, para qualquer tubulação com diâmetro interno entre 90 e 130 mm (Figura 8).

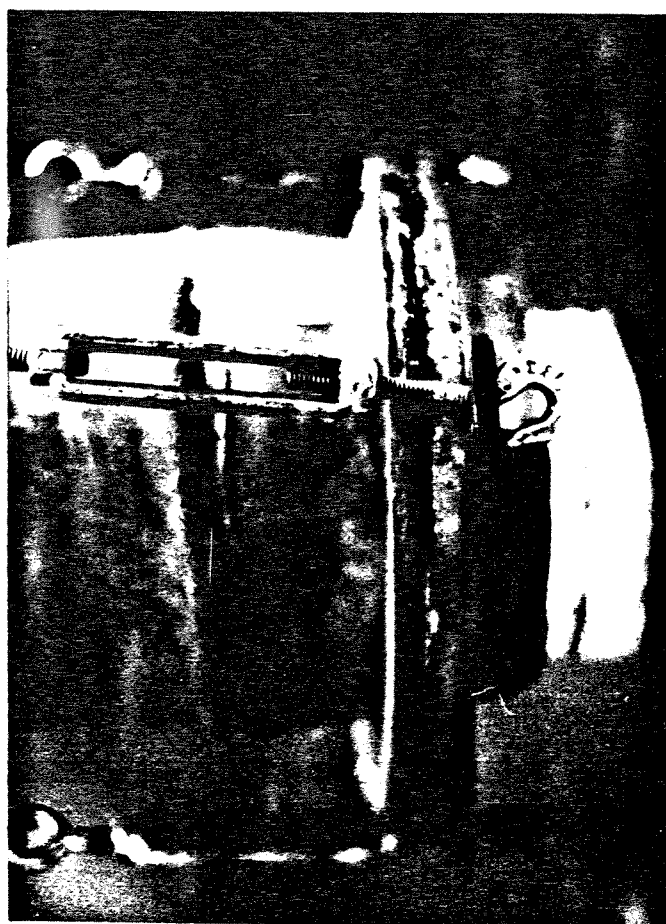


Figura 8 - Detalhe da conexão entre o tubo de bambu e a flange.

Com o intuito de não haver turbulência na sucção da bomba, evitando a entrada de bolhas de ar dentro do circuito, existe no reservatório uma câmara que separa a sucção da bomba do restante do reservatório, onde a água retorna da seção de testes.

3.1.2. AS TUBULAÇÕES

As tubulações foram obtidas a partir de plantas adultas da espécie de bambu *Dendrocalamus giganteus*, retirados de touceiras com mais ou menos 30 anos de idade, cultivadas em latossolo roxo, na Fazenda Santa Elisa - Estação Experimental do IAC, sem nenhum trato cultural.

Os colmos de bambu foram selecionados na touceira, em função das suas características anatômicas que mais se adequassem as condições experimentais (comprimento, diâmetro, espessura da parede, idade e linearidade do colmo). Por se tratar de um material biológico, portanto exposto aos mais diversos agentes da natureza, procurou-se dentro do universo à disposição, selecionar colmos com características semelhantes e que servissem aos objetivos da pesquisa de laboratório, reduzindo o número de variáveis a considerar e permitindo uma simplificação do equacionamento teórico do problema.

Processos de Perfuração

Para a utilização dos colmos de bambu como tubulação, é necessário a sua perfuração, rompendo os septos que aparecem interiormente na região dos nós, conhecidos como septos nodulares. Inicialmente, tentou-se perfurar os colmos de bambu através do impacto de lâminas de aço circulares aquecidas (em brasa) ou com ponteiros afiadas de aço temperado. O processo de perfuração por lâminas de

aço a quente foi descartado, por se mostrar de pouca praticidade na perfuração de colmos com grandes diâmetros, como os utilizados nos testes. Inicialmente, então, utilizou-se o processo de perfuração por impacto de lâminas de aço circulares afiadas.

Testes preliminares, visando a determinação da perda de carga das tubulações perfuradas por impacto, revelaram valores muito elevados, que limitavam a sua utilização como conduto pressurizado. Tal fato se devia principalmente à baixa qualidade no acabamento resultante da perfuração (Figura 9).

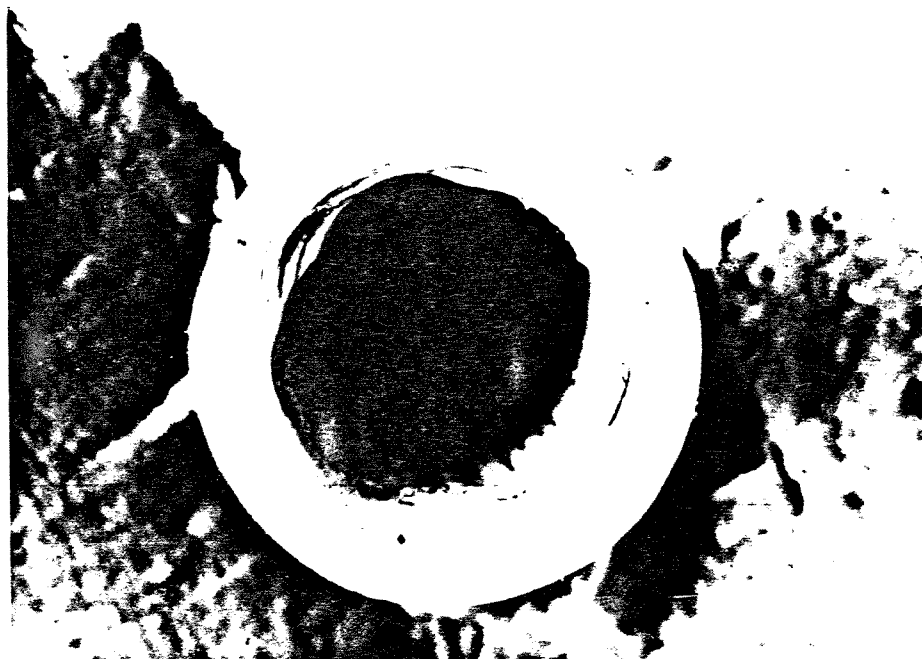


Figura 9 - Seção no nó de um tubo perfurado por impacto.

Procurando melhorar o acabamento da superfície interna dos nós e possibilitando assim a utilização das tubulações de bambu de forma pressurizada, desenvolveu-se um perfurador mecânico, com ferramentas de corte móveis, que se adaptasse às variações de diâmetro encontradas nos colmos de bambu. A seguir são descritos os dois processos de perfuração utilizados:

- **impacto:** na perfuração por impacto, utilizaram-se de três lâminas circulares, feitas a partir de tubos de aço galvanizado comercial com ponteira em aço 1050 temperado, com 50 mm, 80 mm e 100 mm de diâmetro externo, rosqueáveis a um tubo de 32 mm de diâmetro externo e 3 m de comprimento.

O processo de perfuração consistiu em cortar um trecho de colmo de 6 m de comprimento, de tal modo que, nas duas extremidades, ficasse um trecho de entrenó que servisse de guia ao perfurador. Primeiramente, rompia-se a membrana com a lâmina de 50 mm, depois com a de 80 mm e, quando o diâmetro interno do colmo permitia, utilizava-se a lâmina de 100 mm. Esta operação era realizada de um lado e do outro, permitindo assim obter um tubo de 6 m de comprimento (Figura 10).

- **mecânico:** no processo mecânico de perfuração, utilizou-se de um dispositivo composto por (anexo 4): um perfurador de bambu, um eixo de transmissão do torque (tubo de aço galvanizado), uma fonte de potência (motor 3/4 Hp acoplado a um redutor de velocidades de 20:1) e uma estrutura para fixação, alinhamento e movimentação

manual do colmo de bambu com relação à ferramenta (Figura 11).
Segue-se uma descrição detalhada de cada parte do dispositivo:

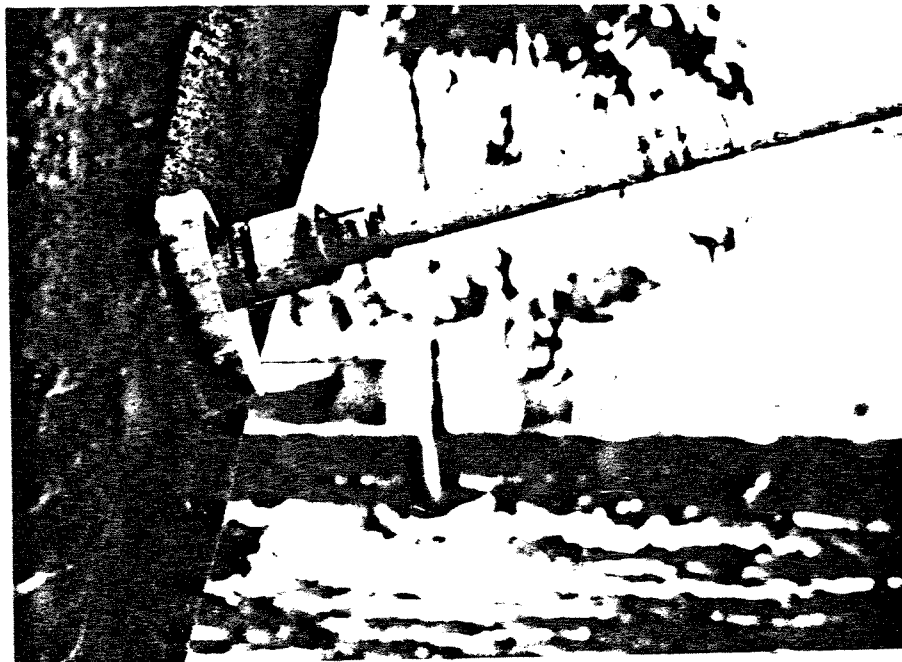


Figura 10 - Ilustração do processo de perfuração por impacto.

O PERFURADOR

O perfurador é constituído por um núcleo cilíndrico de alumínio de 80 mm de diâmetro por 120 mm de comprimento, contendo seis furos de 20 mm de diâmetro por 30 mm de profundidade, localizados três em cada uma extremidade do cilindro de alumínio. Dentro dos furos movimentam-se cilindros ociosos, tensionados por molas, sendo que os localizados na extremidade traseira da ferramenta têm função

somente no equilíbrio axial da ferramenta, enquanto os localizados na parte dianteira servem ainda como suporte das ferramentas de corte. A frente do núcleo de alumínio está fixada uma broca centralizadora, que serve como guia do perfurador (anexo 5).

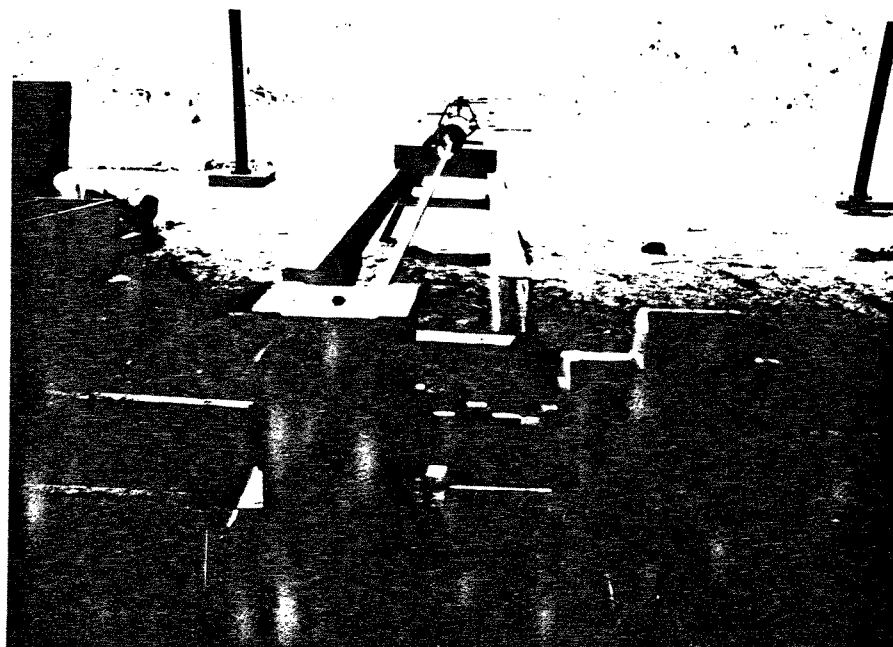


Figura 11 - O dispositivo de perfuração mecânico.

A FONTE DE POTÊNCIA E A TRANSMISSÃO

A fonte de potência utilizada é um motor com potência de 3/4 Hp a 1710 rpm, acoplado a um redutor de velocidades de 20:1, resultando em 85,5 rpm. O eixo de transmissão é um tubo em aço galvanizado, com 25 mm de diâmetro externo, ligado em suas extremidades, por um lado, ao redutor de velocidades, e por outro à ferramenta, através

de uma junta universal. Na extremidade ligada ao redutor de velocidades, existe um dispositivo de segurança que se rompe no caso do perfurador travar (Figura 12).

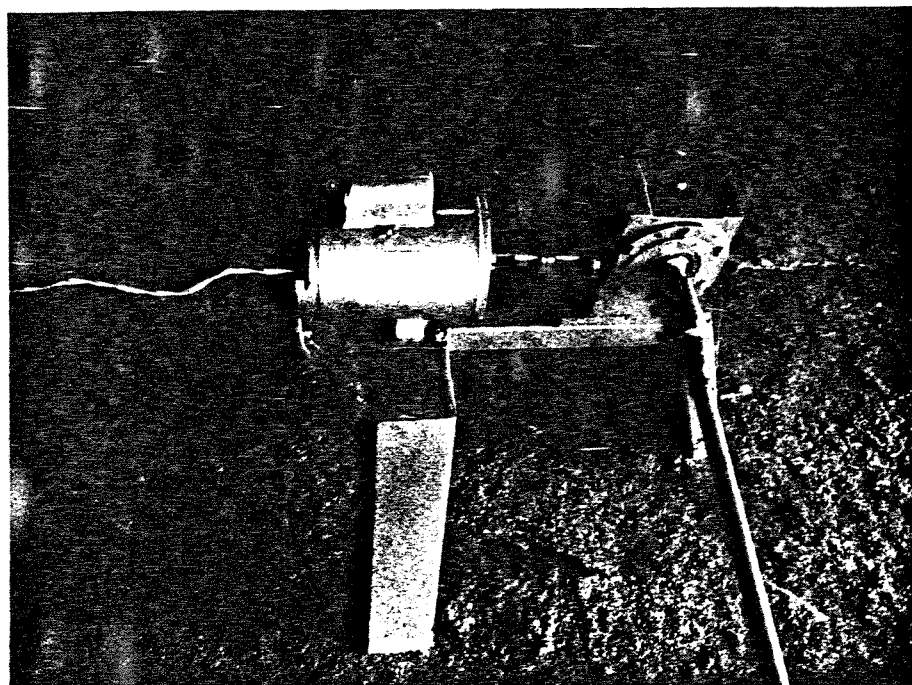


Figura 12 - Vista da fonte de potencia e da transmissão.

A ESTRUTURA DE FIXAÇÃO E MOVIMENTAÇÃO

A estrutura para fixação e movimentação do bambu é constituída por dois carrinhos com rodas de borracha, uma estrutura em chapas de ferro e um parafuso, formando um "sargento" que permite prender o bambu. Os carrinhos são interligados por barras de ferro e deslizam sobre uma estrutura constituída por duas vigas "U" de 0,05 x 0,10 x 6,00 m, apoiada cada uma em três pontos ao longo do comprimento, interligados e elevados em 0,50 m do solo (Figura 13).

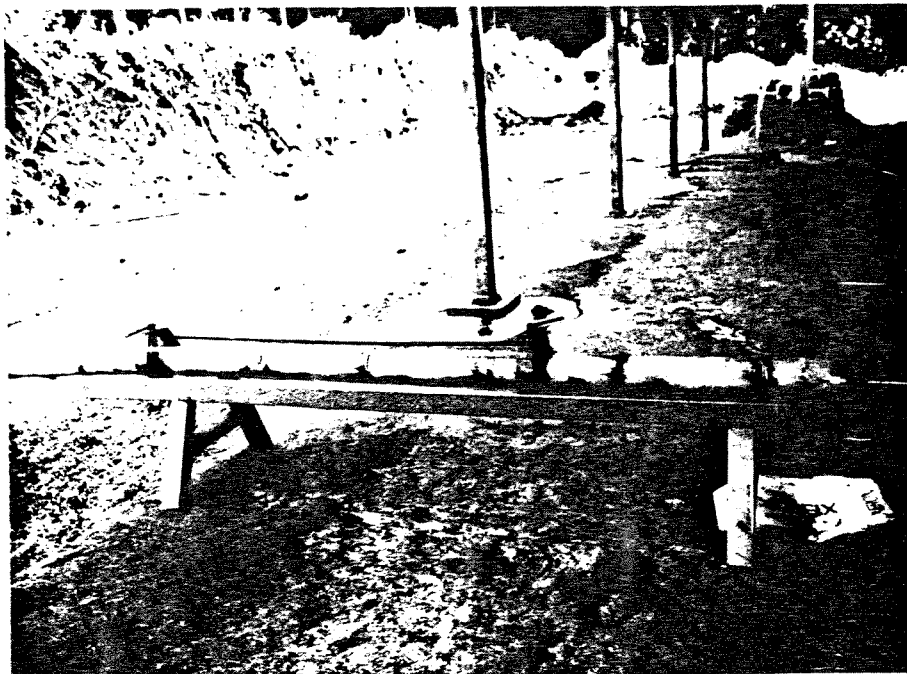


Figura 13 - A estrutura de fixação e movimentação do colmo.

3.2. Metodologia

3.2.1. PREPARAÇÃO DOS TUBOS DE BAMBU

Depois de identificados dentro da touceira, foram selecionados colmos entre 2 e 5 anos de idade, tamanho entre 20 e 25 m sendo entre 12 e 15 m úteis para tubulação. Os tubos foram retirados do terço inferior do colmo, onde a parede apresenta a maior espessura (0,015 - 0,025 m) e o diâmetro interno se mantém aproximadamente constante, atendendo às necessidades experimentais. O diâmetro interno foi selecionado entre 0,09 e 0,13 m, por ser o mais frequentemente encontrado para a espécie *Dendrocalamus giganteus*, e foi dividido em três faixas, a saber:

Tabela 19 - Faixas de diâmetro das tubulações utilizadas.

Faixa	Diâmetro (m)	Quantidade	
		impacto	mecânico
1 ^a	0,090 a 0,105	03	03
2 ^a	0,105 a 0,115	03	03
3 ^a	0,115 a 0,130	03	03

Adotou-se uma nomenclatura para identificação dos tubos, sendo que cada tubo foi identificado por: $tubo_{ijk}$, onde i = tratamento adotado (perfurado por impacto (1), perfurado mecanicamente (2)); j = faixa de diâmetro do tubo (1^a faixa (1), 2^a faixa (2), 3^a faixa (3)); k = repetição (1,2 ou 3).

Após a perfuração por um dos dois processos descritos anteriormente, o tubo era levado à seção de teste, onde era montado no circuito e preparavam-se as tomadas de pressão, no trecho a ser testado. As tomadas de pressão são descritas com detalhe no item 3.2.3 - método de medida de pressão, a seguir.

O circuito era testado para se verificar alguma possível entrada de ar nas tomadas ou vazamento nos engates. O tubo, então, permanecia cheio de água por 24 horas, para que houvesse a saturação da parede e, conseqüentemente, fosse atingida a máxima dilatação no diâmetro interno.

Foram tomadas medidas dos valores da vazão e perda de carga no trecho preparado, conforme seqüência experimental descrita abaixo, após o tubo testado era cortado em duas seções no entrenó e em

três seções nos nós localizados entre as tomadas de pressão, permitindo a avaliação do diâmetro médio no nó e no internó, no trecho de tubo testado (Figura 14).

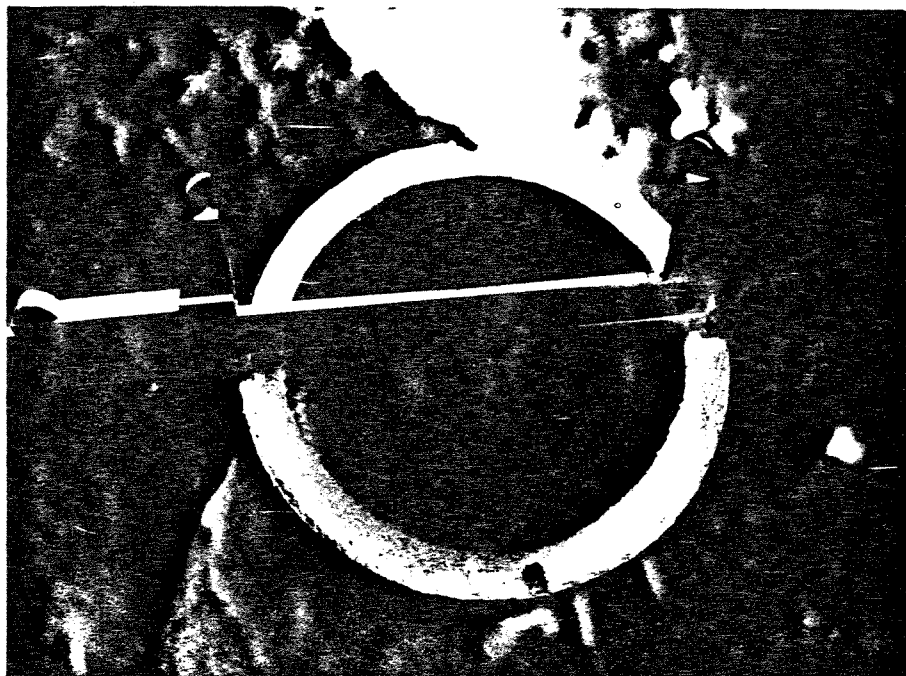


Figura 14 - Detalhe da medição do diâmetro no nó.

3.2.2. AVALIAÇÃO DAS DIMENSÕES DOS TUBOS

O valor do diâmetro a ser adotado nos cálculos, foi assumido como o valor médio diâmetro das duas seções onde estavam localizadas as tomadas de pressão, $\bar{D} = \bar{D}_{\text{interno}}$. Para se determinar o diâmetro da secção, foram tomadas quatro medidas espaçadas em 45° uma da outra em cada uma das seções e calculado o valor médio destes oito valores. As medidas foram feitas com um paquímetro, marca Mitutoyo, com precisão de 0,1 mm.

Para se comparar o acabamento resultante dos dois processos de

perfuração adotados, determinou-se o diâmetro do nó (\bar{D}_{no}), assumido como sendo a média de quatro medidas, espaçadas em 45° uma da outra, feitas nos três nós localizados no trecho testado, ou seja, o \bar{D}_{no} é resultado da média de 12 valores. Os valores obtidos para o D_{no} , $D_{interno}$ e desvio padrão podem ser encontrados no anexo 6.

3.2.3. MÉTODO DE MEDIDA DE PRESSÃO

Existe, hoje, uma gama variada de métodos e técnicas de medida de pressão, cabendo ao experimentador efetuar a escolha, orientado principalmente por considerações quanto à simplicidade, disponibilidade e precisão do método, e em função do intervalo de pressão que se pretende medir.

Uma análise macroscópica de um fluido em equilíbrio revela que a pressão pode ser definida como o quociente entre a força normal e a unidade de área sobre a qual ela é exercida. Quando se trata de fluidos em movimento, a presença da energia cinética do próprio escoamento, superposta à energia cinética aleatória das moléculas, eliminando a condição essencial de equilíbrio, implica em ampliar este conceito de pressão em três componentes:

- pressão total ou de estagnação (p_t) : a pressão que apareceria se um fluido fosse levado ao repouso sem perdas e sem transferência de calor, portanto, sem variação de entropia;
- pressão dinâmica (p_d) ou de velocidade (p_v): a pressão

equivalente à energia cinética do fluido em escoamento. É definida como sendo igual à metade do produto da massa específica ρ do fluido em questão, pelo quadrado da velocidade média \bar{v} ;

- pressão estática (p): a pressão indicada por um sensor que se move junto com o próprio fluido, de tal maneira que ele possa ser considerado como estático relativamente ao escoamento. Atua com a mesma intensidade em todas as direções, em um ponto do fluido, independentemente deste estar em movimento ou em repouso.

Tomando a equação da energia para escoamento permanente e a Primeira Lei da Termodinâmica, a relação entre essas três pressões é (KAMAL, 1986):

$$p_t = p_v + p \quad [23]$$

com $p_v = \frac{1}{2} \rho (\bar{v})^2$, onde:

ρ = densidade do fluido, Kg/m^3 ;

\bar{v} = velocidade média do escoamento, m/s .

Observa-se, portanto, que dois procedimentos podem ser utilizados para se determinar a pressão nas tubulações: a medida da pressão total ou da pressão estática.

Tomando a hipótese de que a área da seção da tubulação não varia significativamente, logo a velocidade média também não varia, não há variação na pressão dinâmica. A variação, portanto, ocorre no componente estático da pressão. Em razão disso, optou-se, neste

trabalho, por medidas diferenciais de pressão estática.

Se tomarmos a definição dada anteriormente, seria impossível, em termos práticos, a realização de medidas de pressão estática. O procedimento empregado usualmente consiste em utilizar pequenos orifícios localizados na parede do conduto, através dos quais se transmite a pressão naquele ponto ao manômetro diferencial, conforme o ilustrado na Figura 15.

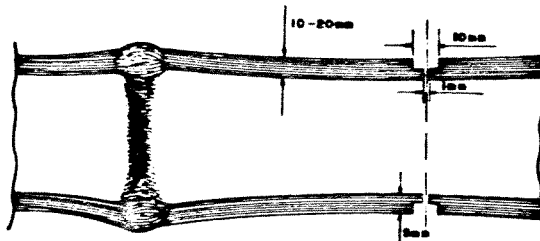


Figura 15: Orifício utilizado para medição da pressão estática

O inconveniente, neste caso, seria que, num escoamento turbulento, a flutuação aleatória da velocidade, que se superpõe à velocidade média, poderia fazer flutuar de maneira irregular a pressão estática acusada no manômetro diferencial, afetando sua indicação, isto é:

$$p_i = p + \frac{1}{2} \rho (\hat{v})^2 \quad [24]$$

onde:

p_i = pressão estática indicada pelo sensor, $Kg/m.s^2$;

p = pressão estática, $Kg/m.s^2$;

ρ = massa específica do fluido, Kg/m^3 ;

\hat{v} = valor rms (desvio quadrático médio) da componente axial da velocidade, devido à turbulência, m/s ;

Contudo, com a utilização de um micromanômetro diferencial de mercúrio (Hg), tal problema é eliminado, ou seja, a variação aleatória da pressão não é percebida, devido à inércia do mercúrio. A necessidade de se utilizar um micromanômetro surgiu em função da ordem de grandeza das diferenças de pressão medidas, ou seja, milímetros de Hg.

Observa-se que o escoamento próximo a um orifício pode sofrer uma deflexão nas suas linhas de corrente, fazendo com que a pressão medida seja superestimada com relação ao valor real, que seria medido por um orifício de diâmetro infinitamente pequeno. Além disso, pode-se estabelecer uma estrutura de vórtices no interior do orifício e um efeito Pitot na extremidade a jusante da tomada de pressão. Embora não se tenham regras gerais, o erro resultante pode ser considerado desprezível, desde que as dimensões do orifício de tomada de pressão sejam pequenos e se garanta o seu perfeito nivelamento com a superfície interna do conduto, eliminando rebarbas e outras irregularidades na vizinhança. Uma outra observação importante é quanto ao diâmetro da seção do escoamento, nas seções de tomada de pressão, que deve ser conhecido de forma precisa.

O dispositivo de tomada

Com o objetivo de satisfazer os requisitos mencionados acima, foi projetado um sistema de tomada de pressão onde, numa mesma seção da tubulação, foram feitos quatro orifícios com 0,01 m de diâmetro, colocados nas extremidades de dois diâmetros perpendiculares. Cada orifício, através de um bico de latão, transmite a pressão a uma mangueira transparente, com 5 mm de diâmetro (Figura 16).

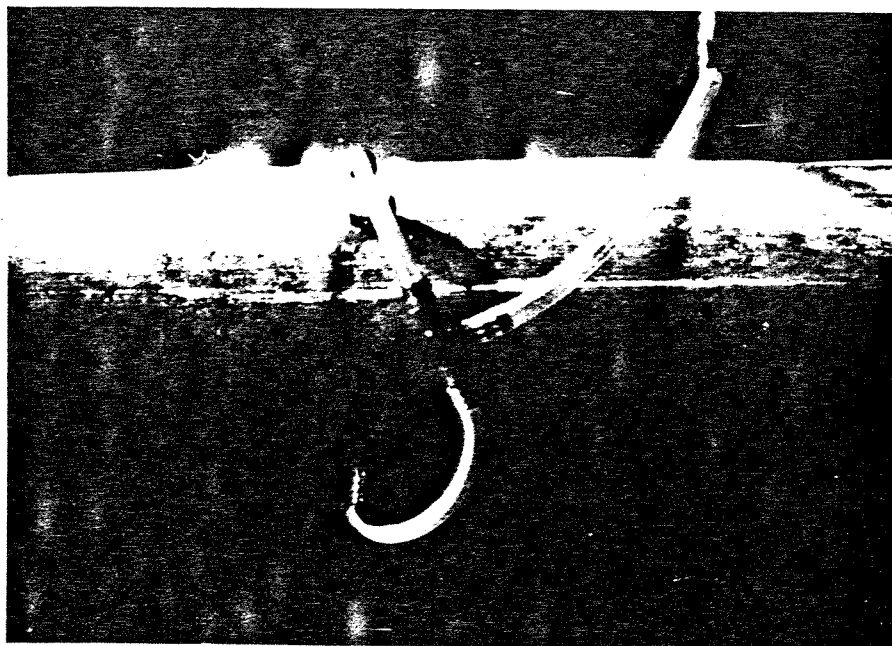


Figura 16 - Detalhe do dispositivo de tomada de pressão.

As mangueiras provenientes dos orifícios são interligadas e conectadas a uma das saídas do micromanômetro diferencial de mercúrio. Isto é feito em duas seções do comprimento do tubo, permitindo a medida da pressão diferencial estática no trecho testado, em mm de Hg.

3.2.4. 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 uma restrição ou um estrangulamento na linha de fluxo, que provoca o aumento da velocidade do fluido dentro do aparelho. O aumento de velocidade, de acordo com o teorema de Bernoulli, provoca, na seção de estrangulamento, uma diminuição da pressão estática, e uma diferença de pressão é criada através do elemento. A partir de uma constante característica do medidor, determinada experimentalmente, o valor do diferencial de pressão pode ser convertido em valor de vazão ou taxa de fluxo.

KAMAL, (1986), indica que dentre os medidores de vazão de pressão diferencial, o de placa orifício, tipo diafragma, apresenta boa precisão e simplicidade na aplicação. Ele estabelece uma diferença de pressão estática, tal que, normalmente e atendidas determinadas condições, pode ser medida de maneira fácil e rápida, com precisão ao redor de 1 % . No presente trabalho, optou-se por utilizar um medidor deste tipo, descrito com detalhes no próximo item.

A placa orifício é recomendada como instrumento de medida para líquidos com pressões até 10^7 N/m² e temperaturas até 550 °C. Seu maior uso é para números de Reynolds entre 10^4 e 10^7 .

A seção mínima do tubo de corrente não ocorre dentro do orifício,

mas a jusante deste, devido à formação de uma vena contracta. A área da seção reta na vena contracta A_2 é caracterizada por um coeficiente de contração e dada por $C_c A$. A razão da contração d/D para líquidos varia de 0,15 a 0,75, sendo os melhores resultados obtidos para a faixa de 0,4 a 0,6.

A equação teórica que caracteriza este tipo de medidor pode ser obtida supondo-se escoamento de fluido ideal em nível e aplicando-se as equações da continuidade e de Bernoulli, entre as seções 1 e 2, fornecendo:

$$Q_t = \frac{C_c A_d}{\sqrt{1 - C_c^2 m^2}} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad [25]$$

onde:

Q_t = vazão teórica, m^3/s ;

A_d = área do orifício;

m = relação entre áreas $(d/D)^2$;

C_c = coeficiente de contração;

ρ = massa específica do fluido, Kg/m^3 ;

$p_1 - p_2$ = diferença de pressão entre a seção 1 e 2, $Kg/m.s^2$.

Na prática, todavia, trabalha-se com fluidos reais, onde se necessita ajustar a equação acima com um coeficiente corretivo, o coeficiente de velocidade C_v . A vazão real então é dada por:

$$Q = \frac{C_v C_c A_d}{\sqrt{1 - C_c^2 m^2}} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad [26]$$

ou ainda,

$$Q = C_q A_d \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad [27]$$

onde:

C_q = coeficiente de vazão do medidor.

Podemos, ainda, juntar os termos constantes da equação e utilizar o valor da pressão diretamente na unidade que será medida, ou seja, cm de Hg. (1,0 cm de Hg = $1,33 \cdot 10^6$ N/m²), logo temos que a equação a ser utilizada para o cálculo da vazão fica:

$$Q = C \cdot \sqrt{\Delta h} \quad [21]$$

onde:

$$- C = 0,80 \cdot 10^{-3} \rho^{-1/2} C_q A_d$$

- Δh = Diferença da coluna de Hg, cm de Hg

O diafragma utilizado

A vazão, em todas as séries de ensaios, foi obtida através de um medidor de placa-orifício, tipo diafragma, construído segundo a Norma DIN (relação entre área do orifício e do conduto, $m = 0,45$) em material de latão.

A borda à montante do orifício é torneada em aresta viva, reduzindo a influência exercida pelas suas condições sobre o C_q do medidor. Na sua instalação, houve o cuidado de prover suficientes comprimentos retos de conduto, de 50 vezes o diâmetro do conduto a montante e de 10 vezes à jusante do local da instalação do diafragma, em função da interferência que podem causar sobre as

linhas de fluxo.

Calibração do diafragma

A calibração do diafragma foi executada através do método gravimétrico, isto é, realizando-se medidas discretas de peso por tempo transcorrido.

Para a pesagem, foi usado um tanque em inox de 100 l montado sobre uma balança com precisão de $\pm 0,05$ Kgm, com capacidade para 200 Kgm, marca Arja. Para a medida do tempo, um cronômetro marca Technics com precisão de $\pm 0,01$ s. Tomou-se a média de três medidas como valor característico da vazão, mantida através da bomba centrífuga. Os valores experimentais encontram-se no anexo 7.

A partir dos valores da massa de água coletada e do tempo transcorrido, calculou-se a vazão para cada valor da pressão acusada no manômetro diferencial de mercúrio, descrito anteriormente.

Nesta calibração, tomou-se o cuidado de certificar-se de que era estabelecido um escoamento permanente e a vazão regulada através de um registro convenientemente locado, conforme mostra o esquema geral contido na Figura 6.

Realizou-se uma regressão linear da $Q \times \sqrt{\Delta h}$. Os valores obtidos resultaram na seguinte equação para o medidor:

$$Q = 0,0023 \times \sqrt{\Delta h} \quad [29]$$

com coeficiente de correlação de 0,997. Os valores da análise de variância encontram-se no anexo 9.

3.2.5. A SEQUÊNCIA EXPERIMENTAL

Considerou-se um trecho de comprimento L da seção de testes para se medir a perda de carga média entre dois pontos da tubulação. O valor de L variou de 1,5 m a 1,7 m, de tal forma que as duas seções ficassem sempre localizadas no meio do entrenó. Após a preparação do tubo, referida anteriormente, tomaram-se os dados experimentais da seguinte forma: Abriu-se a válvula de gaveta que dá acesso ao referido tubo, e variou-se a vazão na válvula de globo, registrada através do diafragma, no manômetro diferencial de mercúrio. A leitura da perda de carga foi feita no micromanômetro diferencial de mercúrio, tendo-se o cuidado de evitar que não ficassem bolhas de ar no interior da mangueira que o conectava às tomadas de pressão das duas seções do tubo. Para cada tubo o procedimento foi repetido três vezes, sendo o valor da perda de carga a média destes três valores.

De posse destes dados, tomou-se a equação [8], com algumas modificações, e obteve-se uma relação entre a perda de carga por metro de tubulação $\frac{h_f}{L}$ e a vazão Q :

$$\frac{h_f}{L} = \frac{8f_d Q^2}{\xi \pi^2 D^5} \quad [30]$$

Os valores de f_d experimental podem ser obtidos isolando-se seu valor de um lado da equação, obtendo-se a equação [31], e

substituindo os valores medidos experimentalmente para $\frac{h_f}{L}$, Q , g e D :

$$f_d = \frac{\pi^2 g h_f D^5}{8LQ^2} \quad [31]$$

O valor de Q foi calculado substituindo os valores de Δh , medidos no manômetro diferencial, na equação [29]. O valor adotado para g foi de $9,90 \text{ m/s}^2$.

O valor de V foi calculado a partir da equação abaixo:

$$V = \frac{Q}{A} \quad [32]$$

onde:

$$A = \frac{\pi \bar{D}^2}{4} = \text{área média da seção do tubo; } m^2$$

Os valores de Re foram calculados a partir da equação [2], adotando o valor para ν , de $0,92 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Para tubulações industriais, f_d é uma função do número de Reynolds e da rugosidade relativa ($\frac{\epsilon}{D}$), relacionados em gráficos como o *diagrama de Moody* (anexo 1), ou obtidos através das diversas correlações existentes para as diferentes condições do escoamento. Algumas destas correlações estão relacionadas no QUADRO 1. Para as tubulações de bambu, considerar-se-á a rugosidade devido à parede do entrenó, combinada com a resistência causada pela saliência em cada nó, como uma rugosidade relativa equivalente, ($\frac{\epsilon'}{D}$).

Para as condições de escoamento estabelecidas, tendo em vista a

vazão Q e o diâmetro \bar{D} das tubulações de bambu, temos um valor para Re entre $3,0 \times 10^4$ e $2,0 \times 10^5$, o que caracteriza um escoamento entre a zona de transição e turbulento plenamente desenvolvido para tubos rugosos (anexo 1).

A partir da equação de Colebrook [12] calculou-se a rugosidade relativa equivalente $(\frac{\epsilon'}{D})$, considerando-a, como a rugosidade da parede entre os nós (internó) combinada com a resistência causada pela saliência presente em cada nó.

O coeficiente de rugosidade de *Hazen-Williams*, C , foi calculado rearranjando a equação [20], e isolando-se C , ficando na sua forma final:

$$C = \frac{V}{0.355} \bar{D}^{-0.63} h_f^{-0.54} \quad [33]$$

O coeficiente de rugosidade de *Manning*, n , foi calculado rearranjando a equação [21], e substituindo $R_h = \frac{\bar{D}}{4}$, ficando na sua forma final:

$$n = \frac{1}{V} \left[\frac{\bar{D}}{4} \right]^{2/3} h_f^{1/2} \quad [34]$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. O acabamento na remoção dos septos dos nós

Para avaliar o acabamento resultante na perfuração dos colmos de bambu e comparar os dois processos de perfuração, determinou-se o diâmetro médio do internó e o diâmetro médio do nó no trecho testado, calculando a diferença entre estes. Os valores podem ser encontrados na Tabela 4.

ORDEM	TRATA/TO	FAIXA	D _{interno} m	D _{nó} m	DIFERENÇA m
tubo111	1	1	0,0966	0,0823	0,0143
tubo112	1	1	0,0990	0,0826	0,0164
tubo113	1	1	0,1044	0,0824	0,0220
tubo121	1	2	0,1056	0,0823	0,0233
tubo122	1	2	0,1107	0,1017	0,0090
tubo123	1	2	0,1066	0,0825	0,0241
tubo131	1	3	0,1205	0,1014	0,0191
tubo132	1	3	0,1152	0,1019	0,0133
tubo133	1	3	0,1167	0,1016	0,0151
tubo211	2	1	0,0992	0,0951	0,0041
tubo212	2	1	0,1025	0,0983	0,0042
tubo213	2	1	0,1049	0,0995	0,0054
tubo221	2	2	0,1090	0,1015	0,0075
tubo222	2	2	0,1088	0,1026	0,0062
tubo223	2	2	0,1059	0,0969	0,0090
tubo231	2	3	0,1292	0,1209	0,0083
tubo232	2	3	0,1203	0,1111	0,0092
tubo233	2	3	0,1156	0,1073	0,0083
		MEDIA DIFERENÇA	DESVIO PADRAO		
TRATAMENTO 1		0,0174	0,0051		
TRATAMENTO 2		0,0069	0,0020		

Tabela 4 - diâmetro do internó, do nó e da diferença para 18 tubos.

Os valores experimentais para os diâmetros do nó e do internó dos tubos perfurados por impacto e pelo perfurador mecânico encontram-se no anexo 6.

Observa-se que o valor médio de 17,4 mm para a diferença entre o diâmetro no internó e o nó, encontrado para os tubos perfurados por impacto, comparado ao valor de 6,9 mm, encontrado para os tubos perfurados pelo processo mecânico, mostrou uma diferença significativa a nível de 5%, revelando um melhor acabamento na remoção dos septos dos nós feita pelo perfurador mecânico (Quadro 2, anexo 9). Os valores da diferença para os dois tratamentos estão plotados na Figura 17.

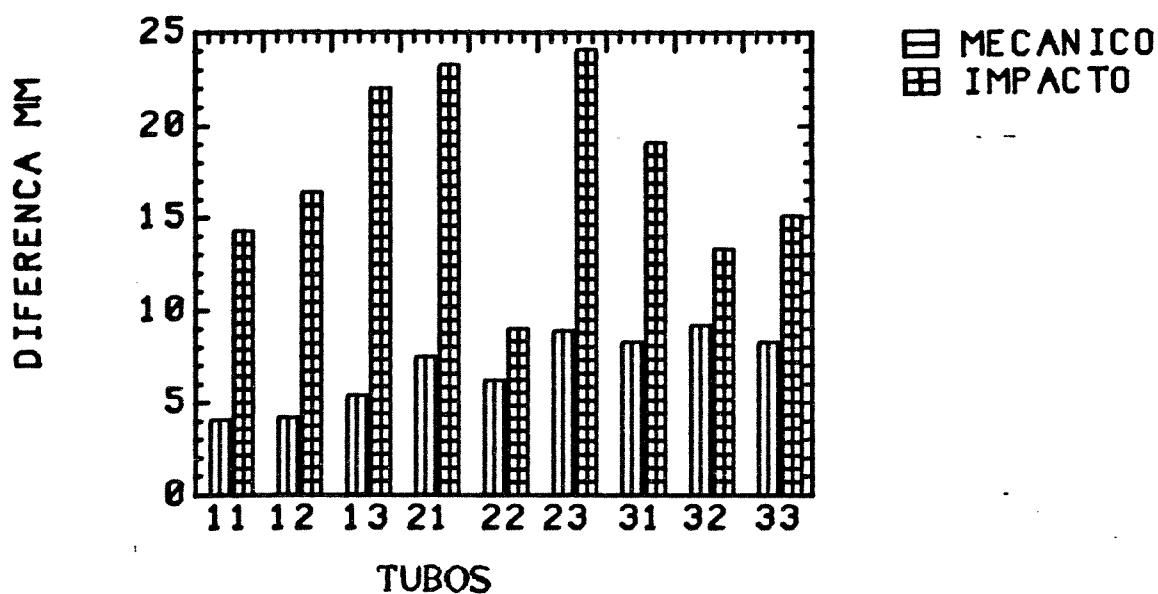


Figura 17 - Gráfico de barras da diferença entre o diâmetro do internó e do nó para tubos perfurados por impacto e mecanicamente.

O valor de 9,0 mm encontrado para a diferença entre o diâmetro do nó e do internó para o tubo 122, perfurado por impacto, não deve ser considerado como um valor representativo para o seu tratamento, pois a lâmina usada (0,10 m diâmetro) possibilitou um encaixe perfeito no diâmetro deste tubo, o que não foi conseguido para os dois outros tubos da mesma faixa (tubo121 e tubo123). Para se obter valores para a diferença desta ordem na perfuração por impacto, seria necessário se ter lâminas com os diferentes diâmetros de cada colmo de bambu, o que na prática torna-se inviável.

O valor médio da diferença entre o diâmetro do nó e do internó para a faixa 1, dos tubos perfurados mecanicamente, apresentou diferença significativa a nível de 5% das faixas 2 e 3, indicando que o perfurador mecânico apresentou um melhor acabamento na faixa 1, provavelmente devido à maior pressão exercida pela mola, que força a ferramenta contra a parede interna do colmo durante a perfuração. À medida que o diâmetro interno do colmo aumenta, a mola vai perdendo sua pressão sobre a parede do colmo, efetuando assim um corte mais raso, resultando num acabamento de pior qualidade. As faixas 2 e 3 não apresentaram diferença significativa (Quadro 3 - anexo 9).

4.2. Caracterização hidráulica das tubulações

Os dados experimentais de variação da coluna de mercúrio no

diafragma e no micromanômetro obtidos para os 18 colmos testados, sendo 09 perfurados por impacto e 09 por processo mecânico, podem ser encontrados no anexo 8.

A partir destes dados, foram calculados os valores da vazão (Q), perda de carga (h_f), velocidade (V), número de Reynolds (Re), coeficiente de atrito da equação de Darcy-Weisbach (f_d), rugosidade relativa ($\frac{\epsilon}{D}$), coeficiente de atrito da equação de Hazen-Williams (C) e o coeficiente de atrito da equação de Manning (n), para tubos perfurados por impacto e por processo mecânico, sendo os resultados apresentados nas Tabelas 2, 3, 4, 5, 6 e 7, respectivamente.

A vazão nos testes variou de 0,0129 a 0,003 m^3/s , sendo o valor superior limitado pela vazão da bomba disponível e o inferior pela sensibilidade do processo de medida adotado. A perda de carga variou de valores de aproximadamente 0,23 a 0,006 m/m para os tubos perfurados por impacto e 0,062 a 0,003 para os tubos perfurados mecanicamente. Apesar do uso de um micromanômetro diferencial de mercúrio, os valores de perda de carga mais baixos ficaram prejudicados, devido aos valores de diâmetro elevado, o que resultou em velocidades menores, proporcionando perdas de carga próximas ao limite de sensibilidade do aparelho (0,1 mmHg = 0,0013 m.c.a) para baixas vazões. A velocidade nos testes variou de aproximadamente 1,8 a 0,23 m/s .

Tabela 5 - Valores calculados de Q , h_f , V , Re , f_d , C , n , ϵ/D para tubos perfurados por impacto na faixa 1 de diâmetro.

Q m^3/s	h_f m/m	V m/s	Re adm.	f_d adm.	C adm.	n adm.	ϵ/D m/m
tubo111							
1.29E-02	0.224	1.760	1.85E+05	0.138	48.86	0.0224	0.17
1.17E-02	0.199	1.598	1.68E+05	0.149	47.19	0.0233	0.18
1.07E-02	0.172	1.460	1.53E+05	0.154	46.71	0.0237	0.20
9.87E-03	0.154	1.347	1.41E+05	0.162	45.71	0.0243	0.22
8.91E-03	0.127	1.216	1.28E+05	0.164	45.85	0.0244	0.22
8.32E-03	0.114	1.137	1.19E+05	0.168	45.45	0.0247	0.23
7.77E-03	0.097	1.060	1.11E+05	0.165	46.22	0.0245	0.22
6.67E-03	0.074	0.910	9.55E+04	0.172	45.79	0.0250	0.23
5.39E-03	0.054	0.737	7.73E+04	0.191	44.01	0.0263	0.27
4.18E-03	0.033	0.571	5.99E+04	0.194	44.49	0.0266	0.28
3.00E-03	0.018	0.409	4.30E+04	0.200	45.03	0.0269	0.27
tubo112							
1.29E-02	0.226	1.676	1.80E+05	0.157	45.57	0.0240	0.20
1.17E-02	0.197	1.522	1.64E+05	0.166	44.60	0.0247	0.22
1.07E-02	0.179	1.390	1.50E+05	0.182	42.84	0.0258	0.25
9.87E-03	0.154	1.283	1.38E+05	0.183	42.96	0.0259	0.25
8.91E-03	0.128	1.158	1.25E+05	0.187	42.79	0.0262	0.26
8.32E-03	0.110	1.083	1.16E+05	0.184	43.36	0.0260	0.25
7.77E-03	0.095	1.010	1.09E+05	0.183	43.79	0.0259	0.25
6.67E-03	0.076	0.867	9.32E+04	0.197	42.54	0.0269	0.28
5.39E-03	0.053	0.701	7.54E+04	0.211	41.76	0.0278	0.30
4.18E-03	0.033	0.543	5.84E+04	0.218	41.84	0.0283	0.31
3.00E-03	0.017	0.390	4.19E+04	0.216	43.26	0.0281	0.31
tubo113							
1.29E-02	0.207	1.506	1.71E+05	0.189	41.50	0.0265	0.26
1.17E-02	0.183	1.368	1.55E+05	0.202	40.24	0.0275	0.29
1.07E-02	0.168	1.249	1.42E+05	0.223	38.52	0.0288	0.32
9.87E-03	0.144	1.153	1.31E+05	0.224	38.59	0.0289	0.33
8.91E-03	0.124	1.041	1.18E+05	0.236	37.86	0.0297	0.35
8.32E-03	0.102	0.973	1.10E+05	0.223	39.27	0.0288	0.32
7.77E-03	0.090	0.907	1.03E+05	0.225	39.33	0.0290	0.33
6.67E-03	0.071	0.779	8.84E+04	0.242	38.29	0.0300	0.36
5.39E-03	0.051	0.630	7.15E+04	0.264	37.12	0.0314	0.39
4.18E-03	0.031	0.488	5.54E+04	0.271	37.40	0.0318	0.40
3.00E-03	0.017	0.350	3.98E+04	0.280	37.68	0.0324	0.42

Tabela 6 - Valores calculados de Q , h_f , V , Re , f_d , C , n , ϵ/D para tubos perfurados por impacto na faixa 2 de diâmetro.

Q m^3/s	h_f m/m	V m/s	Re adm.	f_d adm.	C adm.	n adm.	ϵ m
tubo121							
1.29E-02	0.208	1.472	1.69E+05	0.201	40.16	0.0274	0.
1.17E-02	0.195	1.336	1.53E+05	0.228	37.76	0.0292	0.
1.07E-02	0.177	1.220	1.40E+05	0.249	36.31	0.0305	0.
9.87E-03	0.154	1.126	1.29E+05	0.253	36.19	0.0308	0.
8.91E-03	0.132	1.017	1.17E+05	0.266	35.51	0.0316	0.
8.32E-03	0.116	0.950	1.09E+05	0.269	35.52	0.0317	0.
7.77E-03	0.094	0.887	1.02E+05	0.250	37.11	0.0306	0.
6.67E-03	0.079	0.761	8.74E+04	0.284	35.14	0.0326	0.
5.39E-03	0.054	0.616	7.07E+04	0.300	34.70	0.0335	0.
4.18E-03	0.035	0.477	5.48E+04	0.319	34.26	0.0346	0.
3.00E-03	0.015	0.342	3.93E+04	0.372	38.34	0.0319	0.
tubo122							
1.29E-02	0.143	1.338	1.61E+05	0.175	43.32	0.0258	0.
1.17E-02	0.108	1.216	1.46E+05	0.161	45.79	0.0247	0.
1.07E-02	0.091	1.110	1.34E+05	0.163	45.84	0.0249	0.
9.87E-03	0.075	1.025	1.23E+05	0.157	46.95	0.0245	0.
8.91E-03	0.060	0.925	1.11E+05	0.155	47.74	0.0243	0.
8.32E-03	0.049	0.865	1.04E+05	0.145	49.80	0.0235	0.
7.77E-03	0.044	0.806	9.71E+04	0.150	49.14	0.0239	0.
6.67E-03	0.025	0.692	8.33E+04	0.116	57.27	0.0210	0.
5.39E-03	0.018	0.560	6.74E+04	0.124	56.19	0.0217	0.
4.18E-03	0.010	0.434	5.22E+04	0.113	60.07	0.0208	0.
3.00E-03	0.006	0.311	3.75E+04	0.139	55.21	0.0230	0.
tubo123							
1.29E-02	0.215	1.444	1.67E+05	0.218	38.44	0.0286	0.
1.17E-02	0.192	1.312	1.52E+05	0.235	37.15	0.0297	0.
1.07E-02	0.179	1.198	1.39E+05	0.263	35.23	0.0315	0.
9.87E-03	0.146	1.105	1.28E+05	0.252	36.28	0.0308	0.
8.91E-03	0.131	0.998	1.16E+05	0.277	34.78	0.0323	0.
8.32E-03	0.108	0.933	1.08E+05	0.263	35.99	0.0314	0.
7.77E-03	0.092	0.870	1.01E+05	0.256	36.71	0.0310	0.
6.67E-03	0.074	0.747	8.65E+04	0.279	35.46	0.0324	0.
5.39E-03	0.053	0.604	7.00E+04	0.307	34.26	0.0340	0.
4.18E-03	0.033	0.468	5.42E+04	0.313	34.59	0.0343	0.
3.00E-03	0.018	0.336	3.89E+04	0.331	34.52	0.0352	0.

Tabela 7 - Valores calculados de Q , h_f , V , Re , f_d , C , n , ϵ/D , para tubos perfurados por impacto na faixa 3 de diâmetro.

Q m^3/s	h_f m/m	V m/s	Re adm.	f_d adm.	C adm.	n adm.	ϵ/D m/m
tubo131							
1.29E-02	0.120	1.131	1.48E+05	0.224	38.23	0.0296	0.324
1.17E-02	0.098	1.027	1.34E+05	0.221	38.80	0.0294	0.319
1.07E-02	0.079	0.938	1.23E+05	0.214	39.79	0.0289	0.306
9.87E-03	0.070	0.865	1.13E+05	0.223	39.16	0.0295	0.322
8.91E-03	0.053	0.781	1.02E+05	0.208	40.98	0.0285	0.296
8.32E-03	0.046	0.730	9.56E+04	0.206	41.40	0.0284	0.293
7.77E-03	0.039	0.681	8.92E+04	0.199	42.41	0.0279	0.280
6.67E-03	0.025	0.585	7.66E+04	0.173	46.31	0.0260	0.232
5.39E-03	0.017	0.473	6.20E+04	0.176	46.66	0.0263	0.238
4.18E-03	0.010	0.367	4.80E+04	0.173	48.11	0.0260	0.232
3.00E-03	0.006	0.263	3.44E+04	0.224	42.99	0.0296	0.324
tubo132							
1.29E-02	0.113	1.236	1.55E+05	0.169	44.29	0.0256	0.225
1.17E-02	0.101	1.123	1.41E+05	0.182	42.88	0.0265	0.249
1.07E-02	0.082	1.025	1.28E+05	0.178	43.72	0.0262	0.242
9.87E-03	0.073	0.946	1.19E+05	0.186	43.08	0.0267	0.255
8.91E-03	0.055	0.854	1.07E+05	0.171	45.43	0.0257	0.228
8.32E-03	0.048	0.798	1.00E+05	0.171	45.60	0.0257	0.229
7.77E-03	0.040	0.745	9.33E+04	0.164	46.91	0.0252	0.216
6.67E-03	0.026	0.639	8.01E+04	0.146	50.64	0.0237	0.181
5.39E-03	0.016	0.517	6.48E+04	0.139	52.86	0.0232	0.168
4.18E-03	0.009	0.401	5.02E+04	0.134	54.98	0.0228	0.159
3.00E-03	0.007	0.288	3.60E+04	0.184	47.63	0.0266	0.252
tubo133							
1.29E-02	0.119	1.228	1.54E+05	0.181	42.74	0.0264	0.247
1.17E-02	0.094	1.115	1.40E+05	0.174	44.02	0.0259	0.234
1.07E-02	0.076	1.018	1.28E+05	0.167	45.29	0.0254	0.221
9.87E-03	0.069	0.940	1.18E+05	0.178	44.06	0.0262	0.241
8.91E-03	0.053	0.849	1.07E+05	0.170	45.59	0.0256	0.226
8.32E-03	0.045	0.793	9.97E+04	0.163	46.79	0.0251	0.214
7.77E-03	0.037	0.740	9.30E+04	0.156	48.32	0.0245	0.199
6.67E-03	0.022	0.635	7.98E+04	0.126	54.87	0.0220	0.144
5.39E-03	0.014	0.514	6.46E+04	0.125	55.97	0.0220	0.142
4.18E-03	0.009	0.398	5.00E+04	0.125	57.16	0.0220	0.142
3.00E-03	0.005	0.286	3.59E+04	0.150	53.18	0.0241	0.189

Tabela 8 - Valores calculados de Q , h_f , V , Re , f_d , C , n , ϵ/D , para tubos perfurados mecanicamente na faixa 1 de diâmetro.

Q m^3/s	h_f m/m	V m/s	Re adm.	f_d adm	C adm.	n adm.	ϵ/D m/m
tubo211							
1.29E-02	0.062	1.669	1.80E+05	0.044	91.10	0.0126	0.015
1.17E-02	0.050	1.516	1.63E+05	0.043	92.77	0.0125	0.014
1.07E-02	0.043	1.384	1.49E+05	0.044	92.50	0.0126	0.015
9.87E-03	0.037	1.278	1.38E+05	0.044	92.81	0.0127	0.015
8.91E-03	0.030	1.154	1.24E+05	0.044	93.41	0.0127	0.015
8.32E-03	0.026	1.078	1.16E+05	0.043	94.79	0.0126	0.014
7.77E-03	0.023	1.006	1.08E+05	0.045	93.66	0.0128	0.016
6.67E-03	0.017	0.863	9.30E+04	0.045	94.79	0.0128	0.016
5.39E-03	0.012	0.699	7.53E+04	0.047	93.58	0.0132	0.018
4.18E-03	0.007	0.541	5.83E+04	0.044	99.41	0.0127	0.014
3.00E-03	0.004	0.388	4.19E+04	0.052	93.25	0.0138	0.021
tubo212							
1.29E-02	0.055	1.561	1.74E+05	0.045	88.98	0.0130	0.020
1.17E-02	0.046	1.417	1.58E+05	0.046	88.83	0.0131	0.021
1.07E-02	0.039	1.294	1.44E+05	0.046	89.45	0.0131	0.021
9.87E-03	0.034	1.195	1.33E+05	0.048	88.45	0.0134	0.023
8.91E-03	0.028	1.079	1.20E+05	0.049	87.81	0.0136	0.024
8.32E-03	0.024	1.008	1.12E+05	0.048	89.39	0.0134	0.023
7.77E-03	0.022	0.940	1.05E+05	0.050	88.12	0.0136	0.025
6.67E-03	0.016	0.807	9.00E+04	0.049	90.13	0.0135	0.024
5.39E-03	0.011	0.653	7.28E+04	0.052	88.85	0.0139	0.027
4.18E-03	0.006	0.506	5.64E+04	0.044	99.46	0.0128	0.017
3.00E-03	0.003	0.363	4.05E+04	0.051	94.09	0.0138	0.028
tubo213							
1.29E-02	0.056	1.490	1.70E+05	0.051	83.35	0.0139	0.023
1.17E-02	0.046	1.354	1.54E+05	0.052	83.98	0.0139	0.023
1.07E-02	0.038	1.236	1.41E+05	0.052	84.30	0.0140	0.024
9.87E-03	0.034	1.141	1.30E+05	0.054	82.97	0.0142	0.026
8.91E-03	0.028	1.030	1.17E+05	0.054	83.40	0.0143	0.027
8.32E-03	0.024	0.963	1.10E+05	0.053	85.04	0.0141	0.025
7.77E-03	0.022	0.898	1.02E+05	0.056	83.01	0.0145	0.028
6.67E-03	0.015	0.771	8.79E+04	0.054	85.98	0.0142	0.026
5.39E-03	0.011	0.624	7.11E+04	0.058	84.28	0.0147	0.031
4.18E-03	0.005	0.483	5.51E+04	0.045	98.17	0.0130	0.017
3.00E-03	0.003	0.347	3.96E+04	0.050	95.31	0.0137	0.020

Tabela 9 - Valores calculados de Q , h_f , V , Re , f_d , C , n , ϵ/D , para tubos perfurados mecanicamente na faixa 2 de diâmetro.

Q m^3/s	h_f m/m	V m/s	Re adm.	f_d adm.	C adm.	n adm.	ϵ/D m/m
tubo221							
1.29E-02	0.044	1.380	1.64E+05	0.050	84.94	0.0138	0.022
1.17E-02	0.036	1.254	1.49E+05	0.049	86.86	0.0136	0.020
1.07E-02	0.029	1.145	1.36E+05	0.048	88.22	0.0135	0.019
9.87E-03	0.027	1.057	1.25E+05	0.051	85.67	0.0140	0.023
8.91E-03	0.021	0.954	1.13E+05	0.048	89.05	0.0136	0.020
8.32E-03	0.019	0.892	1.06E+05	0.051	86.77	0.0140	0.023
7.77E-03	0.016	0.832	9.86E+04	0.050	88.47	0.0138	0.022
6.67E-03	0.012	0.714	8.46E+04	0.049	90.63	0.0136	0.020
5.39E-03	0.008	0.578	6.85E+04	0.053	88.38	0.0142	0.025
4.18E-03	0.004	0.447	5.30E+04	0.043	101.28	0.0127	0.014
3.00E-03	0.002	0.321	3.81E+04	0.046	100.10	0.0132	0.016
tubo222							
1.29E-02	0.046	1.387	1.64E+05	0.052	83.46	0.0140	0.024
1.17E-02	0.039	1.260	1.49E+05	0.052	83.93	0.0140	0.024
1.07E-02	0.031	1.151	1.36E+05	0.050	85.76	0.0138	0.022
9.87E-03	0.028	1.062	1.26E+05	0.054	83.28	0.0143	0.026
8.91E-03	0.023	0.959	1.13E+05	0.052	85.35	0.0141	0.024
8.32E-03	0.020	0.896	1.06E+05	0.054	84.72	0.0143	0.026
7.77E-03	0.018	0.836	9.88E+04	0.056	83.52	0.0145	0.028
6.67E-03	0.013	0.717	8.48E+04	0.055	85.34	0.0144	0.027
5.39E-03	0.009	0.581	6.86E+04	0.057	84.80	0.0147	0.030
4.18E-03	0.004	0.450	5.32E+04	0.044	99.68	0.0129	0.015
3.00E-03	0.003	0.323	3.82E+04	0.054	91.63	0.0143	0.026
tubo223							
1.29E-02	0.050	1.464	1.68E+05	0.049	86.08	0.0135	0.020
1.17E-02	0.040	1.330	1.53E+05	0.047	88.62	0.0133	0.018
1.07E-02	0.032	1.214	1.40E+05	0.045	91.12	0.0130	0.016
9.87E-03	0.029	1.121	1.29E+05	0.048	88.40	0.0135	0.020
8.91E-03	0.023	1.012	1.16E+05	0.047	89.97	0.0133	0.019
8.32E-03	0.020	0.946	1.09E+05	0.048	90.12	0.0134	0.019
7.77E-03	0.019	0.882	1.02E+05	0.050	88.32	0.0137	0.022
6.67E-03	0.014	0.757	8.71E+04	0.049	90.05	0.0136	0.021
5.39E-03	0.009	0.613	7.05E+04	0.051	89.66	0.0139	0.023
4.18E-03	0.004	0.475	5.46E+04	0.041	103.62	0.0124	0.018
3.00E-03	0.003	0.341	3.92E+04	0.050	95.09	0.0138	0.021

Tabela 10 - Valores calculados de Q , h_f , V , Re , f_d , C , n , ϵ/D , para tubos perfurados mecanicamente na faixa 3 de diâmetro.

Q m^3/s	h_f m/m	V m/s	Re adm.	f_d adm.	C adm.	n adm.	ϵ/D m/m
tubo231							
1.29E-02	0.025	0.983	1.38E+05	0.065	74.48	0.0162	0.041
1.17E-02	0.022	0.893	1.25E+05	0.069	73.01	0.0166	0.046
1.07E-02	0.020	0.815	1.15E+05	0.076	69.80	0.0175	0.057
9.87E-03	0.016	0.753	1.06E+05	0.074	71.37	0.0172	0.053
8.91E-03	0.014	0.679	9.54E+04	0.076	70.91	0.0174	0.057
8.32E-03	0.013	0.635	8.92E+04	0.080	68.94	0.0180	0.064
7.77E-03	0.012	0.592	8.32E+04	0.088	65.93	0.0188	0.077
6.67E-03	0.010	0.508	7.14E+04	0.101	61.94	0.0202	0.100
5.39E-03	0.007	0.411	5.78E+04	0.099	63.83	0.0200	0.096
4.18E-03	0.004	0.319	4.48E+04	0.101	64.58	0.0201	0.099
3.00E-03	0.003	0.229	3.21E+04	0.152	52.67	0.0249	0.197
tubo232							
1.29E-02	0.047	1.134	1.48E+05	0.087	63.65	0.0184	0.075
1.17E-02	0.039	1.030	1.35E+05	0.087	64.17	0.0184	0.074
1.07E-02	0.033	0.940	1.23E+05	0.088	63.88	0.0186	0.078
9.87E-03	0.030	0.868	1.13E+05	0.095	61.87	0.0193	0.089
8.91E-03	0.024	0.784	1.02E+05	0.092	63.46	0.0190	0.084
8.32E-03	0.022	0.732	9.58E+04	0.097	61.89	0.0196	0.093
7.77E-03	0.020	0.683	8.93E+04	0.102	60.19	0.0202	0.104
6.67E-03	0.014	0.586	7.67E+04	0.096	63.42	0.0194	0.091
5.39E-03	0.011	0.474	6.20E+04	0.117	57.69	0.0216	0.131
4.18E-03	0.006	0.368	4.81E+04	0.103	63.36	0.0202	0.103
3.00E-03	0.004	0.264	3.45E+04	0.130	57.58	0.0226	0.152
tubo233							
1.29E-02	0.052	1.228	1.54E+05	0.079	66.63	0.0175	0.062
1.17E-02	0.043	1.115	1.40E+05	0.078	67.64	0.0174	0.061
1.07E-02	0.035	1.018	1.28E+05	0.077	68.66	0.0173	0.059
9.87E-03	0.031	0.940	1.18E+05	0.081	67.44	0.0177	0.064
8.91E-03	0.024	0.849	1.07E+05	0.077	69.48	0.0173	0.059
8.32E-03	0.023	0.793	9.97E+04	0.082	67.80	0.0178	0.067
7.77E-03	0.020	0.740	9.30E+04	0.082	68.20	0.0178	0.066
6.67E-03	0.014	0.635	7.98E+04	0.078	70.89	0.0174	0.060
5.39E-03	0.010	0.514	6.46E+04	0.086	68.36	0.0183	0.073
4.18E-03	0.005	0.398	5.00E+04	0.068	79.27	0.0162	0.044
3.00E-03	0.003	0.286	3.59E+04	0.089	70.57	0.0185	0.077

4.2.1. PERDA DE CARGA NAS TUBULAÇÕES: IMPACTO x MECÂNICO

Os resultados encontrados para a qualidade do acabamento na remoção do nó revelaram uma diferença significativa a nível de 5% a favor dos colmos perfurados mecanicamente. Da mesma forma, a comparação dos resultados experimentais para a perda de carga nos tubos perfurados por impacto e por processo mecânico também revelou uma perda de carga menor dos tubos perfurados mecanicamente.

As Figuras 18, 19 e 20 mostram gráficos de $h_f \times Q$ com os dois processos de perfuração, para as faixas 1, 2 e 3, respectivamente. Percebe-se graficamente que, à medida que a vazão aumenta, a tangente à curva ponto a ponto cresce mais para os tubos perfurados por impacto.

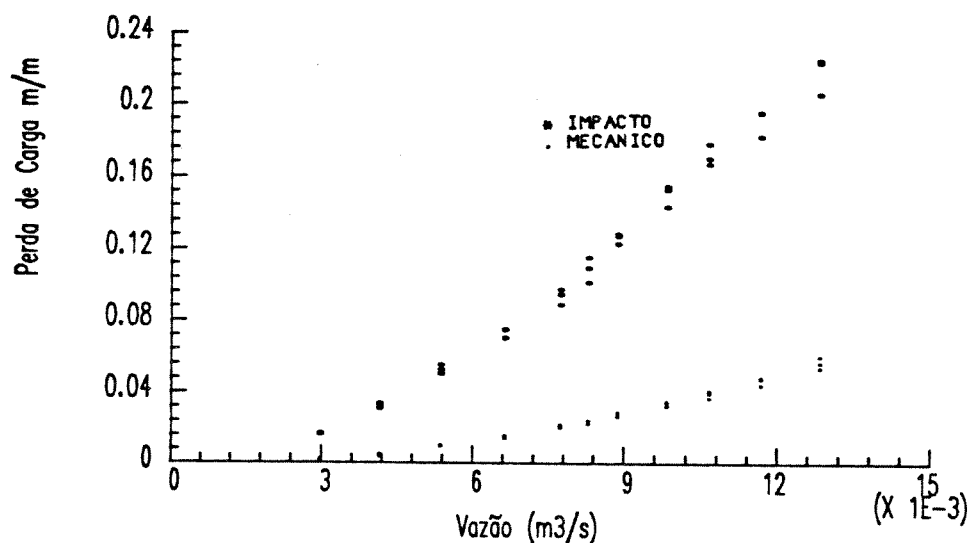


Figura 18 - Gráfico de $h_f \times Q$, comparando a perda de carga entre tubos perfurados mecanicamente e por impacto, para a faixa 1.

Comparando-se o acabamento na faixa 1, por exemplo, nota-se que houve uma redução em média da ordem de quatro vezes em h_f , a favor dos tubos perfurados mecanicamente. Na faixa 2 este valor de redução cai para ao redor de três vezes e meia, com exceção do tubo 122, enquanto na faixa 3 esta relação está ao redor de três vezes. Esta relação de redução cai nas faixas 2 e 3, provavelmente devido ao pior acabamento realizado pelo perfurador mecânico nestas faixas.

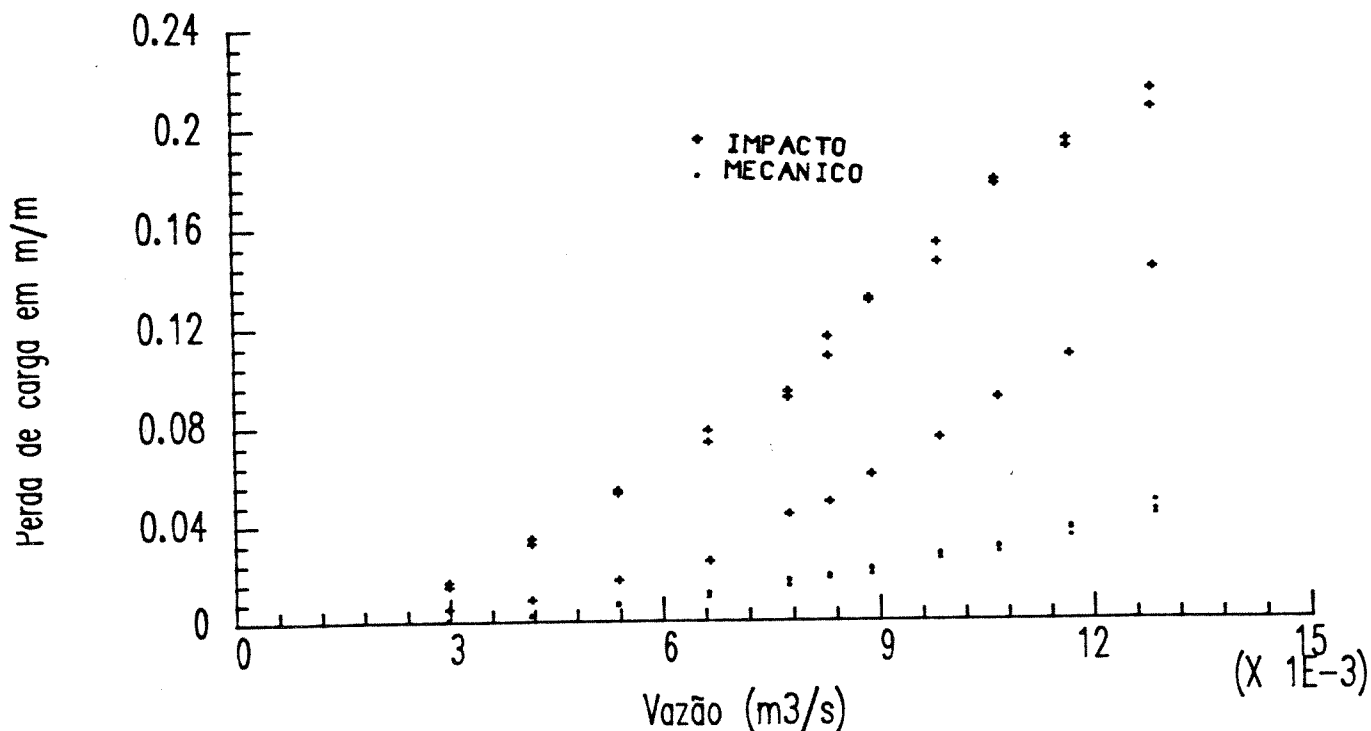


Figura 19 - Gráfico de $h_f \times Q$, comparando a perda de carga entre tubos perfurados mecanicamente e por impacto, para a faixa 2.

Na Figura 19, faixa 2, nota-se que alguns pontos estão com uma perda de carga intermediária entre a região onde se concentra a maioria dos pontos relativos aos tubos perfurados por impacto e a região dos pontos relativos aos tubos perfurados mecanicamente: são os obtidos para o tubo 122. A diferença na perda de carga encontrada entre o tubo 122 e os tubos 121 e 123, deve-se em parte ao melhor acabamento deste tubo, se comparado aos outros dois da mesma faixa, e em parte devido ao maior diâmetro do tubo 122.

Admitindo-se que a perda de carga nas tubulações de bambu é proporcional ao quadrado de Q e inversamente proporcional à quinta potência de \bar{D} , pode-se facilmente deduzir que um aumento de 5% no diâmetro do tubo provocaria uma redução de 21% na perda de carga, mantendo-se constante Q . Tomando-se os vários pontos assumidos pela vazão, nota-se que a redução de h_f do tubo 122 com relação ao tubo 121 foi ao redor de 40% para os valores mais altos de Q e ao redor de 65% para os valores menores assumidos por Q (Tabela 6). Tomando-se o valor teórico de 21% de redução de h_f devido ao aumento em D , podemos concluir com segurança que pelo menos 50% da redução de h_f do tubo 122, comparada aos tubos 121 e 123, foi devido ao melhor acabamento na remoção dos nós do tubo 122.

Com uma análise semelhante pode-se concluir que a diferença em h_f encontrada entre os tubos da faixa 3 perfurados mecanicamente (Figura 20) é devido à variação de D entre os tubos, e não devido a possíveis diferenças no acabamento (Tabela 4). Por exemplo,

pode-se tomar os tubos 231 e 233, onde houve um aumento de 12% em D , do tubo 231 com relação ao tubo 233. Partindo-se da mesma hipótese assumida anteriormente, de que h_f é proporcional ao inverso de D^5 , chega-se a uma redução em h_f ao redor de 56%, do tubo 231 com relação ao tubo 233. Tomando-se os dados experimentais da Tabela 10, nota-se que esta redução para os valores mais altos da vazão ficou ao redor de 50%, decrescendo com a redução da vazão.

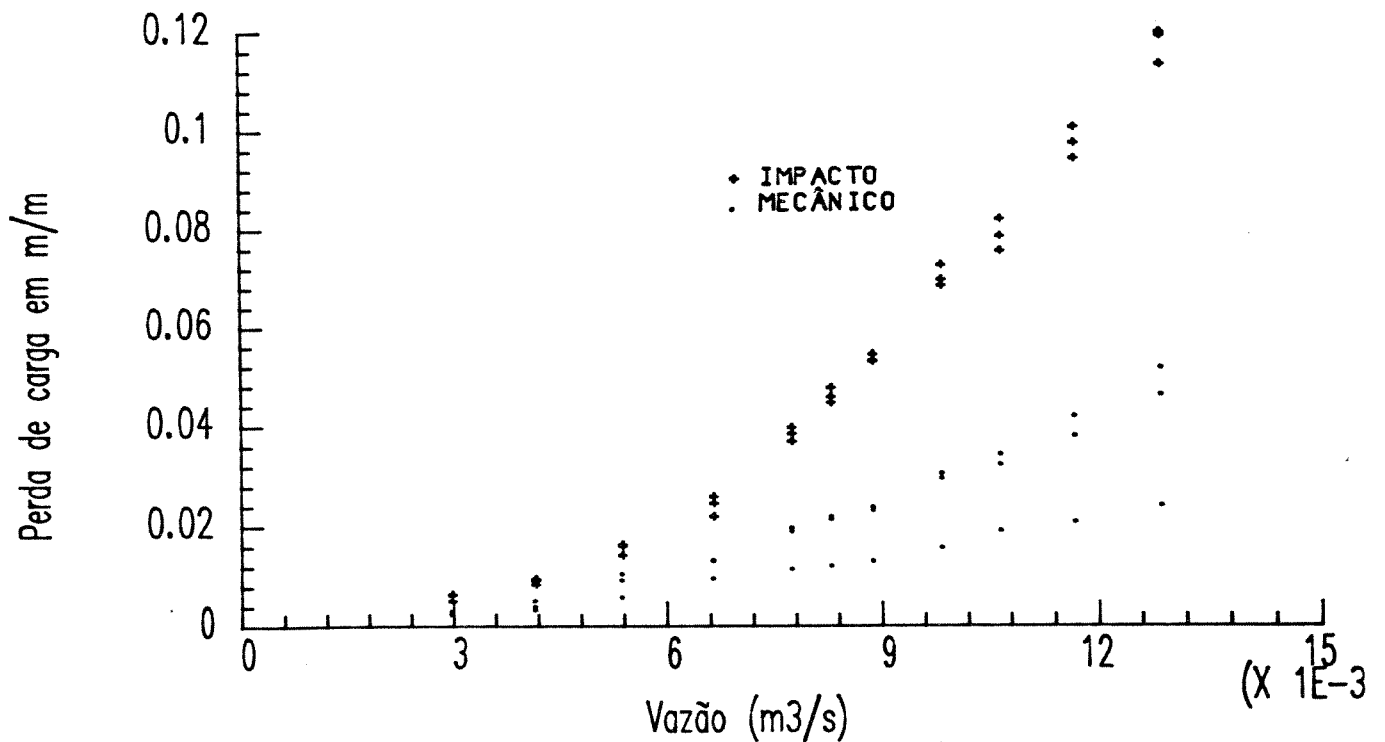


Figura 20 - Gráfico de $h_f \times Q$, comparando a perda de carga entre tubos perfurados mecanicamente e por impacto, para a faixa 3.

4.2.2. ANÁLISE DAS EQUAÇÕES DE PERDA DE CARGA

A Equação Universal de Perda de Carga

O valor do número de Reynolds variou entre $3,20 \times 10^4$ e $1,85 \times 10^5$ nos testes realizados, com valores de f_d experimental variando entre 0,113 a 0,319, para os tubos perfurados por impacto, e 0,041 a 0,150, para tubos perfurados mecanicamente. O valor médio de f_d para os tubos perfurados por impacto foi de 0,21, com um $\sigma = 0,05$, e, para os perfurados mecanicamente, o valor médio foi de 0,063, com $\sigma = 0,02$ (Quadro 4 - anexo 9).

Um gráfico que relaciona os valores de Re com f_d experimental, para tubos perfurados por impacto e por processo mecânico, mostra os pontos e permite visualizar a variação por faixas de diâmetro (Figuras 21 e 22, respectivamente).

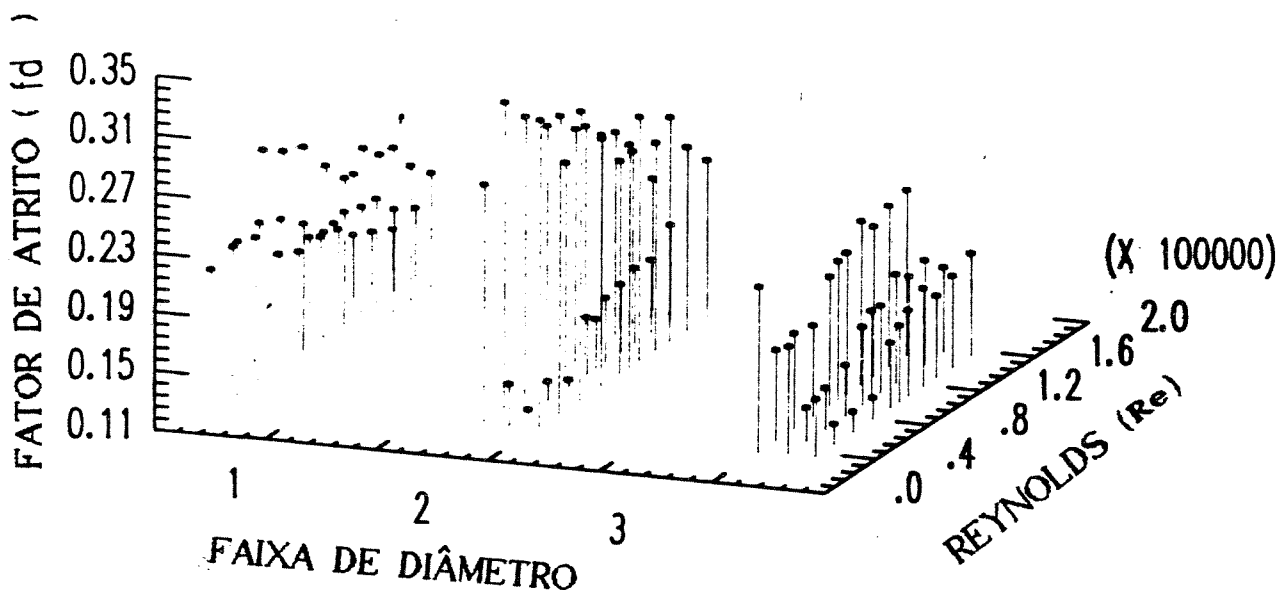


Figura 21 - Gráfico de $f_d \times Re$ para as três faixas de diâmetro de tubos perfurados por impacto.

Pela Figura 21, percebe-se que os valores de f_d experimental variam com Re numa grande faixa, com um desvio padrão alto, não possibilitando o cálculo de um valor médio que seja representativo para os tubos perfurados por impacto, ou seja, que permita estimar com precisão a perda de carga nas tubulações perfuradas por impacto.

Na Figura 22, nota-se uma concentração maior de pontos em torno de f_d variando de 0,04 a 0,06, que são os pontos associados às faixas 1 e 2, ou seja, valores de f_d variando de 0,041 a 0,059. Fazendo uma análise de variância para os valores de f_d para os tubos perfurados mecanicamente, tem-se que, pelo teste de Tukey-HSD - 95%, os valores obtidos para as faixas 1 e 2 são diferentes dos valores obtidos para a faixa 3 (Quadro 5 - anexo 9).

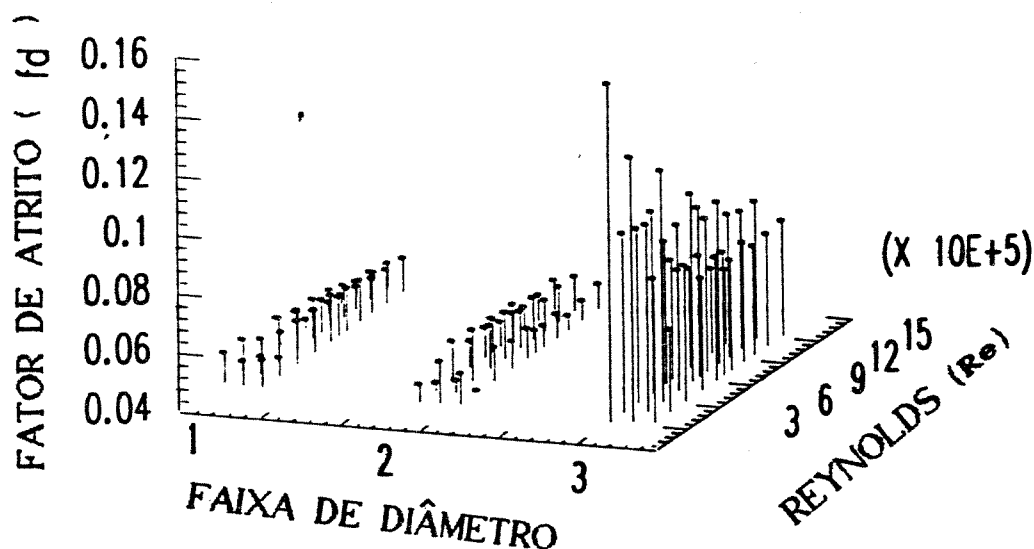


Figura 22 - Gráfico de $f_d \times Re$ para as três faixas de diâmetro de tubos perfurados mecanicamente.

Neste caso, optou-se por desprezar, para efeito de análise da precisão no uso da equação universal de perda de carga, os valores obtidos para a faixa 3, por não atenderem às expectativas de acabamento na perfuração do nó, previstas no projeto do perfurador mecânico, apresentando um acabamento de pior qualidade que os das faixas 1 e 2, como já foi assinalado anteriormente. Os valores da média e desvio padrão de f_d , $\epsilon_{Col.}$ e ϵ_{Hopf} para as faixas 1 e 2 dos tubos perfurados mecanicamente encontram-se na Tabela 11.

Tomando-se o valor médio experimental de $\epsilon_{Col.}$ e ϵ_{Hopf} encontrados na Tabela 11, calculou-se o valor de f_d utilizando-se a equação [17], uma aproximação da equação de Colebrook [12] e a equação de Hopf [13], respectivamente. A partir do valor estimado para f_d , calculou-se o valor da perda de carga teórica ($h_{f,teo}$), utilizando-se a equação [8]. Isto foi feito para as faixas 1 e 2 dos tubos perfurados mecanicamente. Os valores obtidos encontram-se nas Tabelas 12 e 13, respectivamente.

Tabela 11 - Valores da média e desvio padrão para f_d^{exp} , $\epsilon_{Col.}$ e ϵ_{Hopf} dos tubos perfurados mecanicamente nas faixas 1 e 2.

	f_d^{exp} ****	$\epsilon_{Col.}$ m	ϵ_{Hopf} m
Média.....	0.050	0.0022	0.0013
desvio pdr.	0.004	0.0005	0.0003

Tabela 12 - Valores da rugosidade absoluta calculadas pelas equações [12] ($\epsilon_{Col.}$) e [13] (ϵ_{Hopf}), perda de carga experimental ($h_{f,exp.}$) e teórica ($h_{f,teo.}$) para os tubos perfurados mecanicamente na faixa 1.

Re *****	D m	$\epsilon_{Col.}$ m	ϵ_{Hopf} m	$h_{f,exp.}$ m/m	$h_{f,teo.}^1$ m/m	Erro %	$h_{f,teo.}^2$ m/m	Erro %
1.80E+05		0.0015	0.0008	0.062	0.072	14.3	0.072	14.3
1.63E+05		0.0014	0.0007	0.050	0.060	15.9	0.060	15.9
1.49E+05		0.0015	0.0008	0.043	0.050	14.3	0.050	14.3
1.38E+05		0.0015	0.0008	0.037	0.042	13.8	0.042	13.8
1.24E+05		0.0015	0.0008	0.030	0.035	13.5	0.035	13.5
1.16E+05	0.09915	0.0014	0.0008	0.026	0.030	14.9	0.030	14.9
1.08E+05		0.0016	0.0009	0.023	0.026	12.1	0.026	12.1
9.30E+04		0.0016	0.0009	0.017	0.019	12.1	0.019	12.1
7.53E+04		0.0018	0.0010	0.012	0.013	7.0	0.013	7.0
5.83E+04		0.0014	0.0008	0.007	0.008	13.6	0.008	13.6
4.19E+04		0.0023	0.0014	0.004	0.004	2.2	0.004	2.2
1.74E+05		0.0017	0.0010	0.055	0.060	8.2	0.061	9.1
1.58E+05		0.0018	0.0010	0.046	0.049	6.6	0.050	7.5
1.44E+05		0.0018	0.0010	0.039	0.041	6.6	0.042	7.4
1.33E+05		0.0020	0.0011	0.034	0.035	3.4	0.035	4.3
1.20E+05		0.0021	0.0012	0.028	0.029	0.6	0.029	1.6
1.12E+05	0.10254	0.0020	0.0012	0.024	0.025	2.9	0.025	3.8
1.05E+05		0.0022	0.0013	0.022	0.022	0.8	0.022	0.2
9.00E+04		0.0021	0.0012	0.016	0.016	1.1	0.016	2.0
7.28E+04		0.0024	0.0015	0.011	0.011	4.8	0.011	3.8
5.64E+04		0.0015	0.0009	0.006	0.006	13.3	0.006	12.4
4.05E+04		0.0023	0.0014	0.003	0.003	0.9	0.003	2.0
1.70E+05		0.0025	0.0015	0.056	0.053	3.8	0.054	3.6
1.54E+05		0.0025	0.0015	0.046	0.044	3.9	0.044	3.7
1.41E+05		0.0025	0.0015	0.038	0.037	4.6	0.037	4.4
1.30E+05		0.0028	0.0017	0.034	0.031	9.0	0.031	8.8
1.17E+05		0.0028	0.0017	0.028	0.026	9.6	0.026	9.4
1.10E+05	0.10493	0.0026	0.0016	0.024	0.022	6.8	0.022	6.6
1.02E+05		0.0030	0.0019	0.022	0.019	12.9	0.019	12.6
8.79E+04		0.0027	0.0017	0.015	0.014	8.2	0.014	8.0
7.11E+04		0.0032	0.0021	0.011	0.009	15.9	0.009	15.7
5.51E+04		0.0017	0.0010	0.005	0.006	9.2	0.006	9.4
3.96E+04		0.0022	0.0013	0.003	0.003	0.8	0.003	0.6
Média1.....		0.0021	0.0012			8.1		8.2
desvio padrão..		0.0005	0.0004			5.0		4.9

¹O valor de f_d utilizado foi calculado a partir da equação [17] utilizando-se $\epsilon = \bar{\epsilon}_{Col.} = 0.0022$ (média das faixas 1 e 2).

²O valor de f_d utilizado foi calculado a partir da equação [13] utilizando-se $\epsilon = \bar{\epsilon}_{Hopf} = 0.0013$ (média das faixas 1 e 2).

Tabela 13 - Valores da rugosidade absoluta calculadas pelas equações [12] ($\epsilon_{Col.}$) e [13] (ϵ_{Hopf}), perda de carga experimental ($h_{f,exp.}$), e teórica ($h_{f,teo.}$) para os tubos perfurados mecanicamente na faixa 2.

Re *****	D m	$\epsilon_{Col.}$ m	ϵ_{Hopf} m	$h_{f,exp.}$ m/m	$h_{f,teo.}^1$ m/m	Erro %	$h_{f,teo.}^2$ m/m	Err %
1.64E+05		0.0024	0.0014	0.044	0.045	1.2	0.044	1.1
1.49E+05		0.0022	0.0013	0.036	0.036	0.1	0.036	0.1
1.36E+05		0.0021	0.0012	0.029	0.030	1.4	0.030	2.1
1.25E+05		0.0025	0.0015	0.027	0.025	5.3	0.026	4.1
1.13E+05		0.0022	0.0012	0.021	0.021	0.4	0.021	1.1
1.06E+05	0.109037	0.0025	0.0015	0.019	0.018	5.6	0.018	4.1
9.86E+04		0.0023	0.0014	0.016	0.016	2.9	0.016	1.1
8.46E+04		0.0022	0.0013	0.012	0.012	0.7	0.012	0.1
6.85E+04		0.0027	0.0016	0.008	0.008	8.9	0.008	7.1
5.30E+04		0.0015	0.0008	0.004	0.005	13.8	0.005	13.1
3.81E+04		0.0018	0.0010	0.002	0.002	7.5	0.002	6.1
1.64E+05		0.0026	0.0015	0.046	0.044	6.2	0.044	5.1
1.49E+05		0.0026	0.0015	0.039	0.036	6.6	0.037	5.1
1.36E+05		0.0024	0.0014	0.031	0.030	3.8	0.030	2.1
1.26E+05		0.0029	0.0017	0.028	0.026	11.0	0.026	9.1
1.13E+05		0.0026	0.0016	0.023	0.021	7.7	0.021	6.1
1.06E+05	0.108762	0.0028	0.0017	0.020	0.018	10.3	0.018	9.1
9.88E+04		0.0031	0.0019	0.018	0.016	14.4	0.016	13.1
8.48E+04		0.0029	0.0018	0.013	0.012	12.5	0.012	11.1
6.86E+04		0.0033	0.0021	0.009	0.008	17.5	0.008	16.1
5.32E+04		0.0016	0.0009	0.004	0.005	11.3	0.005	10.1
3.82E+04		0.0028	0.0018	0.003	0.002	8.9	0.002	9.1
1.68E+05		0.0021	0.0012	0.050	0.051	2.1	0.051	2.1
1.53E+05		0.0019	0.0011	0.040	0.042	5.8	0.042	5.1
1.40E+05		0.0017	0.0010	0.032	0.035	9.3	0.035	9.1
1.29E+05		0.0021	0.0012	0.029	0.030	2.9	0.030	2.1
1.16E+05		0.0020	0.0011	0.023	0.024	4.6	0.024	4.1
1.09E+05	0.105875	0.0020	0.0011	0.020	0.021	3.9	0.021	3.1
1.02E+05		0.0023	0.0013	0.019	0.019	0.8	0.019	0.1
8.71E+04		0.0022	0.0013	0.014	0.014	0.5	0.014	0.1
7.05E+04		0.0024	0.0015	0.009	0.009	3.5	0.009	3.1
5.46E+04		0.0013	0.0007	0.004	0.005	17.7	0.005	17.1
3.92E+04		0.0022	0.0014	0.003	0.003	1.4	0.003	1.1
Média2.....		0.0023	0.0014			6.4		6.1
desvio padrão.....		0.0001	0.00007			5.0		4.1

¹O valor de f_d utilizado foi calculado a partir da equação [17] utilizando-se $\epsilon = \bar{\epsilon}_{Col.} = 0.0022$ (média das faixas 1 e 2).

²O valor de f_d utilizado foi calculado a partir da equação [13] utilizando-se $\epsilon = \bar{\epsilon}_{Hopf} = 0.0013$ (média das faixas 1 e 2).

A rugosidade relativa experimental média para as faixas 1 e 2 dos tubos perfurados mecanicamente, Tabela 11, obtida através da equação [13], $\bar{\epsilon}_{Hopf}$ foi inferior à obtida através da equação [12], $\bar{\epsilon}_{Col.}$ De qualquer modo, os dois valores obtidos são altos comparados a materiais convencionais como alumínio, PVC, polietileno, etc

Tomando-se os valores de rugosidade estimados pela equação [13] e [17] e comparando-os com os valores da Tabela 1, nota-se que os valores encontrados para $\bar{\epsilon}_{Hopf}$ estão na faixa de rugosidade encontrada para superfícies novas em concreto ordinário (0.0010 - 0.0020), enquanto que $\bar{\epsilon}_{Col.}$ é superior a todas as superfícies novas encontradas na Tabela 1, e inferior a superfícies velhas em ferro fundido (0.0030 - 0.0050), superfícies de manilha cerâmica (~ 0.0030) e superfícies de ferro forjado (~ 0.0024).

Validade da Equação Universal de Perda de Carga

O erro relativo resultante do cálculo da perda de carga para as faixas 1 e 2 dos tubos perfurados mecanicamente, utilizando-se a equação Colebrook [17] para estimar f_d , apresentou um valor máximo de 17.7% e mínimo de 0.1%. Utilizando-se a equação de Hopf [13], apresentou um valor máximo de 17.7% e mínimo de 0.5%. O valor médio para erro encontrado para as duas equações mostrou-se satisfatório, levando-se em conta a natureza do material utilizado no trabalho, ficando abaixo de 10% nos dois casos. Devido à

simplicidade no uso, a equação de Hopf foi a mais recomendada na estimativa do valor de f_d .

Equações Empíricas

- Equação de *Hazen Williams*

Os valores experimentais obtidos para o coeficiente de Hazen-Williams, C , para os tubos perfurados por impacto, variaram de 34,3 a 60,1, com um valor médio de 43,2 e $\sigma = 6,0$. Para os tubos perfurados mecanicamente, os valores variaram de 52,7 a 103,6, com um valor médio de 81,5 e $\sigma = 12,1$.

O valor médio de $C = 43,2$, encontrado para os bambus perfurados por impacto, está abaixo dos valores encontrados em (IPSED, 1966) e (UNIVERSITY DAR ES SALAAM, 1979), $C = 60$, e (LIPANGILE, 1988), $C = 75$, o que, provavelmente, revela uma pior condição no acabamento do nó do que os da literatura.

Os gráficos que relacionam os valores de Re com C , para tubos perfurados por impacto e por processo mecânico, mostram os pontos obtidos e permitem visualizar a variação por faixas de diâmetro (Figuras 23 e 24, respectivamente).

Pela Figura 23, nota-se que os valores de C obtidos experimentalmente variam aleatoriamente com Re , sendo que os valores obtidos para o tubo 122 apresentaram coeficientes superestimados, comparados aos outros tubos perfurados por

impacto, devido ao melhor acabamento deste tubo na perfuração dos nós, conforme explicado anteriormente.

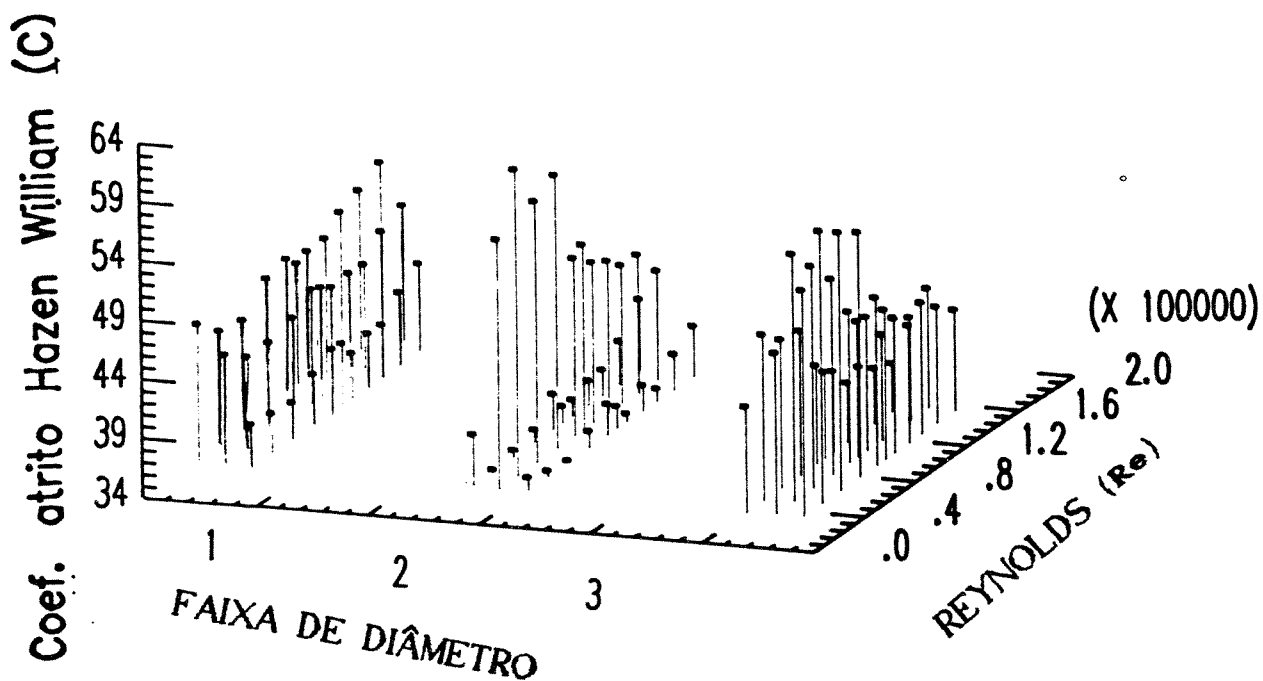


Figura 23 - Gráfico de $C \times Re$ para as três faixas de diâmetro de tubos perfurados por impacto.

Na Figura 24, nota-se uma concentração maior de pontos em torno de C entre os valores de 80 e 100, que são os pontos associados às faixas 1 e 2 dos tubos perfurados mecanicamente, ou seja, valores de C variando de 83,2 a 103,6. Temos um valor médio de $C = 89,2$ com $\sigma = 5,14$, para as faixas 1 e 2.

Fazendo-se uma análise de variância do valor de C por faixas, dos tubos perfurados mecanicamente, nota-se diferença significativa

nível de 5% entre o valor médio calculado para as faixas 1 e 2 e o valor médio calculado para a faixa 3 (Quadro 6 - anexo 9). Neste caso, como no caso anterior para o coeficiente de atrito, optou-se por desprezar, para efeito da análise das equações de perda de carga, os valores obtidos para a faixa 3 dos tubos perfurados mecanicamente.

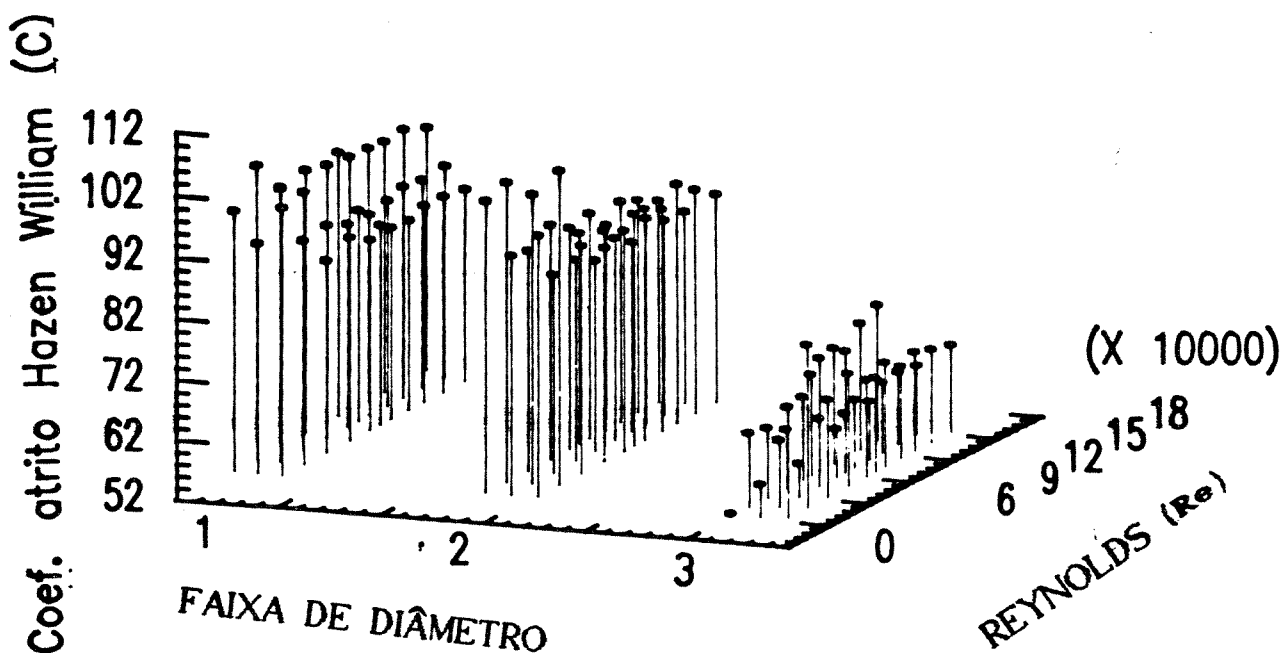


Figura 24 - Gráfico de $C \times Re$ para as três faixas de diâmetros de tubos perfurados mecanicamente.

Com relação aos bambus perfurados pelo processo mecânico, o valor médio estimado, $C = 89$, está acima do encontrado em (UNIVERSITY DAR ES SALAAM, 1979), $C = 70$ e , e aproximadamente igual ao

recomendado em (LIPANGILE, 1988), $C = 90$. Neste último, a capacidade da bomba limitou os testes a vazão de 14 l/s, limitação também encontrada nos testes realizados no presente trabalho, em que a vazão esteve limitada a aproximadamente 13 l/s.

Comparado com outros materiais, o valor de C , estimado para as tubulações perfuradas mecanicamente, é da ordem do valor usado para ferro fundido (em uso), $C = 90$, o menor valor encontrado na Tabela 2, o que revela que as tubulações de bambu perfuradas mecanicamente, se comparadas a outros materiais utilizados em tubulações, devem ser classificadas como tubos rugosos.

- Equação de Manning

Os valores experimentais obtidos para o coeficiente de Manning, n , para os tubos perfurados por impacto, variaram de 0,0208 a 0,0347, com um valor médio de 0,0273 e $\sigma = 0,00334$. Para os tubos perfurados mecanicamente, os valores variaram de 0,0124 a 0,0250, com um valor médio de 0,0154 e $\sigma = 0,00267$.

O valor médio de $n = 0,0273$, encontrado para os bambus perfurados por impacto, está acima do valor encontrados em (LIPANGILE, 1988), $n = 0,016$, o que, provavelmente, revela uma pior condição no acabamento do nó do que os bambus perfurados neste estudo.

Um gráfico que relaciona os valores de Re com n , para tubos perfurados por impacto e por processo mecânico, mostra os pontos obtidos e permite visualizar a variação por faixas de diâmetro

(Figuras 25 e 26, respectivamente).

Pela Figura 25, nota-se que os valores de n obtidos experimentalmente variam aleatoriamente com Re , sendo que os valores obtidos para o tubo 122 apresentaram coeficientes subestimados, comparados aos outros tubos perfurados por impacto, devido ao melhor acabamento deste tubo na perfuração dos nós, conforme explicado anteriormente.

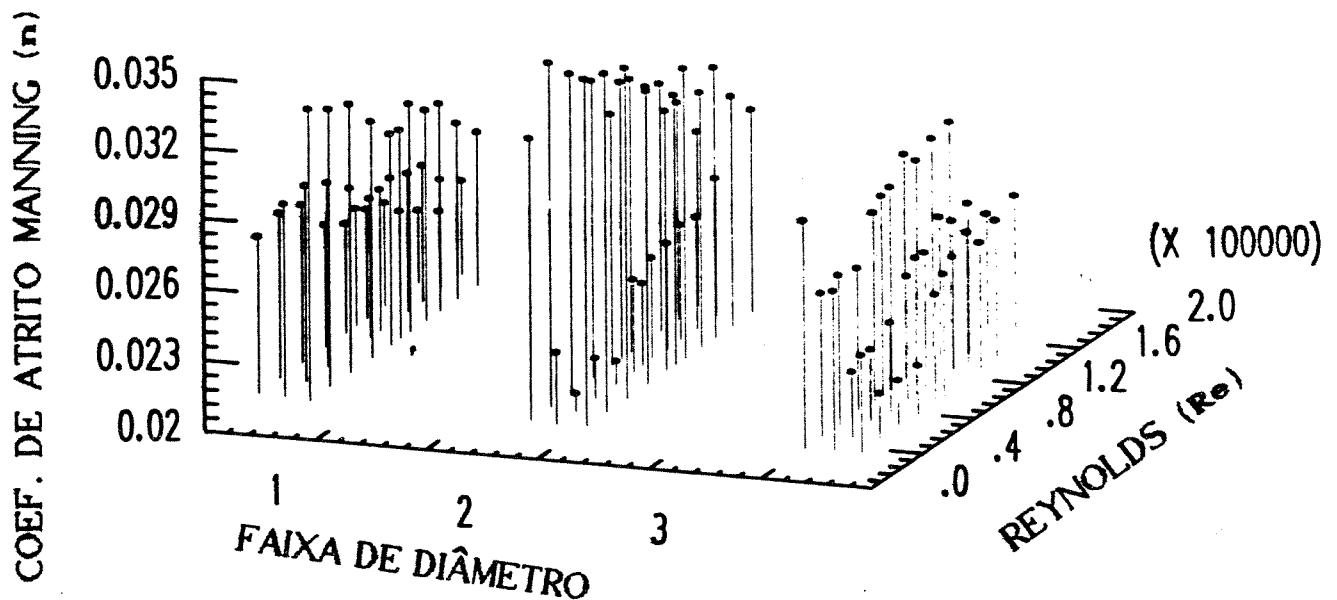


Figura 25 - Gráfico de $n \times Re$ para as três faixas de diâmetro de tubos perfurados por impacto.

Na Figura 26, assim como com os valores de f_d e C , os pontos

associados às faixas 1 e 2 dos tubos perfurados mecanicamente se aglutinaram em torno de n na faixa de 0,0124 a 0,0148. Fazendo uma análise de variância de n , nota-se diferença significativa a nível de 5% entre o valor médio calculado para as faixas 1 e 2 e o valor médio calculado para a faixa 3 (ver Quadro 7, anexo 9). Como no caso anterior para C , optou-se por não considerar os valores da faixa 3 no cálculo do valor médio de n para os tubos perfurados mecanicamente. Neste caso, temos um novo valor médio de $n = 0,0137$, com $\sigma = 0,00060$.

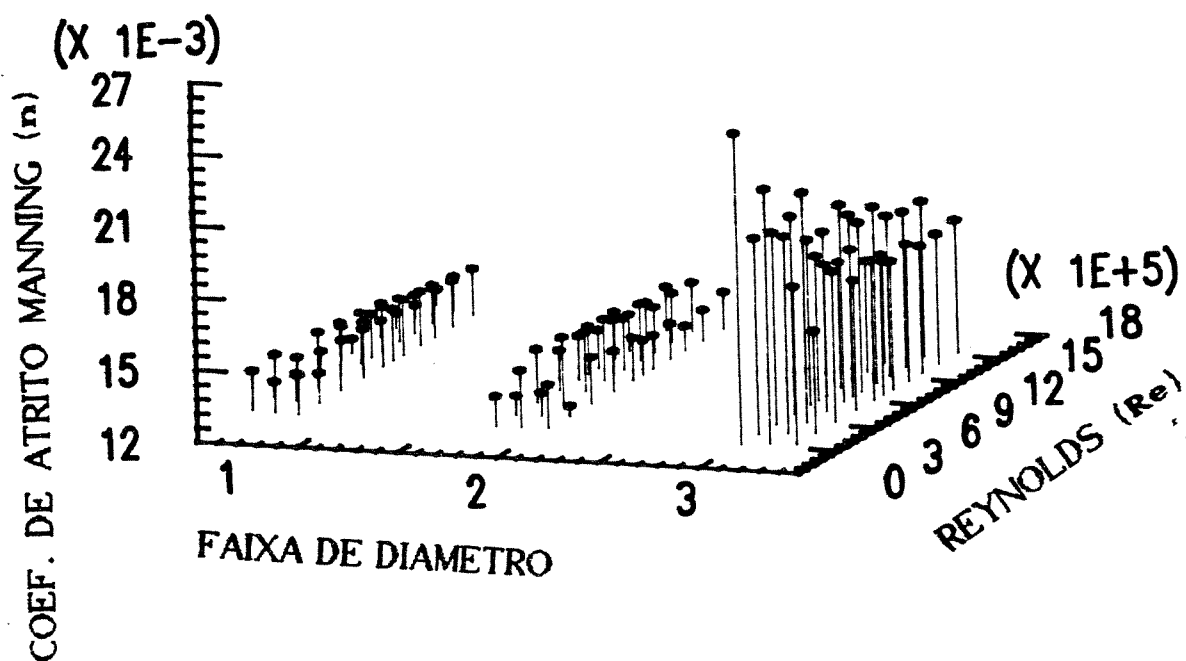


Figura 26 - Gráfico de $n \times Re$ para as três faixas de diâmetro de tubos perfurados mecanicamente.

Com relação aos bambus perfurados pelo processo mecânico, o valor médio encontrado, $n = 0,0136$, é próximo ao encontrado em (LIPANGILE, 1988), $n = 0,0130$. Logo, pode-se concluir que, apesar de não se atingir uma diferença entre o raio da contração do nó e o raio do entrenó menor que 0,1 cm, o acabamento conseguido nos experimentos pode ser considerado com boa remoção ("bom nó").

Comparado com outros materiais, o valor de n encontrado para os tubos perfurados mecanicamente foi da ordem do valor usado para ferro fundido (em uso), $n = 0.0014$, o maior valor encontrado na Tabela 3, o que classifica-o como um tubo rugoso.

-Comparação das Equações Empíricas

Tomando-se o valor médio de C e n , para os tubos perfurados por impacto e para as faixas 1 e 2 dos tubos perfurados mecanicamente, estimou-se através das equações empíricas [20] e [21], respectivamente, a perda de carga nas tubulações de bambu. Os valores encontram-se nas Tabelas 14, 15, 16, 17, 18.

Não se notou diferença, na estimativa da perda de carga para os tubos perfurados mecanicamente, entre as equações de *Hazen-Williams*, *Manning* e a equação de *Darcy -Weisbach*.

Para os tubos perfurados por impacto, não houve diferença na estimativa entre as equações empíricas de *Hazen-Williams* e *Manning*. As faixas 1 e 3 apresentaram um erro menor na estimativa do que a faixa 2.

Tabela 14 - Valores da vazão, Q, perda de carga experimental, $h_{f,exp.}$, diâmetro, D, perda de carga teórica, $h_{f,teo.}$, e erro relativo, ERRO, para os tubos perfurados por impacto, na faixa 1.

Q	$h_{f,exp.}$	D	$h_{f,teo.}^1$ com C	ERRO	$h_{f,teo.}^2$ com \bar{n}	ERRO
m^3/s	m/m	m	m/m	%	m/m	%
faixa 1						
1.29E-02	0.224	0.09656	0.280	20.1	0.348	35.8
1.17E-02	0.199	0.09656	0.234	14.8	0.287	30.5
1.07E-02	0.172	0.09656	0.198	13.2	0.239	28.2
9.87E-03	0.154	0.09656	0.171	9.6	0.204	24.4
8.91E-03	0.127	0.09656	0.141	10.1	0.166	23.6
8.32E-03	0.114	0.09656	0.125	8.6	0.145	21.6
7.77E-03	0.097	0.09656	0.110	11.4	0.126	23.2
6.67E-03	0.074	0.09656	0.083	9.8	0.093	20.1
5.39E-03	0.054	0.09656	0.056	2.9	0.061	11.2
4.18E-03	0.033	0.09656	0.035	4.8	0.037	9.6
3.00E-03	0.018	0.09656	0.019	6.9	0.019	7.1
1.29E-02	0.226	0.09895	0.248	9.1	0.306	26.1
1.17E-02	0.197	0.09895	0.208	5.4	0.252	22.0
1.07E-02	0.179	0.09895	0.176	1.9	0.210	14.8
9.87E-03	0.154	0.09895	0.151	1.4	0.179	14.2
8.91E-03	0.128	0.09895	0.125	2.2	0.146	12.2
8.32E-03	0.110	0.09895	0.111	0.3	0.127	13.5
7.77E-03	0.095	0.09895	0.097	2.1	0.111	14.2
6.67E-03	0.076	0.09895	0.073	3.3	0.082	7.3
5.39E-03	0.053	0.09895	0.050	6.9	0.054	1.0
4.18E-03	0.033	0.09895	0.031	6.6	0.032	2.4
3.00E-03	0.017	0.09895	0.017	0.3	0.017	1.2
1.29E-02	0.207	0.10439	0.191	8.0	0.230	9.9
1.17E-02	0.183	0.10439	0.160	14.4	0.189	3.3
1.07E-02	0.168	0.10439	0.135	24.0	0.158	6.3
9.87E-03	0.144	0.10439	0.117	23.6	0.135	7.2
8.91E-03	0.124	0.10439	0.097	28.1	0.110	12.8
8.32E-03	0.102	0.10439	0.085	19.8	0.096	6.5
7.77E-03	0.090	0.10439	0.075	19.4	0.083	7.3
6.67E-03	0.071	0.10439	0.056	25.5	0.061	15.4
5.39E-03	0.051	0.10439	0.038	33.0	0.040	26.1
4.18E-03	0.031	0.10439	0.024	31.2	0.024	29.2
3.00E-03	0.017	0.10439	0.013	29.5	0.012	34.0
ERRO MÉDIO				12.4	15.8	
DESVIÔ PDR.				9.7	9.8	

¹ O valor de C utilizado no cálculo de $h_{f,teo.}$ foi 43.0 com σ 6.4, correspondente à média das faixas 1, 2 e 3.

² O valor de \bar{n} utilizado no cálculo de $h_{f,teo.}$ foi 0.027 com σ 0.004, correspondente à média das faixas 1, 2 e 3.

Tabela 15 - Valores da vazão, Q , perda de carga experimental, $h_{f,exp.}$, diâmetro, D , perda de carga teórica, $h_{f,teo.}$, e erro relativo, ERRO, para os tubos perfurados por impacto, na faixa 2.

Q m ³ /s	$h_{exp.}$ m/m	D com C		$h_{teo.}^1$ com n		ERRO	
		m	m/m	%	m/m	%	
faixa 2							
1.29E-02	0.208	0.10560	0.181	14.8	0.216	3.8	
1.17E-02	0.195	0.10560	0.151	28.7	0.178	9.4	
1.07E-02	0.177	0.10560	0.128	38.4	0.149	19.2	
9.87E-03	0.154	0.10560	0.110	39.2	0.127	21.4	
8.91E-03	0.132	0.10560	0.091	44.2	0.103	27.6	
8.32E-03	0.116	0.10560	0.081	44.2	0.090	28.9	
7.77E-03	0.094	0.10560	0.071	32.9	0.078	20.1	
6.67E-03	0.079	0.10560	0.053	47.1	0.058	36.0	
5.39E-03	0.054	0.10560	0.036	50.6	0.038	43.7	
4.18E-03	0.035	0.10560	0.022	54.3	0.023	52.8	
3.00E-03	0.015	0.10560	0.012	25.4	0.012	30.4	
1.29E-02	0.143	0.11073	0.144	0.2	0.168	14.5	
1.17E-02	0.108	0.11073	0.120	10.0	0.138	21.7	
1.07E-02	0.091	0.11073	0.102	10.1	0.115	20.8	
9.87E-03	0.075	0.11073	0.088	14.0	0.098	23.4	
8.91E-03	0.060	0.11073	0.073	16.6	0.080	24.5	
8.32E-03	0.049	0.11073	0.064	22.8	0.070	29.5	
7.77E-03	0.044	0.11073	0.056	20.9	0.061	27.0	
6.67E-03	0.025	0.11073	0.042	40.4	0.045	43.7	
5.39E-03	0.018	0.11073	0.029	38.3	0.029	39.8	
4.18E-03	0.010	0.11073	0.018	45.4	0.018	44.7	
3.00E-03	0.006	0.11073	0.010	36.2	0.009	32.1	
1.29E-02	0.215	0.10660	0.173	24.5	0.205	4.8	
1.17E-02	0.192	0.10660	0.145	32.6	0.169	13.2	
1.07E-02	0.179	0.10660	0.122	46.3	0.141	26.6	
9.87E-03	0.146	0.10660	0.105	38.6	0.120	21.3	
8.91E-03	0.131	0.10660	0.087	49.8	0.098	33.2	
8.32E-03	0.108	0.10660	0.077	40.7	0.086	26.4	
7.77E-03	0.092	0.10660	0.068	35.6	0.075	23.1	
6.67E-03	0.074	0.10660	0.051	44.7	0.055	34.3	
5.39E-03	0.053	0.10660	0.034	54.2	0.036	47.7	
4.18E-03	0.033	0.10660	0.021	51.6	0.022	50.8	
3.00E-03	0.018	0.10660	0.012	54.9	0.011	61.9	
ERRO MÉDIO			34.8		29.0		
DESVIO PDR.			14.4		13.4		

¹ O valor de C utilizado no cálculo de $h_{f,teo.}$ foi 43.0 com $\sigma = 6.4$, correspondente à média das faixas 1, 2 e 3.

² O valor de \bar{n} utilizado no cálculo de $h_{f,teo.}$ foi 0.027 com $\sigma = 0.004$, correspondente à média das faixas 1, 2 e 3.

Tabela 16 - Valores da vazão, Q , perda de carga experimental, $h_{f,exp.}$, diâmetro, D , perda de carga teórica, $h_{f,teo.}$, e erro relativo, ERRO, para os tubos perfurados por impacto, na faixa 3.

Q	$h_{exp.}$	D	$h_{teo.}^1$	ERRO _f	$h_{teo.}^2$	ERRO
m^3/s	m/m	m	m/m	%	m/m	%
faixa 3						
		com C	com n			
1.29E-02	0.120	0.12048	0.095	25.8	0.107	12.0
1.17E-02	0.098	0.12048	0.080	22.4	0.088	10.6
1.07E-02	0.079	0.12048	0.067	16.8	0.074	7.0
9.87E-03	0.070	0.12048	0.058	20.3	0.063	11.5
8.91E-03	0.053	0.12048	0.048	10.7	0.051	4.1
8.32E-03	0.046	0.12048	0.042	8.6	0.045	3.2
7.77E-03	0.039	0.12048	0.037	3.9	0.039	0.2
6.67E-03	0.025	0.12048	0.028	11.7	0.029	13.3
5.39E-03	0.017	0.12048	0.019	12.9	0.019	11.7
4.18E-03	0.010	0.12048	0.012	17.6	0.011	13.3
3.00E-03	0.006	0.12048	0.006	1.5	0.006	12.2
1.29E-02	0.113	0.11521	0.118	4.2	0.136	16.4
1.17E-02	0.101	0.11521	0.099	1.7	0.112	10.0
1.07E-02	0.082	0.11521	0.084	1.9	0.093	11.9
9.87E-03	0.073	0.11521	0.072	0.9	0.080	8.4
8.91E-03	0.055	0.11521	0.060	8.6	0.065	15.7
8.32E-03	0.048	0.11521	0.053	9.2	0.057	15.4
7.77E-03	0.040	0.11521	0.046	13.8	0.049	18.9
6.67E-03	0.026	0.11521	0.035	25.2	0.036	28.0
5.39E-03	0.016	0.11521	0.024	30.8	0.024	31.3
4.18E-03	0.009	0.11521	0.015	35.7	0.014	33.7
3.00E-03	0.007	0.11521	0.008	16.1	0.007	9.1
1.29E-02	0.119	0.11561	0.116	2.3	0.133	10.6
1.17E-02	0.094	0.11561	0.097	3.1	0.110	14.1
1.07E-02	0.076	0.11561	0.082	8.0	0.092	17.4
9.87E-03	0.069	0.11561	0.071	3.3	0.078	12.0
8.91E-03	0.053	0.11561	0.059	9.2	0.064	16.1
8.32E-03	0.045	0.11561	0.052	13.4	0.056	19.2
7.77E-03	0.037	0.11561	0.046	18.4	0.048	23.1
6.67E-03	0.022	0.11561	0.034	35.5	0.036	37.8
5.39E-03	0.014	0.11561	0.023	37.8	0.023	38.1
4.18E-03	0.009	0.11561	0.014	40.1	0.014	38.2
3.00E-03	0.005	0.11561	0.008	31.5	0.007	25.7
ERRO MÉDIO			15.2		16.7	
DESVIO PDR.			11.7		9.9	

¹ O valor de C utilizado no cálculo de $h_{f,teo.}$ foi 43.0 com $\sigma = 6.4$, correspondente à média das faixas 1, 2 e 3.

² O valor de \bar{n} utilizado no cálculo de $h_{f,teo.}$ foi 0.027 com $\sigma = 0.004$, correspondente à média das faixas 1, 2 e 3.

Tabela 17 - Valores da vazão, Q , perda de carga experimental, $h_{f,exp.}$, diâmetro, D , perda de carga teórica, $h_{f,teo.}$, e erro relativo, ERRO, para os tubos perfurados mecanicamente, na faixa 1.

Q m ³ /s	$h_{exp.}$ m/m	D m		$h_{teo.}^1$ m/m		$h_{teo.}^2$ m/m	
		com C	com n	ERRO _f %	ERRO _f %		
faixa 1							
1.29E-02	0.062	0.09915	0.063	1.0	0.076	17.9	
1.17E-02	0.050	0.09915	0.052	4.2	0.062	19.4	
1.07E-02	0.043	0.09915	0.044	3.7	0.052	17.9	
9.87E-03	0.037	0.09915	0.038	4.3	0.044	17.4	
8.91E-03	0.030	0.09915	0.032	5.4	0.036	17.1	
8.32E-03	0.026	0.09915	0.028	7.9	0.032	18.5	
7.77E-03	0.023	0.09915	0.025	5.8	0.027	15.8	
6.67E-03	0.017	0.09915	0.018	7.9	0.020	15.8	
5.39E-03	0.012	0.09915	0.012	5.6	0.013	11.0	
4.18E-03	0.007	0.09915	0.008	15.6	0.008	17.3	
3.00E-03	0.004	0.09915	0.004	4.9	0.004	2.4	
1.29E-02	0.055	0.10254	0.053	3.5	0.063	12.9	
1.17E-02	0.046	0.10254	0.045	3.8	0.052	11.3	
1.07E-02	0.039	0.10254	0.038	2.5	0.043	11.3	
9.87E-03	0.034	0.10254	0.032	4.6	0.037	8.3	
8.91E-03	0.028	0.10254	0.027	6.1	0.030	5.6	
8.32E-03	0.024	0.10254	0.024	2.7	0.026	7.8	
7.77E-03	0.022	0.10254	0.021	5.4	0.023	4.3	
6.67E-03	0.016	0.10254	0.016	1.1	0.017	6.1	
5.39E-03	0.011	0.10254	0.011	3.9	0.011	0.5	
4.18E-03	0.006	0.10254	0.007	15.6	0.007	16.0	
3.00E-03	0.003	0.10254	0.004	6.5	0.003	0.8	
1.29E-02	0.056	0.10493	0.048	16.8	0.056	0.6	
1.17E-02	0.046	0.10493	0.040	15.2	0.046	0.6	
1.07E-02	0.038	0.10493	0.034	14.4	0.038	0.1	
9.87E-03	0.034	0.10493	0.029	17.8	0.033	4.3	
8.91E-03	0.028	0.10493	0.024	16.7	0.027	4.9	
8.32E-03	0.024	0.10493	0.021	12.6	0.023	2.2	
7.77E-03	0.022	0.10493	0.019	17.7	0.020	8.0	
6.67E-03	0.015	0.10493	0.014	10.4	0.015	3.6	
5.39E-03	0.011	0.10493	0.009	14.6	0.010	10.9	
4.18E-03	0.005	0.10493	0.006	13.6	0.006	13.1	
3.00E-03	0.003	0.10493	0.003	8.7	0.003	1.6	
ERRO MÉDIO				8.5			
DESVIO PDR.				5.4			
					9.0		
					6.4		

¹ O valor de C utilizado no cálculo de $h_{f,teo.}$ foi 90.0 com $\sigma = 5.0$, correspondente à média das faixas 1 e 2.

² O valor de \bar{n} utilizado no cálculo de $h_{f,teo.}$ foi 0.014 com $\sigma = 0.001$, correspondente à média das faixas 1 e 2.

Tabela 18 - Valores da vazão, Q, perda de carga experimental, $h_{f,exp.}$, diâmetro, D, perda de carga teórica, $h_{f,teo.}^1$, e erro relativo, ERRO, para os tubos perfurados mecanicamente, na faixa 2.

Q	$h_{f,exp.}$	D	$h_{f,teo.}^1$	ERRO	$h_{f,teo.}^2$	ERRO
		com C	com n			
m ³ /s	m/m	m	m/m	%	m/m	%
faixa 2						
1.29E-02	0.044	0.10904	0.039	12.7	0.046	2.3
1.17E-02	0.036	0.10904	0.033	8.2	0.038	4.9
1.07E-02	0.029	0.10904	0.028	5.1	0.031	6.3
9.87E-03	0.027	0.10904	0.024	11.0	0.027	0.1
8.91E-03	0.021	0.10904	0.020	3.4	0.022	5.4
8.32E-03	0.019	0.10904	0.018	8.5	0.019	0.3
7.77E-03	0.016	0.10904	0.015	4.6	0.017	2.3
6.67E-03	0.012	0.10904	0.012	0.1	0.012	4.4
5.39E-03	0.008	0.10904	0.008	4.9	0.008	3.4
4.18E-03	0.004	0.10904	0.005	18.4	0.005	16.5
3.00E-03	0.002	0.10904	0.003	16.6	0.002	10.6
1.29E-02	0.046	0.10876	0.040	16.4	0.046	0.8
1.17E-02	0.039	0.10876	0.033	15.3	0.038	1.2
1.07E-02	0.031	0.10876	0.028	10.8	0.032	1.4
9.87E-03	0.028	0.10876	0.024	17.0	0.027	5.3
8.91E-03	0.023	0.10876	0.020	11.8	0.022	2.2
8.32E-03	0.020	0.10876	0.018	13.3	0.019	4.7
7.77E-03	0.018	0.10876	0.016	16.4	0.017	8.6
6.67E-03	0.013	0.10876	0.012	11.9	0.012	6.8
5.39E-03	0.009	0.10876	0.008	13.2	0.008	11.5
4.18E-03	0.004	0.10876	0.005	16.0	0.005	14.1
3.00E-03	0.003	0.10876	0.003	1.8	0.002	1.8
1.29E-02	0.050	0.10588	0.046	10.0	0.053	6.0
1.17E-02	0.040	0.10588	0.038	4.2	0.044	9.6
1.07E-02	0.032	0.10588	0.032	1.0	0.037	13.0
9.87E-03	0.029	0.10588	0.028	4.8	0.031	6.8
8.91E-03	0.023	0.10588	0.023	1.4	0.025	8.4
8.32E-03	0.020	0.10588	0.020	1.1	0.022	7.8
7.77E-03	0.019	0.10588	0.018	5.0	0.019	3.3
6.67E-03	0.014	0.10588	0.013	1.3	0.014	4.5
5.39E-03	0.009	0.10588	0.009	2.1	0.009	0.7
4.18E-03	0.004	0.10588	0.006	21.8	0.006	21.0
3.00E-03	0.003	0.10588	0.003	8.3	0.003	2.7
ERRO MÉDIO			9.0		6.0	
DESVIO PDR.			6.1		4.9	

¹ O valor de C utilizado no cálculo de $h_{f,teo.}$ foi 90.0 com $\sigma = 5.0$, correspondente à média das faixas 1 e 2.

² O valor de \bar{n} utilizado no cálculo de $h_{f,teo.}$ foi 0.014 com $\sigma = 0.001$, correspondente à média das faixas 1 e 2.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, na metodologia adotada e nas condições experimentais em que foram realizados os ensaios, chegou-se às seguintes conclusões:

- A revisão bibliográfica realizada possibilitou os conhecimentos necessários à compreensão da cultura do bambu, destacando aspectos relativos a: origem, classificação, estrutura, preservação, condições edafoclimáticas, cultivo e utilização .
- O protótipo do perfurador mecânico de colmos desenvolvido tornou viável a perfuração de colmos com diâmetro interno variando entre 0.090 e 0.130 m, sendo que o perfurador apresentou seu melhor acabamento nos colmos com diâmetro interno de 0.090 a 0.105 m, faixa 1. A queda na qualidade de remoção nas faixas 2 e 3 foi determinada, principalmente, por limitações na pressão exercida pela mola do perfurador.
- A qualidade da remoção dos septos dos nós, nos colmos perfurados mecanicamente, foi superior à dos colmos perfurados por impacto de lâminas circulares de aço. A qualidade da remoção dos septos dos nós, nos colmos perfurados por impacto, está diretamente relacionada ao valor do diâmetro da lâmina utilizada na remoção, ou seja, quanto mais próximo for o diâmetro da lâmina do diâmetro interno do colmo, melhor será a remoção.
- Os tubos perfurados mecanicamente apresentaram valores de perda

de carga inferiores aos tubos perfurados por impacto, o que confirma a hipótese de que a perda de carga é função da qualidade do acabamento na remoção dos nós.

- Os valores de rugosidade absoluta das tubulações de bambu perfuradas mecanicamente, estimados pelas equações de Colebrook e Hopf, foram altos quando comparados a outros materiais, sendo que o valor estimado por Hopf ($\epsilon_{\text{Hopf}} = 0.0013 \text{ m}$) foi inferior ao estimado por Colebrook ($\epsilon_{\text{Col.}} = 0.0022 \text{ m}$).

- A equação de Hopf mostrou-se mais prática, rápida e tão precisa quanto a equação de Colebrook na estimativa de f_d .

- O erro na estimativa da perda de carga a partir de coeficientes médios $C = 43$ e $n = 0.027$, dos tubos perfurados por impacto, foi alto, sendo maior na faixa 2 do que nas faixas 1 e 3.

- Apesar da remoção na faixa 1 ter se mostrado diferente da remoção na faixa 2, para os tubos perfurados mecanicamente, isto não foi observado para os valores estimados para a rugosidade absoluta ($\epsilon_{\text{Hopf}} = 0,0013 \text{ m}$; $\epsilon_{\text{Col.}} = 0.0022 \text{ m}$) e os coeficientes de atrito ($C = 89$ e $n = 0,014$).

- Não se constatou diferença, na estimativa da perda de carga para os tubos perfurados mecanicamente, entre as equações de *Darcy-Weisbach*, *Hazen-Williams* e *Manning*.

6.0. RECOMENDAÇÕES

- Os resultados alcançados no presente trabalho, apesar de não confirmarem ainda a hipótese inicial de que o bambu pode conduzir água sob pressão, foram satisfatórios o suficiente para estimular a continuidade dos trabalhos nesta direção. As variáveis e limitações relevantes ao aproveitamento do bambu como conduto forçado que merecem atenção para um futuro estudo são: corte e preservação dos colmos, pressão de trabalho, golpe de ariete em sistemas de tubulações, acessórios, conexões e sistemas de irrigação a baixa pressão.
- Tendo em vista o grande número de espécies que se desenvolvem no Brasil, recomenda-se estudar outras espécies de bambu para o aproveitamento como tubulação.
- O protótipo do perfurador mecânico poderia ser aprimorado, tendo em vista a realização de um melhor acabamento na remoção dos septos dos nós, como, por exemplo, projetar uma mola para o sistema perfurador que mantenha uma pressão na ferramenta adequada na remoção de colmos com diâmetros maiores que 0.105 m.
- Ampliar o estudo de perda de carga, para diferentes diâmetros, pressão de trabalho e faixas de vazões que atendam a uma possível utilização em irrigação.
- Utilizar aparelhos mais sensíveis nas medidas de pressão e

vazão, principalmente nas medidas de perda de carga a baixas vazões.

7. BIBLIOGRAFIA

- ASSY, T. M., "O emprego da Fórmula Universal de Perda de Carga e as Limitações das Fórmulas Empíricas", São Paulo, CETESB, 1977.
- AZEVEDO NETO, J. M., "Manual de Hidráulica", 4.ed. São Paulo, Editora Edgar Blücher, 1973. 273 p.
- AZZINI, ANISIO, "Aspectos agronômicos da produção do bambu industrial". Artigo Técnico. Novembro 1980.
- AZZINI, ANISIO & SALGADO A. L. DE BARROS., "Possibilidades agrícolas e industriais do bambu". O Agrônomo, 33:61-68, 1981.
- AZZINI, A. ET ALLI., "Produção conjunta de fibras celulósicas e etanol a partir do bambu". Bragantia, 46(1):17-25, 1987.
- BENDICT, ROBERT P. "Fundamentals of temperature, pressure, and flow measurements". 3th edition. New York, John Wiley and Sons Inc. 1984, 532 p.
- CRANE, CO., "Flow of Fluids Through Valves, Fitting and Pipe", New York, Tech. paper, número 410M, 3th., Chapter 1 e 3, Ed., 1972.
- DE MENEZES, T. J. B., SANTOS, C. L. M. & AZZINI A., "Utilization of Bamboo for the Production of Ethanol" In: "Energy from Biomass". THIRD EC CONFERENCE, ITALIA, march 25 - 29, 1985.
- FERREIRA, V. L. P. ET ALLI., "Avaliação do Broto de espécies de bambu alimentação humana". Col. ITAL, 16:23-36, 1986.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRAULICA., "Ensaio em Tubulações de PVC de diâmetros 200, 150 e 100 mm e em janelas, destinados a Irrigação" Relatório de Ensaio DAEE/EPUSP, São Paulo, 1988.

GALVEZ, L. V., "Los Bambues" In: Bol. Tec. Inst. Nac. Invest. For. 50.^a 2-ed. México, 1982.

HIDALGO, LOPEZ, O., "El bambú: su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería e artesanía". Colombia, Estudios Técnicos Colombianos Ltda, 1974.

INTERNATIONAL PROGRAM IN SANITARY ENGINEERING DESIGN, "Water Supply Using Bamboo Pipes", AID-UNC/IPSED ser. item number 3, University of North Carolina, 1966.

ISMAIL, KAMAL, A. R., "Técnicas de Medidas e Instrumentação em Engenharia", texto didático, cap. 2 e 3 - Faculdade de Engenharia de Campinas/UNICAMP, 1986.

KAMAND, FADI Z., "Hydraulic Friction Factors for Pipe Flow". J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, 114(2), 311-323. 1989.

KING, R. C. & CROCKER, "Friction Loss in Pipe and Ducts" In: Piping Handbook, 5th ed., N. Y., Mc Graw-Hill Book Co., 1967
Sec. 3-127 a 3-135.

KNUNDTSEN, J. G. & KATZ, D. L., "Fluids Dynamics and Heat Transfer", New York, Mc Graw-Hill, 1958.

- LIPANGILE, T. N., "Manufacture and Construction of Bamboo Water Supply Systems". Wood-Bamboo Division, Iringa, Tanzania, 1988.
- LIPPERT, STANLEY., "Bamboo pipes for pressurized water systems, a feasibility study". School of Engineering, Univ. of Massachussets, 1976.
- McCLURE, F. A. "The Bamboos. A Fresh Perspective" Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, 1966.
- MEDINA, J. C., "Plantas fibrosas da flora mundial", Campinas, Instituto Agronomico, 1958. 913p.
- NOMURA, T.& TOMAZELLO FILHO, M. & AZZNIN, A. "Production and Utilization of Bamboo in Brasil". In: "Bamboo production and utilization and related species". XVIII IUFRO WORLD CONGRESS, YUGUSLAVIA, september 7-21, 1986.
- OLIVEIRA, E. G. DE, "BAMBU: Investigações de novos empregos na construção civil.", São Paulo, 1980. 151p. Tese de mestrado - FAU/USP.
- SALGADO, A. L. B., CIARAMELLO, D., AZZINI, A. "Propagação Vegetativa". Informe Técnico. O Agrônomo, 39(3): 228-238, Campinas, S.P., 1987.
- SERGHIDES, T. K., "Estimate friction factor accurately". Chem. Eng. March 5. 1984.

STREETER. V. L., "Mecánica de los Fluidos", México, Libros Mc Graw-Hill, 4 Ed., pp 11 - 312, 1968.

TESTEZLAF, R., "Estudo de perda de carga em tubulações e engates rápidos utilizados em linhas de irrigação". Tese de mestrado. UNICAMP, 1982.

UEDA, KOICHIRO. "Studies on the physiology of bamboo with reference to practical applications". TOKIO, Resources Bureau Science and Technics Agency Prime Minister s Office, 1960.

UEDA, KOICHIRO, "Bamboo Industry in Japan, Present and Future" In: "Bamboo Production and Utilization and related species". XVII IUFRO WORLD CONGRESS, IUGUSLAVIA, september 7 - 21, 1986.

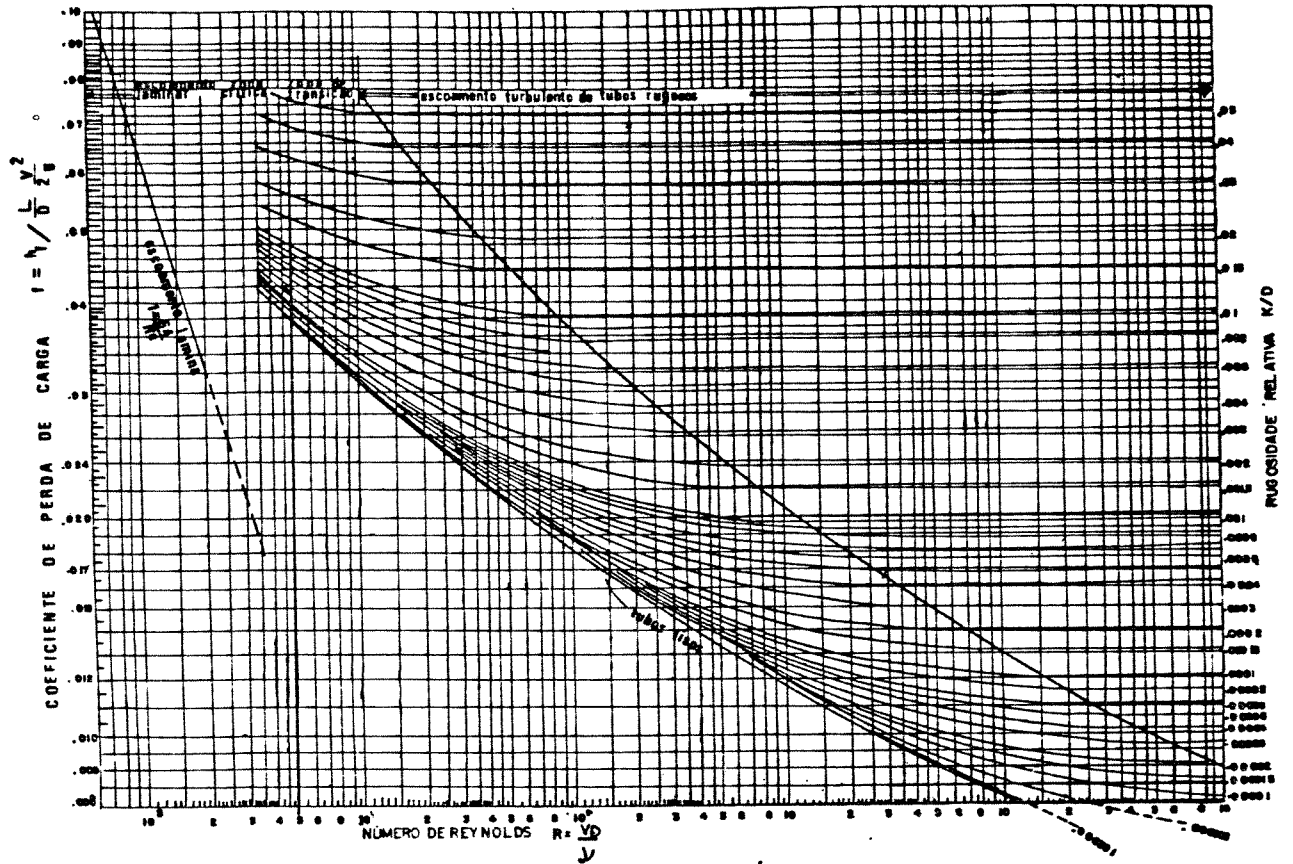
UNIVERSITY OF DAR ES SALAAM - DEPT. OF CIVIL ENG., Report: "Hydraulic Design Conditions of Bamboo Pipes for Water Supply and Irrigation Projects in Rural Areas". Dar es Salaam - Tanzânia, 1979.

8. ANEXOS

8.1.

anexo 1

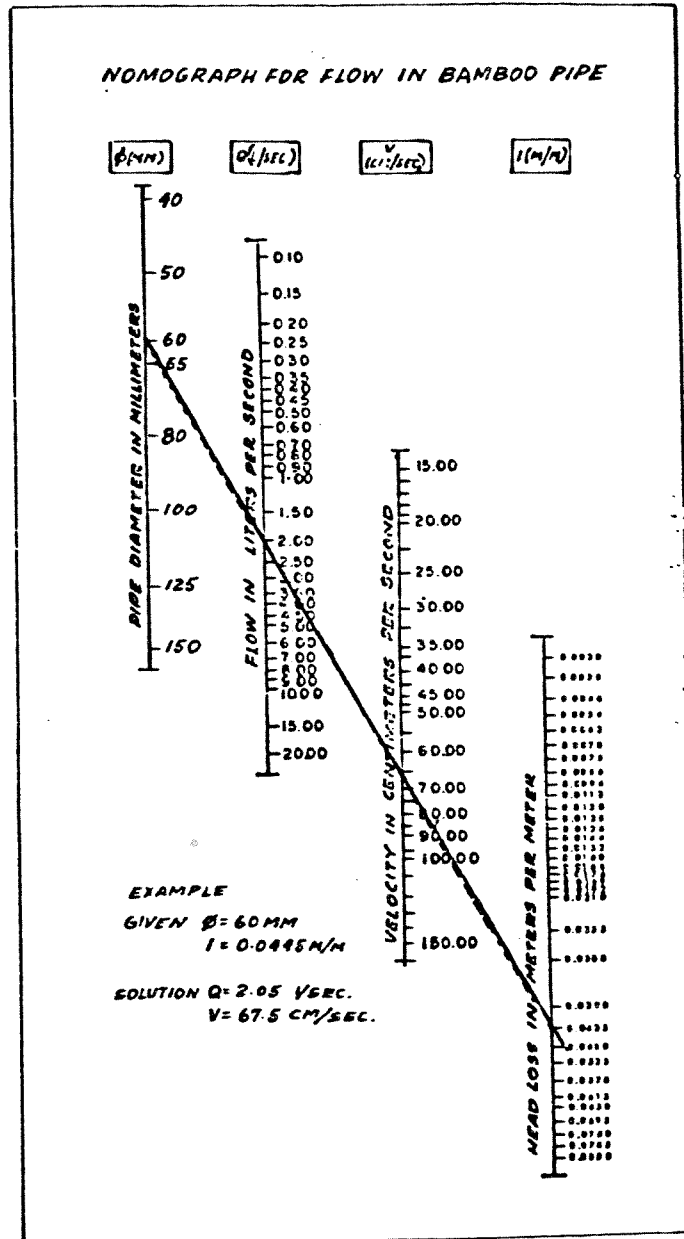
Diagrama de Moody



8.2.

anexo 2

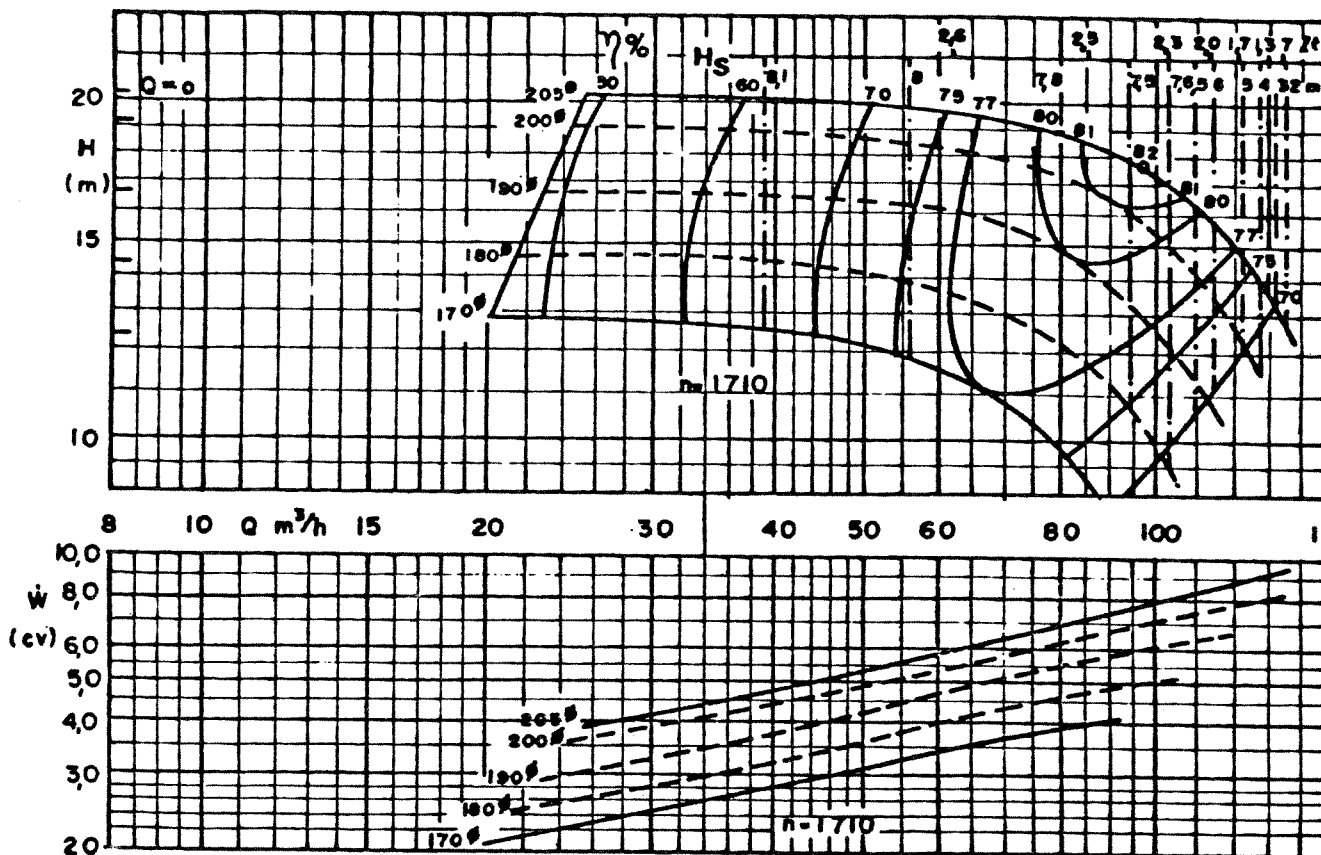
Nomograma obtido na Universidade de Carolina do Norte (IPSED, 1966)



8.3.

anexo 3

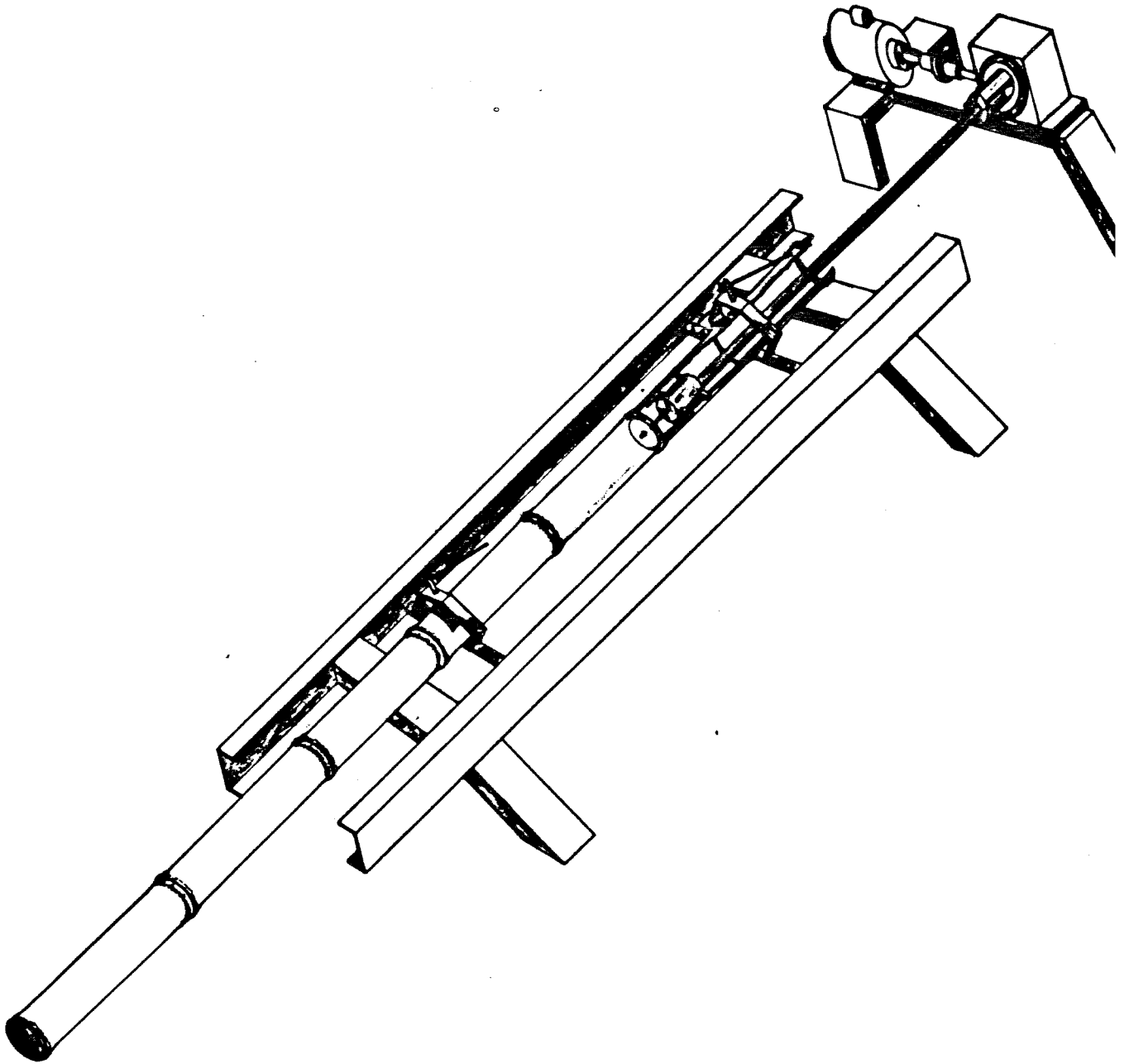
Curva da bomba utilizada nos testes



8.4.

anexo 4

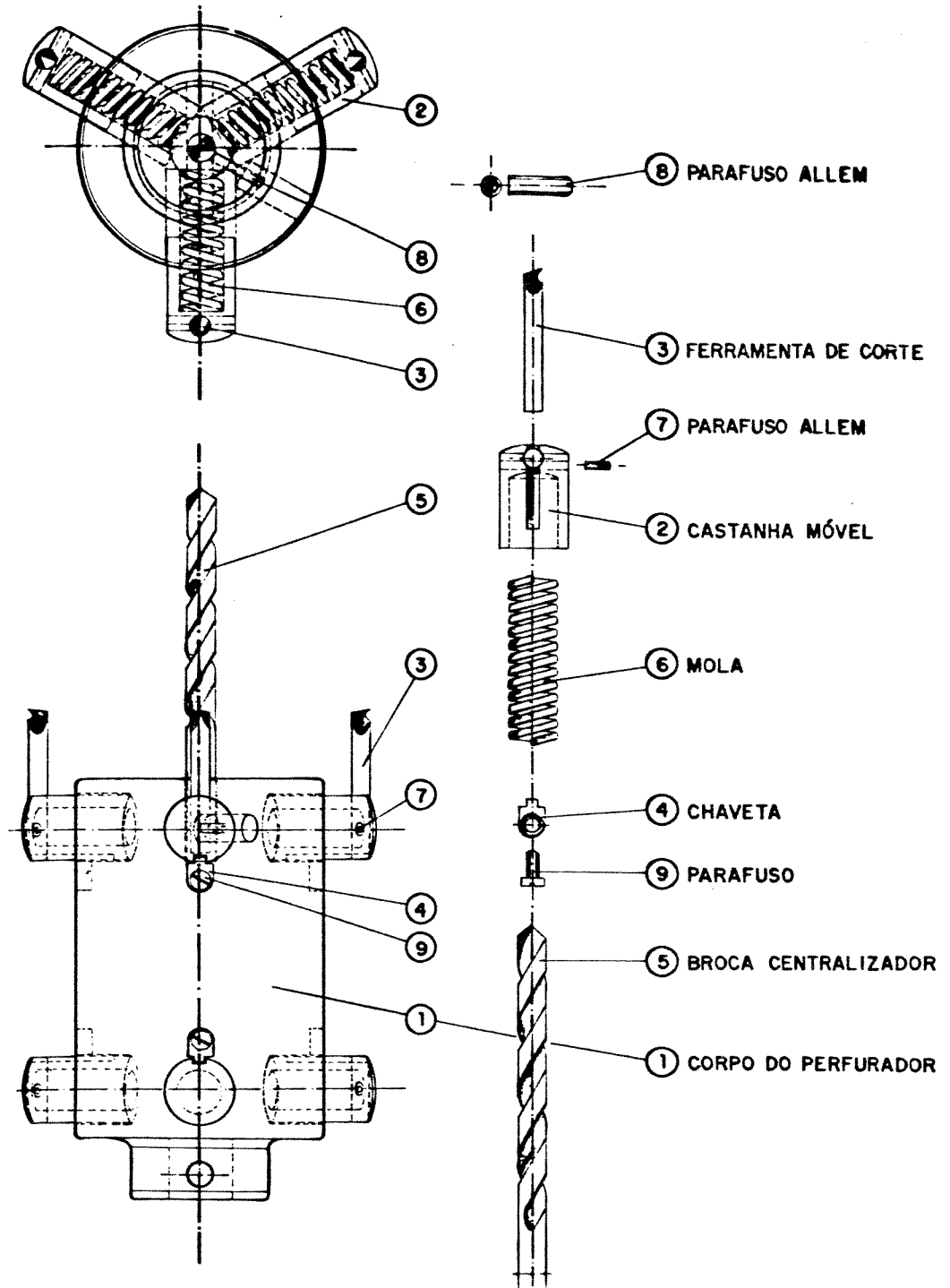
O dispositivo de perfuração mecânico



8.5.

anexo 5

A ferramenta perfuradora



8.6.

anexo 6

Valores experimentais do diâmetro dos 18 tubos testados

DIAMETROS TUBOS BAMBU 11

	TUBO111	TUBO111	TUBO111	TUBO111	MEDIA	TUBO112	TUBO112	TUBO112	TUBO112	MEDIA	TUBO113	TUBO113	TUBO113	TUBO113	MEDIA
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
NO 1	82.3	81.4	81.7	82.1	81.9	83.1	82.7	81.8	82.3	82.5	83.2	82.5	82.1	81.9	82.
NO 2	81.8	83.4	82.4	81.9	82.4	82.4	83.1	83.5	82.7	82.9	82.4	82.7	81.7	83.1	82.
NO 3	82.7	81.9	83.1	82.5	82.6	81.9	82.3	82.5	82.4	82.3	81.4	82.1	82.6	82.9	82.
SECA01	96.2	96.5	95.4	95.7	96.0	97.5	98.1	98.3	97.8	97.9	102.4	101.5	103.6	104.2	102.
SECA02	97.2	97.1	96.8	97.6	97.2	100.5	100.1	99.5	99.8	100.0	105.2	106.1	105.7	106.4	105.
	MEDIA ARIT. SECAO				96.6	MEDIA ARIT. SECAO				99.0	MEDIA ARIT. SECAO				104.
	DESV. PADR. SECAO				0.7	DESV. PADR. SECAO				1.1	DESV. PADR. SECAO				1.
	MEDIA ARIT. NO				82.3	MEDIA ARIT. NO				82.6	MEDIA ARIT. NO				82.
	DESV. PADR. NO				0.6	DESV. PADR. NO				0.5	DESV. PADR. NO				0.

DIAMETROS TUBOS BAMBU12

	TUBO121	TUBO121	TUBO121	TUBO121	MEDIA	TUBO122	TUBO122	TUBO122	TUBO122	MEDIA	TUBO123	TUBO123	TUBO123	TUBO123	MEDIA
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
SECA01	106.3	105.9	106.7	106.1	106.3	112.1	112.4	110.3	111.3	111.5	107.5	108.6	107.3	106.7	107.
SECA02	104.9	104.3	105.2	105.4	105.0	109.6	110.6	110.2	109.3	109.9	104.9	106.7	105.4	105.7	105.
NO1	81.4	81.7	82.1	83.7	82.2	101.5	102.1	100.9	102.7	101.8	81.7	85.3	82.7	81.1	82.
NO2	81.3	82.9	81.3	84.3	82.5	101.7	101.5	100.8	102.3	101.6	84.2	82.4	81.3	82.0	82.
NO3	83.9	81.7	81.9	81.1	82.2	101.6	101.9	102.3	101.2	101.8	80.9	81.7	84.5	82.3	82.
	MEDIA ARIT. SECAO				105.6	MEDIA ARIT. SECAO				110.7	MEDIA ARIT. SECAO				106.
	DESV. PADR. SECAO				0.7	DESV. PADR. SECAO				1.0	DESV. PADR. SECAO				1.
	MEDIA ARIT. NO				82.3	MEDIA ARIT. NO				101.7	MEDIA ARIT. NO				82.
	DESV. PADR. NO				1.1	DESV. PADR. NO				0.6	DESV. PADR. NO				1.

DIAMETROS TUBOS BAMBU13

	TUBO131	TUBO131	TUBO131	TUBO131	MEDIA	TUBO132	TUBO132	TUBO132	TUBO132	MEDIA	TUBO133	TUBO133	TUBO133	TUBO133	MEDIA
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
SECA01	121.5	122.1	121.9	120.7	121.6	115.7	115.1	116.7	116.2	115.9	116.7	118.4	117.6	118.2	117.
SECA02	119.6	119.9	118.9	119.2	119.4	114.2	113.9	114.8	115.1	114.5	115.4	115.9	116.3	114.9	115.
NO1	101.3	101.7	101.8	101.6	101.6	101.8	101.2	102.1	101.4	101.6	101.7	102.3	101.2	101.7	101.
NO2	101.3	101.8	102.0	100.7	101.5	102.3	101.7	102.0	101.4	101.9	102.1	101.1	101.3	100.9	101.
NO3	101.9	101.1	100.4	100.9	101.1	103.1	102.4	101.7	101.8	102.3	101.4	102.2	101.9	101.2	101.
	MEDIA ARIT. SECAO				120.5	MEDIA ARIT. SECAO				115.2	MEDIA ARIT. SECAO				116.
	DESV. PADR. SECAO				1.2	DESV. PADR. SECAO				0.9	DESV. PADR. SECAO				1.
	MEDIA ARIT. NO				101.4	MEDIA ARIT. NO				101.9	MEDIA ARIT. NO				101.
	DESV. PADR. NO				0.5	DESV. PADR. NO				0.5	DESV. PADR. NO				0.

8.7.

anexo 7

Valores experimentais da calibração do medidor de vazão (diafragma)

$\Delta h_{\text{Diafragma}}$	massa1	massa2	massa3	tempo1	tempo2	tempo3
cm de Hg	Kg	Kg	Kg	s	s	s
1.80	32.30	42.00	36.00	10.52	14.04	12.32
3.60	72.80	51.00	60.70	16.75	12.02	14.95
5.00	56.10	56.10	57.60	10.12	10.20	10.63
7.40	64.30	64.30	60.50	10.50	10.45	09.76
9.50	71.70	63.50	67.40	10.34	09.08	09.56
11.70	61.70	85.60	76.70	07.90	11.20	10.01
18.20	78.50	74.80	77.50	08.05	07.80	07.80
24.40	136.80	138.70	138.50	12.10	12.30	12.20

8.8.

anexo 8

Valores experimentais dos dezoito tubos testados

Dados experimentais tubos impacto faixa 1 D111=0.09656m; L=1.60m D112= 0.09895m; L=1.70m; D113=0.10439m; L=1.60m

N	QH11 cmHg	VH111-1 mmHg	VH111-2 mmHg	VH111-3 mmHg	VHmed111 mmHg	VH112-1 mmHg	VH112-2 mmHg	VH112-3 mmHg	VHmed112 mmHg	VH113-1 mmHg	VH113-2 mmHg	VH113-3 mmHg	VHmed113 mmHg
1	31.40	27.84	27.12	26.43	27.13	26.56	26.99	27.13	26.85	24.34	23.87	23.98	24.0
2	25.90	23.11	23.30	23.58	23.33	23.13	23.01	22.97	23.04	21.56	21.75	21.78	21.7
3	21.60	20.12	20.63	20.32	20.36	21.07	20.99	20.97	21.01	19.76	19.67	19.88	19.7
4	18.40	18.31	18.25	18.23	18.26	18.07	18.03	17.99	18.03	16.98	16.79	16.8	16.4
5	15.00	15.20	14.97	15.01	15.06	15.07	15.1	15.02	15.06	14.56	14.67	14.7	14.4
6	13.10	13.64	13.51	13.46	13.54	12.97	12.99	12.78	12.91	12.01	11.97	12	11.4
7	11.40	11.53	11.40	11.47	11.47	11.20	11.42	11.35	11.32	10.53	10.69	10.59	10.4
8	8.40	8.87	8.76	8.8	8.81	8.91	9.01	8.96	8.96	8.34	8.52	8.65	8.4
9	5.50	6.54	6.42	6.4	6.45	6.23	6.34	6.33	6.30	5.97	5.89	6.01	5.9
10	3.3	4.01	3.98	3.91	3.97	3.87	3.91	3.95	3.91	3.67	3.58	3.65	3.4
11	1.7	2.01	2.13	2.07	2.07	1.97	2.02	2.05	2.01	1.96	2.01	1.99	1.9

N	QH12 cmHg	VH121-1 mmHg	VH121-2 mmHg	faixa 2 D121 = 0.10560 ; L = 1.5 m D122 = 0.11073 ; L = 1.5 m D123 = 0.10660 ; L = 1.5				VH123-1 mmHg	VH123-2 mmHg	VH123-3 mmHg	VHmed123 mmHg		
				VH121-3 mmHg	VH121med mmHg	VH122-1 mmHg	VH122-2 mmHg					VH122-3 mmHg	VHmed122 mmHg
1	31.40	23.38	22.57	23.12	23.02	15.87	16.09	15.72	15.89	23.32	24.02	24.21	23.4
2	25.90	21.6	21.19	22.01	21.60	12.01	12.17	11.82	12.00	21.01	21.54	21.23	21.2
3	21.60	19.67	19.89	19.34	19.63	9.99	10.32	10.07	10.13	19.75	19.82	19.91	19.4
4	18.40	17.01	17.15	16.92	17.03	8.19	8.54	8.32	8.35	15.98	16.24	16.34	16.1
5	15.00	14.54	14.67	14.58	14.60	6.54	6.72	6.85	6.70	14.54	14.35	14.57	14.4
6	13.10	13.01	12.85	12.76	12.87	5.55	5.42	5.44	5.47	12.15	12.02	11.83	12.0
7	11.40	10.45	10.48	10.38	10.44	5.05	4.96	4.78	4.93	10.06	10.28	10.17	10.1
8	8.40	8.65	8.79	8.68	8.71	2.78	2.82	2.8	2.80	8.06	8.18	8.29	8.1
9	5.50	6.03	5.97	6.07	6.02	2.01	1.95	1.92	1.96	6.02	5.86	5.79	5.8
10	3.3	3.87	3.81	3.85	3.84	1.12	1.09	1.03	1.08	3.56	3.59	3.67	3.4
11	1.7	1.64	1.73	1.7	1.69	0.68	0.65	0.72	0.68	12.02	1.97	1.89	5.2

N	QH13 cmHg	VH131-1 mmHg	VH131-2 mmHg	faixa 3 D131 = 0.12048 m; L=1.7 m; D132 = 0.11521m; L = 1.7m; D133 = 0.11668 m ; L = 1.7				VH133-1 mmHg	VH133-2 mmHg	VH133-3 mmHg	VHmed133 mmHg		
				VH131-3 mmHg	VH131med mmHg	VH132-1 mmHg	VH132-2 mmHg					VH132-3 mmHg	VHmed132 mmHg
1	31.40	13.32	13.25	13.27	13.28	14.32	14.23	14.2	14.25	14.08	14.17	14.01	14.0
2	25.90	10.75	10.82	10.87	10.81	11.05	11.12	11.17	11.11	11.09	11.12	11.27	11.1
3	21.60	8.72	8.64	8.81	8.72	9.05	9.13	9.02	9.07	8.89	8.95	9.02	8.9
4	18.40	7.85	7.69	7.7	7.75	7.99	8.08	8.03	8.03	8.12	8.16	8.08	8.0
5	15.00	5.93	5.77	5.99	5.90	6.03	5.98	6.07	6.03	6.35	6.27	6.31	6.2
6	13.10	5.08	5.14	5.09	5.10	5.25	5.28	5.31	5.28	5.28	5.35	5.29	5.2
7	11.40	4.34	4.28	4.26	4.29	4.45	4.37	4.4	4.41	4.43	4.35	4.41	4.4
8	8.40	2.8	2.74	2.71	2.75	2.85	2.89	2.91	2.88	2.56	2.63	2.67	2.6
9	5.50	1.79	1.84	1.87	1.83	1.83	1.77	1.8	1.80	1.74	1.68	1.7	1.7
10	3.3	1.06	1.08	1.1	1.08	1.09	1.04	1	1.04	1	1.02	1.05	1.0
11	1.7	0.7	0.73	0.73	0.72	0.69	0.75	0.77	0.74	0.67	0.62	0.61	0.6

Dados experim. tubos perf. mecanico faixa 1 D211 = 0.09915 m; L = 1.60 D212 = 0.10254 m; L = 1.7 D213 = 0.10493 m; L =

N	QH21 cmHg	VH211-1 mmHg	VH211-2 mmHg	VH211-3 mmHg	VHmed211 mmHg	VH212-1 mmHg	VH212-2 mmHg	VH212-3 mmHg	VHmed212 mmHg	VH213-1 mmHg	VH213-2 mmHg	VH213-3 mmHg	VH21 mm
1	31.40	7.32	7.35	7.34	7.34	6.89	6.93	6.92	6.91	6.56	6.59	6.54	
2	25.90	5.92	5.95	5.94	5.94	5.81	5.81	5.79	5.80	5.40	5.44	5.41	
3	21.60	5.03	5.06	5.05	5.05	4.85	4.84	4.84	4.84	4.55	4.53	4.56	
4	18.40	4.31	4.34	4.32	4.32	4.26	4.27	4.26	4.26	4.02	4.05	4.04	
5	15.00	3.55	3.53	3.53	3.54	3.58	3.56	3.59	3.58	3.30	3.31	3.32	
6	13.10	3.03	3.05	3.03	3.04	3.05	3.07	3.04	3.05	2.83	2.80	2.82	
7	11.40	2.72	2.73	2.74	2.73	2.76	2.75	2.76	2.76	2.57	2.61	2.59	
8	8.40	2.01	2.00	2.03	2.01	2.01	1.98	1.99	1.99	1.85	1.82	1.82	
9	5.50	1.38	1.41	1.39	1.39	1.37	1.39	1.39	1.38	1.30	1.28	1.27	
10	3.3	0.77	0.77	0.79	0.78	0.69	0.7	0.71	0.70	0.62	0.61	0.58	
11	1.7	0.46	0.48	0.48	0.47	0.43	0.41	0.42	0.42	0.34	0.35	0.35	

faixa 2 D221= 0.109037 m; L=1.5m; D222 = 0.108762m; L=1.5m; D223 = 0.105875 m; L = 1.5m;

N	QH22 cmHg	VH221-1 mmHg	VH221-2 mmHg	VH221-3 mmHg	VH221med mmHg	VH222-1 mmHg	VH222-2 mmHg	VH222-3 mmHg	VH222med mmHg	VH223-1 mmHg	VH223-2 mmHg	VH223-3 mmHg	VH223 mmH
1	31.40	5.23	5.16	5.27	5.22	5.47	5.49	5.47	5.48	5.89	5.88	5.91	5
2	25.90	4.2	4.21	4.3	4.24	4.53	4.54	4.52	4.53	4.67	4.64	4.66	4
3	21.60	3.45	3.48	3.54	3.49	3.68	3.73	3.71	3.71	3.75	3.7	3.76	3
4	18.40	3.14	3.12	3.13	3.13	3.35	3.29	3.33	3.32	3.42	3.4	3.42	3
5	15.00	2.42	2.42	2.45	2.43	2.65	2.64	2.66	2.65	2.74	2.72	2.75	2
6	13.10	2.24	2.25	2.27	2.25	2.37	2.4	2.39	2.39	2.41	2.39	2.42	2
7	11.40	1.9	1.93	1.95	1.93	2.14	2.15	2.12	2.14	2.2	2.22	2.24	2
8	8.40	1.37	1.36	1.37	1.37	1.55	1.55	1.53	1.54	1.6	1.61	1.61	1
9	5.50	0.97	0.95	0.96	0.96	1.06	1.09	1.07	1.07	1.09	1.12	1.12	1
10	3.3	0.47	0.46	0.49	0.47	0.49	0.51	0.52	0.51	0.52	0.51	0.53	0
11	1.7	0.26	0.3	0.28	0.28	0.31	0.33	0.3	0.31	0.33	0.33	0.34	0

faixa 3 D231 = 0.1292m; L=1.5 m; D232 = 0.12031 m; L=1.5 m; D233 = 0.11561m; L = 1.5m;

N	QH23 cmHg	VH231-1 mmHg	VH231-2 mmHg	VH231-3 mmHg	VH231med mmHg	VH232-1 mmHg	VH232-2 mmHg	VH232-3 mmHg	VH232med mmHg	VH233-1 mmHg	VH233-2 mmHg	VH233-3 mmHg	VH233 mmHg
1	31.40	2.68	2.78	2.75	2.74	5.18	5.18	5.18	5.18	5.4	5.43	5.35	5
2	25.90	2.36	2.38	2.39	2.38	4.27	4.27	4.27	4.27	4.42	4.33	4.42	4
3	21.60	2.18	2.16	2.21	2.18	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.57	3.62	3
4	18.40	1.82	1.78	1.82	1.81	3.33	3.33	3.33	3.33	3.28	3.17	3.2	3
5	15.00	1.52	1.48	1.54	1.51	2.63	2.63	2.63	2.63	2.56	2.46	2.54	2
6	13.10	1.42	1.4	1.4	1.41	2.43	2.43	2.43	2.43	2.36	2.3	2.32	2
7	11.40	1.35	1.34	1.34	1.34	2.25	2.25	2.25	2.25	2.03	2.02	2.02	2
8	8.40	1.14	1.12	1.15	1.14	1.54	1.54	1.54	1.54	1.44	1.41	1.41	1
9	5.50	0.72	0.73	0.73	0.73	1.24	1.24	1.24	1.24	1.08	0.99	1.01	1
10	3.3	0.46	0.44	0.43	0.44	0.65	0.65	0.65	0.65	0.48	0.48	0.5	0
11	1.7	0.35	0.36	0.34	0.35	0.42	0.42	0.42	0.42	0.35	0.33	0.3	0

Onde: N = numero de ordem; QH = Diferenca da coluna de
 VH = Diferenca da coluna de mercurio no medidor de perda de car
 Dijk = Diametro de um determinado tubo, com i = tratamento; j =
 k = repeticao dentro da faixa.

8.9.

anexo 9

Quadros de análise de variância e sumário estatístico

Quadro 2 - Comparação entre a média da diferença para os tubos perfurados por impacto e perfurados mecanicamente.

		impacto	mecânico	combinado
Sumário				
Estatístico:	N ^o observações	9	9	18
	Média	17.4	6.9	12.15
	Variância	25.9	3.9	14.90
	Desvio Padrão	5.1	2.0	3.9
	Mediana	16.4	7.5	9.1

Teste Hipótese para: H₀: Diferença entre médias = 0.
H_A: Diferença diferente de 0.

t-student: 5.8
para $\alpha = 0.05$

Nível significância = 0.028
rejeita-se H₀.

Quadro 3 - Análise de variância com teste de Tukey-HSD, para a diferença no acabamento por faixas dos tubos perfurados mecanicamente.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	G. L.	Quadrado da média	F	Nível de significância
- entre grupo	2.63E-5	2	1.31E-5	14.3	0.052
- dentro grupo	5.51E-6	6	9.18E-7		
Total	3.18E-5	8			

Método: Teste Tukey-HSD - 95 %

Faixa	N ^o repetições	Média	Grupos homogêneos
1	3	0.0046	a
2	3	0.0075	b
3	3	0.0086	b

Quadro 4 - Sumário estatístico para os valores de f_d para os tubos perfurados por impacto e perfurados mecanicamente.

		impacto	mecânico
Sumário			
Estatístico:	N ^o observações	99	99
	Média	0.200	0.063
	Variância	2.5E-3	4.8E-4
	Desvio Padrão	0.050	0.021
	Mediana	0.186	0.053
	Máximo	0.319	0.155
	Mínimo	0.113	0.041

Quadro 5 - Análise de variância com teste de Tukey-HSD, para os valores de f_d dos tubos perfurados mecanicamente.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	G. L.	Quadrado da média	F	Nível de significância
- entre grupo	3.82E-2	8	4.77E-3	47.5	0.000
- dentro grupo	9.03E-3	90	1.00E-4		
Total	4.72E-2	98			

Método: Teste Tukey-HSD - 95 %

Tubo	N ^o repetições	Média	Grupos homogêneos
11	11	0.045	a
23	11	0.048	a
21	11	0.049	a
12	11	0.052	a
22	11	0.053	a
13	11	0.053	a
33	11	0.080	b
31	11	0.089	b c
32	11	0.100	c

Quadro 6 - Análise de variância com teste de Tukey-HSD, para os valores de C dos tubos perfurados mecanicamente.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	G. L.	Quadrado da média	F	Nível de significância
- entre grupo	1.25E+4	8	1.57E+3	80.0	0.000
- dentro grupo	1.76E+3	90	1.95E+1		
Total	1.43E+4	98			

Método: Teste Tukey-HSD - 95 %

Tubo	N ^o repetições	Média	Grupos homogêneos
11	11	61.9	a
23	11	67.0	a b
21	11	69.5	b
12	11	86.2	c
22	11	86.5	c
13	11	87.4	c
33	11	90.0	c d
31	11	91.0	c d
32	11	94.1	d

Quadro 7 - Análise de variância com teste de Tukey-HSD, para os valores de n dos tubos perfurados mecanicamente.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	G. L.	Quadrado da média	F	Nível de significância
- entre grupo	6.06E-4	8	7.58E-5	74.4	0.000
- dentro grupo	9.17E-5	90	1.02E-6		
Total	6.98E-4	98			

Método: Teste Tukey-HSD - 95 %

Tubo	N^o repetições	Média	Grupos homogêneos
11	11	0.0128	a
23	11	0.0135	a
21	11	0.0137	a
12	11	0.0139	a
22	11	0.0141	a
13	11	0.0142	a
33	11	0.0176	b
31	11	0.0189	b c
32	11	0.0198	c