

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

MECANICA

PMC 580 - PROJETO MECANICO I

TURMA 1993 - ENERGIA E FLUIDOS

PROJETO DE UM TUNEL DE VENTO DE

BAIXA VELOCIDADE

PROFESSOR ORIENTADOR : JURANDIR I. YANAGIHARA

POR : HAMILTON JORGE SABANAI NO. 1817683

HANS LIN

NO. 1863559

- DEZEMBRO 1993 -

Dedicamos este trabalho

- a nossos pais, que com tanto sacrifício nos conduziram a este momento inicial de nossa vida profissional.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao amigo e professor Jurandir Itizo Yanagihara, que nos forneceu ferramentas e incentivo com grande dedicação durante a orientação deste trabalho, e assim, contribuiu significativamente no nosso aperfeiçoamento acadêmico.

Ao amigo e colega Pacífico, que com seu conhecimento nos auxiliou a atingirmos a execução final de nosso trabalho.

Ao amigo Sr. Otacília, que com toda sua técnica, nos auxiliou no manejo da marcenaria do Laboratório de Estruturas no prédio da Eng. Civil.

SUMÁRIO

Este trabalho apresenta o projeto de um túnel de vento para ensaio de métodos de intensificação de troca de trocadores de calor compactos.

O trabalho prevê o projeto básico e o projeto executivo, sendo limitado pelos parâmetros espaço do laboratório (comprimento do túnel), custo de operação (perda de carga) e custo inicial (ventilador/motor); parâmetros os quais seriam avaliados para a otimização do projeto.

Assim, no projeto básico, faz-se um estudo levando em conta o ângulo do difusor (fator preponderante no comprimento do túnel), variando-o de 2 a 7°; o tamanho da seção de testes para que fosse o ideal para os testes dos trocadores compactos, variando de 300 a 600mm de lado; e assim, colhendo informações sobre a perda de carga do sistema para então otimizar a configuração ideal.

O projeto executivo contou com a obtenção dos materiais e perfis, montagem e acabamento do túnel.

INDICE

1. Objetivos.....	3
2. Introducao.....	3
3. Técnicas de intensificação.....	3
3.1 Métodos Passivos.....	4
3.2 Métodos Ativos.....	5
4. Geração de Vórtices Longitudinais.....	7
5. Procedimento e Aparato Experimental.....	7
5.1 Placa Aquecida.....	8
5.2 Sublimação de Naftaleno.....	8
6. Definição do Escopo.....	9
7. Túnel de Vento.....	9
7.1 Classificação quanto à Configuração Física	9
7.2 Classificação quanto à Velocidade do escoamento na seção de testes. 12	
7.3 Classificação quanto à Seção de Testes.....	13
8. Escolha do tipo de túnel.....	13
8.1 Túnel Aberto.....	13
8.2 Túnel Fechado.....	14
9. Projeto do Túnel.....	14
9.1 Telas e Colméias.....	15
9.2 Trecho Estabilizador.....	16
9.3 Contração.....	16
9.4 Seção de Testes.....	17
9.5 Difusor.....	18
9.6 Ventiladores.....	19
9.7 Acionamento.....	21
9.8 Estrutura de Apoio.....	22
9.9 Instrumentação.....	23
9.10 Aquisição e Tratamento de Dados.....	23
10. Projeto Básico.....	23
11. Especificações dos Equipamentos.....	27
12. Projeto Executivo.....	31
13. Comentários Finais.....	31
14. Referências Bibliográficas.....	32

1. Objetivos

Este trabalho tem por finalidade a implantação de uma unidade laboratorial para a realização de experiências básicas e aplicadas envolvendo transferência de calor. Serão testados nesta unidade, trocadores de calor tubo-aletas compactos, caracterizando experimentalmente as melhores alternativas, dentre as técnicas de intensificação existentes, para o aumento da eficiência dos mesmos.

2. Introdução

No último século, com o aumento do custo da energia, surgiu a necessidade de seu melhor aproveitamento. Através da sua conservação, desenvolvimento de novas fontes e o uso de fontes não esgotáveis, tem-se obtido resultados cada vez mais satisfatórios.

Contrariando as tendências atuais, a intensificação da transferência de calor recebeu pouca atenção até a metade da década de 30, o que é mostrado pela pequena quantidade de literatura técnica e comercial publicados sobre o assunto.

Prevendo um "boom" na demanda de energia pelo rápido crescimento da atividade industrial mundial, Jakob e Fritz em 1931 fizeram um dos primeiros estudos sistemáticos sobre intensificação de trocas de calor. Na metade da década de 50, com o advento das usinas nucleares para aplicações comerciais e os veículos espaciais, surgiu a necessidade da utilização de processos de trocas de calor mais eficientes, fazendo com que houvesse um crescimento nas aplicações da sua intensificação. O rápido crescimento mundial da literatura técnica sobre esse assunto desde então é evidente.

Tendo em vista o aumento do nível de atividade e seu crescimento contínuo, a transferência de calor intensificada tornou-se uma tecnologia de segunda geração.

3. Técnicas de Intensificação

Existem dois métodos de intensificação de trocas de calor :

- Métodos Passivos. São aqueles que não requerem a atuação de força externa.
- Métodos Ativos. São aqueles que necessitam de atuação de força externa.

A seguir serão apresentadas descrições resumidas da classificação dada por Bergles (1985) :

3.1 Métodos passivos

3.1.1 Superfícies Tratadas

Esse método envolve a alteração do acabamento e do revestimento, deixando a rugosidade abaixo daquela que afeta o escoamento monofásico. É aplicado em processos de evaporação e condensação.

3.1.2 Superfícies Rugosas

São produzidas em várias configurações incluindo desde rugosidades do tipo grão de areia até pequenas protuberâncias. A configuração é geralmente escolhida para promover turbulência, além de aumentar a área de transferência de calor. Sua aplicação está direcionada ao escoamento monofásico.

3.1.3 Superfícies Aletadas

São empregadas em grande parte dos trocadores de calor. O desenvolvimento de novos tipos de superfícies aletadas (tais como tubos aletados internamente) e o aumento do coeficiente de transferência de calor pela forma ou interrupção da superfície são de particular interesse.

3.1.4 Dispositivos de intensificação

São inseridos no escoamento aumentando indiretamente a energia de transporte nas superfícies quentes. São usados em escoamentos

forçados.

3.1.5 Dispositivos de circulação de fluxo

Incluem um grande número de arranjos geométricos para escoamentos forçados, que criam vórtices ou fluxos secundários. Exemplos: tubos helicoidais, geradores internos de vórtice etc.

3.1.6 Superfícies Tensionadas

Consistem de telas ou superfícies perfuradas que direcionam o escoamento em processos de condensação e evaporação.

3.1.7 Aditivos para líquidos

Incluem partículas sólidas e bolhas de gases para escoamentos monofásicos e líquidos para sistemas bifásicos.

3.1.8 Aditivos para gases

São gotas ou partículas sólidas, tanto na fase diluída (suspensões gás-sólido) ou fases densas (leitos fluidizados).

3.2 Métodos Ativos

3.2.1 Auxílio Mecânico

Mexem o fluido por auxílio mecânico ou pela rotação da superfície. Equipamentos com dutos de troca de calor girantes são encontrados em aplicações comerciais.

3.2.2 Vibração da Superfície

Tanto em alta como em baixa frequência, é usada principalmente para aumentar a troca de calor de escoamento monofásico.

3.2.3 Vibração do Fluido

É o tipo mais prático de intensificação através de vibração, dada a massa da maioria dos trocadores de calor. As vibrações vão de pulsações de aproximadamente 1 Hz até ultrasons. Comumente aplicada em escoamentos monofásicos.

3.2.4 Campos eletrostáticos (AC e DC)

São aplicados em diferentes maneiras em fluidos dielétricos. Os campos eletrostáticos podem ser direcionados para causar grande mistura do fluido na vizinhança da superfície de transferência de calor. O campo elétrico pode ser combinado a um campo magnético para fornecer uma convecção forçada via bombeamento eletromagnético.

3.2.5 Injeção

Envolve o fornecimento de gás a um escoamento de líquido, através de uma superfície de transferência de calor porosa ou injeção de fluido similar à montante da seção de troca. A desgaseificação dos líquidos pode provocar uma intensificação similar ao da injeção de gás. É aplicável somente a escoamento monofásico.

3.2.6 Sucção

Envolve tanto a remoção de vapor através de uma superfície porosa aquecida (em vaporização nucleada ou em filme), quanto a extração de fluido através de uma superfície porosa aquecida (em escoamento monofásico).

As técnicas apresentadas acima podem ser utilizadas simultaneamente para produzir um efeito de intensificação maior. Isto é chamado de intensificação composta.

A intensificação de trocas de calor através da geração de vórtices

longitudinais no fluxo terá grande ênfase, pois induzem o aumento de transferência de calor na superfície aletada introduzindo uma baixa perda de carga no circuito.

4. Geração de Vórtices Longitudinais

Devido a sua forma, os geradores de vórtices são classificados como "wing" ou "winglet". O gerador "wing" possui sua borda de fuga soldada à aleta, já no gerador "winglet" a parte soldada é a corda.

Os vórtices longitudinais são gerados ao longo da borda dos delta "wings", devido a diferença de pressão entre a borda de ataque e a borda de fuga. Estes persistem por uma longa distância no fluxo.

Com base em medições já realizadas, conclui-se que :

- Ao longe dos geradores de vórtices com pequeno ângulo de ataque a principal razão para a grande intensificação de transferência de calor é a transição para o regime turbulento e não o movimento rotacional propriamente dito;
- Mais próximo aos geradores de vórtices, o movimento vortical gera uma diminuição da camada limite, criando uma grande intensificação local em regiões onde o regime é predominantemente laminar.

5. Procedimento e Aparato Experimental

Afim de levantar experimentalmente o efeito da influência das técnicas de intensificação sobre a performance dos trocadores, serão utilizados dois métodos :

- Placa Aquecida
- Sublimação de naftaleno

A técnica da placa aquecida apresenta uma boa precisão para a realização de uma análise global do fenômeno. Para uma medição da transferência de calor

local, é aconselhável a utilização da técnica de sublimação de naftaleno, pois esta proporciona a variação contínua do coeficiente de transferência de calor.

Ambos os testes serão realizados no interior de um túnel de vento de circuito aberto e baixa velocidade.

A média e o desvio da velocidade serão medidos por um anemômetro que ficará instalado na direção normal ao fluxo.

5.1 Placa Aquecida

O vórtice longitudinal será gerado na linha de centro da camada limite laminar por meio de um delta "wing", passando então por uma superfície de troca alimentada por um fluxo de calor constante. Uma superfície de aço inox aquecida será colocada na parte superior da seção de testes para eliminar a influência da convecção natural. A face posterior do aquecedor será isolada por uma placa recozida e coberta com espuma de estireno. A distribuição dos coeficientes de transferência de calor nas direções transversal e longitudinal serão baseados nas medições de temperatura por termopares instalados atrás da superfície de troca.

A incerteza do número de Stanton será estimada combinando-se as incertezas nas medições das temperaturas locais, na energia fornecida, na correção aplicada para radiação e perdas por condução.

5.2 Sublimação de Naftaleno

Na maioria das experiências, o gerador de vórtice é colocado a montante da placa de naftaleno, podendo também, ser disposto sobre a mesma.

Depois de expor a placa de naftaleno ao fluxo por algumas horas, a taxa de sublimação será medida por um micrômetro eletrônico comandado por um sistema automático, que permite a aquisição de dados detalhados. O coeficiente de transferência de calor será calculado através da taxa de sublimação de naftaleno, usando a analogia entre transferência de calor e massa.

Os resultados serão mostrados em forma adimensional, normalizado pelo valor teórico da camada limite laminar.

A incerteza da experiência com o naftaleno está principalmente associada à variação de temperatura durante o teste.

6. Definição do Escopo

A unidade laboratorial consistirá de um túnel de vento de circuito aberto com a instrumentação necessária aos testes. O escopo do nosso trabalho compreenderá o projeto do túnel de vento.

7. Túnel de Vento

Pode-se classificar um túnel de vento segundo os seguintes critérios :

a. Configuração física :

- a.1. Túnel de circuito aberto;
- a.2. Túnel de circuito fechado;

b. Velocidade de escoamento na seção de testes;

- b.1. Subsônico;
- b.2. Sônico;
- b.3. Supersônico;
- b.4. Hiper-Sônico.

c. Seção de Testes;

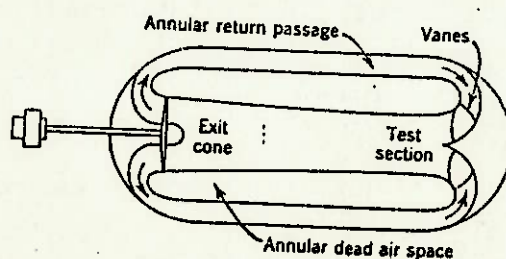
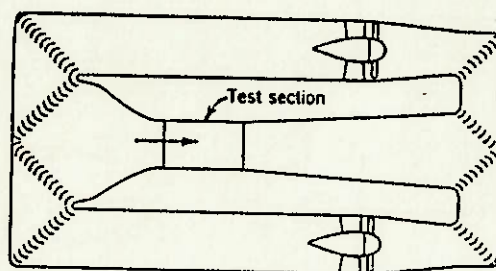
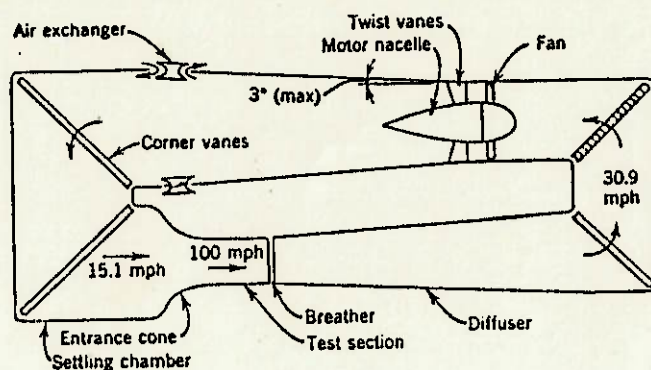
- c.1. Aberto;
- c.2. Fechado;

7.1 Classificação quanto à Configuração Física

7.1.1 Túnel de Circuito Fechado

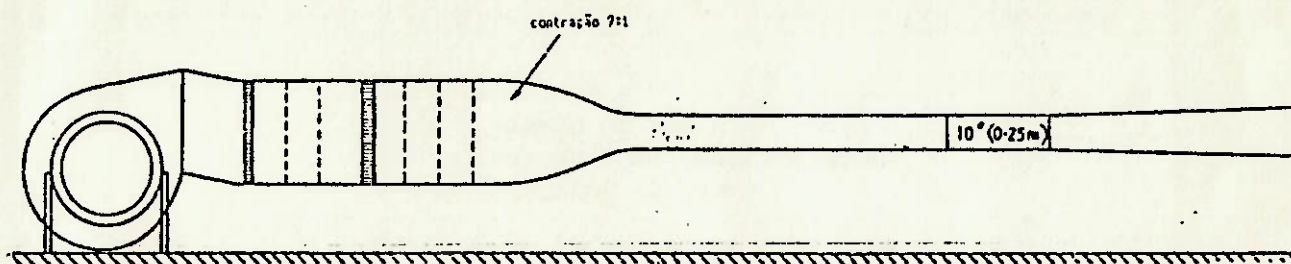
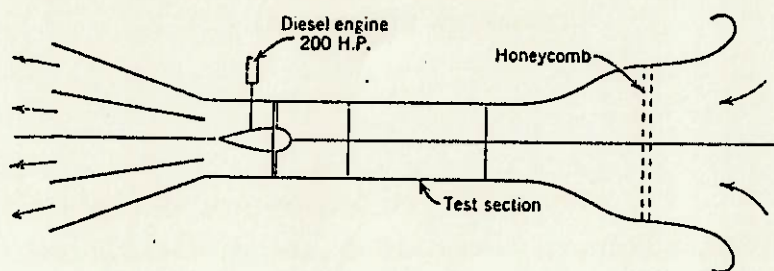
Neste tipo de túnel o fluido escoar continuamente no interior de condutos forçados, desde a saída do conduto de testes até a sua

entrada. O retorno do ar pode-se dar por um duto simples, duplo ou através de uma seção anular, como mostram as figuras de 1 a 3 apresentadas abaixo :



7.1.2 Túnel de Circuito Aberto

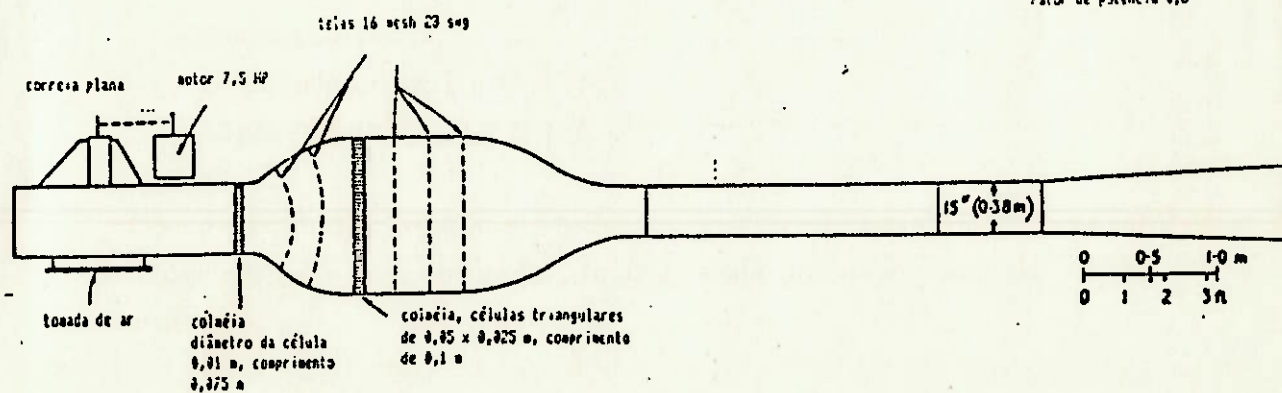
É o tipo mais básico, onde o fluido passa do ambiente externo para a entrada, entra na contração, passando pela seção de testes, difusor, ventilador e volta ao ambiente. O ventilador pode ser posicionado à montante ou à jusante da seção de testes, sendo denominados de insuflado ou aspirado, respectivamente (Figs. 4 e 5)



velocidade máxima 50 m/s

Fator de potência 0,6

Túnel de vento do NPL



0 0,5 1,0 m
0 1 2 3 ft

7.2 Classificação quanto à Velocidade do Escoamento na Seção de Testes

A velocidade característica para um escoamento numa seção qualquer, é determinada por :

$$v_c = \sqrt{k.R.T}$$

onde:

v_c - velocidade característica;

k - C_p/C_v ;

R - Constante do fluido;

T - Temperatura do fluido.

Que é a velocidade de propagação do som no meio.

Em função desta característica, definindo-se o adimensional M (denominado número de Mach), da seguinte maneira :

$$M = \frac{v}{v_c}$$

onde:

M - número de Mach;

v - velocidade do fluido na seção;

v_c - velocidade do som.

Pode-se classificar o túnel de vento como :

- Subsônico se $M < 1$;
- Sônico se $M = 1$;
- Supersônico se $1 < M < 3$;
- Hiper-Sônico se $3 < M < 7$.

Com exceção do Subsônico, todos os outros escoamentos exigem condições especiais para sua obtenção, ficando essa discussão além do escopo desse trabalho.

7.3 Classificação quanto a Seção de Testes

7.3.1 Seção de Testes Aberta

Neste Caso a seção de testes não possui contornos sólidos em torno do objeto em estudo.

7.3.2 Seção de Testes Fechada

Neste caso a seção de testes possui contornos sólidos, podendo assumir as formas circular, elíptica, retangular ou octogonal.

8. Escolha do tipo de túnel

O túnel de vento necessário ao estudo a ser realizado sobre técnicas de intensificação deve atender aos seguintes requisitos:

- baixo nível de turbulência;
- escoamento subsônico na seção de testes;
- perfil de velocidades uniforme na seção de testes;
- facilidade de construção;
- baixo custo de construção, operação e manutenção;
- facilidade de utilização de técnicas de visualização de escoamento;
- facilidade de acesso à seção de testes.

A escolha da configuração física do túnel leva em conta os seguintes aspectos :

8.1 Túnel Aberto

Vantagens :

- custo de construção menor;
- inexistência de problemas com purga, no caso de utilização de visualização com fumaça.

Desvantagens :

- sujeito à relação tamanho do laboratório X tamanho do túnel, devido à grande interferência no escoamento para relações muito pequenas.
- eficiência menor, gastando maior quantidade de energia;
- gera muito ruído, o que pode causar limitações no número de horas de operação e problemas no ambiente.

8.2 Túnel Fechado**Vantagens :**

- fácil controlabilidade do escoamento;
- maior eficiência;
- menor geração de ruído.

Desvantagens :

- maior custo inicial;
- necessidade de dispositivo especial para purga quando na utilização com fumaça;
- necessidade de aparato para refrigeração do ar em dias de alta temperatura.

Selecionou-se o túnel de circuito aberto pois seu custo de construção é muito menor que o de circuito fechado. Além disso, levando-se em conta que o escoamento deve ser subsônico na seção de testes, seu custo operacional será baixo.

A necessidade de se apoiar os objetos de ensaio e a instrumentação, aliada ao fato de que deve existir fácil visualização do ensaio, exige que a seção de testes seja fechada. Deve também ser retangular pois o modelo considerado toma por base um escoamento bidimensional.

9. Projeto do Túnel de Circuito Aberto Subsônico de Seção de Teste Retangular

Dividimos o projeto do túnel em suas partes principais :

- Telas e colméias;
- Trecho estabilizador;
- Contração;
- Seção de testes;
- Difusor;
- Ventilador;
- Acionamento;
- Estrutura de apoio;
- Instrumentação;
- Aquisição e tratamento de dados.

9.1 Telas e Colméias

As telas são dispositivos destinados a reduzir a turbulência, principalmente na direção axial do escoamento. Sua ação consiste na imposição de perda de carga maior para altas velocidades, promovendo portanto, maior uniformidade da velocidade axial.

As colméias introduzem menor perda de carga, tendo pouca influência na velocidade axial. Devido ao seu comprimento, elas atuam na redução das turbulências laterais.

Um grande problema enfrentado pelas telas é o acúmulo de poeiras, que faz com que as perdas de carga aumentem e haja um desvio da direção do fluxo. Portanto, as telas devem estar dispostas de maneira a permitir o fácil acesso para limpeza.

As telas devem ter razão área livre por área total maior que 0,57.

O fator de redução de turbulência é dado por :

$$f = \frac{1}{U + K} \text{ para redução axial}$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{U + K}} \text{ para redução lateral}$$

$$K = K_o + 55, \frac{2}{Re_d}$$

$$K_o = \left(\frac{1 - 0,95.\beta}{0,95.\beta} \right)^2$$

$$\beta = \left(1 - \frac{d}{m} \right)^2$$

d - diâmetro do arame;

m - tamanho da malha;

Re_d - número de Reynolds com relação a d .

Para múltiplas telas, o fator de redução de turbulência é o produto dos fatores individuais (f) e o coeficiente K é a soma.

As colméias devem ser instaladas a montante das telas.

9.2 Trecho Estabilizador

É o trecho entre a tela e a contração onde ocorrem as atenuações dos vórtices gerados nas telas e colméias.

9.3 Contração

Existem 2 problemas a serem considerados :

- A superfície das linhas de fluxo de uma contração retangular têm interseção com as paredes laterais, o que gera fluxos secundários nos cantos. Este problema pode ser atenuado fazendo uma contração ortogonal, ou impondo um chanfro a 45 graus desde a contração até a seção de testes.

- A presença de um gradiente de pressão indesejável na entrada e na saída do cone. Se este for suficiente para provocar o descolamento, a qualidade do fluxo na seção de testes pode se degradar e a potência necessária aumentará.

O perfil da contração deve ser tal que conduza a uma distribuição de velocidade uniforme com camada limite muito fina e baixo nível de turbulência.

Para o nosso projeto, a contração terá seção retangular e o perfil para esse caso será calculado segundo o algoritmo desenvolvido pelo Dr. John Willis, do British Maritime Technology, e adaptado pelos engenheiros Wilson Taira e Ciro Rodrigues do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo).

Este algoritmo é aplicável para o cálculo da contração com escoamentos bidimensionais ou com simetria axial, definindo o perfil de uma contração de comprimento finito, com seções transversais paralelas e efeitos de compressibilidade reduzida.

Notas :

1.As extremidades da contração apresentam-se praticamente como um duto de seção retangular, porém não é recomendável admitir esse trecho calculado como se fosse parte integrante da seção de testes.

2.É assumido um escoamento sem atrito, portanto é recomendável que se considere um pequeno desvio dimensional para a acomodação da camada limite.

3.Maiores detalhes consultar referência [1].

9.4 Seção de Testes

É o local onde ocorrerão todos os ensaios e levantamentos de dados necessários ao estudo da intensificação. Deve ser posicionada distante o

suficiente da contração para evitar a interferência do modelo testado sobre a estabilização do escoamento. Essa distância deve ser limitada a amplitudes que não sejam afetadas pelo desenvolvimento da camada limite.

Os cantos poderão ser chanfrados para atenuar o efeito da camada limite.

Para manter a pressão estática do fluido constante na seção, pode-se prever um ângulo de divergência igual a 10° .

Para as janelas deve-se preferir o uso de acrílico ao vidro, por este oferecer riscos de acidentes no caso de o protótipo ensaiado apresentar problemas.

9.5 Difusor

A função do difusor é reduzir a velocidade do fluido (expandindo o fluxo e recuperando a pressão estática), fazendo com que a perda de carga no circuito seja menor.

A performance do difusor é muito sensível a erros de projeto ou construção, que podem implicar no aparecimento de separações causando vibração, oscilação de carga no ventilador, oscilação da velocidade na seção de testes e aumento das perdas.

Os difusores são caracterizados pela razão entre as áreas de entrada e saída e pelo ângulo de cone equivalente.

Geralmente, utilizam-se difusores de ângulo de cone equivalente menor ou igual a 70° , porém este ângulo depende da razão entre as áreas, que determinará a recuperação de pressão e o aparecimento de gradientes, sendo responsável portanto, pelo risco de ocorrência dos descolamentos.

Na ocorrência de descolamentos, existem recursos para tentar eliminá-los. O primeiro passo é localizá-los por meio de alguma técnica de visualização, uma vez localizados os seguintes reparos podem corrigir o problema :

- Divisores. Úteis para eliminar separações incipientes, reduzindo a

assimetria do fluxo e suavizando o perfil de velocidades.

- Cata-ventos. São rotores livres que desviam energia de áreas com alta pressão dinâmica para áreas com baixa pressão dinâmica. Reduzem picos de turbulência mas aumentam a turbulência no total.

- Controle de camada limite. Ranhuras de controle da camada limite são facilmente aplicáveis apenas em túneis de circuito aberto. Aqui a seção de testes está a pressão abaixo da atmosférica e é necessário apenas fazer suaves ranhuras na entrada do difusor para melhorar o escoamento.

9.5.1 Telas de segurança

É usual instalar tela de segurança de malha ampla entre a seção de testes e o ventilador, para fazer a sua proteção contra pedaços de protótipo, ferramentas, etc.

9.6 Ventiladores

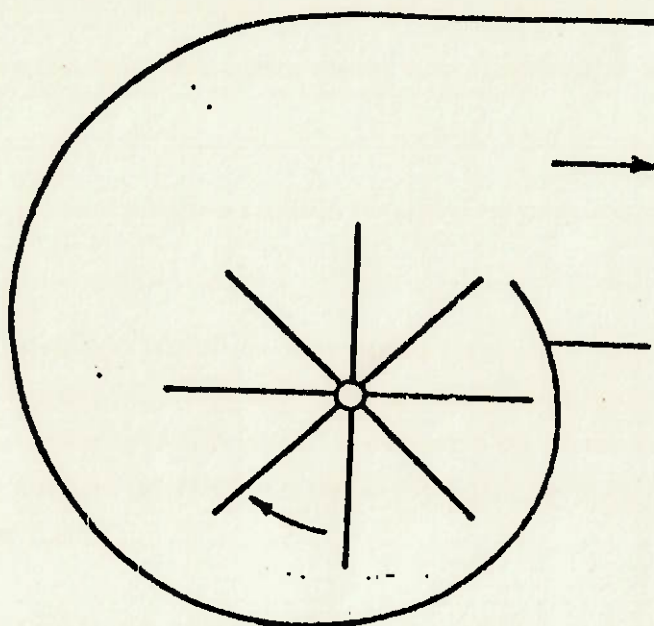
O ventilador é responsável pelo suprimento de um escoamento controlado. Para um determinado ventilador o controle é feito através de sua rotação, por meio de engrenagens, polias, variação da frequência para motor de corrente alternada ou corrente contínua.

Dentre os diversos tipos de ventiladores, existem 2 tipos mais comuns :

- Pás radiais;
- Pás "Backward airfoil".

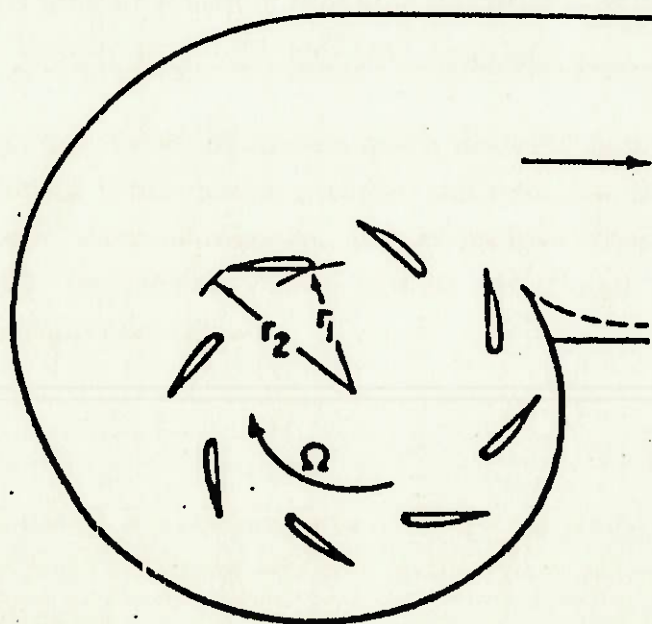
9.6.1 Ventilador de Pás Radiais

Este fornece o ar de modo descontínuo, atuando como uma sirene. O ruído resultante e as flutuações no escoamento tornam-se inadequado para o uso em túneis de alto desempenho.



9.6.2 Ventilador de Pás "Backward airfoil"

Ao contrário do ventilador de pás radiais, este não depende da força centrífuga para produzir um aumento de pressão, embora dependa do aumento na velocidade periférica da pá da entrada até a saída.



O tipo de ventilador mais apropriado é o "backward airfoil", que é mais silencioso.

Os ventiladores centrífugos radiais são preferíveis aos axiais nas seguintes situações :

- Quando se utiliza o túnel em uma larga faixa de condições de operação. O ventilador centrífugo é mais favorável porque como toda a área das pás está na periferia do rotor, o aumento de pressão que se obtém para uma dada velocidade periférica e condições de operação das pás é maior que um ventilador axial.
- Como todas as pás operam com o mesmo coeficiente de sustentação, pode-se esperar uma operação eficiente em regime permanente em uma larga faixa de velocidades. Enquanto que no caso do ventilador axial com um diâmetro do cubo central aceitável, a ocorrência de "Stall" (perda de sustentação em um aerofólio) na raiz das pás e de empuxo negativo primeiro nas pontas das pás, gera instabilidades em determinadas faixas de velocidades.
- Das duas condições anteriores segue que o ruído no ventilador centrífugo tipo "backward airfoil" é menor que num ventilador axial, particularmente nas condições fora do ponto de operação de projeto.
- Da segunda condição citada tem-se que a uniformidade de escoamento na saída não se altera tanto com a variação de velocidade, como no caso do ventilador axial. Particularmente, o escoamento rotacional na saída é pequeno quando comparado com o grande rotacional (dependente da velocidade) gerado nos axiais.

9.7 Acionamento

Como citado no item 9.6 o acionamento é um dos responsáveis pelo controle da rotação do rotor. Descreveremos abaixo uma série de sistemas de acionamento elétrico :

9.7.1 Gerador e Motor DC

Esse sistema utiliza um motor síncrono e é aplicável para potências abaixo de 200 Hp. Oferece excelente controlabilidade da velocidade.

9.7.2 Acionamento "Tandem"

A combinação de um motor DC para baixa potência e um motor de indução de velocidade única para altas potências é satisfatório para o range de 300 a 20.000 Hp. Com esse arranjo, o motor DC é usado para operação de baixa potência e para acelerar o motor de indução até a velocidade de operação.

9.7.3 Freqüência Variável

Normalmente abaixo de 3.000 Hp. Utiliza-se de um motor síncrono para o acionamento de um gerador DC cuja saída é usada para alimentar um motor DC que aciona um alternador. A saída do alternador é usada para alimentar o motor do ventilador que pode ser síncrono ou de indução. É um bom sistema, porém muito caro.

9.7.4 Acoplamento Magnético

Um motor síncrono pode ser usado para acionar um ventilador através de um acoplamento magnético de velocidade variável. Esta configuração é uma das mais econômicas considerando-se o custo inicial e proporciona excelente controle de velocidade de 0 até a máxima velocidade.

9.7.5 Motor de Indução com Rotor "Wound"

Geralmente não se pode esperar grandes variações de rotação, boa controlabilidade ou alta eficiência. Embora esse tipo de motor tenha sido usado com razoável sucesso em combinação com um ventilador de passo variável. Oferece custo inicial baixo e um motor pequeno com relação à instalação do túnel.

9.8 Estrutura de apoio

Consiste de uma série de vigas soldadas de maneira a permitir uma fixação de todos os componentes do túnel assegurando a rigidez do sistema. O projeto dessa estrutura depende da definição das dimensões do laboratório e dos parâmetros de ensaio.

9.9 Instrumentação

Serão levantadas pressões, temperaturas, velocidades, dimensões e massas por meio de transdutores de pressão, termopares, pitots, células de carga, paquímetros, micrômetros e anemômetros, que serão definidos com o decorrer do projeto.

9.10 Aquisição e Tratamento de Dados

Serão utilizados conversores analógico-digitais e um microcomputador para aquisição dos dados. Os softwares necessários para o tratamento desses dados serão desenvolvidos pela nossa equipe de trabalho.

10. Projeto Básico

O projeto básico do túnel de vento foi subdividido no projeto das seguintes partes :

- efusor;
- trechos retos
- seção de testes;
- difusor;
- telas e colméias;
- ventilador.

Os fatores limitantes para o projeto são o comprimento total do túnel e a potência consumida para fazer escoar o ar em seu interior. Ficou estabelecido, em função das dimensões do laboratório, que o comprimento não deve ultrapassar 10 m e em função do motor disponível, que a potência consumida não deve ultrapassar 10 HP.

No dimensionamento, concentramos nossos esforços na determinação dos coeficientes de perda de carga em cada trecho e no respectivo comprimento, em função das dimensões da seção de testes e do ângulo de abertura do difusor.

Não foram considerados aspectos de resistência de materiais, visto não haver a atuação de esforços que possam danificar as peças integrantes. Para a seleção das espessuras das placas e tamanho de pregos, parafusos, etc, nos baseamos na verba disponível, dimensões comerciais padrões e compatibilidades geométricas.

Para os itens efusor, trechos retos, seção de testes e difusor, adotamos a seguinte metodologia :

- Admitindo-se uma seção de testes seção transversal quadrada, variamos a sua altura 300 a 600mm de lado com passo de 50mm,
- Determina-se o coeficiente de perda de carga.
- Para o comprimento, cada trecho possui uma função $L = L(h)$, onde L é o comprimento do trecho e h é a altura da seção de testes.
- Levantando-se gráficos de coeficiente de perda de carga total e comprimento total, variando em função da altura da seção de testes e ângulo de abertura do difusor, chegamos aos resultados demonstrados em anexo.

A configuração selecionada, levou em consideração a relação existente entre o custo do ventilador e potência consumida e o custo de material necessário.

No efusor, devido ao perfil mais complexo, dispendemos especial atenção, pois representa a parte de maior dificuldade do ponto de vista de construção. Admitindo-se inicialmente um perfil elíptico para a contração, encontrou-se as dimensões mostradas em anexo trabalho. Porém, verificou-se através do trabalho desenvolvido pelo Engenheiro Fernando M. Catalano, que o perfil elíptico não seria o mais adequado para o túnel, pois este criaria um escoamento não uniforme. Assim, passamos a adotar o perfil cúbico utilizando o método

numérico de Wu & Waters e o programa desenvolvido pelo Engenheiro Ciro Rodrigues [Ref. 9]. A razão de contração utilizada foi de 4:1.

Os trechos retos foram definidos como 2.0 vezes o lado da seção. Estes têm a finalidade de desenvolver o escoamento a fim de que as medidas obtidas na seção possam ser o mais precisas.

A seção de testes é parte do escopo da dissertação de mestrado do engenheiro Pacífico, orientado pelo Professor Jurandir I. Yanagihara, PhD. Tendo como requisito, um caráter eclético, permitindo a utilização do túnel para ensaios de diversos modelos de trocadores, com aplicações diversas. Para nosso projeto foi admitido que o seu comprimento será 1.0 vez a altura.

Para efeito de cálculos, consideramos portanto, o trecho total reto igual a 5 vezes a altura da seção de testes.

Tomando como variável o ângulo do difusor, as suas dimensões foram calculadas para as diversas seções de teste. O ângulo variou de 2 a 70, que é o ângulo máximo recomendado para que não haja perturbações grandes no escoamento pela criação de vórtices. Foi admitida como dimensão básica do bocal de sucção do ventilador, 710 mm, que é a dimensão do bocal do ventilador existente no laboratório de máquinas térmicas do departamento.

As telas a serem utilizadas terão como principal função o bloqueio da entrada de objetos estranhos do meio externo ao interior do túnel e o bloqueio de partes de modelos que eventualmente se despreserá, protegendo assim o rotor do ventilador. O posicionamento será na entrada do efusor e entre a seção de testes e o difusor. Não consideraremos a efeito de estabilização das telas, pois o trecho reto a montante da seção de testes é suficiente para o desenvolvimento do escoamento.

A especificação do ventilador está fortemente aos resultados da análise de semelhança que deverá ser realizada futuramente, na já citada dissertação de mestrado. Porém, como o motor disponível é de 10 HP, admitindo-se uma eficiência de 70% e uma velocidade de 10 m/s na seção de testes (bastante usual), o máximo acréscimo de pressão estática possível é de aproximadamente

210 mm.c.a. Fica portanto aguardando definições do outro grupo da equipe.

11. Especificação dos equipamentos

Especificação FE-0001

Equipamento	Tela
Quantidade	01 (um)
Dimensões	1100 x 1100 mm
Malha	#300
Material	qualidade comercial
Fluido	Ar
Temperatura	25 oC
Pressão	Atmosférica
Impurezas	Sólidos e umidade
Acessórios	
Juntas e grampos	

Especificação FE-0002

Equipamento	Tela
Quantidade	01 (um)
Dimensões	600 x 600 mm
Malha	#50
Material	qualidade comercial
Fluido	Ar
Temperatura	A definir
Pressão	A definir
Impurezas	Sólidos e umidade
Acessórios	
Juntas e grampos	

Especificação FE-0003

Equipamento	Junta Antivibratória
Quantidade	01 (um)
Dimensões	A definir
Material	qualidade comercial
Conexões	Flangeadas
Fluido	Ar
Temperatura	A definir
Pressão	A definir
Impurezas	Sólidos e umidade
Acessórios	
Juntas e parafusos	

Especificação FE-0004

Equipamento Ventilador Centrífugo

Tipo Backward Airfoil

Quantidade 01 (um)

Vazão A definir

Pressão A definir

Montagem Conforme Des. 05/05

Material qualidade comercial

Conexões Flangeadas

Acionamento Motor elétrico, Dc

Tensão 440 V

Potência 10 HP

Fluido Ar

• Temperatura A definir

Impurezas Sólidos e umidade

Nível de Ruído a 1 m 70 dB

Acessórios

Base, fundações e acoplamento

12. Projeto Executivo

O projeto executivo consistiu na elaboração dos desenhos de cada trecho, com detalhes suficientes para a fabricação, lista de materiais e construção do túnel.

A configuração selecionada foi :

- Altura da seção de testes = 500mm
- Ângulo de abertura do difusor = 60
- Comprimento total do túnel = 5200 mm

Confeccionou-se na seqüência : os trechos retos, o efusor e por fim o difusor.

13. Comentários finais

Após discussão com o professor orientador, o escopo inicial foi redefinido para o projeto e fabricação do túnel em si, ficando a instrumentação, aquisição e tratamento dos dados e a seção de testes em si, incluídos no escopo do outro grupo, aguardando uma definição mais clara do objeto de estudo. Com isso, o nosso cronograma foi redefinido sendo acrescentadas as seguintes alterações :

Projeto Básico	Agosto
Aquisição de materiais	Setembro
Arranjos sobre instalações, máquinas e técnicos	Setembro
Construção	Outubro/Novembro
Relatório Final	Novembro/Dezembro
Apresentação Final	Dezembro

14. Referências Bibliográficas

- [1] Whitehead, L.G., Wu, L.Y. & Waters, M.H.L., "Contracting Ducts of Finite Length", Aero Quart., Vol. II, 1951;
- [2] Bergles, A.E., "Heat Transfer Enhancement-Second Generation Heat Transfer Technology", Proceedings of the 11th ABMC Mechanical Engineering Conference, São Paulo, Brazil, 1991;
- [3] Yanagihara, J.I. & Torii, K., "Enhancement of Laminar Boundary Layer Heat Transfer by a Vortex Generator", JSME International Journal, series II, Vol.35, No.3, pp 400-405, 1992;
- [4] Yanagihara, J.I., Torii, K. & Nagai, Y., "Heat Transfer Enhancement by Vortex Generators", Proceedings of ASME/JSME Thermal Engineering Joint Conference, Book No. 10309C - 1991, pp 77-83, 1991;
- [5] Yanagihara, J.I. & Torii, K., "Heat Transfer Augmentation by Longitudinal Vortices", Proceedings of the 11th ABMC Mechanical Engineering Conference, Sao Paulo, Brazil, 1991;
- [6] Fiebig, M., Kallweit, P., Mitra, M. & Tiggelbeck, S., "Heat Transfer and Enhancement and Drag by Longitudinal Vortex Generator in Channel Flow", Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 4, pp 103 - 114, 1991;
- [7] Shah, R.K., "What's New in Heat Exchanger Design", Mechanical Engineering, pp 50-59, 1984;
- [8] Rae, W.H.Jr., Poppe, A., "Low Speed Wind Tunnel Testing", John Wiley & Sons, 2nd edition, 1984;
- [9] Rodrigues, C.R., "Túnel de Vento de Baixa Velocidade", EPUSP, T.F., 1989;
- [10] Catalano, F.M., "Projeto, Construção e Calibração de um Túnel Aerodinâmico de Circuito Aberto Tipo N.P.L. de Seção Transversal Hexagonal", Esc. Eng. São Carlos USP, Dissertação de Mestrado, 1988;

DIMENSÕES DO DIFUSOR

ângulo		2o	3o	4o	5o	6o	7o
Dvent(mm)	Hseção(mm)	L(mm)	L(mm)	L(mm)	L(mm)	L(mm)	L(mm)
710	300	11744	7829	5870	4695	3912	3352
710	350	10312	6874	5155	4123	3435	2943
710	400	8880	5919	4439	3550	2958	2534
710	450	7448	4964	3723	2977	2481	2125
710	500	6015	4010	3007	2405	2004	1717
710	550	4583	3055	2291	1832	1526	1308
710	600	3151	2100	1575	1260	1049	899

DIMENSÕES DA SEÇÃO DE TESTES E TRECHOS RETOS

Hseção(mm)	L = (5*D)
300	1500
350	1750
400	2000
450	2250
500	2500
550	2750
600	3000

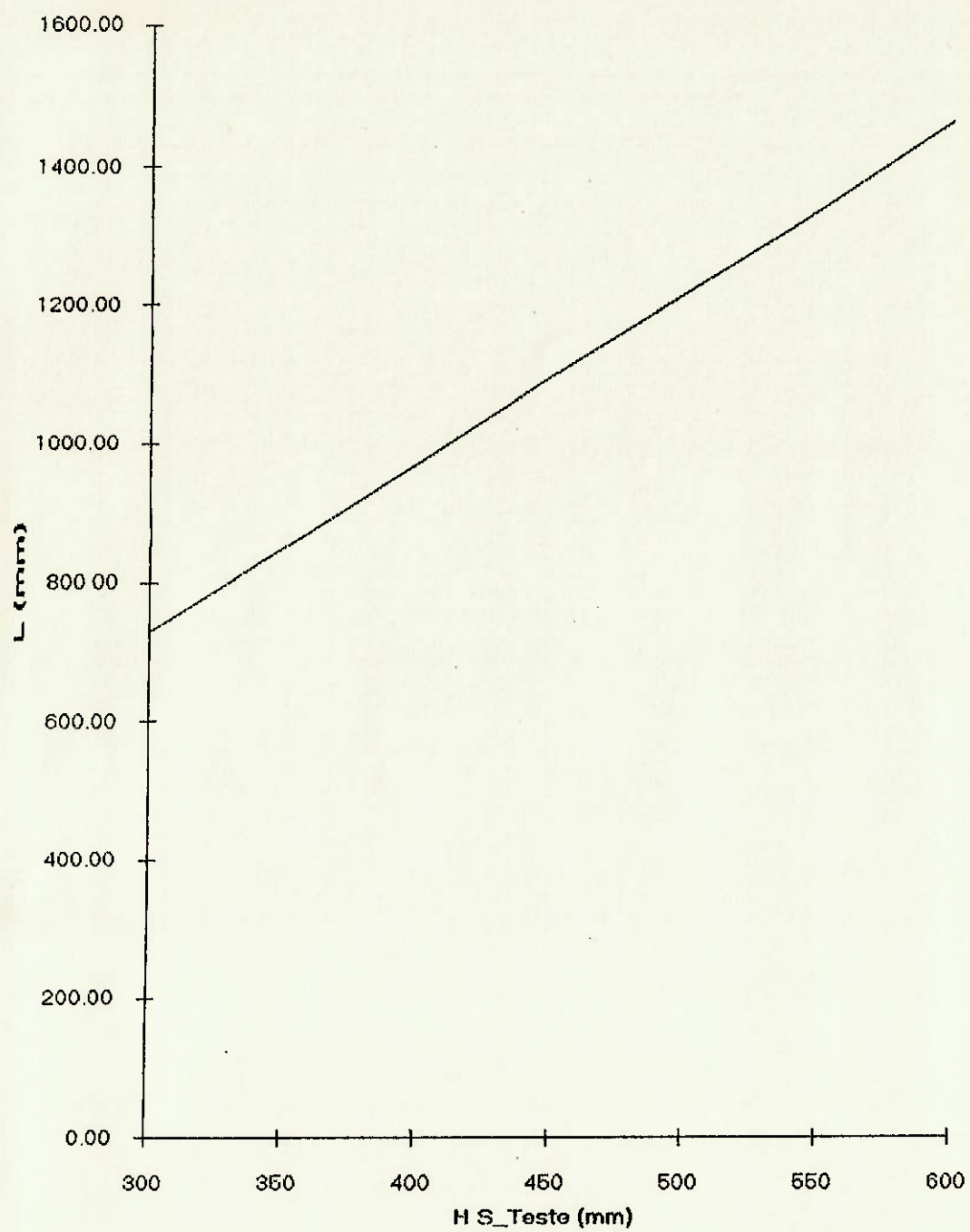
DIMENSÕES DO EFUSOR (Perfil Cúbico, razão de contração 1:4)

Dteste(mm)	L(mm)
300	730.00
350	850.00
400	970.00
450	1095.00
500	1215.00
550	1335.00
600	1460.00

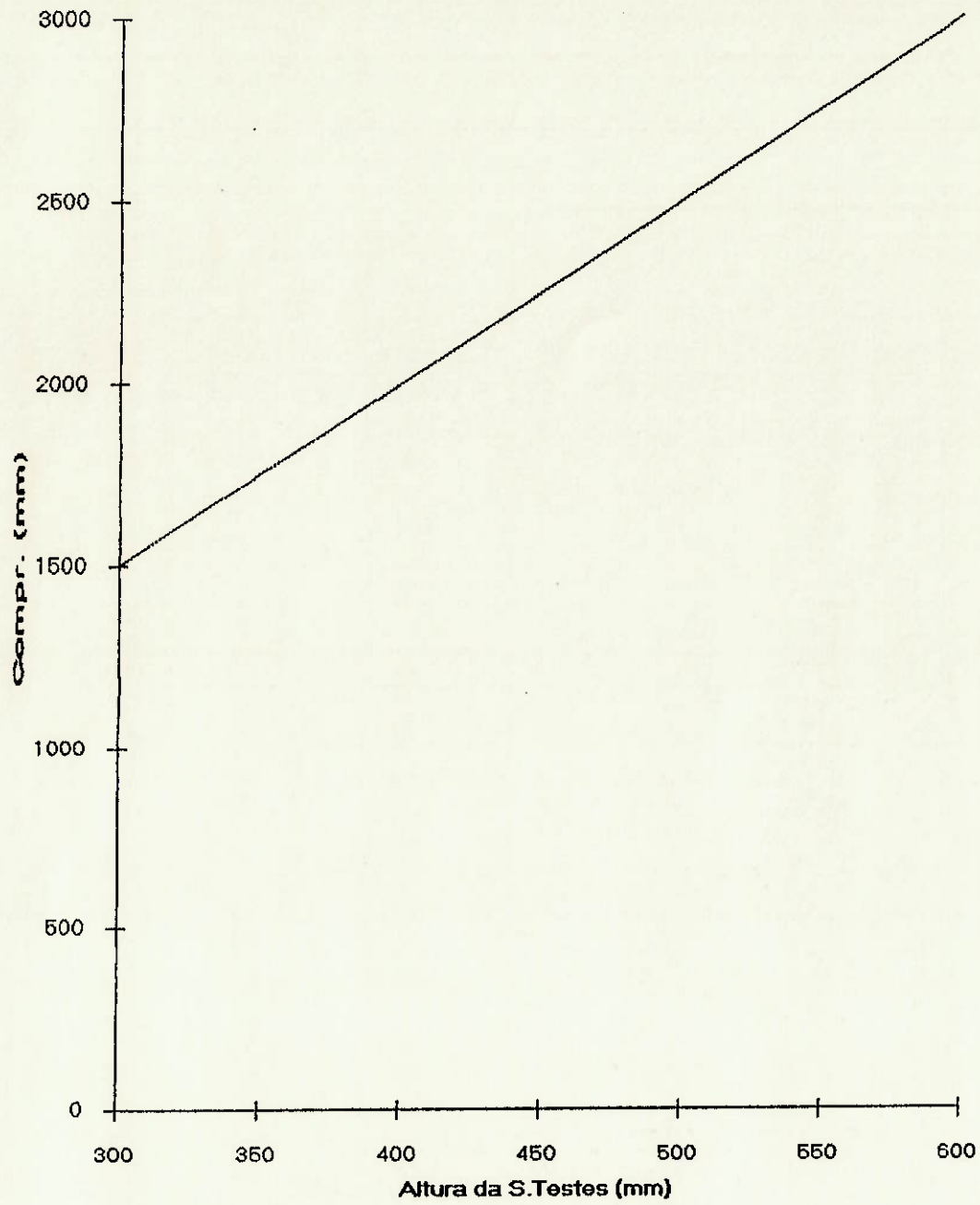
DIMENSÕES DO TÚNEL (Perfil Cúbico, razão de contração 1:4)

	COMPRIMENTO TOTAL DO TÚNEL (mm)					
Dteste(mm)	2o	3o	4o	5o	6o	7o
300	13974	10059	8100	6925	6142	5582
350	12912	9474	7755	6723	6035	5543
400	11850	8889	7409	6520	5928	5504
450	10793	8309	7068	6322	5826	5470
500	9730	7725	6722	6120	5719	5432
550	8668	7140	6376	5917	5611	5393
600	7611	6560	6035	5720	5509	5359

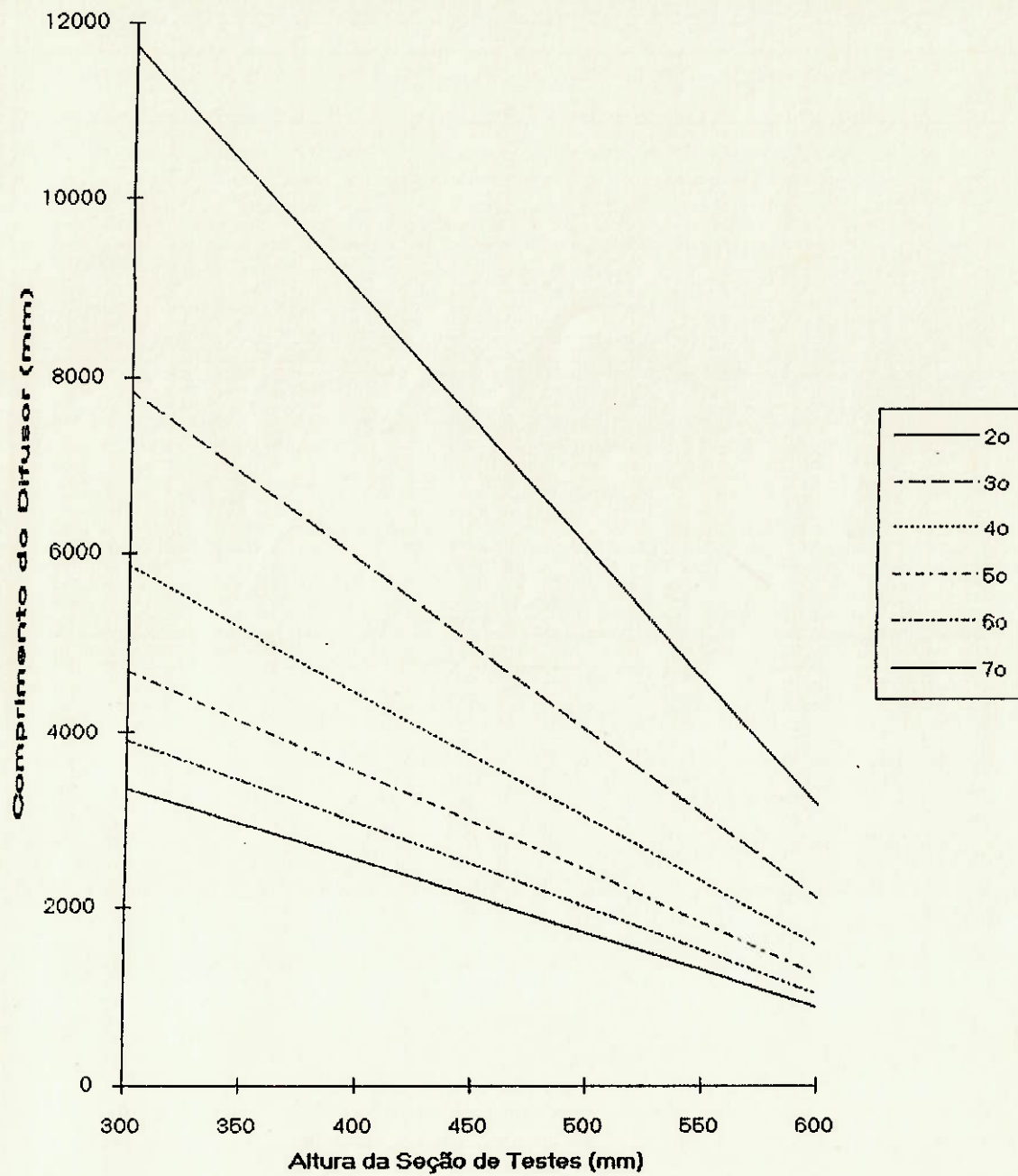
Comprimento do efusor



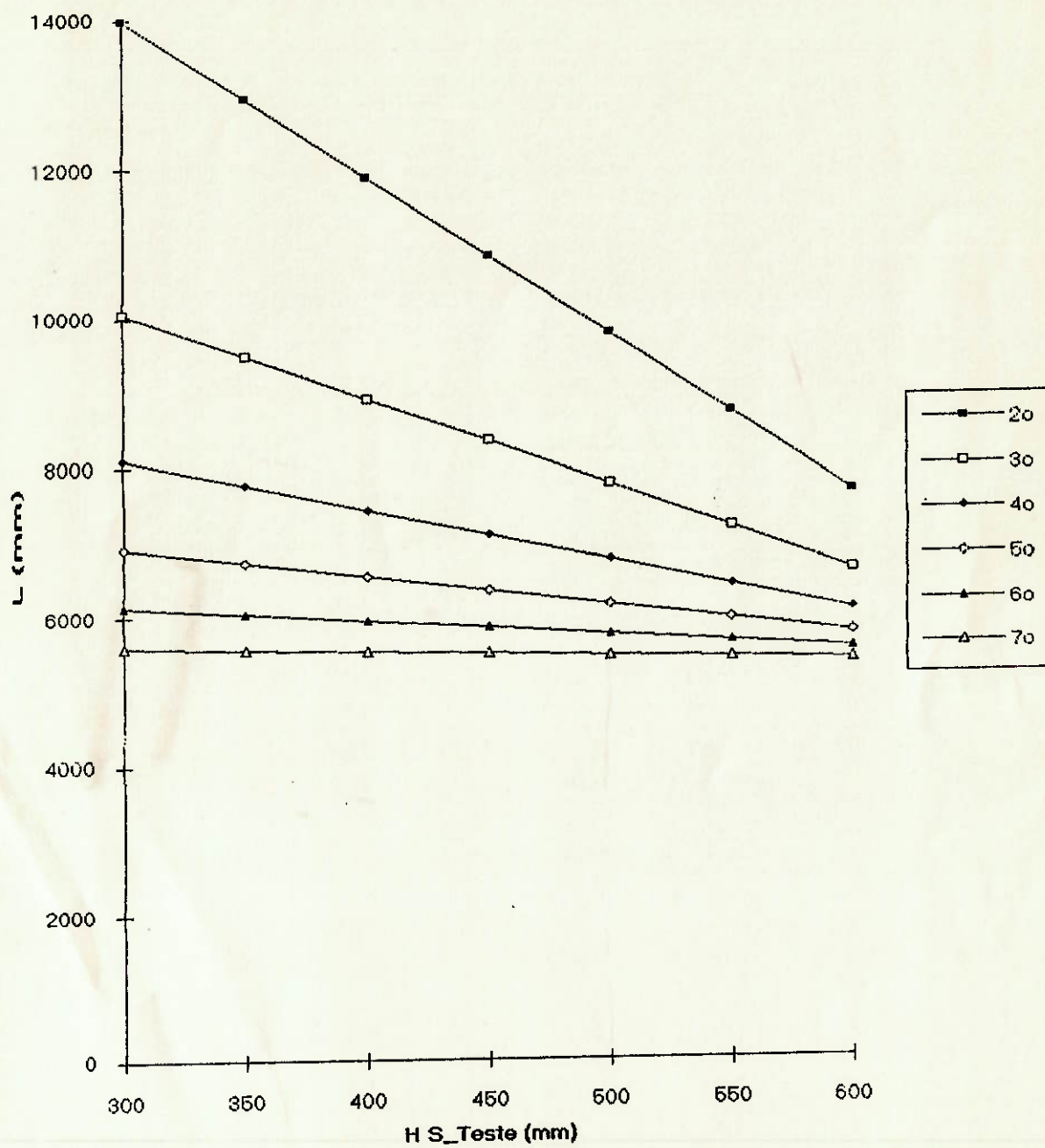
L x H da S.Testes



L do Dif. x H da S. Testes



Comprimento Total do Túnel



ERDA DE CARGA DO DIFUSOR

Dvent(mm)	Ângulo Hseção(mm)	TG(ALFA/2)	TG(ALFA/2)	TG(ALFA/2)	TG(ALFA/2)	TG(ALFA/2)	TG(ALFA/2)
		2o	3o	4o	5o	6o	7o
710	300	0.016	0.024	0.032	0.040	0.047	0.055
710	350	0.015	0.023	0.031	0.038	0.046	0.054
710	400	0.015	0.022	0.029	0.036	0.044	0.051
710	450	0.014	0.020	0.027	0.034	0.041	0.048
710	500	0.012	0.018	0.024	0.030	0.036	0.042
710	550	0.010	0.015	0.020	0.024	0.029	0.034
710	600	0.005	0.008	0.010	0.013	0.016	0.018

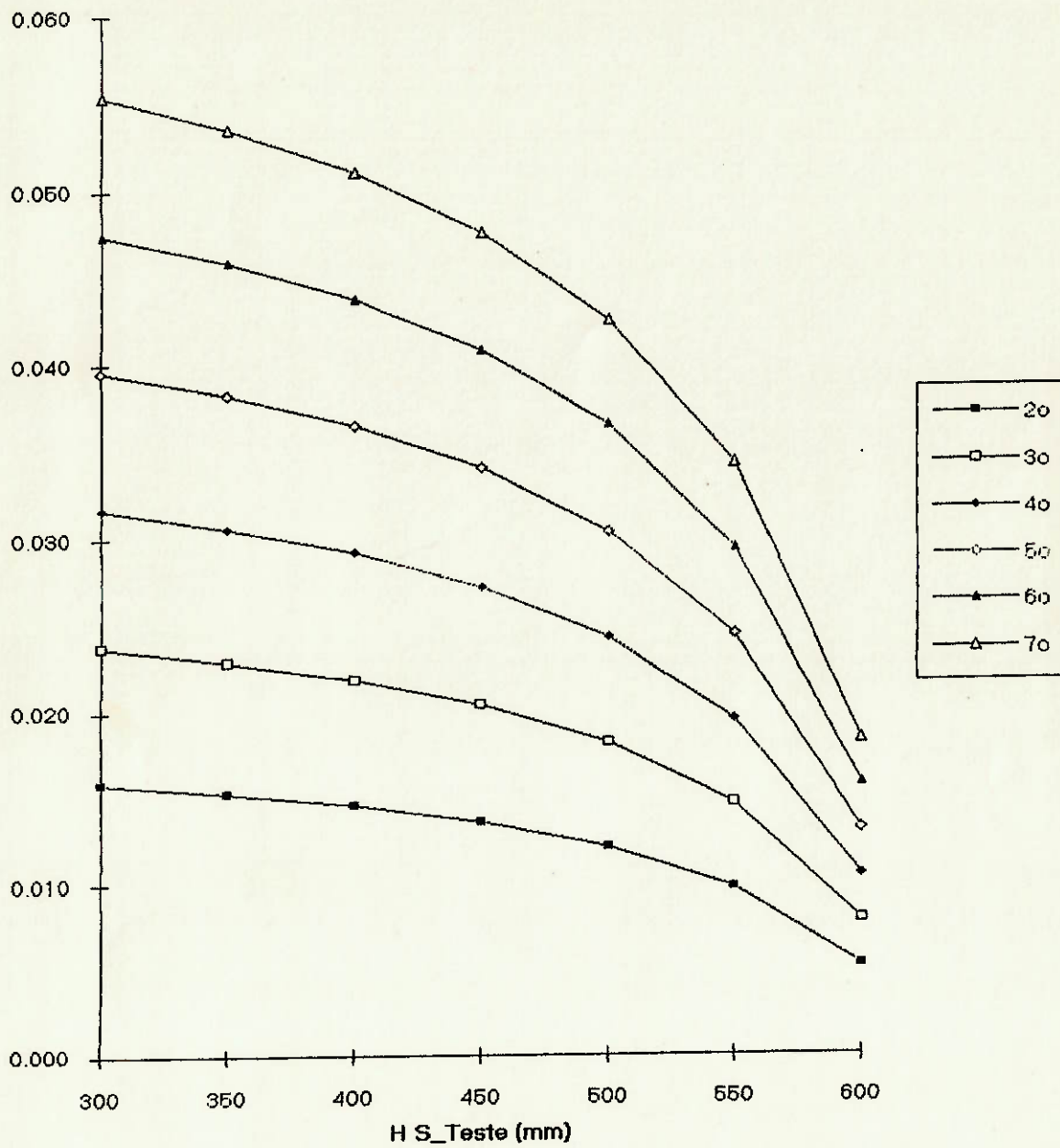
Dvent(mm)	Hseção(mm)	Fielarge	Fielarge	Fielarge	Fielarge	Fielarge	Fielarge
		2o	3o	4o	5o	6o	7o
710	300	0.0224	0.0372	0.0534	0.0706	0.0887	0.1076
710	350	0.0215	0.0357	0.0511	0.0676	0.0849	0.1030
710	400	0.0202	0.0336	0.0482	0.0637	0.0800	0.0970
710	450	0.0185	0.0308	0.0441	0.0583	0.0733	0.0889
710	500	0.0161	0.0267	0.0383	0.0506	0.0636	0.0771
710	550	0.0123	0.0204	0.0292	0.0386	0.0484	0.0588
710	600	0.0056	0.0093	0.0134	0.0177	0.0222	0.0270

Dvent(mm)	Hseção(mm)	ZETAelarge	ZETAelarge	ZETAelarge	ZETAelarge	ZETAelarge	ZETAelarge
		2o	3o	4o	5o	6o	7o
710	300	0.013	0.022	0.032	0.042	0.053	0.064
710	350	0.021	0.036	0.051	0.067	0.085	0.103
710	400	0.020	0.034	0.048	0.064	0.080	0.097
710	450	0.018	0.031	0.044	0.058	0.073	0.089
710	500	0.016	0.027	0.038	0.050	0.063	0.077
710	550	0.012	0.020	0.029	0.038	0.048	0.059
710	600	0.006	0.009	0.013	0.018	0.022	0.027

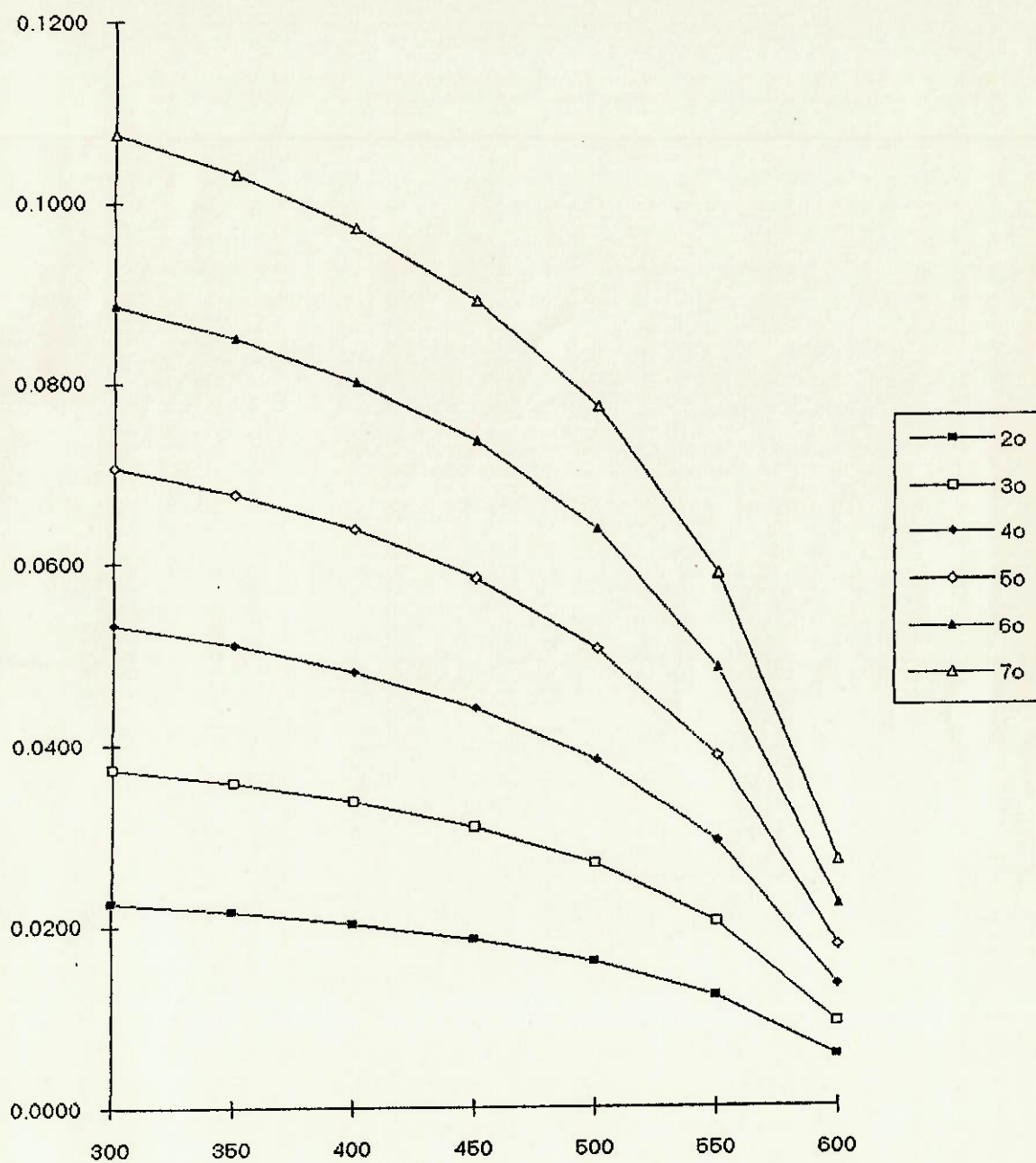
Dvent(mm)	Hseção(mm)	ZETAf	ZETAf	ZETAf	ZETAf	ZETAf	ZETAf
		2o	3o	4o	5o	6o	7o
710	300	0.1150	0.0767	0.0575	0.0460	0.0384	0.0329
710	350	0.1191	0.0794	0.0595	0.0476	0.0397	0.0341
710	400	0.1249	0.0833	0.0625	0.0500	0.0417	0.0357
710	450	0.1340	0.0893	0.0670	0.0536	0.0447	0.0383
710	500	0.1500	0.1000	0.0750	0.0600	0.0500	0.0429
710	550	0.1865	0.1243	0.0932	0.0746	0.0621	0.0533
710	600	0.3475	0.2317	0.1737	0.1390	0.1158	0.0992

Dvent(mm)	Hseção(mm)	ZETAtot	ZETAtot	ZETAtot	ZETAtot	ZETAtot	ZETAtot
		2o	3o	4o	5o	6o	7o
710	300	0.1284	0.0989	0.0894	0.0882	0.0913	0.0971
710	350	0.1405	0.1150	0.1106	0.1151	0.1245	0.1369
710	400	0.1451	0.1168	0.1105	0.1135	0.1215	0.1325
710	450	0.1524	0.1200	0.1110	0.1118	0.1178	0.1270
710	500	0.1661	0.1267	0.1132	0.1105	0.1134	0.1198
710	550	0.1987	0.1446	0.1223	0.1130	0.1105	0.1119
710	600	0.3531	0.2410	0.1871	0.1566	0.1380	0.1261

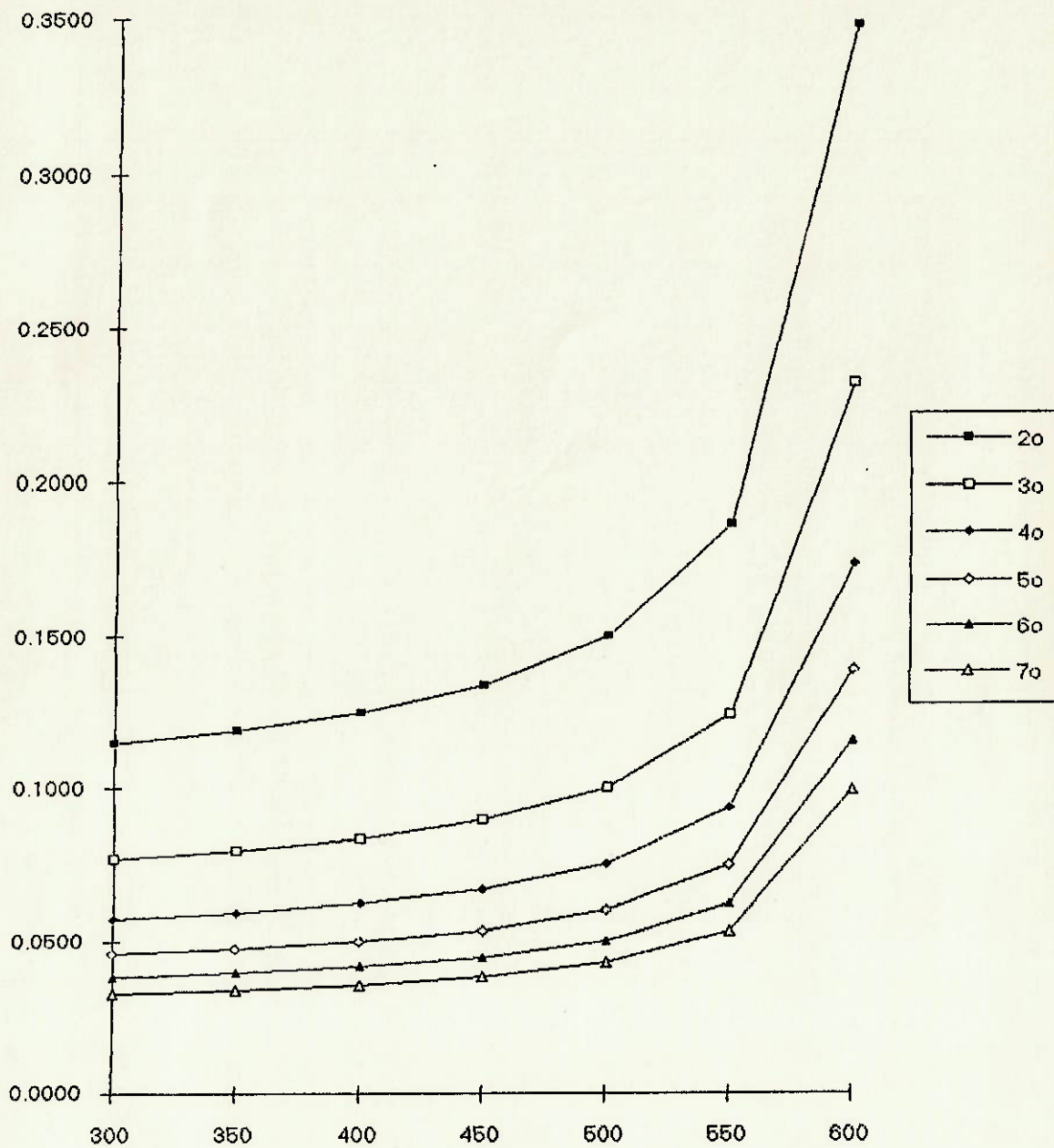
Tg(Alfa/2)



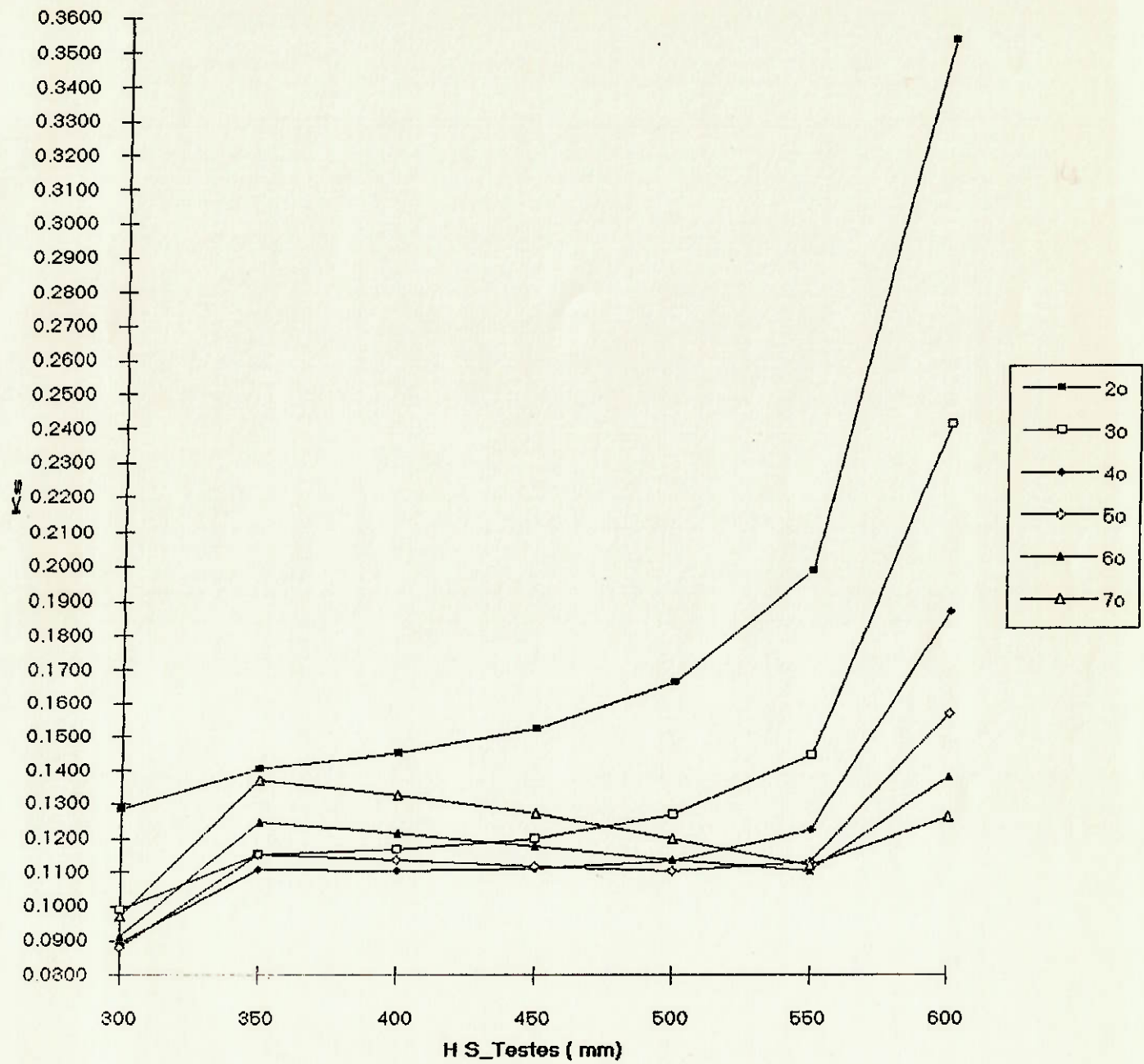
Fi elarge



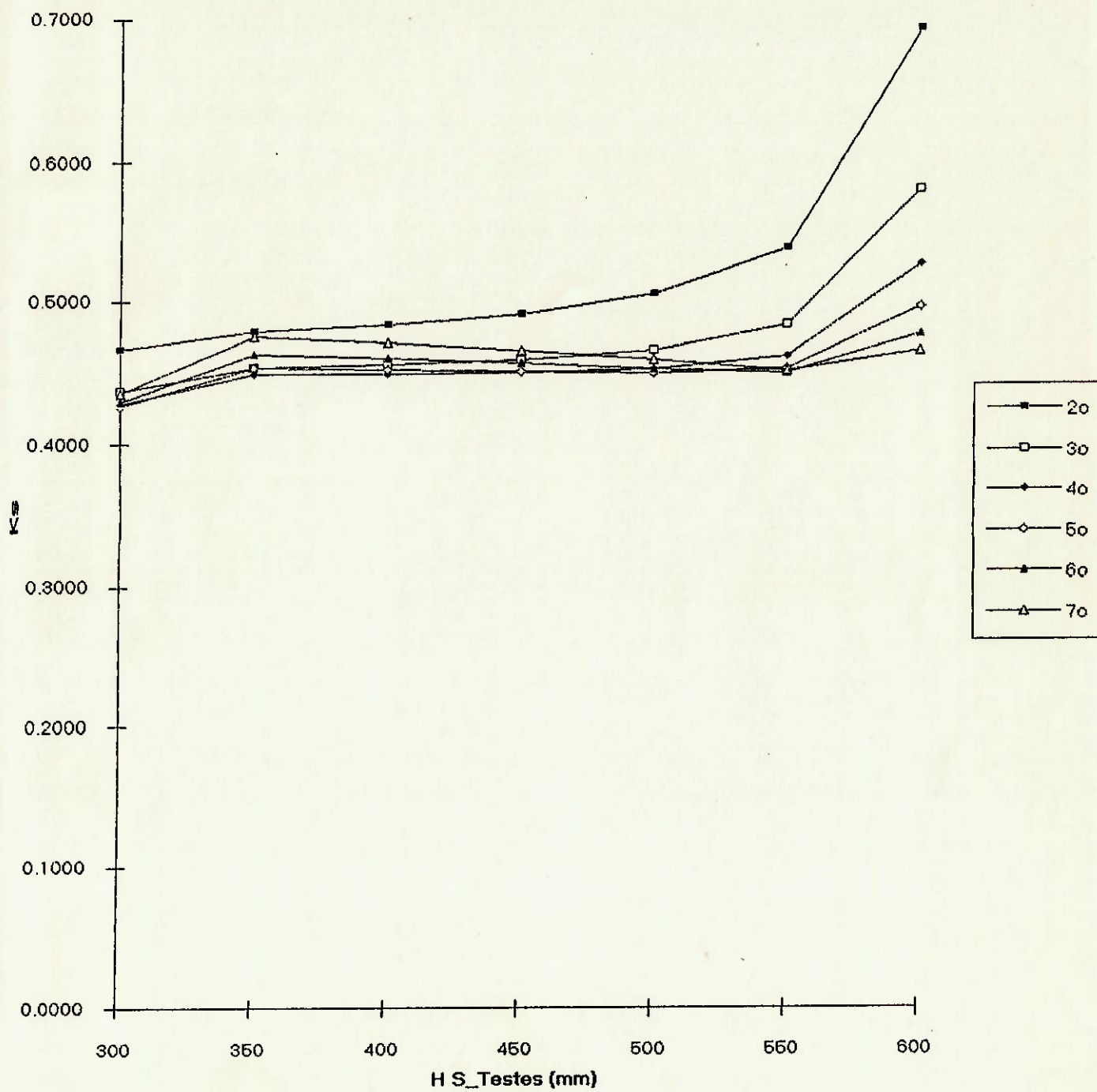
Zeta f



Coef. de Perda de Carga do Difusor



Coef. de Perda de Carga do Túnel



PERDA DE CARGA DO EFUSOR

SIGMAzero	Fizero	d	ZETA _{tot}
1.105	0.527	0.563	0.3279

PERDA DE CARGA DA SEÇÃO DE TESTES E TRECHOS RETOS

F	L/D	ZETA _{tot}
0.002	5	0.0100

PERDA DE CARGA DO TÚNEL

D _{vent} (mm)	H _{seção} (mm)	ZETA _{tot} 2o	ZETA _{tot} 3o	ZETA _{tot} 4o	ZETA _{tot} 5o	ZETA _{tot} 6o	ZETA _{tot} 7o
710	300	0.4662	0.4368	0.4272	0.4260	0.4292	0.4350
710	350	0.4784	0.4528	0.4484	0.4530	0.4623	0.4747
710	400	0.4829	0.4546	0.4484	0.4514	0.4593	0.4704
710	450	0.4903	0.4579	0.4488	0.4496	0.4556	0.4648
710	500	0.5039	0.4645	0.4511	0.4484	0.4513	0.4677
710	550	0.5365	0.4825	0.4602	0.4509	0.4483	0.4497
710	600	0.6910	0.5788	0.5249	0.4945	0.4758	0.4640

DIMENSÕES DO EFUSOR (Perfil Elíptico, razão de contração 1:4)

Isenção(mm)	Hentr(mm)	Lefusor(mm)
300	600	600
350	700	700
400	800	800
450	900	900
500	1000	1000
550	1100	1100
600	1200	1200

Perfil do Efusor (D.S._Teste=300mm)

Perfil do Efusor (D.S._Teste=350mm)

Perfil do Efusor (D.S._Teste=400mm)

x	y
0	300.00
15	299.91
30	299.62
45	299.16
60	298.50
75	297.65
90	296.61
105	295.37
120	293.94
135	292.31
150	290.47
165	288.43
180	286.18
195	283.71
210	281.02
225	278.11
240	274.95
255	271.56
270	267.91
285	264.00
300	259.81
315	255.33
330	250.55
345	245.45
360	240.00
375	234.19
390	227.98
405	221.35
420	214.24
435	206.62
450	198.43
465	189.59
480	180.00
495	169.54
510	158.03
525	145.24
540	130.77
555	113.99
570	93.67
585	66.66
600	0.00

x	y
0	350.00
25	349.78
50	349.11
75	347.99
100	346.41
125	344.37
150	341.87
175	338.89
200	335.41
225	331.43
250	326.92
275	321.86
300	316.23
325	309.99
350	303.11
375	295.54
400	287.23
425	278.11
450	268.10
475	257.09
500	244.95
525	231.50
550	216.51
575	199.61
600	180.28
625	157.62
650	129.90
675	92.70
700	0.00

x	y
0	400.00
40	399.50
80	397.99
120	395.47
160	391.92
200	387.30
240	381.58
280	374.70
320	366.61
360	357.21
400	346.41
440	334.07
480	320.00
520	303.97
560	285.66
600	264.58
640	240.00
680	210.71
720	174.36
760	124.90
800	0.00

Perfil do Efusor (D.S._Teste=450mm)

x	y
0	450.00
50	449.31
100	447.21
150	443.71
200	438.75
250	432.29
300	424.26
350	414.58
400	403.11
450	389.71
500	374.17
550	356.20
600	335.41
650	311.25
700	282.84
750	248.75
800	206.16
850	147.90
900	0.00

Perfil do Efusor (D.S._Teste=500mm)

x	y
0	500.00
50	499.37
100	497.49
150	494.34
200	489.90
250	484.12
300	476.97
350	468.37
400	458.26
450	446.51
500	433.01
550	417.58
600	400.00
650	379.97
700	357.07
750	330.72
800	300.00
850	263.39
900	217.94
950	156.12
1000	0.00

Perfil do Efusor (D.S._Teste=550mm)

x	y
0	550.00
55	549.31
110	547.24
165	543.78
220	538.89
275	532.54
330	524.67
385	515.21
440	504.08
495	491.17
550	476.31
605	459.34
660	440.00
715	417.96
770	392.78
825	363.79
880	330.00
935	289.73
990	239.74
1045	171.74
1100	0.00

Perfil do Efusor (D.S._Teste=600mm)

x	y
0	600.00
60	599.25
120	596.99
180	593.21
240	587.88
300	580.95
360	572.36
420	562.05
480	549.91
540	535.82
600	519.62
660	501.10
720	480.00
780	455.96
840	428.49
900	396.86
960	360.00
1020	316.07
1080	261.53
1140	187.35
1200	0.00

calculo preliminar para especificação do ventilador

Potencia do motor	10 cv
Rendimento	70 %
Altura seção de testes	500 mm
Área da seção de testes	0.25 m ²
velocidade na secao de teste:	10 m/s
Vazao na secao de testes	9000 m ³ /h
Dp disponivel	210 mmca

PROGRAMA DE CALCULO DE CONTRACAO
Whitehead, Wu & Waters, 1951

Coeficiente de pressao a montante : 0.0500
Coeficiente de pressao a jusante : 0.0500
Dimensoes a montante : 0.60 m x 0.60 m
Dimensoes a jusante : 0.30 m x 0.30 m
Razao de Contracao : 4.00

	X	Yw	Yv	desenv.
0	0.00000	0.30000	0.30000	0.00000
1	0.02410	0.29957	0.29957	0.02411
2	0.04819	0.29873	0.29873	0.04821
3	0.07225	0.29758	0.29758	0.07229
4	0.09627	0.29613	0.29613	0.09636
5	0.12025	0.29435	0.29435	0.12041
6	0.14418	0.29225	0.29225	0.14443
7	0.16804	0.28979	0.28979	0.16841
8	0.19181	0.28694	0.28694	0.19236
9	0.21547	0.28367	0.28367	0.21624
10	0.23899	0.27993	0.27993	0.24005
11	0.26232	0.27566	0.27566	0.26377
12	0.28542	0.27082	0.27082	0.28737
13	0.30821	0.26534	0.26534	0.31081
14	0.33061	0.25916	0.25916	0.33406
15	0.35251	0.25219	0.25219	0.35703
16	0.37373	0.24437	0.24437	0.37965
17	0.39406	0.23561	0.23561	0.40179
18	0.41317	0.22584	0.22584	0.42325
19	0.43052	0.21503	0.21503	0.44369
20	0.44477	0.20326	0.20326	0.46217
21	0.45850	0.19268	0.19268	0.47950
22	0.47249	0.18510	0.18510	0.49542
23	0.48660	0.17909	0.17909	0.51075
24	0.50075	0.17416	0.17416	0.52574
25	0.51495	0.17006	0.17006	0.54052
26	0.52917	0.16662	0.16662	0.55515
27	0.54340	0.16372	0.16372	0.56967
28	0.55765	0.16126	0.16126	0.58413
29	0.57190	0.15917	0.15917	0.59854
30	0.58616	0.15740	0.15740	0.61290
31	0.60043	0.15590	0.15590	0.62725
32	0.61469	0.15463	0.15463	0.64157
33	0.62896	0.15356	0.15356	0.65588
34	0.64323	0.15266	0.15266	0.67018
35	0.65750	0.15191	0.15191	0.68447
36	0.67178	0.15129	0.15129	0.69876
37	0.68605	0.15080	0.15080	0.71304
38	0.70033	0.15041	0.15041	0.72732
39	0.71460	0.15014	0.15014	0.74160
40	0.72887	0.15000	0.15000	0.75587

PROGRAMA DE CALCULO DE CONTRACAO
Whitehead, Wu & Waters, 1951

Coeficiente de pressao a montante : 0.0500
Coeficiente de pressao a jusante : 0.0500
Dimensoes a montante : 0.70 m x 0.70 m
Dimensoes a jusante : 0.35 m x 0.35 m
Razao de Contracao : 4.00

	X	Yw	Yv	desenv.
0	0.00000	0.35000	0.35000	0.00000
1	0.02812	0.34950	0.34950	0.02813
2	0.05622	0.34852	0.34852	0.05624
3	0.08429	0.34718	0.34718	0.08434
4	0.11232	0.34548	0.34548	0.11242
5	0.14029	0.34341	0.34341	0.14048
6	0.16821	0.34096	0.34096	0.16850
7	0.19605	0.33809	0.33809	0.19648
8	0.22378	0.33477	0.33477	0.22441
9	0.25138	0.33095	0.33095	0.25228
10	0.27882	0.32658	0.32658	0.28006
11	0.30604	0.32161	0.32161	0.30773
12	0.33299	0.31596	0.31596	0.33527
13	0.35958	0.30957	0.30957	0.36262
14	0.38572	0.30235	0.30235	0.38973
15	0.41126	0.29422	0.29422	0.41653
16	0.43602	0.28510	0.28510	0.44292
17	0.45974	0.27488	0.27488	0.46875
18	0.48204	0.26348	0.26348	0.49379
19	0.50228	0.25087	0.25087	0.51764
20	0.51890	0.23714	0.23714	0.53920
21	0.53491	0.22480	0.22480	0.55942
22	0.55124	0.21595	0.21595	0.57799
23	0.56770	0.20893	0.20893	0.59588
24	0.58421	0.20319	0.20319	0.61337
25	0.60077	0.19841	0.19841	0.63060
26	0.61736	0.19439	0.19439	0.64767
27	0.63397	0.19101	0.19101	0.66462
28	0.65059	0.18814	0.18814	0.68148
29	0.66722	0.18570	0.18570	0.69829
30	0.68385	0.18364	0.18364	0.71506
31	0.70050	0.18189	0.18189	0.73179
32	0.71714	0.18040	0.18040	0.74850
33	0.73379	0.17915	0.17915	0.76519
34	0.75044	0.17810	0.17810	0.78188
35	0.76709	0.17722	0.17722	0.79855
36	0.78374	0.17651	0.17651	0.81522
37	0.80039	0.17593	0.17593	0.83188
38	0.81705	0.17548	0.17548	0.84854
39	0.83370	0.17516	0.17516	0.86520
40	0.85035	0.17500	0.17500	0.88185

PROGRAMA DE CALCULO DE CONTRACAO
Whitehead, Wu & Waters, 1951

Coeficiente de pressao a montante : 0.0500
Coeficiente de pressao a jusante : 0.0500
Dimensoes a montante : 0.80 m x 0.80 m
Dimensoes a jusante : 0.40 m x 0.40 m
Razao de Contracao : 4.00

	X	Yw	Yv	desenv.
0	0.00000	0.40000	0.40000	0.00000
1	0.03214	0.39943	0.39943	0.03214
2	0.06425	0.39831	0.39831	0.06428
3	0.09633	0.39678	0.39678	0.09639
4	0.12836	0.39483	0.39483	0.12848
5	0.16034	0.39247	0.39247	0.16054
6	0.19224	0.38967	0.38967	0.19257
7	0.22405	0.38639	0.38639	0.22455
8	0.25575	0.38259	0.38259	0.25647
9	0.28729	0.37823	0.37823	0.28832
10	0.31865	0.37323	0.37323	0.32007
11	0.34976	0.36755	0.36755	0.35170
12	0.38056	0.36110	0.36110	0.38316
13	0.41095	0.35379	0.35379	0.41442
14	0.44082	0.34554	0.34554	0.44541
15	0.47001	0.33626	0.33626	0.47604
16	0.49831	0.32582	0.32582	0.50620
17	0.52542	0.31414	0.31414	0.53572
18	0.55090	0.30113	0.30113	0.56433
19	0.57403	0.28671	0.28671	0.59159
20	0.59302	0.27101	0.27101	0.61623
21	0.61133	0.25691	0.25691	0.63934
22	0.62999	0.24680	0.24680	0.66056
23	0.64879	0.23878	0.23878	0.68100
24	0.66767	0.23221	0.23221	0.70099
25	0.68660	0.22675	0.22675	0.72069
26	0.70556	0.22216	0.22216	0.74019
27	0.72454	0.21829	0.21829	0.75956
28	0.74353	0.21501	0.21501	0.77884
29	0.76254	0.21223	0.21223	0.79805
30	0.78155	0.20987	0.20987	0.81721
31	0.80057	0.20787	0.20787	0.83633
32	0.81959	0.20617	0.20617	0.85543
33	0.83862	0.20474	0.20474	0.87451
34	0.85764	0.20354	0.20354	0.89357
35	0.87667	0.20254	0.20254	0.91263
36	0.89570	0.20172	0.20172	0.93168
37	0.91474	0.20106	0.20106	0.95072
38	0.93377	0.20055	0.20055	0.96976
39	0.95280	0.20019	0.20019	0.98880
40	0.97183	0.20000	0.20000	1.00783

PROGRAMA DE CALCULO DE CONTRACAO
Whitehead, Wu & Waters, 1951

Coeficiente de pressao a montante : 0.0500
Coeficiente de pressao a jusante : 0.0500
Dimensoes a montante : 0.90 m x 0.90 m
Dimensoes a jusante : 0.45 m x 0.45 m
Razao de Contracao : 4.00

	X	Yw	Yv	desenv.
0	0.00000	0.45000	0.45000	0.00000
1	0.03616	0.44935	0.44935	0.03616
2	0.07228	0.44810	0.44810	0.07231
3	0.10837	0.44637	0.44637	0.10844
4	0.14441	0.44419	0.44419	0.14454
5	0.18038	0.44153	0.44153	0.18061
6	0.21627	0.43838	0.43838	0.21664
7	0.25206	0.43469	0.43469	0.25262
8	0.28772	0.43042	0.43042	0.28853
9	0.32321	0.42551	0.42551	0.32436
10	0.35848	0.41989	0.41989	0.36008
11	0.39348	0.41349	0.41349	0.39566
12	0.42813	0.40623	0.40623	0.43106
13	0.46232	0.39801	0.39801	0.46622
14	0.49592	0.38874	0.38874	0.50108
15	0.52876	0.37829	0.37829	0.53554
16	0.56060	0.36655	0.36655	0.56947
17	0.59109	0.35341	0.35341	0.60268
18	0.61976	0.33877	0.33877	0.63487
19	0.64578	0.32255	0.32255	0.66553
20	0.66715	0.30489	0.30489	0.69326
21	0.68774	0.28902	0.28902	0.71925
22	0.70874	0.27765	0.27765	0.74313
23	0.72989	0.26863	0.26863	0.76613
24	0.75113	0.26124	0.26124	0.78861
25	0.77242	0.25509	0.25509	0.81078
26	0.79375	0.24993	0.24993	0.83272
27	0.81510	0.24558	0.24558	0.85451
28	0.83647	0.24189	0.24189	0.87619
29	0.85785	0.23876	0.23876	0.89780
30	0.87924	0.23611	0.23611	0.91936
31	0.90064	0.23385	0.23385	0.94087
32	0.92204	0.23195	0.23195	0.96236
33	0.94344	0.23034	0.23034	0.98382
34	0.96485	0.22898	0.22898	1.00527
35	0.98626	0.22786	0.22786	1.02671
36	1.00767	0.22694	0.22694	1.04814
37	1.02908	0.22619	0.22619	1.06956
38	1.05049	0.22562	0.22562	1.09098
39	1.07190	0.22521	0.22521	1.11240
40	1.09331	0.22500	0.22500	1.13381

Coeficiente de pressao a montante : 0.0500
Coeficiente de pressao a jusante : 0.0500
Dimensoes a montante : 1.00 m x 1.00 m
Dimensoes a jusante : 0.50 m x 0.50 m
Razao de Contracao : 4.00

	X	Yw	Yv	desenv.
0	0.00000	0.50000	0.50000	0.00000
1	0.04017	0.49928	0.49928	0.04018
2	0.08031	0.49789	0.49789	0.08034
3	0.12041	0.49597	0.49597	0.12049
4	0.16045	0.49354	0.49354	0.16060
5	0.20042	0.49059	0.49059	0.20068
6	0.24030	0.48709	0.48709	0.24071
7	0.28007	0.48299	0.48299	0.28069
8	0.31969	0.47824	0.47824	0.32059
9	0.35912	0.47278	0.47278	0.36040
10	0.39831	0.46654	0.46654	0.40009
11	0.43720	0.45944	0.45944	0.43962
12	0.47570	0.45137	0.45137	0.47895
13	0.51369	0.44224	0.44224	0.51802
14	0.55102	0.43193	0.43193	0.55676
15	0.58751	0.42032	0.42032	0.59505
16	0.62288	0.40728	0.40728	0.63275
17	0.65677	0.39268	0.39268	0.66965
18	0.68862	0.37641	0.37641	0.70541
19	0.71754	0.35839	0.35839	0.73948
20	0.74128	0.33877	0.33877	0.77028
21	0.76416	0.32114	0.32114	0.79917
22	0.78749	0.30850	0.30850	0.82570
23	0.81099	0.29848	0.29848	0.85125
24	0.83459	0.29027	0.29027	0.87624
25	0.85825	0.28344	0.28344	0.90086
26	0.88194	0.27770	0.27770	0.92524
27	0.90567	0.27287	0.27287	0.94946
28	0.92941	0.26877	0.26877	0.97355
29	0.95317	0.26529	0.26529	0.99756
30	0.97694	0.26234	0.26234	1.02151
31	1.00071	0.25984	0.25984	1.04541
32	1.02449	0.25772	0.25772	1.06929
33	1.04827	0.25593	0.25593	1.09314
34	1.07205	0.25443	0.25443	1.11697
35	1.09584	0.25318	0.25318	1.14079
36	1.11963	0.25215	0.25215	1.16460
37	1.14342	0.25133	0.25133	1.18840
38	1.16721	0.25069	0.25069	1.21220
39	1.19100	0.25023	0.25023	1.23600
40	1.21479	0.25000	0.25000	1.25979

PROGRAMA DE CALCULO DE CONTRACAO
Whitehead, Wu & Waters, 1951

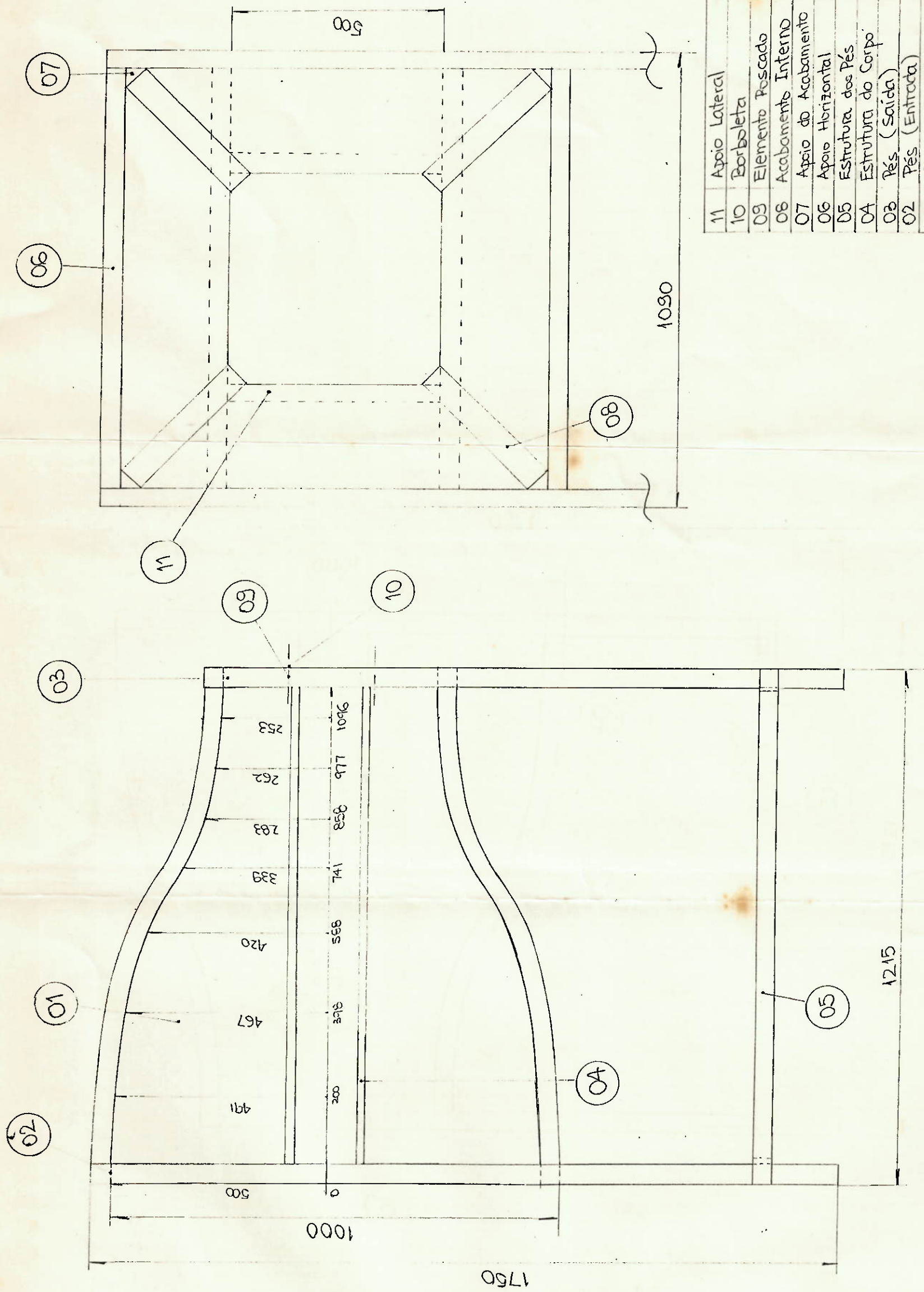
Coeficiente de pressao a montante : 0.0500
Coeficiente de pressao a jusante : 0.0500
Dimensoes a montante : 1.10 m x 1.10 m
Dimensoes a jusante : 0.55 m x 0.55 m
Razao de Contracao : 4.00

	X	Yw	Yv	desenv.
0	0.00000	0.55000	0.55000	0.00000
1	0.04419	0.54921	0.54921	0.04420
2	0.08835	0.54768	0.54768	0.08838
3	0.13245	0.54557	0.54557	0.13254
4	0.17650	0.54290	0.54290	0.17666
5	0.22046	0.53965	0.53965	0.22075
6	0.26433	0.53579	0.53579	0.26479
7	0.30807	0.53129	0.53129	0.30876
8	0.35165	0.52606	0.52606	0.35265
9	0.39503	0.52006	0.52006	0.39644
10	0.43814	0.51320	0.51320	0.44010
11	0.48092	0.50538	0.50538	0.48358
12	0.52327	0.49651	0.49651	0.52685
13	0.56505	0.48646	0.48646	0.56983
14	0.60613	0.47512	0.47512	0.61244
15	0.64626	0.46235	0.46235	0.65455
16	0.68517	0.44801	0.44801	0.69602
17	0.72245	0.43195	0.43195	0.73661
18	0.75748	0.41405	0.41405	0.77596
19	0.78929	0.39423	0.39423	0.81343
20	0.81541	0.37264	0.37264	0.84731
21	0.84058	0.35325	0.35325	0.87909
22	0.86624	0.33935	0.33935	0.90827
23	0.89209	0.32832	0.32832	0.93638
24	0.91805	0.31929	0.31929	0.96386
25	0.94407	0.31178	0.31178	0.99095
26	0.97014	0.30547	0.30547	1.01777
27	0.99624	0.30015	0.30015	1.04440
28	1.02235	0.29564	0.29564	1.07090
29	1.04849	0.29182	0.29182	1.09732
30	1.07463	0.28857	0.28857	1.12366
31	1.10078	0.28582	0.28582	1.14995
32	1.12694	0.28349	0.28349	1.17621
33	1.15310	0.28152	0.28152	1.20245
34	1.17926	0.27987	0.27987	1.22866
35	1.20543	0.27849	0.27849	1.25487
36	1.23159	0.27737	0.27737	1.28106
37	1.25776	0.27646	0.27646	1.30724
38	1.28393	0.27576	0.27576	1.33342
39	1.31010	0.27526	0.27526	1.35959
40	1.33627	0.27500	0.27500	1.38577

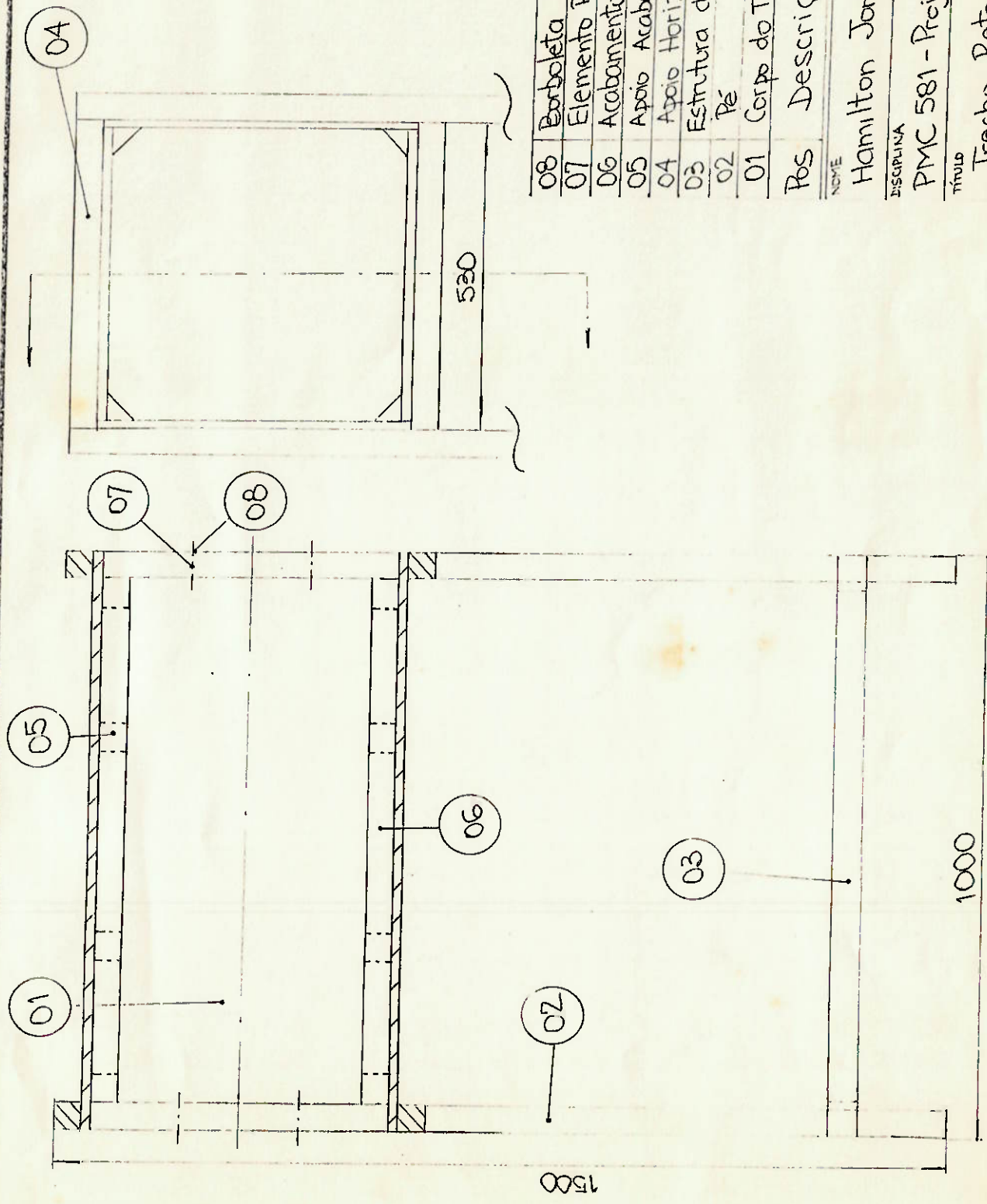
PROGRAMA DE CALCULO DE CONTRACAO
Whitenead, Wu & Waters, 1951

Coeficiente de pressao a montante : 0.0500
Coeficiente de pressao a jusante : 0.0500
Dimensoes a montante : 1.20 m x 1.20 m
Dimensoes a jusante : 0.60 m x 0.60 m
Razao de Contracao : 4.00

	X	Yw	Yv	desenv.
0	0.00000	0.60000	0.60000	0.00000
1	0.04821	0.59914	0.59914	0.04822
2	0.09638	0.59747	0.59747	0.09641
3	0.14449	0.59517	0.59517	0.14458
4	0.19254	0.59225	0.59225	0.19272
5	0.24051	0.58871	0.58871	0.24082
6	0.28836	0.58450	0.58450	0.28886
7	0.33608	0.57958	0.57958	0.33683
8	0.38362	0.57389	0.57389	0.38471
9	0.43094	0.56734	0.56734	0.43248
10	0.47797	0.55985	0.55985	0.48011
11	0.52464	0.55132	0.55132	0.52754
12	0.57083	0.54164	0.54164	0.57474
13	0.61642	0.53069	0.53069	0.62163
14	0.66123	0.51832	0.51832	0.66811
15	0.70501	0.50438	0.50438	0.71406
16	0.74746	0.48874	0.48874	0.75930
17	0.78812	0.47122	0.47122	0.80358
18	0.82635	0.45169	0.45169	0.84650
19	0.86104	0.43007	0.43007	0.88738
20	0.88953	0.40652	0.40652	0.92434
21	0.91699	0.38536	0.38536	0.95900
22	0.94499	0.37020	0.37020	0.99084
23	0.97319	0.35817	0.35817	1.02150
24	1.00151	0.34832	0.34832	1.05149
25	1.02990	0.34012	0.34012	1.08103
26	1.05833	0.33325	0.33325	1.11029
27	1.08680	0.32744	0.32744	1.13935
28	1.11529	0.32252	0.32252	1.16826
29	1.14380	0.31835	0.31835	1.19707
30	1.17232	0.31481	0.31481	1.22581
31	1.20085	0.31180	0.31180	1.25450
32	1.22938	0.30926	0.30926	1.28314
33	1.25792	0.30711	0.30711	1.31176
34	1.28647	0.30531	0.30531	1.34036
35	1.31501	0.30381	0.30381	1.36894
36	1.34356	0.30258	0.30258	1.39752
37	1.37210	0.30159	0.30159	1.42608
38	1.40065	0.30082	0.30082	1.45464
39	1.42920	0.30028	0.30028	1.48319
40	1.45775	0.30001	0.30001	1.51175



11	Apio Lateral	02	Varolinha 45x45 cm
10	Borboleta	16	M5 x 1
09	Elemento Pescado	08	M5 x 1 x 100
08	Acabamento Interno	04	Compensado Naval e=4mm
07	Apio do Acabamento	48	Varolinha 45x45cm/45°
06	Apio Horizontal	04	Varolinha 45x45cm
05	Estrutura dos Pés	04	Varolinha 4,5x2 cm
04	Estrutura do Corpo	04	Compensado e=15mm
03	Pés (Saída)	02	Varolinha 45x45 cm
02	Pés (Entrada)	02	Varolinha 45x45 cm
01	Corpo do Efusor	04	Compensado Naval e=4mm
Pos	Descrição	Qtde	Observação
NOME			
Hamilton Jorge Sabanai/Hans Lin			
DISCIPLINA			
PMC 581 - Projeto Mecânico II - TF 93			
TÍTULO			
Efusor			
PROF. ORIENTADOR			
Jurandir			
ESCALA			
1:10	DATA	DESENHO	ESCALA
30/10/93	05/01		E.P.U.S.P.



08	Borboleta	32	M5 x 1
07	Elemento Roscado	16	M5 x 1 x 100
06	Acabamento Interno	04	Comp Naval e=4mm
05	Apóio Acabamento	16	Varolinha 45x45/45
04	Apóio Horizontal	04	Varolinha 45x45/50
03	Estrutura do Pé	04	Varolinha 45x2cm
02	Pé	04	Varolinha 45x45cm
01	Corpo do Trecho Reto	04	Comp Sado e=15cm
Pds	Descrição	Qtde Observação	

NOME: Hamilton Jorge Sabanai/Hans Lin
 DISCIPLINA: PMC 581 - Projeto Mecânico II - TF 93
 TÍTULO: Trecho Reto
 ESCALA: 1:10 DATA: 30/10/93 DESENHO: Jurandir ESCOLA: EP.U.S.P.
 05/02

1485

500

520

08	Parafuso	20	M5 x 1,25
07	Borboleta	32	M5 x 1
06	Elemento Roscado	16	M5 x 1 x 100
05	Acabamento	01	Acrílico e=10mm
04	Apoio Horizontal	04	Varalinha 4,5 x 4,5 cm
03	Estrutura do Pé	01	Varalinha 4,5 x 2 cm
02	Pé	01	Varalinha 4,5 x 4,5 cm
01	Corpo Seção de Testes	04	Acrílico e=10mm
Pos	Descrição	Qtde	Observação

NOME

Hamilton Jorge Sabanai/Hans Lin

DISCIPLINA

PMC 581 - Projeto Mecânico II - TF 93

TÍTULO

Seção de Testes

TITULO - ORIENTADOR

Jurandir

ESCALA

1:10

DATA

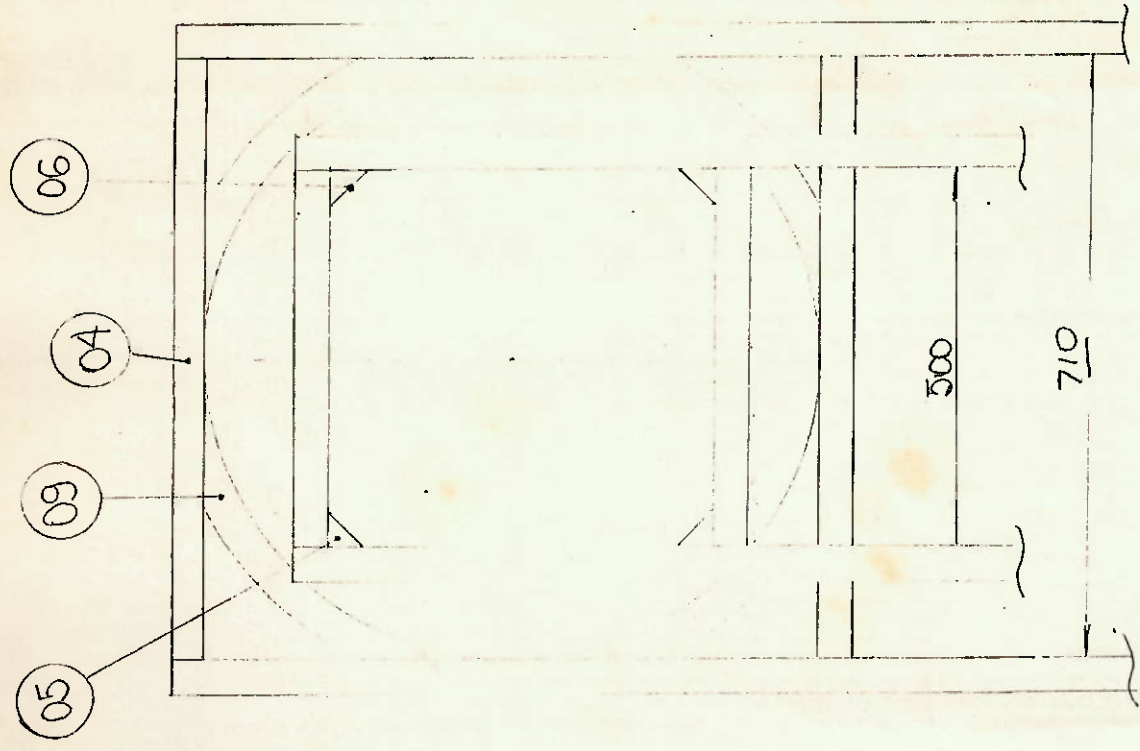
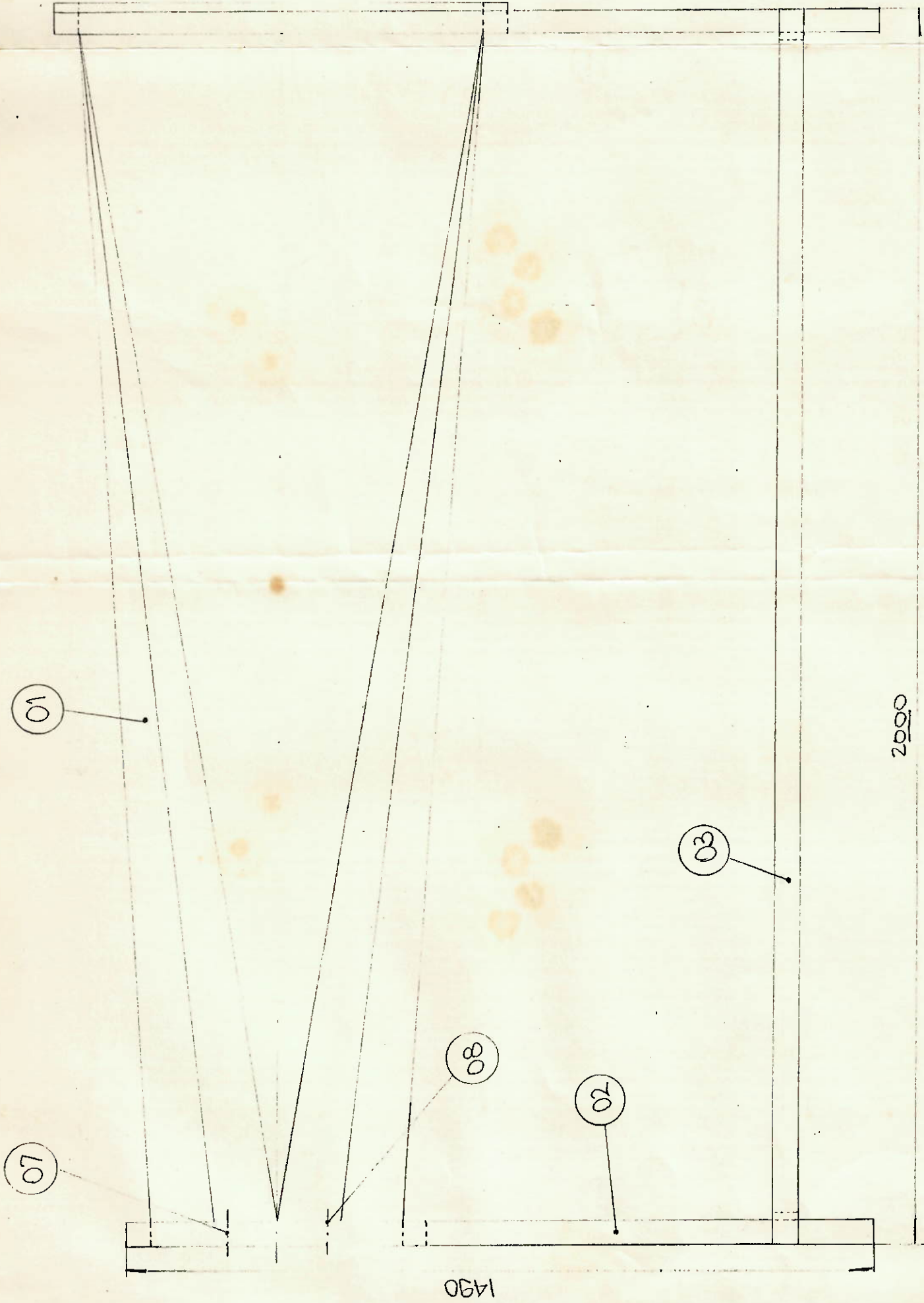
30/10/93

ASSINATURA

05/03

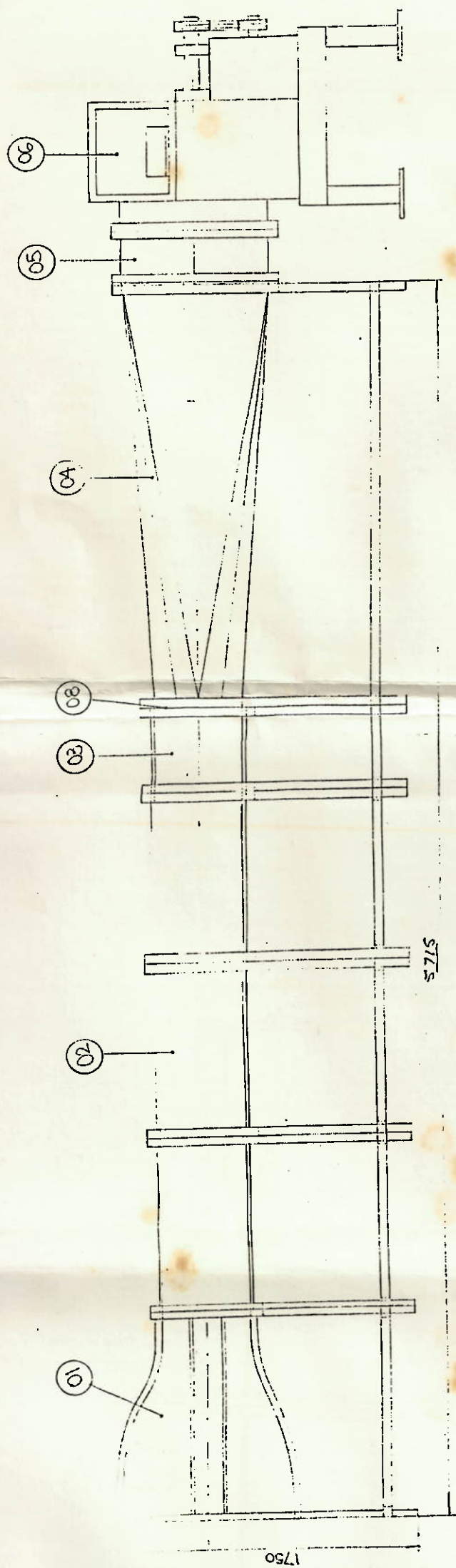
ESCOLA

E.P.U.S.P.



09	Flange	01	Compensado e=15mm
08	Borboleta	48	M5 x 1
07	Elemento Roscado	24	M5 x 1 x 100
06	Acabamento	04	Comp Naval e=4mm
05	Apoio Acabamento	60	Varolinha 45x45cm 45°
04	Apoio Horizontal	04	Varolinha 45x45cm
03	Estrutura do Pé	04	Varolinha 45x2 cm
02	Pé	04	Varolinha 45x45cm
01	Corpo do Difusor	01	Comp Naval e=4mm

Pos	Descrição	Qtde	Observação
Hamilton Jorge Sabanai / Hans Lin			
DISCIPLINA			
PMC 581 - Projeto Mecânico II - TF-93			
TÍTULO			
Difusor			
PROF ORIENTADOR			
Jurandir			
ESCALA			
1:10			
DATA			
31/10/93			
DESENHO			
05/04			
E.P.U.S.P			



03	Colônia	01	Vide FE 002
07	Tela	01	Vide FE 001
06	Ventilador	01	Vide FE 004
05	Junta Anti-Vibração	01	Vide FE 003
04	Difusor	01	Vide des 001/1/1
03	Sistema de Teste	01	Vide des 001/2
02	Tubo de Teste	03	Vide des 001/3
01	Estatueta	01	Vide des 001/4
RS	Descrição	Gêner	Observações
Hamilton Jorge Souto / Hans Lin			
PMC 581 - Projeto Mecânico II - TF93			
Túnel de Vento			
1-20	31/10/93	05/05	EPUSP

