

ARQUIVO TECNICO

8300
C442r(RCET)
020319

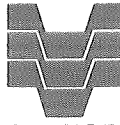


11072



020319

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL



CETESB

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA
AV. PROF. FREDERICO H. RIBEIRO, 245 CEP 05489 PINHEIROS
SAO PAULO - BRA IL

ASSISTENTE

ASSISTENTE

ASSISTENTE

ASSISTENTE

ASSISTENTE

ASSISTENTE

ASSISTENTE

ASSISTENTE

ASSISTENTE

RELATÓRIO FINAL DO PROCOP

FASE I

CLASS	
A	
NUMBO	20319

8300
C442F (RCET)
020319

DIRETORIA

Rogé Ferreira
Diretor-Presidente

Antonio Sérgio Menon
Diretor Financeiro

Eduardo San Martin
Diretor de Ação Regional

Ivan Carlos Maglio
Diretor de Planejamento Ambiental

Jorge Raffui Kanawaty
Diretor de Treinamento e Transferência de Tecnologia

José de Vasconcelos Cunha
Diretor Administrativo

Laura Maria Regina Tetti
Diretora de Educação Ambiental

Nelson Vieira de Vasconcelos
Diretor de Controle

Nivaldo José Chiossi
Diretor de Tecnologia e Qualidade Ambiental

Roque Monteleone Neto
Diretor de Pesquisa

CETESB - CIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

DTQA - DIRETORIA DE TECNOLOGIA E QUALIDADE AMBIENTAL

- Geologo Nivaldo José Chiossi

STA - SUPERINTENDÊNCIA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL

- Engg Antonio Carlos Rossin

GTAR - GERÊNCIA DE TECNOLOGIA DO AR

- Engg Vincenzo Rivelli

Coordenadoria do PROCOP:

- Engg Arlindo Phillipi Junior

Coordenação do Projeto:

- Engg Vincenzo Rivelli

COLABORAÇÃO:

GERÊNCIA DE TECNOLOGIA DE MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

DIVISÃO DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA

- Engg José Angelo Valentin

- Tecnólogo Humberto Ivo Torreta

- Técnico José Carlos Gurgel do Amaral

INDICE	PÁG
1. OBJETIVOS	03
2. INTRODUÇÃO	03
3. ANÁLISE DA LITERATURA OU BIBLIOGRAFIA	05
4. HISTÓRICO	07
5. METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO E OPERACIONALIZAÇÃO	22
5.1. DISCRICÃO DO PROJETO DO SISTEMA DE VELOMETRIA	23
5.1.1. ESTABELECEER OS VALORES DO PROJETO	25
5.1.2. CÁLCULO DA PERDA DE CARGA PERMANENTE NO ORIFÍCIO	29
5.1.3. DIMENSIONAMENTO DO ORIENTADOR DE LINHAS DE FLUXO (FLOW STRAIGHTENER)	30
5.1.4. ESCOLHA DA FLANGE DO ORIFÍCIO (CRITÉRIOS)	32
5.1.5. CUIDADO COM O TUBO À JUSANTE	35
5.1.6. CUIDADO COM O TUBO À MONTANTE	35
5.1.7. TRANSFORMAÇÕES A UMA CONDIÇÃO DE REFERÊNCIA	35
5.1.8. CONEXÃO DAS VAZÕES PARA DIFERENTES CONDIÇÕES	36
5.1.9. USO DE ORIFÍCIO PARA OUTROS GASES	36
5.1.10. VERIFICAÇÃO DO USO DO PITOT	37
5.1.11. BOCAL DE CAPTAÇÃO DO AR	38
5.1.12. SISTEMA DE CONTROLE DE VAZÃO	40
5.1.13. CÁLCULO DO VENTILADOR	42
DESENHO "A" (VENTILADOR)	44
5.1.14. COMPRIMENTO DO DUTO	45
5.1.15. COIFAS	45

5.1.16.	ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS	47
5.1.17.	DESENVOLVIMENTO DE UM PAINEL DE PRESSÕES E DE VELOCIDADES	47
5.1.18.	PROCEDIMENTOS DE CALIBRAÇÃO DE TUBOS DE PITOT	49
5.1.19.	BENEFÍCIOS	50
5.2.	DESCRIÇÃO DO PROJETO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE AEROSSOIS	51
	DESENHO " B " (CIRCUITO ELÉTRICO DO MONITORAMENTO DA TEMPERATURA)	54
	DESENHO " C " (LINHA DO AR CONDICIONADO)	56
5.2.1.	BENEFÍCIOS	58
6.	OUTRAS ATIVIDADES	58
6.1.	REDUÇÃO DE DADOS PARA AMOSTRAGEM EM CHAMINÉ E USO DE IMPACTADORES EM FLUXO CANALIZADOS/CALCULADORA PROGRAMÁVEL	58
6.1.1.	OBJETIVO	58
6.2.	AVALIAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS ATRAVÉS DO USO DO SISTEMA CIDRS	60
6.2.1.	OBJETIVO	60
6.3.	ELABORAÇÃO DE UM MANUAL DE PROCEDIMENTOS PARA USO DE IMPACTADORES EM FLUXO GASOSO	60
6.3.1.	OBJETIVO	60
6.4.	ESTUDO REFERENTES A DETERMINAÇÃO DE DENSIDADES DE AGREGADOS SÓLIDOS DE PARTICULADOS	60
6.4.1.	OBJETIVO	61
6.5.	ELABORAÇÃO DE UM PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM EQUIPAMENTO DO TIPO CALIBRADOR PADRÃO PARA AFERIÇÃO DE MEDIDORES DE VOLUME UMIDO OU SECO E OUTROS DISPOSITIVOS DO TIPO	61
6.5.1.	OBJETIVO	61

6.6.	CONSTRUÇÃO DE COLUNAS DE SECAGEM POR DIFUSÃO	62
6.6.1.	OBJETIVO	62
6.7.	DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UM TUBO DE PITOT TIPO " COBRA "	62
6.7.1.	OBJETIVO	62
6.8.	CONSTRUÇÃO DE UM MONITORAMENTO INCLINADO	62
6.8.1.	OBJETIVO	62
	DESENHO " D " (MANÔMETRO INCLINADO)	62
6.9.	CONSTRUÇÃO DO ORIFÍCIO DO VOAG (GERADOR DE AEROSSOIS)	64
6.9.1.	OBJETIVO	64
6.10.	PARTICIPACÃO DO PROJETO DE AERACÃO	64
6.10.1	OBJETIVO	64
7.	COMENTÁRIOS GERAIS	64
8.	ANEXOS	66
	ANEXO 1	66
	ANEXO 2	71
	ANEXO 3	221
	ANEXO 4	264
	ANEXO 5	271
	ANEXO 6	282
	ANEXO 7	297
	ANEXO 8	307
9.	DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA	324

1. OBJETIVOS

A implantação do Laboratório de Engenharia de Controle, dotará a CETESB de uma infra-estrutura ainda não disponível e bastante necessária, considerando a importância que a organização ocupa no Cenário Brasileiro de Saneamento Ambiental.

O projeto visa atingir os seguintes objetivos:

- Implantação de um sistema que permita adequada calibração por meio de aerossóis de teste, dispositivos e equipamentos para uso em avaliação da qualidade do ar, bem como amostragem de fontes de poluição atmosférica, caracterizando seus diâmetros de corte.
- Implantação de um sistema adequado que permita a calibração de equipamentos de velometria, bem como dispositivos que permitam medir velocidade e vazão.
- Oferecimento de serviços de apoio, treinamento interno e eventualmente externo, em termos de prestação de serviços.
- Desenvolvimento e estudos de projetos de execução de equipamentos e partes importados de aparatos de avaliação existentes.
- Outros estudos que podem ser realizados, venham a constituir em projetos específicos da unidade.

Com a implantação proposta a CETESB passará a dispor de uma logística de apoio, hoje não existente, tanto para as ações de avaliação e controle como para o desenvolvimento tecnológico e treinamento de seu corpo técnico, abrindo também perspectivas futuras de prestação de serviços neste campo.

2. INTRODUÇÃO

Este relatório referente a Fase I do projeto 38.09.00 do triênio 84/86 apresenta as características básicas dos sistemas de geração de aerossóis e de velometria que foram instalados no LEC (Laboratório de Engenharia de Controle) GTAR (Gerência de Tecnologia do Ar) da CETESB.

Parte de um amplo programa de desenvolvimento tecnológico representado pelo PROCOP. Este laboratório vem ao

encontro das carências tecnológicas apontadas como entrave na caracterização dos equipamentos de melhor relação " custo benefício " .

Os objetivos descrito no item 1., compreende a pré-especificação dos sistemas componentes do LEC que antecedem os cálculos e critérios que foram adotados para dimensionamento deste laboratório.

Não existem atualmente no Brasil dados específicos para projeto e/ou análise de sistemas de controle de poluentes do Ar sob aspecto de material particulado, que tenham tido um custo - efetivamente adequados ao uso a que destinam.

A sistemática adotada até agora tem sido baseada na importação direta de tecnologia ou em bibliografia disponível, sempre temperada em grandes doses de insegurança.

Decorrente do superdimensionamento nos projetos e os altos custos subsequentes, vem consumindo rapidamente os poucos recursos destinados ao controle ambiental. Desta forma cria-se uma imagem distorcida em relação ao volume de investimentos a serem alocados para aquele fim.

Com a dependência inversamente proporcional entre o custo de um sistema de controle e sua viabilidade de implantação, tornou-se necessária existência de uma unidade de engenharia de controle que fosse capaz de gerar os dados necessários para a seleção de equipamentos de controle de poluentes do ar. No caso o material particulado ou visando o lado de fornecer parâmetros de velometria como vazão, velocidade, que atendessem tecnicamente as necessidades de uma sociedade como a nossa a custos compatíveis como a realidade vigente.

Assim sendo os objetivos do LEC deverão estar voltadas basicamente para o estudo de equipamentos de medição de dutos e chaminés, procurando preencher a lacuna existente entre as condições hipotéticas de funcionamento e o desempenho destes aparatos com os reais, assim como adaptando e treinando os técnicos da CETESB as condições reais de operação. Ao mesmo tempo, o laboratório deverá permitir à CETESB dispor de meios próprios para calibração de seu instrumental de trabalho e reafirmação, utilizados nas áreas de medição e qualificação de efluentes gasosos.

3. ANÁLISE DA LITERATURA:

Os sistemas propostos foi conduzido anteriormente por técnicos americanos, no qual o presente produto servirá para o nosso propósito, sendo assim teríamos que adaptar o sistema para nossa real necessidade. A linha da pesquisa referente a literatura foram extraídos das publicações e livros a seguir:

- 1) Southern Research Institute - SORI
Alabama - Birmingham

- 2) Generation of Monodisperse Aerosol Standard
Richard N. Bergleind and Benjamin Y.K. Liu
Volume 7, Number 2, Fevereiro - 1973

- 3) Operational Limits of Vibrating Orifice Aerosol Generator
James B. Wedding and James J. Sutkel
Volume 8, Numero 5, Maio - 1974.
University of Illinois at Urbana

- 4) Operational Characteristics of the Vibrating Orifice Aerosol Generator
James B. Wedding
Volume 9, Numero 7, Julho 1975
University of Illinois of Urbana

- 5) An Evaluation of Nebulized Amonium Fluórescein as a Laboratory Aerosol
Werner Stober and Hermann Flaschsbast
Volume 7, pp 737-748
Atmospheric Environment Pergamon Press 1973

- 6) Procedures for Cascade Calibration and operation in Process Streams
Source Sampling Southern Research Institute - SORI

U. S. Environmental Protection Agency
EPA. 600/2-77-084 - Janeiro 1977

- 7) Procedures Manual for the Recommended ARB Partide Size Distribution Method Research Institute - SORI.

SORI - EAS - 86-466 - Maio 1986
- 8) Recommended Methodology for the Determination of Particle Size Distributions in Ducted Sources

SORI - EAS - 86-464 - Maio 1986
- 9) Quality Assurance Manual for Cascade Impactor Measurement

SORI - EAS - 86-922 - Maio 1986
- 10) Drop Size Measurement of Liquid Aerossols B.Y.H. Liu and D. Y.H. Peri

Partide Technology Laboratory - Mechanical Engineering Department

University of Minnesota - Março - 1981
- 11) An Aerossol Generator of High Stability
Benjamin Y. H. Liu and K. W. Lee
- 12) Air Flow Calibration
John M. Yacher (NIOSHI)
Cincinnati - Ohio
- 13) Methods for the Measurement at Fluid Flow in Pipes
B.S. 1042 - Part I e Part 2 - Ano 1973
- 14) ASHRAE Standard 51-75 AMCA
Std 210-74
Laboratory Methods of Testing Fans for Rating
- 15) FAN Engineering Buffalo Forge Co.
1970
- 16) ASME - Fluid Meters, 1966

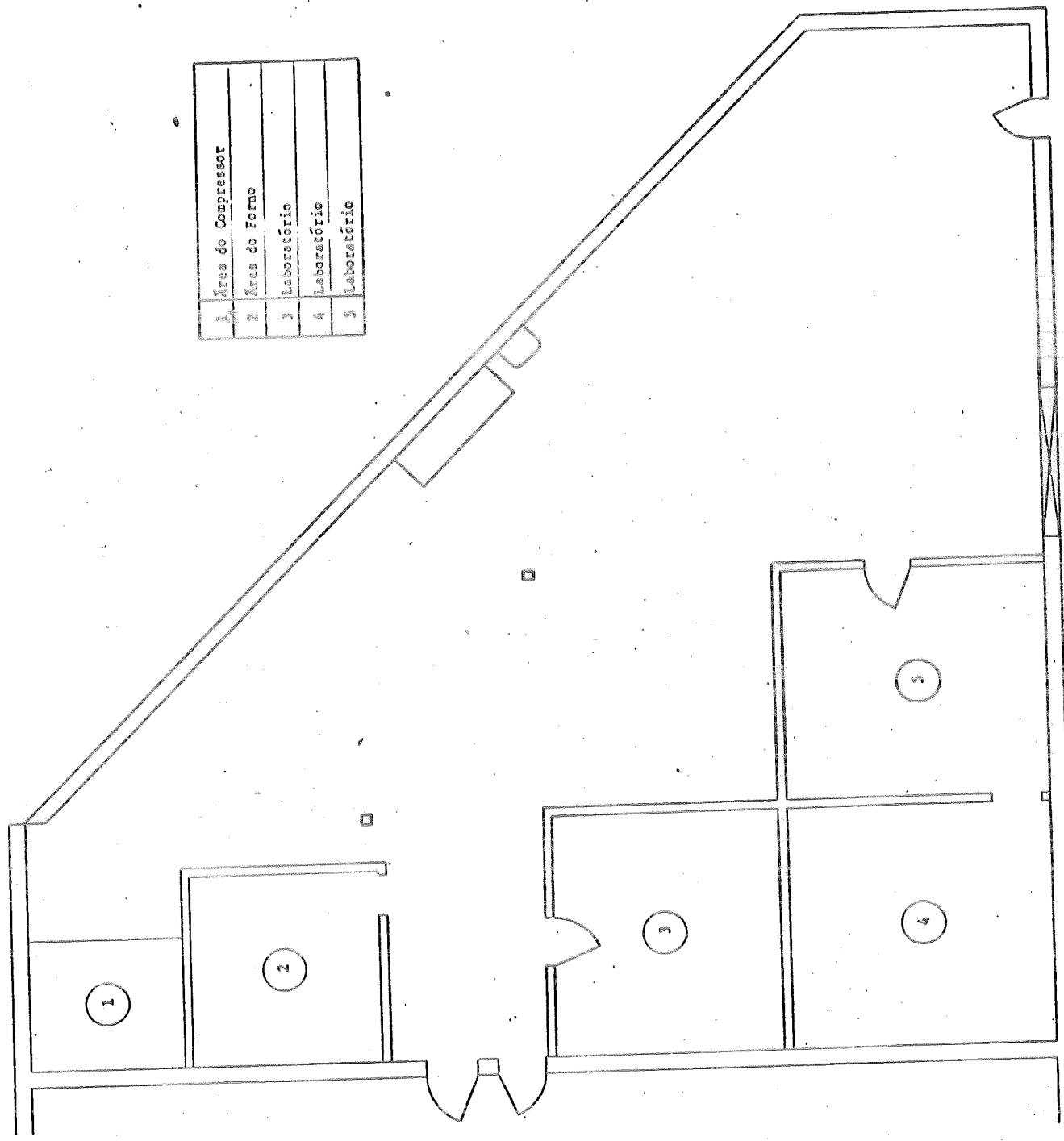
- 17) PERRY Chemical Engineering Manual
- 18) Compressed Gas Handbook - NASA
- 19) Benedict - Fundamentals of Temperature, Pressure, and Flow Measurements, 1968
- 20) Handbook of Chemistry and Physics 61 st Edition - CRC
- 21) Industrial Ventilation A.C.G.I.H. - 17a edição
- 22) Norma JIS B 8330 - 1962- Testing Methods for from Blowers.
- 23) Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement System vol. III.
- 24) Exhaust Hoods

J. M. Dalla Valle

4. HISTÓRICO:

A primeira concepção do projeto de implantação do LEC foi projetada e elaborada em 1979, até então apoiada pelo Plano de Assistência Técnica do Procop. Na ocasião teve início em 1979 as obras civis no Prédio 7 (Conforme Desenho 1) e finalizando-se em 1980. Este projeto tinha como objetivo avaliar as eficiências de retenção de aerossóis pelas diferentes famílias de ECP's, com desenvolvimento de método e técnicos para avaliação de efluentes gasosos, carga de poluentes, composição físico-química dos gases, etc, otimização da operação e manutenção de ECP's.

Este sistema trabalharia com 3 sistemas independentes compilados em uma única unidade para testes de equipamentos de controle (Vide Desenho 2) que segue:



1	Área do Compressor
2	Área do Forno
3	Laboratório
4	Laboratório
5	Laboratório

Escala 1:80

Fig. 01

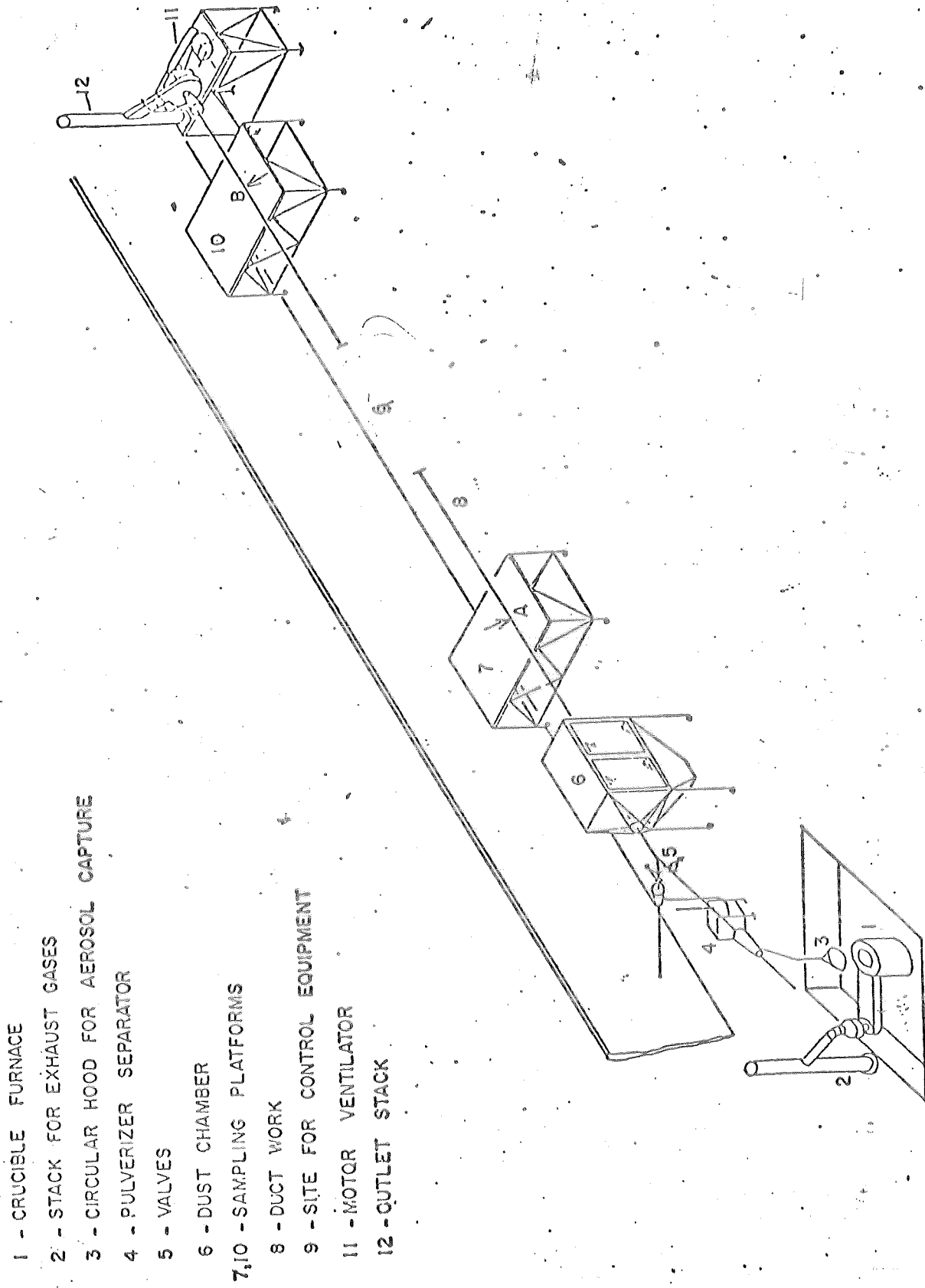


Fig. 02

a) Sistema de geração de aerossóis:

1.a. Aerossóis gerados por condensação, utilizando-se um forno tipo cadinho, à óleo, com saída independente para gases de combustão onde metais e ligas seriam volatilizados no forno, com os fumos gerados constituindo-se no aerossol de teste.

1.b. Aerossóis gerados por desagregação mecânica, onde seria utilizado em conjunto pulverizador-separador cuja característica mais importante é sistema seletor de fumos.

1.c. Sistema dispersor de particulados.

b) Sistema de ventilação.

1.b.a. Conjunto motor-ventilador que seria o responsável pela captura e transporte dos aerossóis gerados.

c) Sistema de controle para aerossóis testados.

1.c.a. Para controle dos poluentes gerados durante os testes do LEC.

Na presente data foi apresentado o projeto em questão do sub-programa II PAT/PROCOP ao Banco Mundial. Referente a parte nacional, do laboratório, à época do envio do projeto do Banco Mundial, constituía-se em sistema de ventilação local exaustora com captação nas fontes de emissão de particulados na escala piloto ou de escala real em parte reduzido.

Na ocasião da transferência das atividades de implantação do laboratório para GTAR/DENG havia já uma proposição formal de redirecionamento operacional da parte nacional para constituição de uma unidade de apoio voltada para as calibrações, testes de funcionamento e treinamento.

Sob este prisma a geração de dados sobre as características de equipamentos de controle de material particulado, seria feita em campo, em condições reais de funcionamento.

Entretanto discutindo tal fato com o consultor internacional Prof. Marton Corn, resultou seu endosso verbal ao redirecionamento acima citado, tendo sido incluído em seu relatório original " Discussion of Impressions of CETESB Needs in Air Pollution Control ", que dava ênfase aos aspectos negativos do primeiro tipo de sistema proposto.

Assim sendo endossamos plenamente tal redirecionamento, foi sugerido, que seria de bom alvitre obter consultoria internacional específica e se possível também treinamento específico, de preferência ambos em relação ao grupo do " Particle Technology Laboratory ", para consolidação física de um projeto.

Em meados de 1983, foi solicitado ao PROCOP a consultoria internacional do Dr. Joseph McCain do Instituto de Pesquisa do Sul - SORI. Este trabalhando onde existe já implantado um sistema de calibração com aerossóis de teste, visando a aquisição de subsídios para o futuro desenvolvimento do projeto do sistema, através dos recursos da fase nacional do PROCOP e para familiarização com este tipo de técnica. Do mesmo modo, o sistema de Velometria manteve-se, porém visando somente a calibração do tipo tubos de Pitot's, boquilha. Este sistema denominado de " Velometria " ou " Tunel de Vento ". O consultor apresentou sua opinião, a qual foi prontamente adotada e aceita. Tratava-se de um sistema de geração de aerossóis porém de pequeno porte, visando calibrar dispositivos do tipo Impactadores Inerciais, Ciclones.

Dispositivos estes aplicados em campo capaz de fornecer uma distribuição de partículas de uma determinada fonte estacionária.

A nova proposição, teve seu início a partir de agosto de 1983, após a devida aprovação conjunta da Diretoria da CETESB, PROCOP e Banco Mundial.

Face as seguintes circunstâncias:

- O sistema original oferecia condições para o teste da performance de equipamentos de controle por meio de simulações de operação e uso de equipamentos para teste com dimensões reduzidas (eventualmente construídos em escala não original). Propõe-se agora que tais verificações fossem a ser realizadas no campo, com os mesmos equipamentos de amostragem, sem processo industrial e da escala do equipamento de controle.
- O sistema original colocava ênfase totalmente secundária na calibração aerodinâmica, por meio de aerossóis de teste, de equipamentos e dispositivos de amostragem. Em que pese a correção técnica e a perfeita aderência às prioridades da ênfase de sua concepção original, entendemos que a situação econômica que reinava, impunha um grau obrigatório de versatilidade aos instrumentos, o que neste caso é atingível pela inversão da ênfase original deslocando a prioridade para um Laboratório de Engenharia de Controle, visando à calibração e não para avaliação de performance.

Tal fato, ocorreu uma transformação drástica nos componentes nacionais do sistema, se comparado com o projeto primitivo.

Devido às peculiaridades do estado da arte de calibração com aerossóis de teste, atividade ainda inexistente em nosso país, é de fato aconselhável que o projeto de construção das câmaras e aparatos, correlatos só seja feito após observação local em entidade detentora de experiência consagrada no assunto e, durante o ano de 1984, no terceiro trimestre, através de um outro Programa PROCOP específico, ocorreu o treinamento de um Engenheiro Senior (GTAR) junto a uma instituição de pesquisa (Southern Research Institute), onde tem implantado um laboratório que possui o sistema de calibração com aerossóis de testes.

Após a sua volta deu-se o início efetivo aos projetos em questão, em meados de 1985.

Em sua forma original como na sua proposta, o projeto possuía duas partes distintas: Uma fase internacional não alterada, referente à aquisição de equipamentos sem similaridade no país com um montante de US\$ 98.000,00 e outra fase nacional, com um montante de US\$ 109.600,00 referente a investimentos em equipamentos nacionais, serviços de montagem, como: calderaria, usinagem e obras civis.

Com relação aos recursos humanos existentes à época a GTAR era constituída de (2) Engenheiros Seniors, (1) Químico, (2) Engenheiros estagiários e (1) Secretária. Entretanto houve então na ocasião por problemas de política (interna) salarial, a saída dos técnicos, inclusive aquele treinado no exterior. Desde então, não houve reposição dos recursos humanos, apenas restando um engenheiro que conduziu o projeto o detalhamento e construção de sistemas ora hoje implantados. Primeiramente, elaborou-se um projeto de edificação, visando comportar os dois sistemas propostos, houve uma licitação e deu-se início a fase de demolição e construção em setembro 1986, tendo o seu término em fevereiro 1987 (Desenho 3).

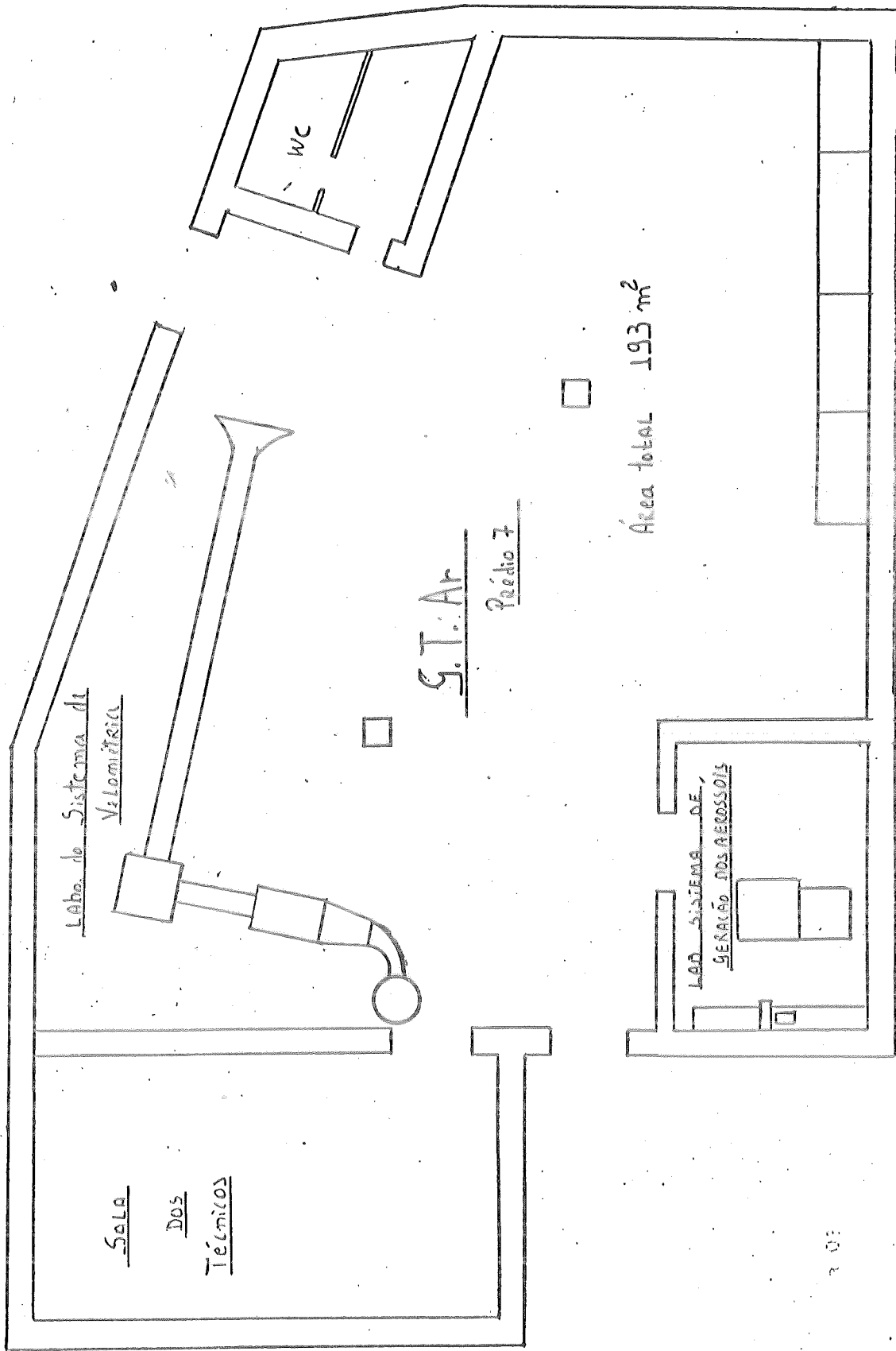


Fig. 03



Secundariamente elaboram-se a lista dos equipamentos em 1985, evidentemente houve a fase de execução/tomada de preços dos aparatos, comprados, tanto na parte internacional, bem como na parte nacional. E ao mesmo tempo operacionalizava-se as montagens e usinagens de peças.

Tais equipamentos importados foram posteriormente anotados em documento enviado ao CNPq para solicitação de isenção de impostos de importação (Vide Tabela I). Equipamentos que foram adquiridos na parte internacional e na parte nacional (Vide Tabela II).



CETESB

TABULA 1

ITEM	ESPECIFICAÇÃO	Nº de CATÁLOGO	QUANTIDADE	PREÇO
1. Amostrador para efluentes gasosos	RAC STAKESAMPLER TRAIN - completo -	201009	2	US\$ 70.000 ⁰⁰
		201014	2	
		201045	2	
		201019	2	
		201109	2	
		201002	2	
2. Linha Flexível para amostragem	RAC Flexible Sampling Line - 10' Length (complete)	201074	2	US\$ 3.800 ⁰⁰
		201156	2	
3. Fonte de Alimentação	RAC Power Supply for Sampling Line	996471	2	US\$ 1.000 ⁰⁰
4. Bombas de Vacuo	Vacuum Pump (RAC)	991579	2	US\$ 1.000 ⁰⁰
5. Gasometro Seco	Dry Gas Meter (RAC)	997869	2	US\$ 1.000 ⁰⁰
6. Filtros de fibra de Vidro	Flash Fired Glass Fiber Medium 4" diam. (RAC)	994555	5 caixas	US\$ 600 ⁰⁰
7. Auto Transformadores	Rheostat (RAC)	992006	2	US\$ 200 ⁰⁰
8. Gasometro Umido	GCA/Precision Scientific Wet Test Meter - 150 cuft	GCA Catalog 43133	1	US\$ 4.500 ⁰⁰
9. Poeira Padronizada	0.5 µm Test Dust GCA/Precision Scientific Lab. Inc. (1912) Production Drive Louisville, Kentucky 40223 Test Dust	0.5 µm	25 kg	US\$ 500 ⁰⁰
10. Esferulas de latex PSL	Dow Chemical Midland, MI Polystyrene Latex Spheres	0 - 0.5 µm	200 ml	US\$ 2.000 ⁰⁰
		0,5 - 1,0 "	200 ml	
		1,0 -10,0 "	200 ml	
		>10,0 "	200 ml	
11. Impactador	Mark III - 8 Stage Anderson Stack Sampler - S.S. Complete, with collection plates (RAC)	397766	2	US\$ 14.000 ⁰⁰
12. Suporte para Filtros	RAC Filter Holder 4" diam	201013	2	US\$ 1.000 ⁰⁰
13. Vidraria para coleta de Po. Inertes	RAC Sampling Train Glassware	201044	2	US\$ 3.000 ⁰⁰
14. Amostrador automatico de poluentes	Kurz Instruments Inc. P.O. Box 649 Carmel Valley, CA. 93924. Automatic Isokinetic Air Sampling System	model 271-3	1	US\$ 10.000 ⁰⁰
15. Mini lavador para testes (NÃO REQUERIDO)	Mc Ilvaine Co. 2970 Maria Av. North Brook, Ill. 60062 - Mini Scrubber	Mc Ilvaine Mini Scrubber - Complete assembly	1	US\$ 3.000 ⁰⁰
16. Gerador de Aerosol	Berglund-Lin Monodisperse Aerosol Generator - model 3050 (TSI)	3050	1	US\$ 5.000 ⁰⁰
17. Gerador de Aerosol	Fluidized Bed Aerosol Generator - model 3400 - (TSI)	3400	1	US\$ 4.000 ⁰⁰
18. Orifício de Geração	5 µm orifice 35µm orifice 50 µm orifice 100 µm orifice (TSI)	10351	1	US\$ 200 ⁰⁰
		10354	1	
		10355	1	
		10356	1	
19. Atomizador de fluxo constante	Constant Output Atomizer - model 3076 (TSI)	3076	1	US\$ 1.500 ⁰⁰
20. Filtros	0,25 µm filter 0,50 µm filter (TSI)	10358	1 box	US\$ 200 ⁰⁰
		10359	1 box	
21. Neutralizador de Aerosol	Aerosol Neutralizer - model 3054 (TSI)	3054	1	US\$ 1.000 ⁰⁰
22. Sistema para Suprimento do ar	Air Supply System - model 3074 (TSI)	3074	1	US\$ 1.000 ⁰⁰
23. Contingency for spare parts, price changes etc.				US\$ 5.408 ⁰⁰
SUB TOTAL				US\$ 81.994 ⁰⁰
3% frete+5% seguro+5% comissão				US\$ 14.821 ⁰⁰
TOTAL				US\$ 96.815 ⁰⁰

LISTAGEM DOS MATERIAIS JÁ RECEBIDOS PELA GTAR

PRODUTOS	Nº SOC	VALOR CZ\$
01. Ultrassom para limpeza	02703	2.052,71
02. Micro aspirador/compressor	02704	3.409,78
03. Bloco de aço inox AISI 316	02778	1.900,00
04. Tubo aço inox AISI 316, Ø ext.10 mm, par. 1 mm	02779	2.400,00
05. Tubo aço inox AISI 316, Ø ext.28 mm, par. 1,5 mm	02780	1.050,00
06. Tubo aço inox AISI 316, Ø ext.20 mm, par. 1 mm	02781	840,00
07. Tubo aço inox AISI 316, Ø ext.18 mm, par. 1 mm	02782	750,00
08. Tubo aço inox AISI 316, Ø ext.14 mm, par. 1 mm	02783	720,00
09. Tubo aço inox AISI 316, Ø ext.12 mm, par. 1 mm	02784	660,00
10. Tubo aço inox AISI 316, Ø ext.10,20 mm, par. 1,6 mm	02785	750,00
11. Barra sextavada de 1" latão	02786	615,00
12. Tarugo de latão - Ø 20 mm	02787	738,00
13. Barra sextavada de 5/8" de aço inox 316	02788	1.120,00
14. Barra sextavada de 1" de aço inox 316	02789	700,00
15. Bico para mangueira "Adaptado" em latão	02790	33,92
16. Secador de ar refrigerante	02791	17.293,12
17. Filtro de ar	02792	1.844,96
18. Regulador de pressão (1 a 50 psi)	02793	6.171,30
19. Filtro de ar	02794	5.134,88
20. Filtro removedor de óleo	02795	21.258,12
21. Regulador de Pressão (2 a 125 psi)	02796	2.054,10
22. Cruzeta igual de aço inox 316	02797	1.910,52
23. Conexão ERMETO UDI 10	02798	372,72
24. Conexão ERMETO USI 10	02799	258,52
25. Conexão ERMETO TII 10	02800	550,92
26. Conexão ERMETO MFI 1 x 3/8 NPT	02801	180,36
27. Conexão ERMETO UMI 10 x 3/8" NPT	02802	127,78
28. Conexão ERMETO BJI 1 NPT	02803	173,66
29. Conexão ERMETO UMI 16 x 1 NPT	02804	315,36
30. Conexão ERMETO VEI 10 x AT	02805	5.852,00
31. Conexão ERMETO UMI 10 x 3/8 NPT	02806	127,78
32. Conexão ERMETO UMI 25,4 x 3/4 NPT	02807	1.117,68
33. Conexão ERMETO UMI 25,4 x 1 NPT	02808	958,00
34. Conexão ERMETO MFI 1 x 3/8 NPT	02809	180,36
35. Conexão ERMETO TVI 10 x 3/8 NPT	02810	585,36
36. Conexão ERMETO TMI 19 x 3/4 NPT	02811	1.341,24
37. Conexão ERMETO FFI 3/4 x 3/4 NPT	02812	276,48
38. Conexão ERMETO UFA 16 x 1/2 NPT	02813	384,21
39. Conexão ERMETO PI 10 AG	02814	305,40
40. Conexão ERMETO AI 10 PH	02815	162,80
41. Conexão ERMETO MBP-6	02816	110,40
42. Chave ajustável	02882	406,00
43. Alicates universal	02883	163,50
44. Jogo de chaves fixas de 6 a 32 mm	02884	735,25



PRODUTOS	Nº SOC	VALOR Cz\$
45. Jogo de chaves fixas de 1/4" a 1 1/4"	02885	490,00
46. Jogo de chaves estrela de 1/4" a 1 1/4"	02886	673,75
47. Corta Tubos	02887	2.190,83
48. Curvadores de tubos tipo alavanca	02888	1.745,80
49. Alicates bico redondo	02889	212,00
50. Chave de fenda 1/8" x 3"	02890	18,79
51. Chave de fenda 1/8" x 6"	02891	21,17
52. Chave de fenda 3/16" x 3"	02892	26,38
53. Chave de fenda 3/16" x 6"	02893	27,80
54. Chave de fenda 1/4" x 4 "	02894	37,80
55. Chave de fenda 5/16" x 5"	02895	35,00
56. Chave de fenda, 3/8" x 6"	02896	66,96
57. Chave de fenda 1/2" x 10"	02897	103,00
58. Cotoccos de chave de fenda 1/4" x 1 1/2"	02898	27,80
59. Chave de fenda para rádio 7/64" x 2 3/8"	02899	31,48
60. Chave de fenda haste isolada 3/16" x 4"	02900	30,12
61. Chave Phillips 2 3/8" x 1/8"	02901	21,27
62. Chave Phillips 3" x 3/16"	02902	27,43
63. Jogo de chaves Allen com 7 peças	02903	49,78
64. Jogo de chaves Allen com 8 peças	02904	63,69
65. Jogo de chaves Allen com 10 peças	02905	238,96
66. Fio de Ni-Cr	02926	375,00
67. Estrangulador metálico para mangueira flexível	02927	200,00
68. Mangueira de Tygon	02928	852,50
69. Pinça Hofman 30	02929	168,00
70. Barrilete 5 litros em vidro pirex	02932	175,00
71. Barrilete 10 litros em vidro pirex	02933	370,00
72. Pisseta 2402	02934	594,00
73. Conexão de polypropyleno em "Y"	02935	1.232,00
74. Conexão de polypropyleno em "T"	02936	924,00
75. Silica Gel Azul	02937	396,00
76. Peneira nº 500	02938	1.654,00
77. Espátula de aço inox	02939	472,00
78. Suporte poly-tube	02940	109,60
79. Tubos poly-flo de polietileno	02941	64,80
80. Tubos poly-flo de polietileno	02942	64,80
81. Tubos poly-flo de polietileno	02943	64,80
82. Tubos poly-flo de polietileno	02944	64,80
83. Dessecador 250 mm	02945	1.324,75
84. Fluoresceína PA FC com 100 gr.	02946	277,59
85. Óleo vermelho	02948	2.944,00
86. Óleo anarelo	02949	1.472,00
87. Solvente ciclo hexano P.A.	02952	649,00
88. Proveta de 25 ml	02953	240,00



PRODUTOS	Nº SOC	VALOR Cz\$
89. Proveta de 250 ml	02954	180,00
90. Proveta de 1000 ml	02955	300,00
91. Proveta de 500 ml	02956	280,00
92. Cronômetro	02958	2.400,00
93. Pipeta 10 ml	02959	5.000,00
94. Pipeta 2 ml	02961	3.000,00
95. Pipetas volumetricas de 1 ml	02962	500,00
96. Termometro com escala de -10 a 360º C	02963	200,00
97. Lavador de pipetas	02964	1.400,00
98. Contador	03440	791,40
99. Estufa Especial	03445	34.500,00
100. Placa aquecedora FANEM	03446	1.035,72
101. Termopar	03616	3.180,44
102. Termopar	03617	700,47
103. Termopar	03618	897,69
104. Termopar	03619	903,33
105. Rele de tempo	04212	317,63
106. Leitor de Temperatura	04213	2.411,62
107. Controlador de temperatura	04214	2.516,79
108. Cronometro digital	04215	3.139,44
109. Papel Fiberfrax	04295	800,00
110. Fiberfrax - painel flexível	04296	600,00
111. Pincel de 2"	05002	60,00
112. Cera Simoniz KS-2	05003	45,77
113. Desmoldante - Separol líquido	05004	63,44
114. Tecido de Fibra de Vidro	05005	269,49
115. Manta de Fibra de Vidro	05006	1.091,10
116. Solvente RP	05007	226,06
117. Catalizador Peroxol	05008	406,00
118. Acelerador de Cobalto	05009	2.581,00
119. Resina Ortoftálica	05010	904,10
120. Véu de Acabamento	05011	1.144,80
121. Gel Coalt Isoftálico	05012	286,00
122. Pipeta volumétrica de 5 ml	05546	149,44
123. Ventilador Exaustor	05571	13.944,01
124. Motor Trifásico	05572	7.455,00
125. Tubulação de teste	05573	3.916,50
126. Valvula Solenoide	06589	1.308,16
127. Tubo de aço inox	07488	180,00
128. Conexão - ERMETO UDI-12	07538	521,61
129. Conexão - ERMETO UDI-10	07539	1.004,72
130. Conexão - ERMETO UDI-19	07540	1.062,72
131. Conexão - ERMETO UDI-16	07541	998,28

CETESB - CIA DE TECNOLOGIA E AMBIENTE AMBIENTAL
 BIBLIOTECA

PRODUTOS	Nº SOC	VALOR C/5
132. Conexão - ERMETO - UDI-28	07542	3956,40
133. Monômero de Estireno	08171	78,25
134. Acelerador de Cobalto	08249	40,00
135. Roletê para laminação	08250	180,00
136. Pincel de 2"	08251	90,00
137. Chapa de Polimetilmetacrilato	08317	2000,00
138. Gel Coalt	08318	164,00
139. Desmoldante	08319	63,36
140. Tubo de Acrílico	08320	1131,20
141. Solvente RP	08417	65,29
142. Caneta Vibratória	08506	5445,00
143. Solvente RP	09010	64,10
144. Monômero de Estireno	09011	85,40
145. Tecido de Fibra de Vidro	09012	2475,98
146. Azul de Metileno	09107	625,55
147. Chapa de Acrílico	09108	1097,35
148. pH-metro	09203	11100,00
149. Balança Eletrônica	09276	27170,00
150. Destilador de água	09277	7819,06
151. Espectrofotômetro	09278	130.000,00
152. Chapa de latão 400x400	09757	2000,00
153. Sapatas para cantoneiras	09801	74,00
154. Prateleira de Aço 910 x 300 mm	09802	302,64
155. Prateleira de Aço 910 x 610 mm	09803	586,40
156. Prateleira de Aço 910 x 910 mm	09804	670,00
157. Cantoneira perfurada	09805	2553,00
158. Cantoneira perfurada	09806	944,64
159. Cantoneira de Aço	09807	300,00
160. Esquadro	09808	62,00
161. Parafuso	09809	186,00
162. Resina Ortoftálica Pré-acerelada	11070	840,00
163. Manta Acrílica	11071	734,40
164. Dessecador Grande	12145	3200,00
165. Garrafão Pirex	12146	1200,00

LISTAGEM DOS MATERIAIS JÁ RECEBIDOS PELA GTAR:

PRODUTOS	Nº SOC	VALOR CZS
166. Prateleira de aço 914 x 914 mm	12620	848,64
167. Prateleira de aço 914 x 610 mm	12621	605,00
168. Prateleira de aço 914 x 300 mm	12622	366,08
169. Capacho	12684	380,00
170. Chapa de acrílico 10 mm	13061	10080,00
171. Chapa de acrílico 5 mm	13062	7000,00
172. Chapa de acrílico 2 mm	13063	2240,00
173. Interruptor Simples	15937	60,00
174. Sinalizador para painel (amarelo)	15938	734,00
175. Sinalizador para painel (verde)	15939	734,00
176. Sinalizador para painel (vermelho)	15940	734,00
177. Relê bimetálico	15941	987,00
178. Barra p/ conexão Nybloc	15942	58,00
179. Barra p/ conexão Nybloc	15943	255,50
180. Cabo Pirastic Antiflam	15944	487,00
181. Conjunto base 4A	15945	338,40
182. Fusível In:10A	15946	116,00
183. Fusível In: 4A	15947	116,00
184. Tubo de ferro preto	15948	6048,00
185. Solvente	15949	678,00
186. Solvente para limpeza	15950	565,00
187. Gel Coalt	15951	2100,00
188. Gel Coalt	15952	2558,00
189. Resina Ortoftálica	15953	5600,00
190. Resina	15954	6557,00
191.		
192. Manta fibra	15956	4500,00
193. Catalizador	15957	523,00
194. Solda de Estanho	15081	290,00
195. Chave Soquete.	15082	373,00
196. Alicatê de ponta	15983	60,00
197. Válvula de esfera com 3 vias	16062	80000,00
198. Conexão de aço inox	16063	20208,00
199. Chapa de acrílico 25,40 mm	16145	11000,00



PRODUTOS	Nº SOC	VALOR CZS
200. Balança Eletrônica	16439	150000,00
201. Transfer nº 10	19854	138,00
202. Transfer nº 31	19855	138,00
203. Transfer nº 32	19856	138,00
204. Transfer nº 60	19857	276,00
205. Transfer nº 220	19859	164,00
206. Transfer nº 223	19860	164,00
207. Isoladores de 2 furos	19879	600,00
208. Isoladores de 1 furo	19880	840,00
209. Termopar	19881	4070,00

Face aos percalços surgidos com a importação e a compra dos equipamentos nacionais, devido a mudança de política governamental houve um atraso de 2 anos, sendo que o último equipamento chegou somente em fevereiro 1988, e ainda, no que se refere ao item equipamento de microfotografia deverá chegar somente em dezembro de 1988, obrigando-nos a retardar ainda mais o cronograma proposto da Fase I. Fornecendo consequências drásticas à Fase II do referido projeto.

O atual sistema de geração/calibração com aerossóis de testes, dispõe de dois tramos para futura ampliação, referente a Fase II. Devido a este fato, teve-se que contar com prévia consultoria internacional, que ocorreu em junho de 1987, o qual foi o Dr. Joseph McCain, pertencente ao Southern Research Institute, e em conjunto ao Banco Mundial aprovou-se o projeto da Fase II, que reinará no triênio 1987/89.

O projeto possui termos de referência claramente específicos com a aquisição de outros equipamentos importados e também com um treinamento de um técnico na mesma instituição citada acima.

No próximo capítulo detalharemos a metodologia de trabalho que foi aplicada na implantação dos sistemas referente a Fase I.

5. METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO E OPERACIONALIZAÇÃO

Durante os anos de 1985 à 87 foi desenvolvido o projeto de Engenharia dos sistemas de calibração de equipamentos de Velometria e do sistemas de geração de aerossóis. Após estabelecida a concepção e caracterização dos sistemas propostos, iniciou-se a etapa de recebimento dos equipamentos, em meados de 1985.

Devido às suas características próprias e inusitadas, os detalhes mais importantes na constituição dos sistemas foi recomendável implantar-se parceladamente, de modo a se vivenciar às necessidades decorrentes da apuração de instalações desta espécie.

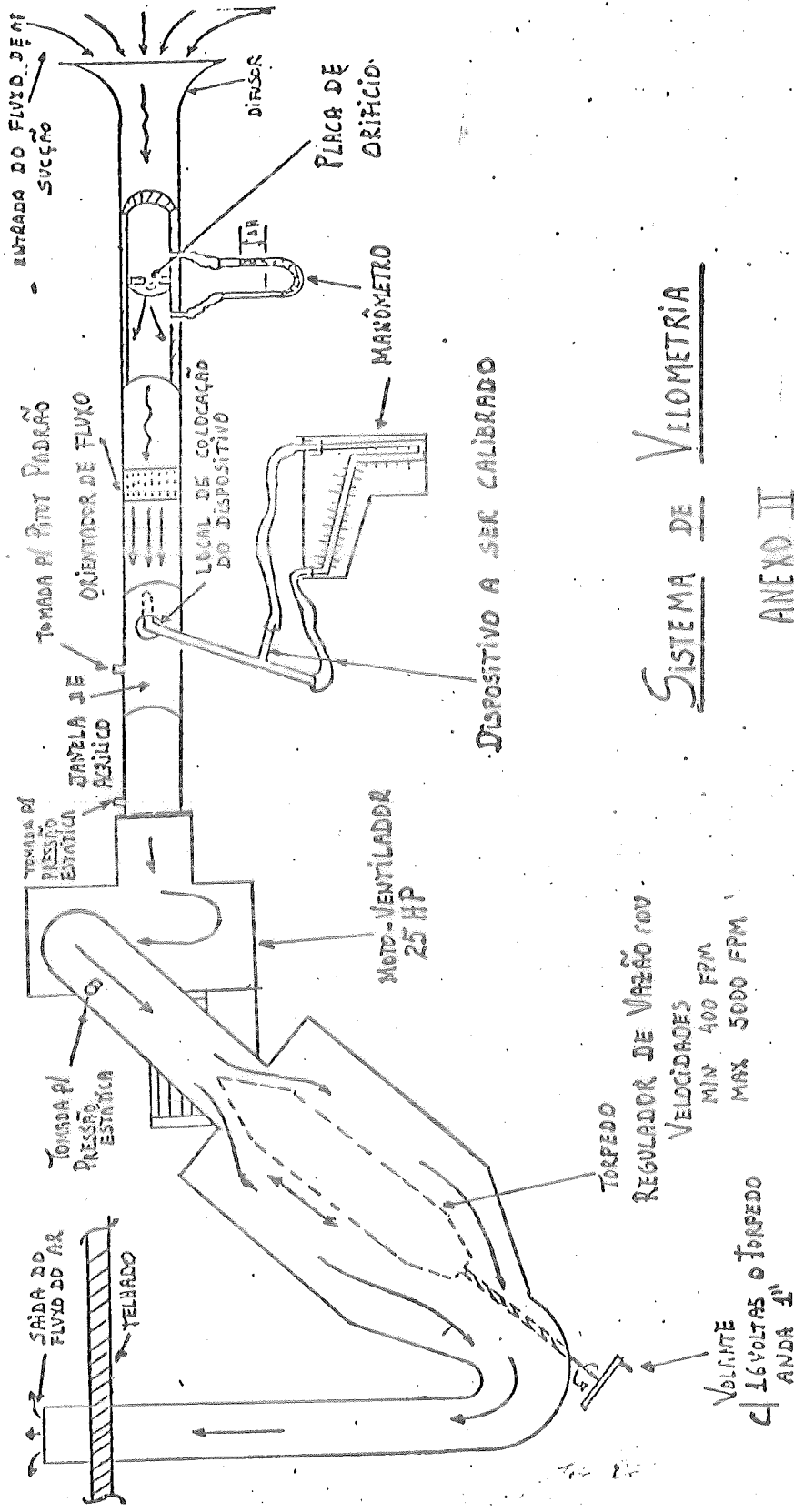
5.1. DESCRIÇÃO DO PROJETO DO SISTEMA DE VELOMETRIA.

Primeiramente teve-se que desenvolver o projeto de velometria (design) do " Tunel de Vento ". Este sistema foi projetado dentro da seguinte concepção preliminar:

Foram levantados as características do conjunto-motor ventilador disponível segundo arranjo compatível com a ASHRAE STD 51 e feita associação do mesmo com o sistema de dutos, flanges, orifício, Taps, Válvula (torpedo), com a finalidade de proporcionar condições de fluxo conhecidos e estáveis, capazes de prestarem-se à calibração de instrumento de medida direta ou indireta de vazão e velocidade, (Vide documentação fotográfica) e Desenho 4, foi considerado como incluso nesta atividade o levantamento das condições da instalação física do recinto do Prédio 7 destinado ao Laboratório/GTAR. Como primeiro passo, teve-se que dimensionar o conjunto como se segue:

O ar é succionado pelo exaustor. O fluxo de ar causa uma diferença de pressão entre os dois lados do orifício.

Um manômetro tipo Magnelic colocado nos tap's da flange de orifício fornece a leitura da depressão. Através de cálculos obtém-se a vazão.



SISTEMA DE VELOMETRIA

ANEXO II

Fig.04

No cálculo da flange de orifício, segue metodologia estabelecida.

5.1.1. EM PRIMEIRO LUGAR, NECESSITAM-SE ESTABELECEM OS VALORES DE PROJETO.

Neste caso, estabeleceram-se os seguintes valores:

$$Q = 200.000 \text{ pés}^3 / \text{hr}$$

$$h = 10'' \text{ H}_2\text{O}$$

$$D = 11,811 \text{ pol. (300 mm)}$$

onde:

$$Q = \text{vazão em cfh}$$

$$h = \text{depressão entre dois lados da flange de orifícios em pol. H}_2\text{O.}$$

$$D = \text{diâmetro do duto em polegadas.}$$

Uma vez admitidos esses valores, podem-se calcular:

$$V = \text{velocidade no duto em pés/min.}$$

$$V_p = \text{pressão de velocidade em pol. H}_2\text{O}$$

$$P_{\text{stat}} = \text{pressão estática em psi}$$

$$P_{\text{abs}} = \text{pressão absoluta em psi}$$

$$\rho = \text{densidade do ar, à temperatura de trabalho, em lb/ft}^3$$

Pode-se então calcular N, definido por:

$$N = \frac{Q \sqrt{P}}{359,2 D \sqrt{h}} \quad (I)$$

$$P = \frac{0,0807171 H}{1 + 0,00367 t} \cdot 760 \quad (II)$$

onde: (com as devidas deformações de unidades)

t = temperatura em C;

H = Pabs expressa em mmHg.

$$V = 4005 \sqrt{(V_p)} \quad (III)$$

V = velocidade em fpm

$$P_{abs} = P_{atm} - P_{stat} \quad (IV)$$

P_{atm} = pressão atmosférica em psi

$$V = \frac{Q}{60 \times \text{Área}} \quad (V)$$

$$\text{Área} = \text{ft}^2;$$

$$Q = \text{vazão em ft}^3/\text{hr}$$

Através destes cálculos mais o valor de N, faz-se:

$$CmE = N \quad (VI)$$

Obtendo-se m do gráfico 3 da bibliografia No 13.

onde:

C = coeficiente básico adimensional;

E = fator de velocidade de aproximação adimensional

$$m = \left(\frac{d}{D} \right)^2 \quad (VII)$$

$$E = \frac{1}{\sqrt{1 - m}} \quad (VIII)$$

Adota-se:

Z = fator de correção, adimensional

E = fator de expansibilidade

Prosegue-se o cálculo com número de Reynolds:

$$Rd = Q \cdot \rho \left(15,8 \frac{M D}{m} \sqrt{\quad} \right) \quad (IX)$$

onde:

Rd = número de Reynolds, adimensional;

ρ = densidade em lb/ft³;

M = viscosidade em poise, obtida do gráfico 18 bibliografia No 13.

Calcula-se:

$$\frac{h}{P_{abs}} \quad (X)$$

Dos gráficos 38 e 39 da bibliografia de No 13, obtém-se:

$$E = 0,988$$

$$Z_R = 1,001$$

$$Z_D = 1,0$$

onde:

Z_R = correção para No de Reynolds;

Z_D = correção para o diâmetro do duto;

$$Z = Z_R \times Z_D \quad (XI)$$

calcula-se:

$$CmE = \frac{N}{Z E} \quad (XII)$$

$$\frac{CmE}{\quad} = mE$$

Onde C é obtido do gráfico 38 da bibliografia de N^o 13; com mE calcula-se:

$$\frac{d}{D} = \frac{(mE)^2}{1 + (mE)^2} \quad 1/4 \quad (XIV)$$

donde se obtém d , o diâmetro procurado. Neste ponto termina o projeto de orifício e começa a parte do cálculo da vazão, através de:

$$Q = 359,2 C.Z.E D d^2 \sqrt{(h/\rho)} \quad (XV)$$

onde os valores conhecidos são: Q, h e ρ , sendo que h pode ser expresso em função de Q . Resulta então uma equação $h = f(Q)$ que resolve o problema de cálculo, a menos da calibração da flange de orifício.

Neste trabalho apresentou-se o cálculo para flange de orifício reto com tomadas de pressão ("taps") a uma distância D a jusante e $(D/2)$ a montante. Com as devidas substituições nos cálculos, resultou-se em:

$$Q = 1,66803 \times 10^4 \sqrt{(h/\rho)} \quad (XVI)$$

Resulta:

$$Q^2 = 2,782 \times 10^8 \frac{h}{6,865 \times 10^{-2} - 1,049 \times 10^{-14} Q^2} \quad (XVII)$$

$$h = 2,467 \times 10^{-10} Q^2 - 3,770 \times 10^{-23} Q^4 \quad (XVIII)$$

Com a qual se constroi a tabela 3 a seguir:

TABELA 3

VALORES ESPERADOS DE h EM FUNÇÃO DE Q

Q ³ (ft ³ /h)	H (pol. col. H ₂ O)
50.000	0,62
100.000	2,46
125.000	3,85
150.000	5,53
175.000	7,52
200.000	9,81

Os valores da tabela 3 serão afetados por uma calibração que foi feita, descrita no ítem 5.1.18, por meio de medidas de velocidade, através do tubo de Pitot padrão. Por ocasião da calibração foi feito os cálculos corrigindo-se para a pressão barométrica local, as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido para verificação de erros e para redução dos resultados a C N T P.

5.1.2. CÁLCULO DA PERDA DE CARGA PERMANENTE NO ORIFÍCIO, CONFORME BIBLIOGRAFIA DE No 12

$$\Delta P = \frac{1 - m^2}{1 + m^2} (P_1 - P_2) \quad (\text{XIX})$$

$$\Delta P = 6,2 \frac{H_2O}{2}$$

5.1.3. DIMENSIONAMENTO DO "ORIENTADOR DE LINHAS DE FLUXO" (Flow Straightener)

Os desenhos de Nos 5 e 6 mostram as dimensões do orientador de linha de fluxo obtidos da bibliografia de N^o 14.

Esta peça tem a finalidade de homogenizar as linhas de fluxo e estabelecer leituras de pressão, mais estáveis ao longo da secção transversal do duto, diminuindo o erro de cálculo das velocidades e da vazão total.

Neste ponto encerram-se os cálculos de vazões e do diâmetro do orifício.

ALETAS INCLINADAS
À 45° COM
RELAÇÃO AO TUBO
DE PITOT

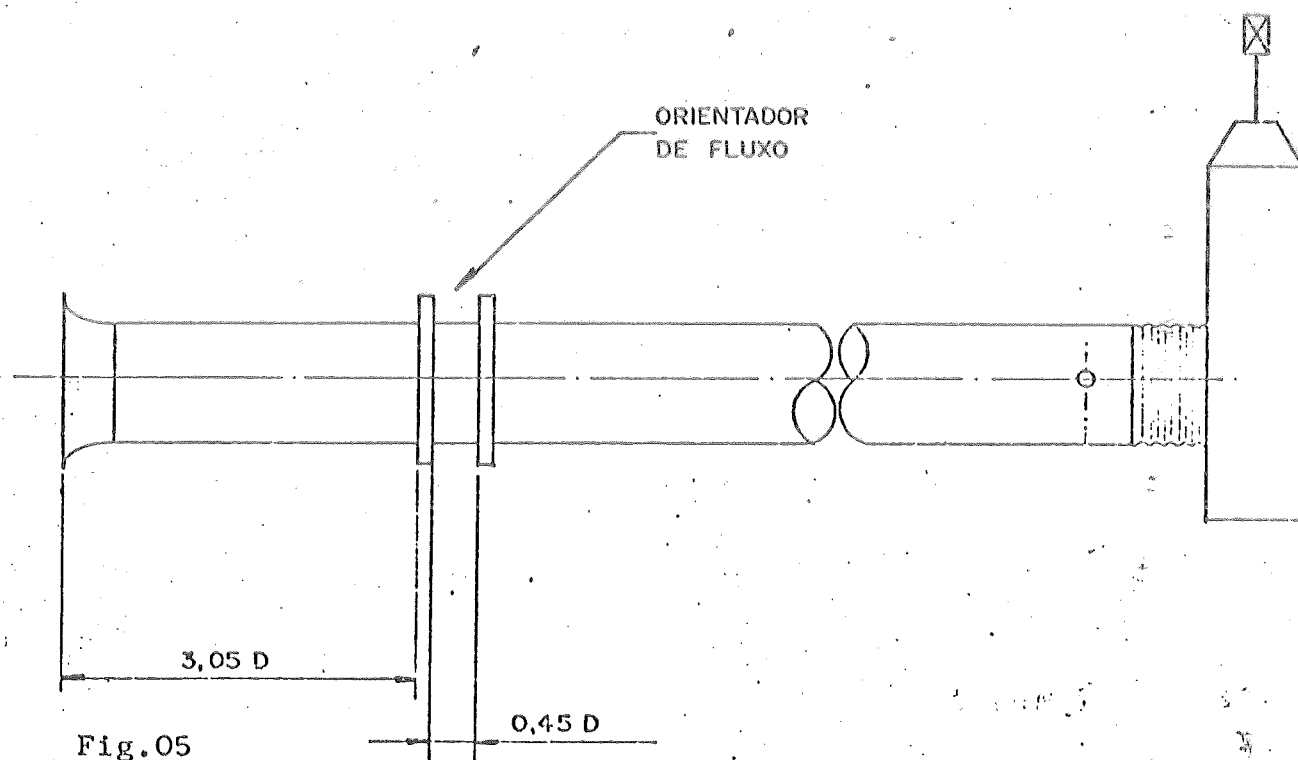
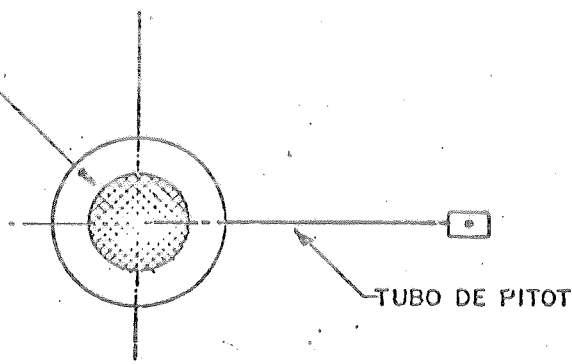


Fig.05

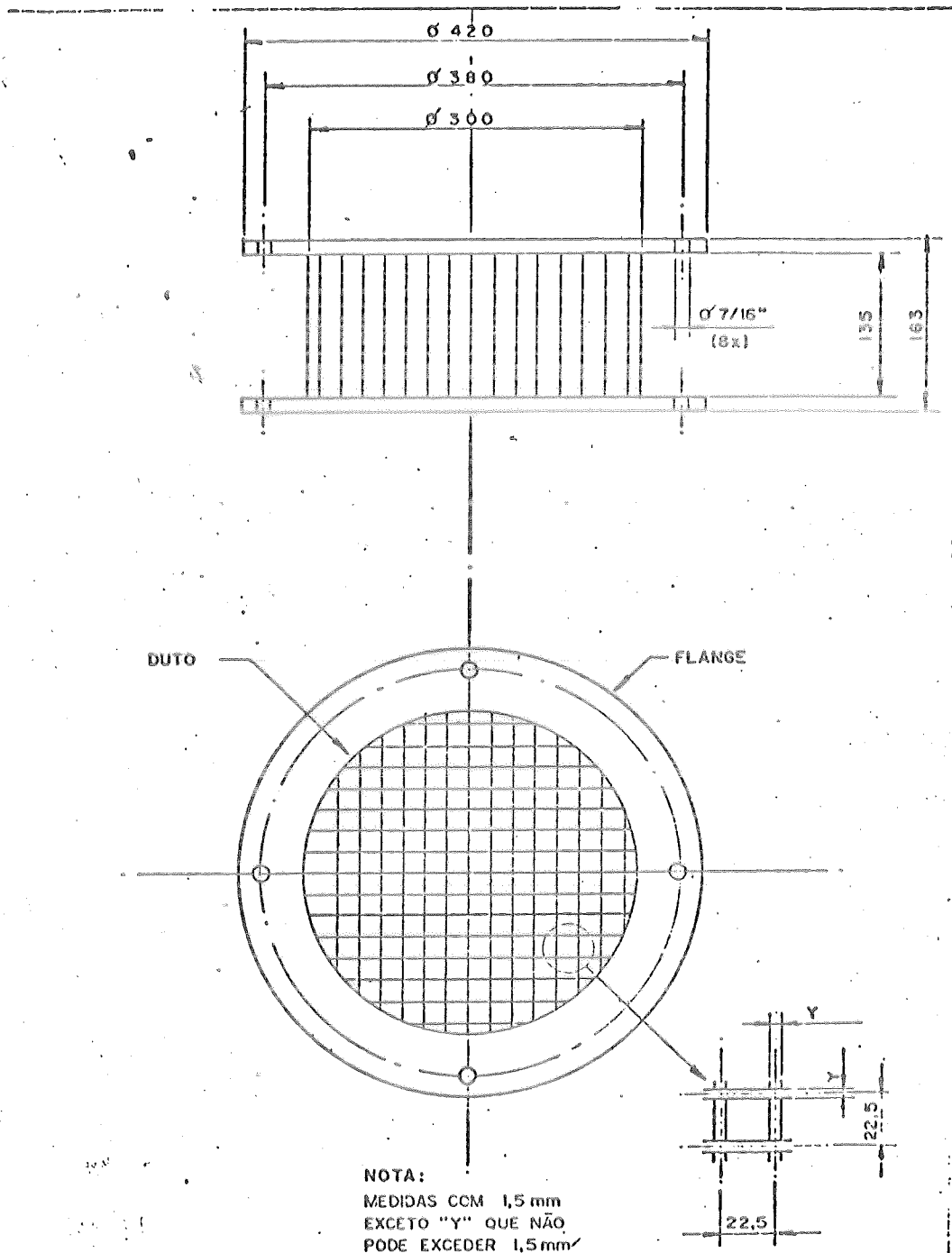


Fig. 06

5.1.4. ESCOLHA DA FLANGE DE ORIFÍCIO (Critérios)

De acordo com a bibliografia de N^o 13, cláusula 39, levou-se em conta o custo inicial, a perda de pressão (que pode ser alta dependendo da vazão), o espaço para a instalação, portanto se chegou a conclusão de que a flange de orifícios com tomadas de pressão ("Taps") a D e D/2 da flange, poderia ser a solução.

Com base nesta hipótese foram feitos cálculos, existindo ainda a necessidade de verificação se o tipo selecionado é o adequado. Ainda de acordo com bibliografia de N^o 13, a flange tipo " Corner Taps " tem a vantagem de poder ser utilizada com N^o de Reynolds acima de 10.000, enquanto que os de tipo " D " e " D/2 " só podem ser utilizados acima de 20.000.

As vazões correspondentes a esses números de Reynolds, são respectivamente:

Q = "1.000 cfh com " Corner Taps "

Q = "2.000 cfh com " D " e " D/2 "

que estão muito abaixo dos valores esperados, com perdas de cargas da ordem de 10⁻⁴ pol. de água, (o que impossibilita a medida da pressão e, portanto, a determinação da vazão).

Sem dúvida introduz erros e, portanto, foge do objetivo deste projeto.

O fluido a medir é o ar, o que não obriga a selecionar um tipo específico. O limite superior de vazão não é fator limitante bem como também não existe fluxo pulsante.

Para " Corner Taps " ou D/2 o diâmetro mínimo à jusante é e 1" o que é muito menor que o admitido neste projeto (11,811").

O caso de flange de " taps " múltiplos foi descartado devido a dificuldade construtiva e a vantagem de " Taps " múltiplos é a de evitar desvios nos resultados devido a localização errônea do " Tap " simples, o que pode ser evitado da mesma forma, com um cuidado maior na medida da distância do " Tap " à flange.

A flange do " Tap " simples permite limpeza de forma rápida e fácil.

O caso de " Corner Taps " é mais indicado para dutos onde a rugosidade é grande, este não é o caso, uma vez que o duto foi construído em fibra de vidro, onde as paredes internas são completamente lisas.

Diâmetro máximo, não existe limitação.

Fluxo à diferença de pressão acima da crítica, também não existe.

Em resumo, todas as características de fluxo, fluido, pressão, dimensões, assim com outras características não quantificáveis com a flexibilidade da instalação, limpeza do fluxo e outros, levaram à seleção de " Corner Taps " ou " D " e " D/2 taps ", a opção ficou com esta última pela vantagem adicional de trabalhar melhor com, fluxos mais sujos.

Os desenhos 7 e 8 mostram a montagem da flange com a placa de orifício.

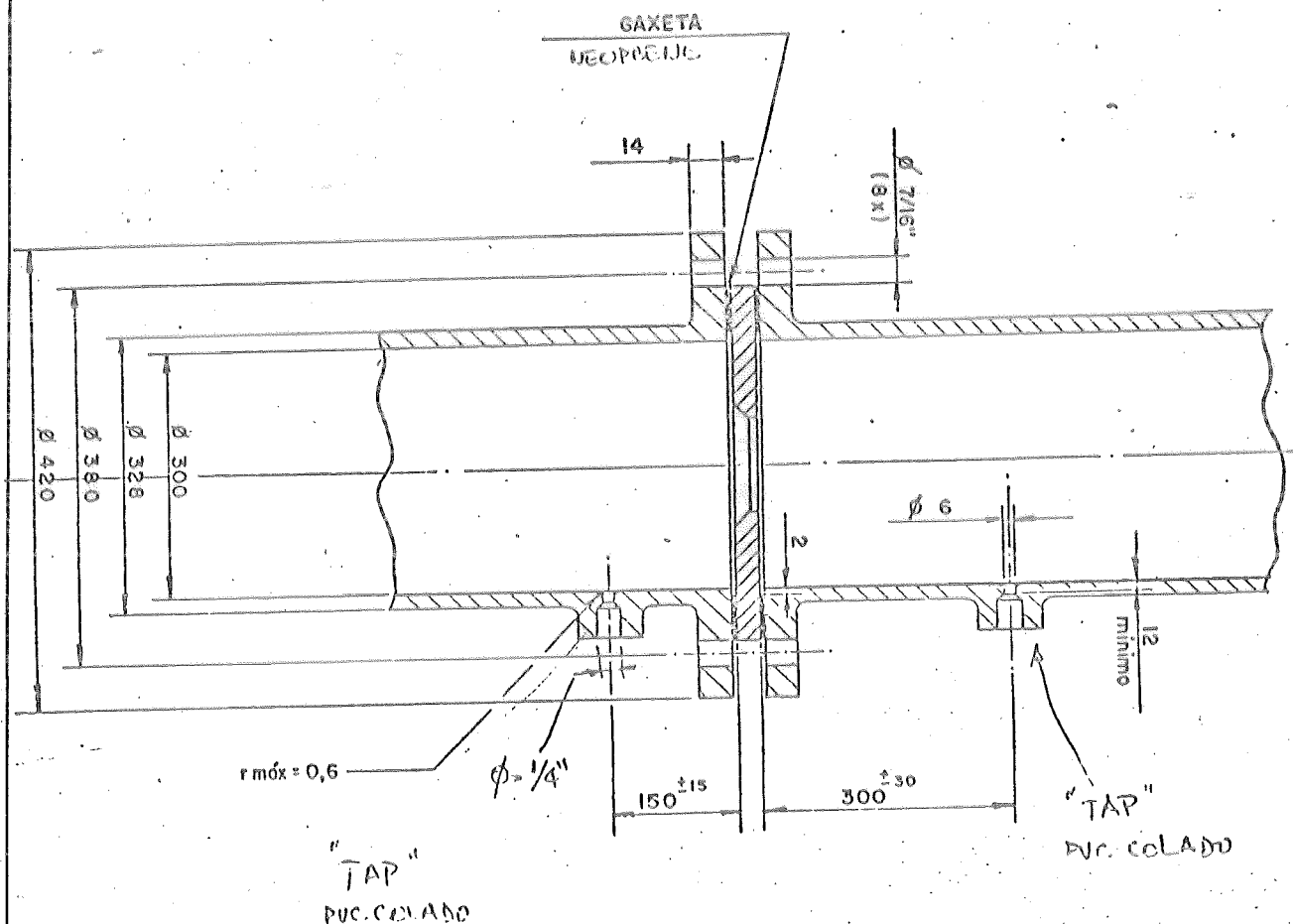


Fig.07

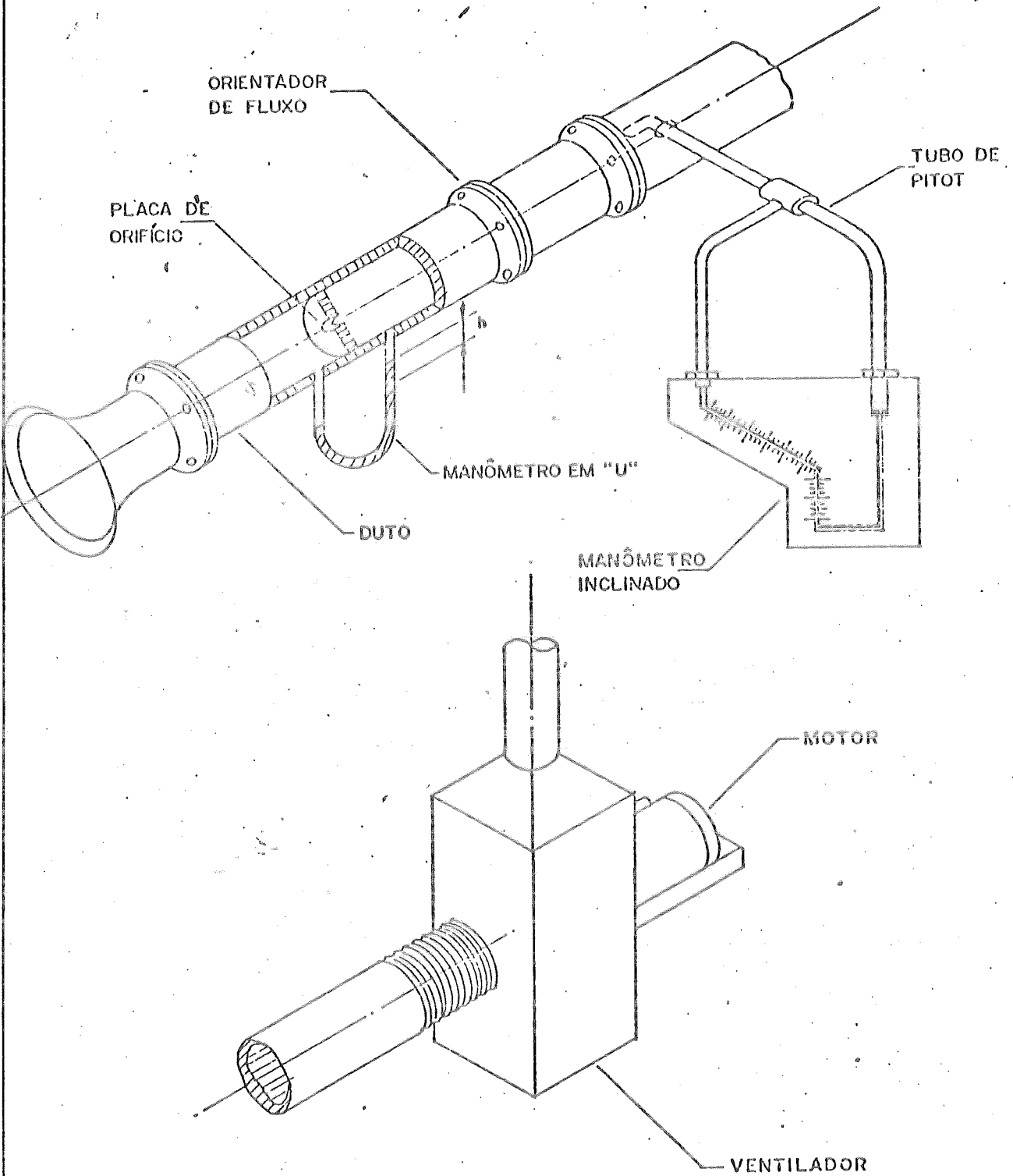


Fig.08

5.1.5. CUIDADO COM O TUBO À JUSANTE

Variação máxima do diâmetro interno do duto, até 600 mm da flange de orifício (à jusante) é permitida uma variação de $\pm 1,8$ mm, acima de 600 mm é permitida uma variação de $0,31 L/30 - 16$, onde L é a distância, em mm, do plano da variação do " Tap " à jusante da flange, (no caso de L = 600 mm, caso do limite inferior de aplicação da fórmula acima, resulta uma variação máxima de $\pm 1,86$ mm).

Termômetros com menos de 9 mm de diâmetro (medida maior que a usual) podem ser colocados no fluxo, desde que a uma distância de pelo menos 1,5 m de " Tap " à jusante.

Se diâmetro do termômetro foi maior que 9 mm, a distância entre ele e o " Tap " à jusante seria de 6 m, não compatível com este projeto.

Reentrâncias não devem existir a menos de 600 mm e acima desta distância, poderão ocorrer se obedecerem a fórmula:

$$\frac{0,77 L}{300} - 1,24 \quad (XX)$$

onde L é a distância da projeção do " Tap " à jusante, em mm.

5.1.6. CUIDADOS COM O TUBO À MONTANTE.

O tubo deverá ter o mesmo diâmetro do duto à jusante, dentro de $\pm 2\%$.

Os demais cuidados citados na bibliografia de N^o 13 são menos restritos que os presentes na bibliografia de N^o 21, sendo estes, portanto, preferidos.

5.1.7. TRANSFORMAÇÕES A UMA CONDIÇÃO DE REFERÊNCIA.

$$Q_r = Q \left(\frac{P - P_v}{K T} \right) \left(\frac{P_r - P_{rv}}{K_r T_r} \right) \quad (XXI)$$

onde:

r = índice correspondente a condição de referência



Q = vazão em ft/h

P = pressão à jusante, em psi

Pv = pressão de vapor, em psi

K = desvio da lei dos gases perfeitos adotado como igual a 1, de acordo com a cláusula 27 da bibliografia N^o 13.

T = temperatura em F.

5.1.8. CONEXÃO DAS VAZÕES PARA DIFERENTES CONDIÇÕES.

Faz-se através de:

$$\left(\frac{K T}{P - P_v} \right) \left(\frac{P_c - P_{vc}}{K_c T_c} \right) \frac{E_c}{E} \sqrt{\frac{P}{P_c}} \quad (XXII)$$

onde C denota a condição para a qual mudaram as variáveis.

O fator obtido em (XXII) é multiplicativo.

5.1.9. USO DE ORIFÍCIO PARA OUTROS GASES.

Para outros gases que não o ar, há que se calcular a densidade da mistura como sendo:

$$P = 2,700 S_m \frac{P}{km T} \quad (XXIII)$$

onde

$$S_m = 0,0003453 \left(\frac{M_1 V_1}{1} + \frac{M_2 V_2}{2} + \dots \right) \quad (XXIV)$$

onde

M = peso molecular, de cada componente;

V = porcentagem em volume, de cada componente;

Km = coeficiente de desvio da lei dos gases perfeitos;

P = pressão no "Taps" à montante, em psi;

T = temperatura absoluta no " Tap " à montante, em R
 O cálculo de K_m pode ser feito pela média ponderada dos K para os diversos componentes da mistura gasosa, pela fórmula:

$$K = P_r P_{Tr} / P_{PrT} \quad (XXV)$$

onde:

v = índice para condições de referência.

P = pressão no " Tap " à montante, em psi

T_r = 491,69 R

P_r = 14,696 psi

A viscosidade do gás deve ser calculada (se o mesmo for uma mistura de gases) ou substituindo por seu valor correto, caso seja um componente único.

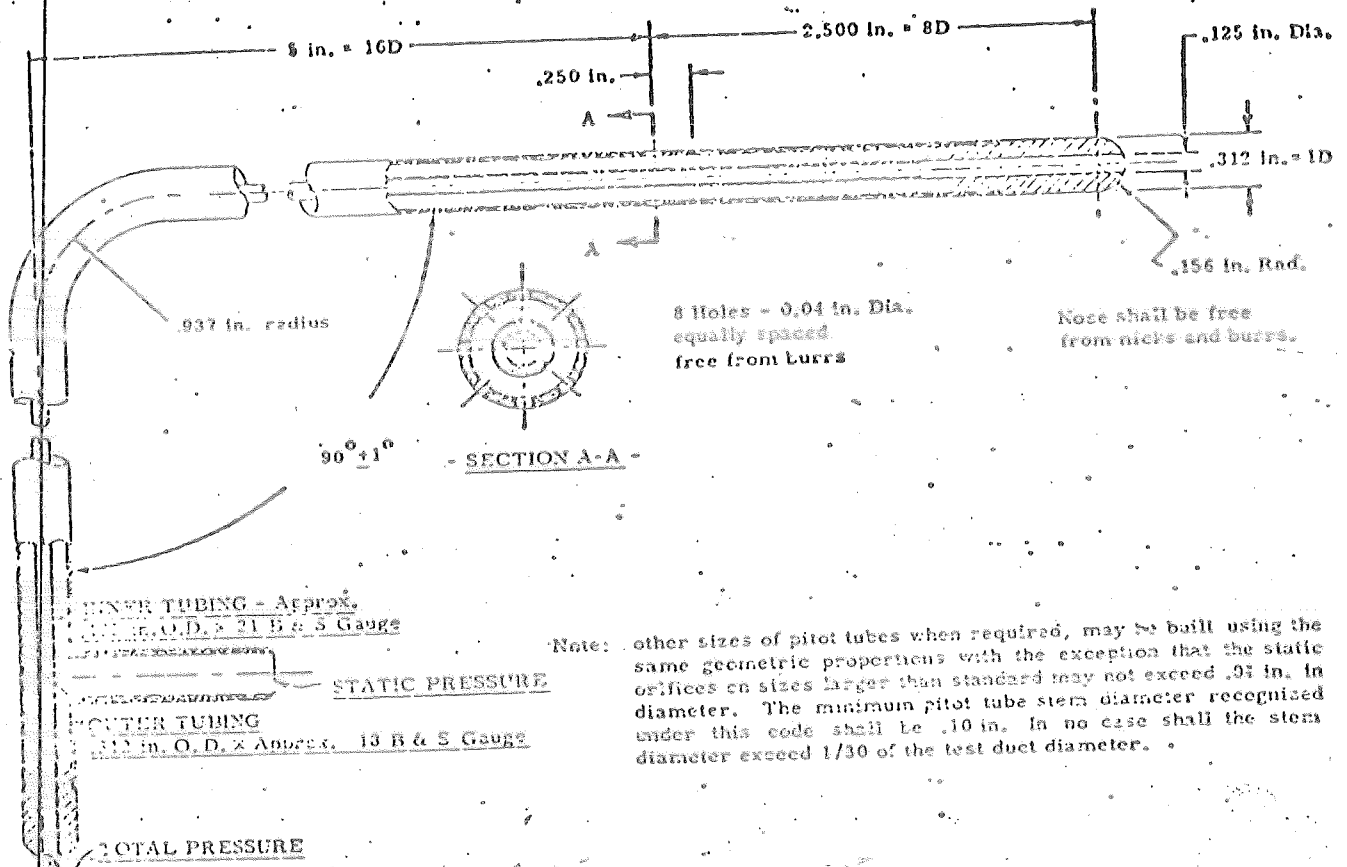
No caso de misturas gasosas, cálculo por ponderação dos valores individuais.

5.1.10. VERIFICAÇÃO DO USO DO PITOT

A vazão máxima acarretará uma velocidade de aproximadamente 75 pés/s, compatível com o uso do Pitot, sujeito a um erro menor que 0,5% (conforme bibliografia de N^o 16)

O tubo de Pitot deve ter seu coeficiente, através da NBS ou ser calibrado através de outro Pitot com coeficiente conhecido. Um Pitot construído segundo padrões conhecidos da bibliografia de N^o 23 (sub section 1.1.1. - fig. 18) terá um coeficiente da ordem de $0,99 \pm 0,01$.

O desenho N^o 9 a seguir, é o desenho construído do tubo de Pitot padrão.



Desenho Construtivo do Tubo de Pitot

Fig.09

5.1.11. BOCAL DE CAPTAÇÃO DE AR

O desenho de N^o 10, mostra a entrada do duto, cujos objetivos são diminuir, o coeficiente de entrada e regularizar o fluxo, em adição ao orientador de linhas de fluxo.

A peça do desenho de N^o 10 foi moldada em fibra de vidro.

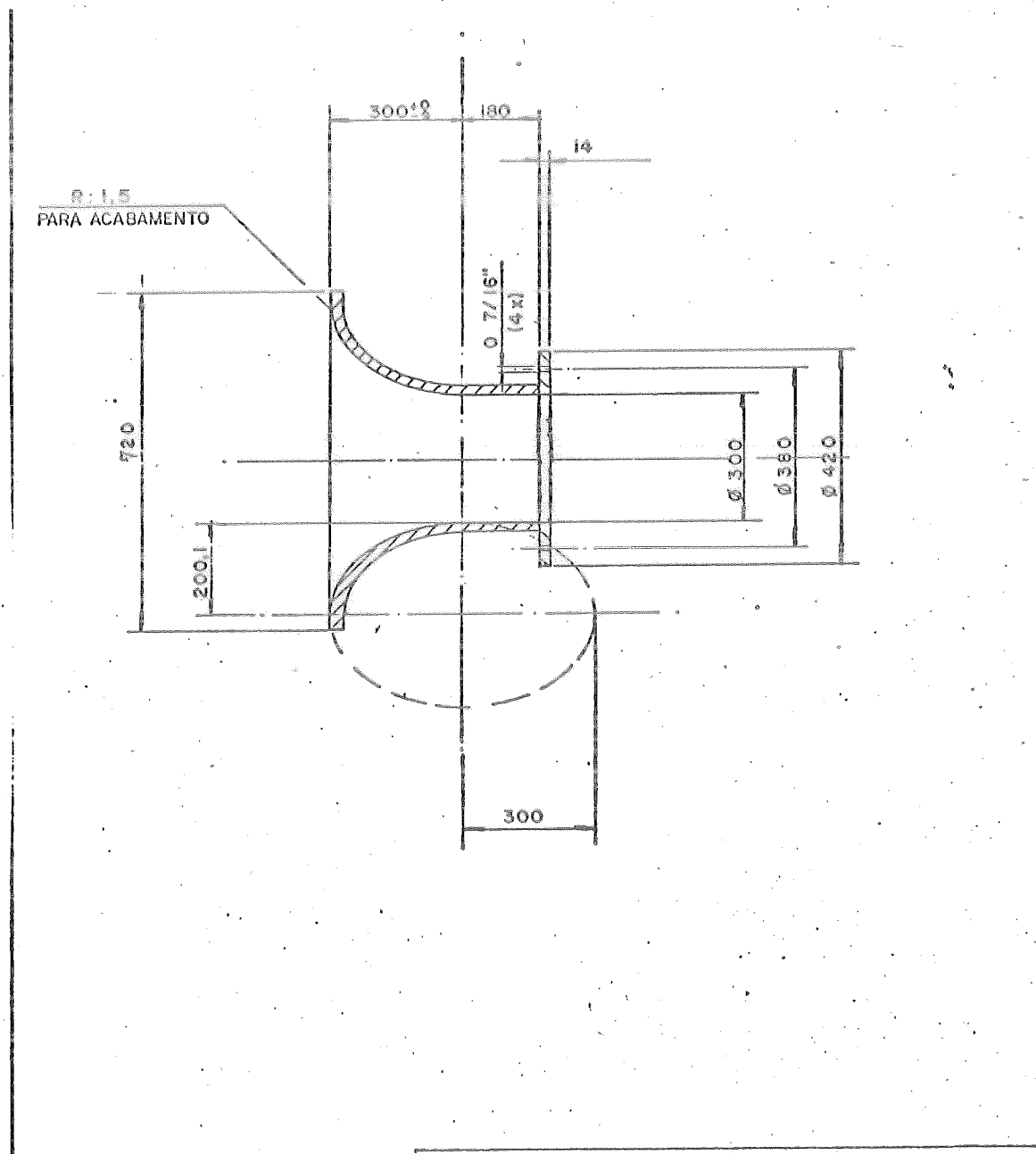


Fig.10

5.1.12. SISTEMA DE CONTROLE DE VAZÃO

Foi construído como mostra o desenho N^o 11.

Este dispositivo denominado de "Torpedo" é uma válvula de controle de fluxo. Devido ao impulso ser muito grande, que causava perturbações na área de trabalho, foi desenvolvido uma válvula na forma de um torpedo, onde este encontra-se enclausurado num duto de diâmetro $2,5 D$, onde $D = 300 \text{ mm}$, havendo uma vareta de aço inox com rosca sem fim, passante ao torpedo. Ao final desta vareta há um volante, que girando-o permite locomover todo o dispositivo "Torpedo" dentro do duto, com uma volta do volante, faz-se deslocar $1/16''$ no torpedo ou 16 voltas desloca-se $1''$.

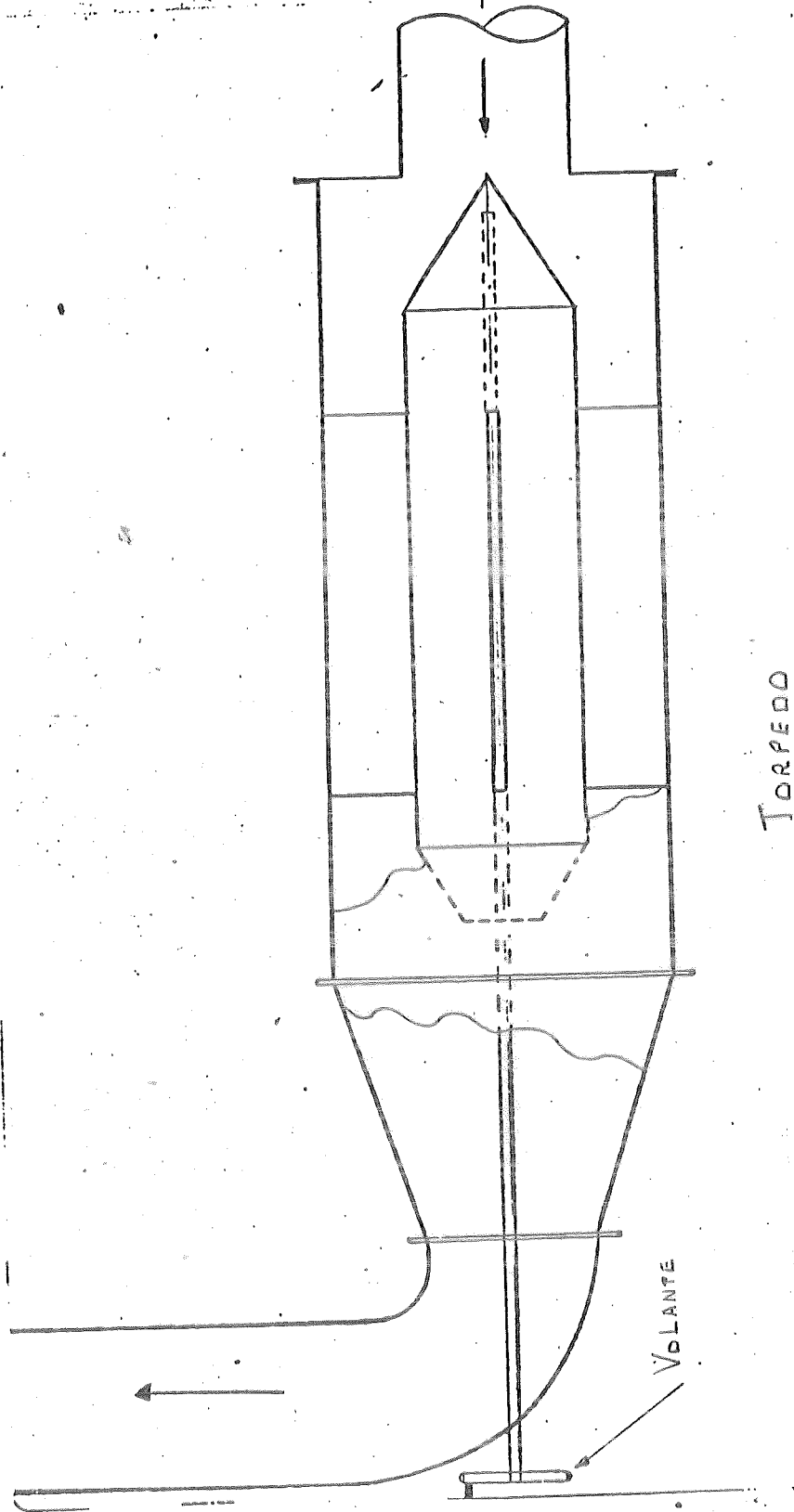


Fig. 11

Este deslocamento da válvula permite dar vazões de 2m/s a 50 m/s.

5.1.13 CÁLCULO DO VENTILADOR

$$Q = 240.000 \text{ ft}^3/\text{h} = 4000 \text{ cfm}$$

$$TPE = 0,06 \text{ VP (admitido)}$$

$$VP = \left(\frac{4.380}{4.005} \right)^2 \quad TPE = 0,06 \times \left(\frac{4.380}{4.005} \right)^2$$

$$TPE = 0,07'' \text{ H}_2\text{O}$$

$$TPL = TP_x = f \frac{L}{D} + \Delta P_{FLG} + \Delta P_{VÁLV.}$$

$$TP_x = 0,07 + 0,32 + 10 = 13,4'' \text{ H}_2\text{O}$$

$$TP = 13,44 + 10 = 23,4'' \text{ H}_2\text{O}$$

A válvula foi admitida como tendo 10'' H₂O de perda.

Suponhamos que essa perda chegue a dobrar, então FTP = 40'' H₂O, ou seja necessitará de um ventilador que forneça 40'' à 240.000 ft³/h,

então:

$$FSP = FTP - VP_{out}$$

$$FSP = 39'' \text{ H}_2\text{O A } 4.000 \text{ cfm}$$

$$BHP = \frac{Q + FSP}{6.356 \cdot \eta}$$

$$BHP = 33 \text{ HP}$$



O consumo esperado de potência será de:

$$\text{HP} = \frac{4.000 \times 20}{6.356 \times \eta} = 16,7 \text{ HP}$$

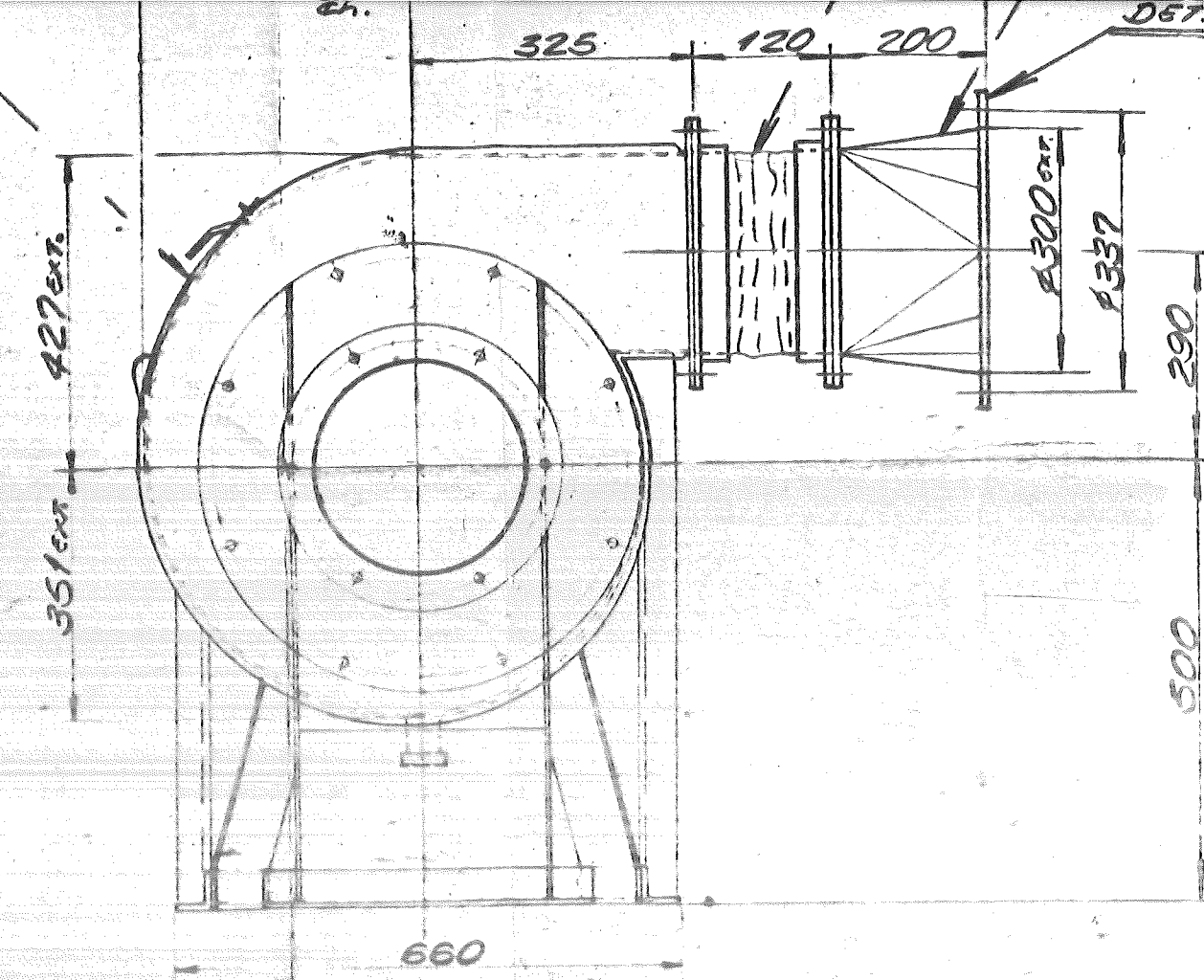
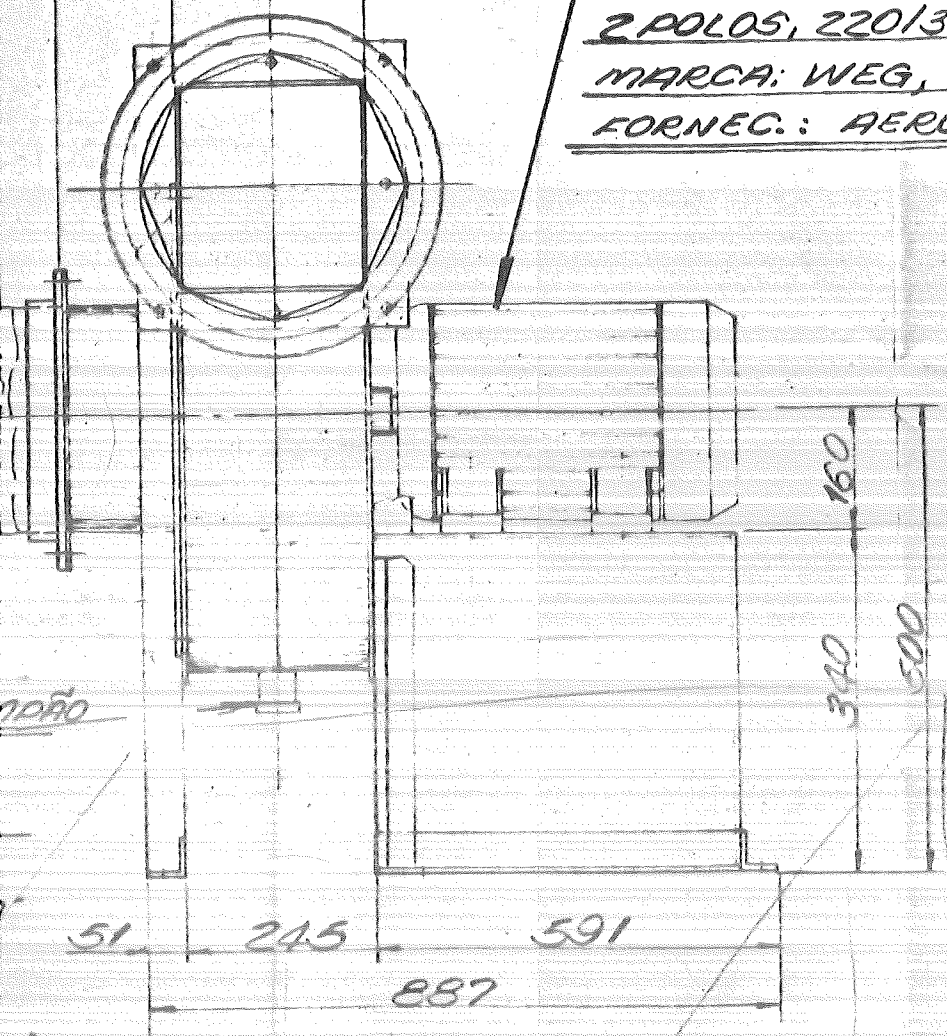
Uma vez que a perda de carga exigirá do ventilador, normalmente 20" H₂O. O desenho A mostra o ventilador usado no sistema.



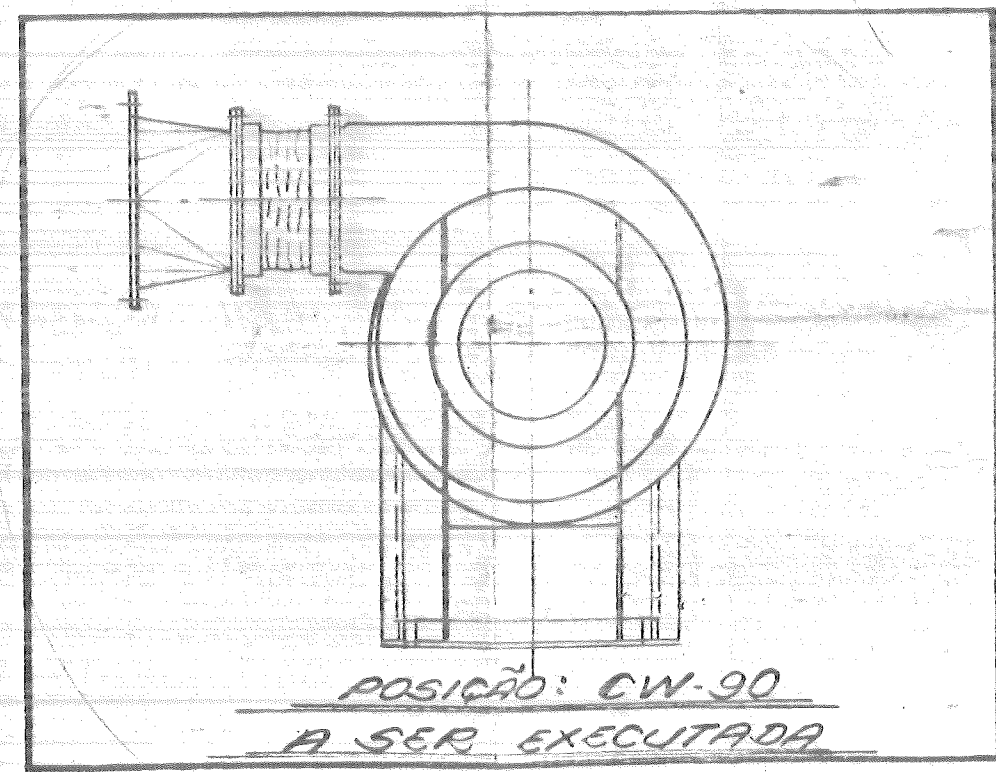
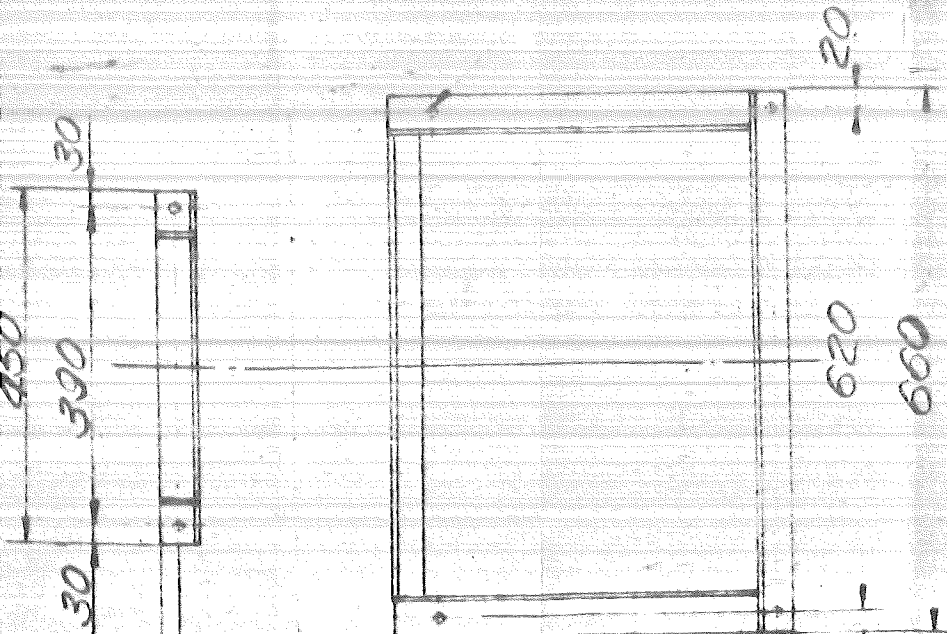
20 100 245 ext

MOTOR ELÉTRICO 25 HP
2 POLOS, 220/380 V, 60 Hz, IP-54
MARCA: WEG, CARCAÇA 160 L
FORNEC.: AEROVENTO

PORTA DE INSPEÇÃO
VÃO LIVRE 170 x 200
CI FECHO RÁPIDO



6 FUROS $\phi 11$



POSICÃO: CW-90
A SER EXECUTADA

8 FUROS $\phi 9,5$

$\phi 1\frac{1}{4} \times 3\frac{1}{16}$

<u>DADOS</u>	
VARIAÇÃO	
PRESSIONE ESTÁTICA	
CONSUMO	
TEMPERATURA	
ROTAÇÃO	
ALTITUDE	

QUANT. 01 CONJUNTO

POSICÃO: CW-90



5.1.14. COMPRIMENTO DO DUTO

Para que o sistema de calibração tenha versatilidade, ou seja, possa ser utilizado na calibração de instrumentos na análise de coifas, na determinação de vazões de ventiladores, etc, há necessidade de obediência a algumas normas ao mesmo tempo (ASRAE, ASME, etc). Considerando ainda outros possíveis usos, como traçar curvas para impactadores, tem-se ainda que atender as disposições de amostragem em chaminé.

Devido as deformações causados pelo peso próprio, foi feito um sistema de suportes para o tubo, utilizando-se perfis metálicos.

5.1.15. COIFAS

Estudo da distribuição de velocidades em uma coifa de proporções 3:4. O desenho de N^o 12 mostra uma coifa com as proporções acima, com a respectiva distribuição de velocidades, conforme bibliografia de N^o 24

Coifas com dimensões nas mesmas proporções terão perfis de velocidades semelhantes. A finalidade da construção desta coifa é a de permitir estudos de distribuição de velocidades em coifas semelhantes. O desenho de N^o 12 é uma figura dimensional e construtivo. Ela mostra o ponto de entrada do Pitot padrão. Para uso do tubo de Pitot deve-se corrigir os valores obtidos através de um fator de correção para a área do Pitot, constante da Norma BS 1042.

A vazão do duto está da ordem de 2.500 cfm, para se obter uma velocidade da ordem de 1.500 fpm à entrada,

Necessita-se de uma coifa de 1,67 ft², que na proporção 3:4 tem as seguintes dimensões:

1,12 ft x 1,50 ft

Para facilidade de construção adotou-se 300 mm x 400 mm, obtendo-se a velocidade de proximadamente 1900 fpm.

5.1.16 ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

Na construção do sistema de velometria (vide documentação fotografica), foram gastos 140 Kg de Resina de Poliéster armada com fibra de vidro, 12 graxetas de borracha, 120 parafusos de 3/8" em material não oxidável.

5.1.17 DESENVOLVIMENTO DE UM PAINEL DE PRESSÕES E VELOCIDADES

Foi desenvolvido e construído um painel, cuja finalidade é monitorar todo o comportamento do sistema de velometria, em termos de DP, Pressões estáticas, velocidades e vazões.

O painel conforme desenho de N^o 13, constitui-se de uma placa de acrílico, contendo 5 manômetros do tipo Magnelic, 9 válvulas e 2 manômetros inclinados, um para medir DP do tubo de Pitot padrão e outro para medir velocidades.

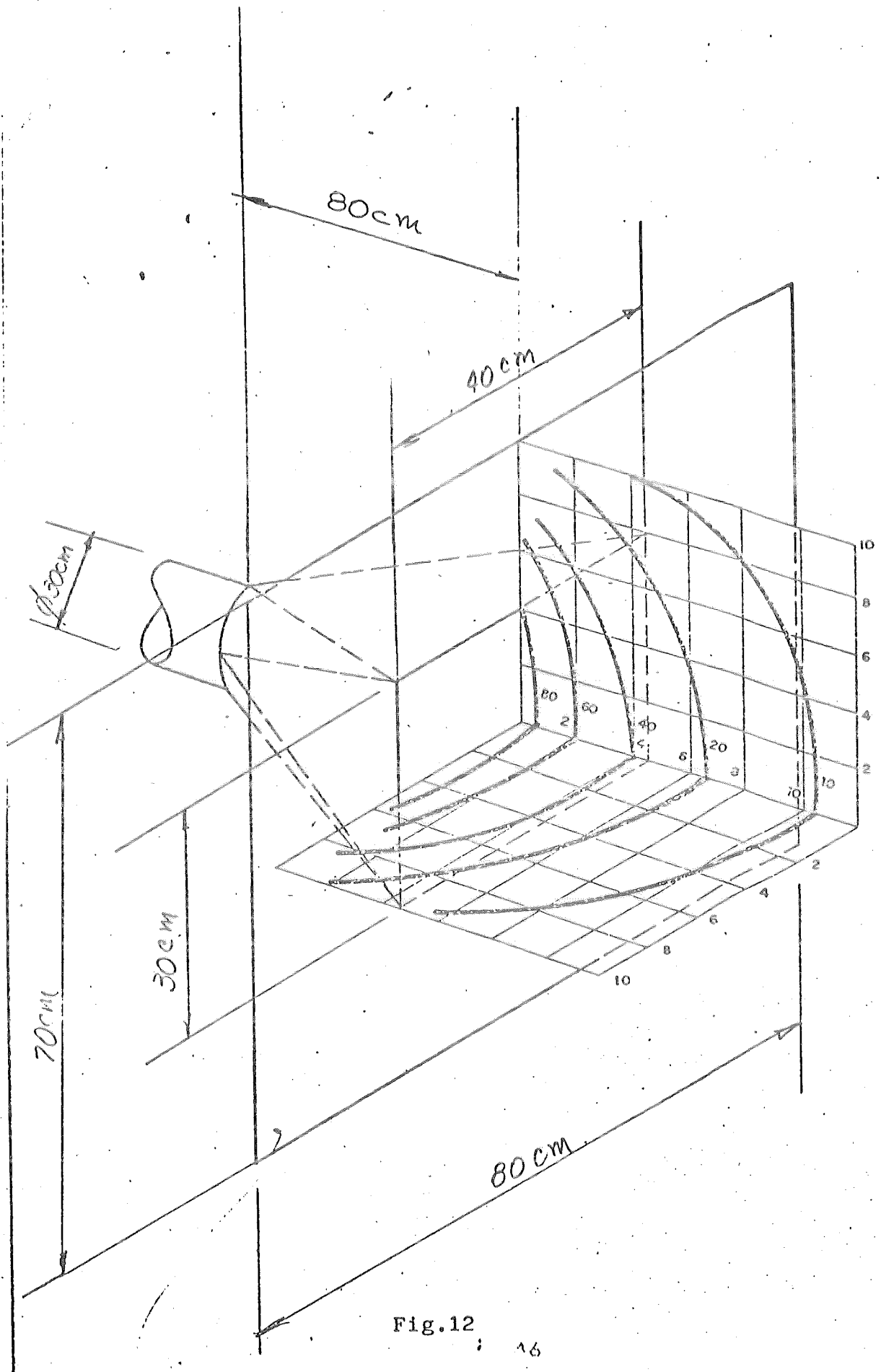


Fig.12 ; 16

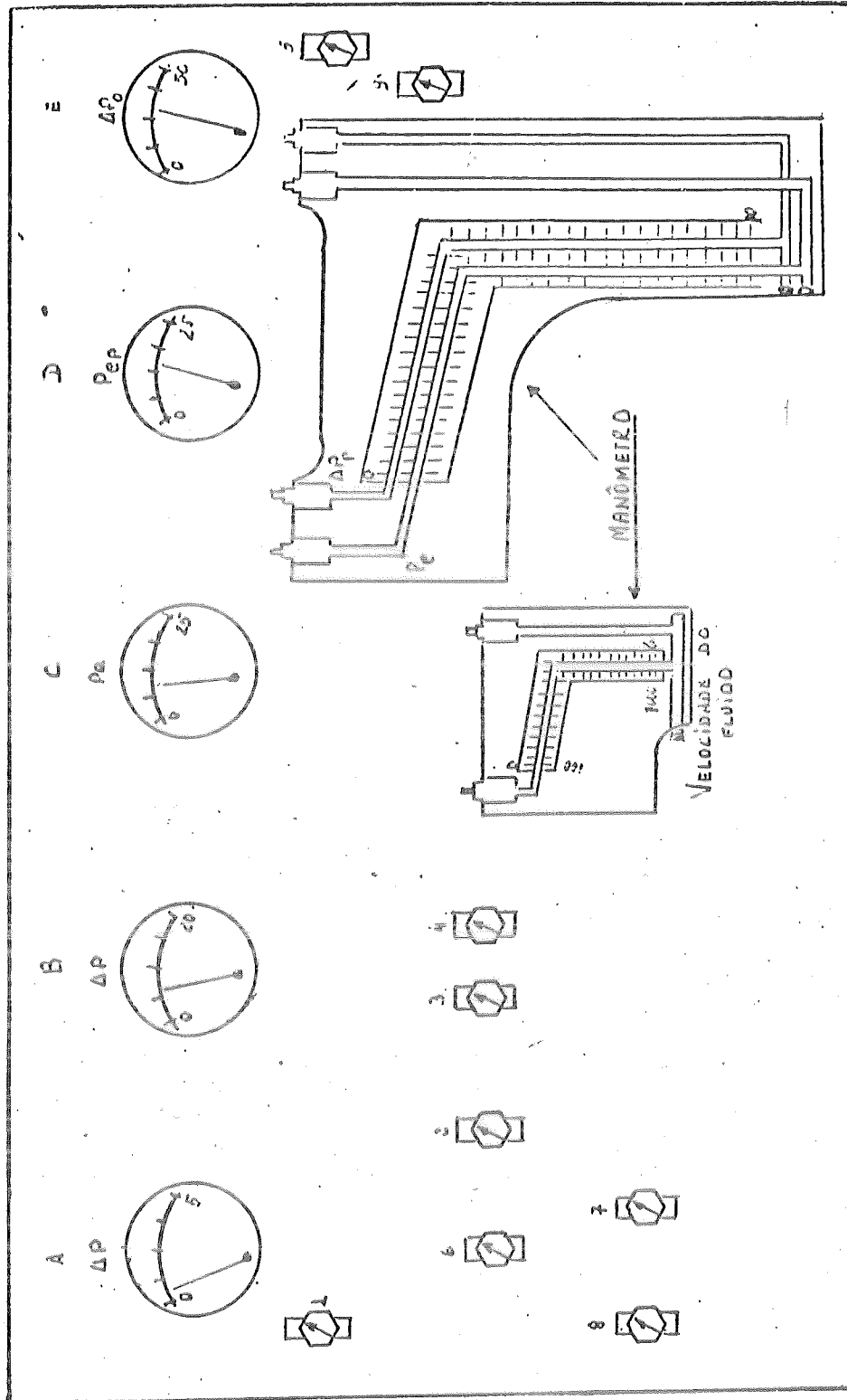


Fig.13

A e E = MAGNÉTICA

1 a 9 = VÁLVULAS

PAINEL DE VELOCIDADES DO SISTEMA DE VELOMETRIA

5.1.18 PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE TUBOS DE PITOT

Com o sistema já implantado e de em pleno funcionamento desde de janeiro/88, atendeu-se e executou-se até agora mais de 20 calibrações de tubos de Pitot. O procedimento segue Norma da CETESB Nº 16.030.

Entretanto no que se refere ao segmento dos cálculos, exige-se uma certa correção devido o local onde esta situado o sistema não possuir um acondicionamento de temperatura. Isto necessitou-se corrigir a densidade do ar, levando-se em conta a massa de água. Segue o procedimento visual e rotineiro para as calibrações.

- a) Determina-se com um psicrômetro a temperatura de bulbo seco e úmido.
- b) Com um barômetro registra-se a pressão barométrica.
- c) Pela equação:

$$d_{\text{ar seco}} = 1,325 \frac{P_{\text{bar}} [\text{Hg}]}{T_{\text{seco}} [\text{R}]}$$

- d) Pela carta psicrométrica determina-se a massa de H₂O (M H₂O) em lb vol H₂O/lb ar seco
- e) Manual de Termodinâmica e pela P_{barométrica} determina-se o volume específico da H₂O e invertendo-se, resulta-se a massa de ar seco.
- f) Pela equação:

$$d_{\text{ar úmido}} = \frac{1 + \frac{\text{massa H}_2\text{O}}{2}}{d_{\text{ar seco}} + \text{massa de ar seco}}$$

extraí-se a raiz $\sqrt{\quad}$ ar úmido

e inverter-se, determina-se o fator "Z"

- g) Equação da velocidade, corrigida com a percentagem de massa de água e ar seco:

$$V = Z \sqrt{\Delta P / 760 / 3,28} \text{ [m/s]}$$

onde:

ΔP = pressão diferencial lida no manômetro e determinada pelo tubo de Pitot.

Adotou-se que, as faixas de velocidades são:

VALVULA " TORPEDO " , voltas no volante	V = " (m/s) corrigido
1 (todo fechado)	2 a 4
3	5 a 8
7	9 a 12
10	13 a 16
14	17 a 19
16	20 a 25
32	26 a 33
80	34 a 44
128	45 a 48
224 (todo aberto)	49 a 51

As velocidades constam como faixas, devendo a variação de tensão elétrica existente no local. Foram elaborados por computador, planilhas de ensaio e cálculos, vide ANEXO 1.

5.1.19 BENEFÍCIOS

Os benefícios abaixo listados e atingindo-se a sua meta final, isto é:

- Condições de verificação do espectro seletivo de captura de bocais e outros dispositivos de coleção de particulados em trens ou equipamentos de amostragem da qualidade do ar.
- Condições de desenvolvimento de estudos especiais de amostragem em fontes estacionárias de poluição do ar, face ao conhecimento das curvas de calibração dos aparatos amostragens.

- Possibilidade de desenvolvimento à confecção de equipamentos correlatos, como no caso do tubo de Pitot tipo " COBRA ", elaborado e projetado pela G.T.A.R.

5.2. DESCRIÇÃO DO PROJETO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE AEROSSOIS.

O sistema de geração de aerossóis de teste para calibração aerodinâmica em medidas de distribuição de partículas em fluxos de fluidos compressíveis.

O sistema está mostrado no desenho N^o 14 e na documentação fotografica.

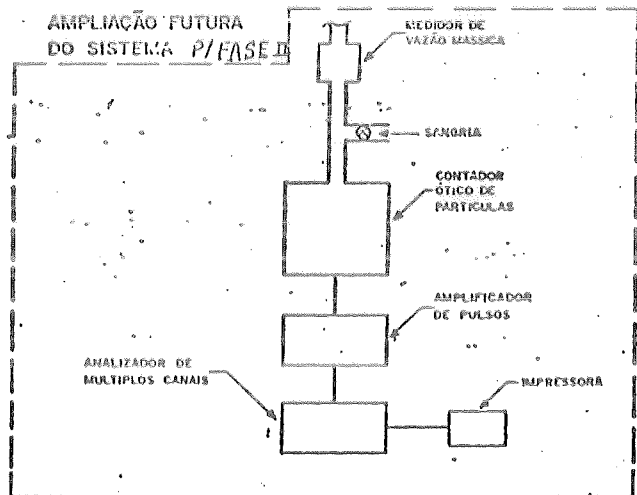
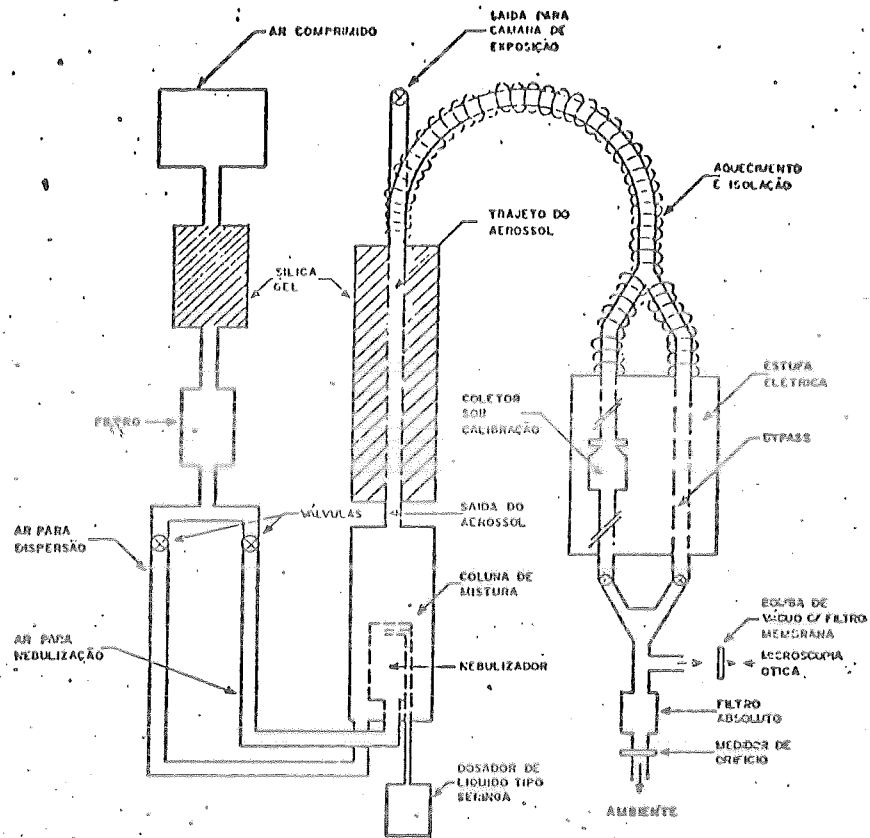


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO SISTEMA GTAR/STA/DENG DE CALIBRAÇÃO AERODINÂMICA PARA DISPOSITIVOS FRAZIONADORES DE TAMANHO DE PARTICULADOS EM FLUXOS CANALIZADOS

Fig. 14

Foi projetado dentro da seguinte concepção preliminar:

O aerosol gerado será conduzido ou para uma câmara de exposição ou permanecerá contido no duto de transporte, devidamente condicionado termicamente até atingir o equipamento a ser calibrado, configurando no primeiro caso calibrações de equipamentos para medição no ambiente e no segundo as calibrações dos equipamentos utilizados em trens de amostragem em chaminé. Os equipamentos adquiridos pelo investimento internacional foram dispostos em um "Deck" montado a partir de perfis vazados que formaram quadros que se constituíram em base de apoio.

Os componentes principais do sistema foram: dutos de aço inox sem costura, de bitola interna de 8mm (24m), (6) válvulas de ajuste fino, 7 manômetros do tipo Magnelic, (50) conexões para fluidos sob pressão, termostato, temporizador, isolamento térmico, estufa de construção especial, pois o mesmo possui 4 furos passantes, câmara de expansão, (2) colunas de difusão, gerador de aerossóis (VOAG), cama de poeira fluidizada, gerador de aerossóis polidisperso (PSL), controladores de temperatura, válvula solenoide, linha de ar, comprimido, orifícios, coluna radioativa com fonte de kriptônio, espectrofotômetro, peagametro, balança, seringas, câmara de densidade, microscópio óptico, com acessório de microfotografia, seringas, filtros especiais, ultrason, reagentes e materiais consumíveis.

Conforme esquema anexado (Desenho N^o 14), verifica-se que o atual sistema instalado já dispõe de tais tramos visando uso de calibrações com contador óptico, baseados nas concentrações de entrada e saída de equipamento sob calibração. Isto poderá ser feito com particulados menos dispersos. O uso de aerossóis polidispersos reduzirá sobremaneira o tempo de calibração que qualquer instrumento entretanto necessitará da intervenção de equipamentos sofisticados tais como:

- Contador óptico de partículas gerador de pulsos, amplificador de pulsos, osciloscópio, analisador de múltiplos canais, medidores de vazão mássica e computador com interface de comunicação como RS 232C e seus periféricos para processamento da informação em tempo real.

Este tipo de ampliação teve que contar com prévia consultoria internacional. O Dr. Joseph Mc Cain esteve em junho de 1987, tal fato foi discutido, aprovado e documentado. Todos os itens teve termos de referência claramente especificados, entretanto esta parte do projeto foi denominada de FASE II, o qual iniciou-se em agosto de 1987.

Após adequação física, iniciou-se as montagens dos perfis metálicos, com prateleiras, etc. Paralelamente projetou-se várias peças de aço inox especial que foram usinadas pela DDT. Peças estas como, conexões, uniões, T's, válvulas, desvios e orifícios.

Teve-se que projetar um painel de suporte para o instrumental do monitoramento de temperatura para aquecimento de uma parte da tubulação, vide documentação fotografica e desenho No 15, o projeto é de um circuito elétrico (desenho B), que contém um controlador de

temperatura de -10°C a 300°C um temporizador ligado a válvula solenóide, onde este permite a entrada do ar frio comprimido, registrador de temperatura para 6 pontos, (2) cronômetros digitais, interruptores e rêsles técnicos.



CETESB

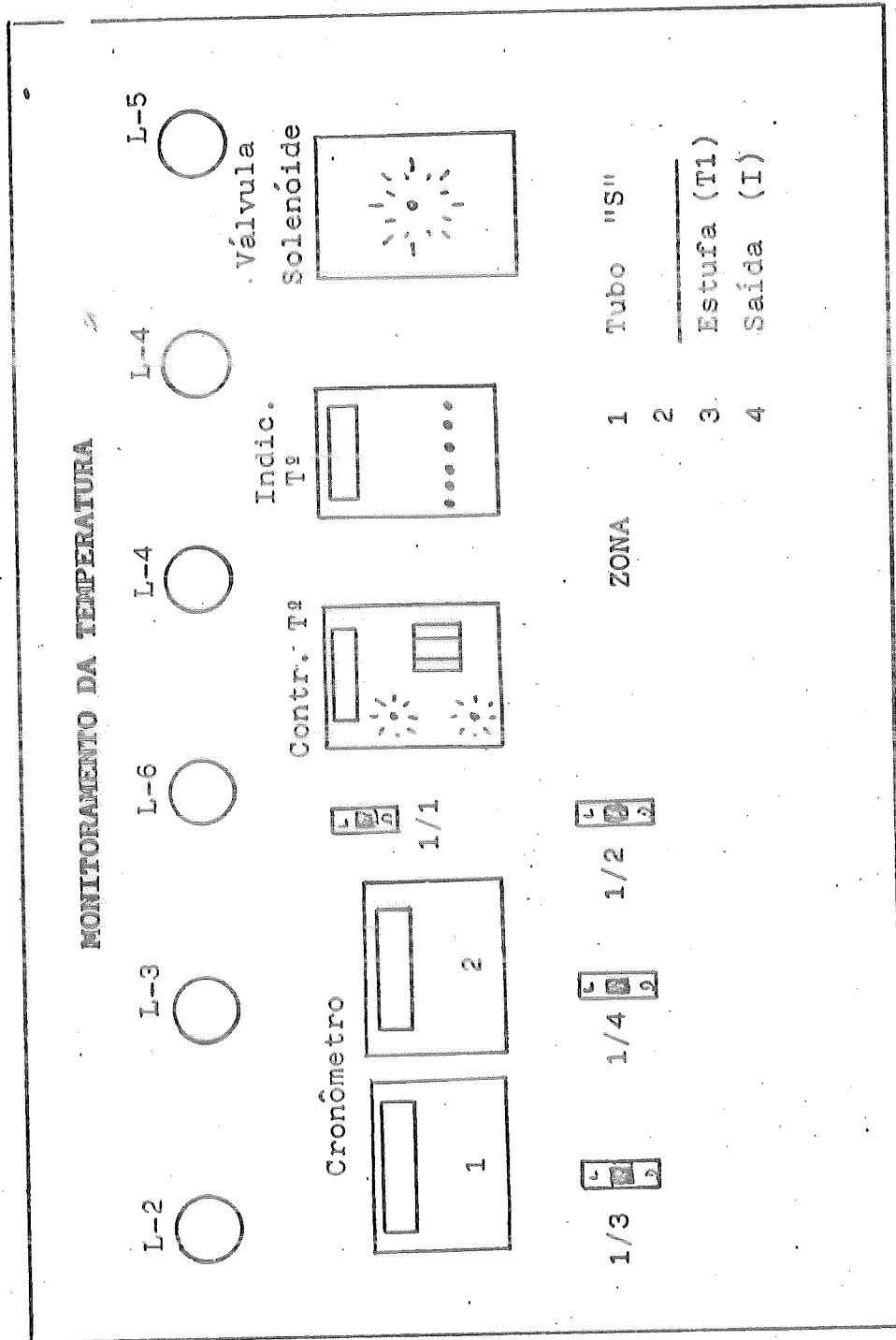


Fig. 15



Para isto, teve-se que projetar e calcular o isolamento térmico adequado, quantidade de calor transmitido por condução e convecção, quantidade de espiras de Fio Cr-Ni a serem colocados na tubulação.

O sistema de aquecimento é vital, pois os dispositivos a serem calibrados deveram estar na mesma condição das fontes estacionárias, pois o comportamento físico das partículas deverão ser outras, bem como, os impactadores inerciais sofreram também dilatações nos pratos de impactação.

O sistema de gerador de aerossóis, obrigou de se possuir uma linha de ar comprimido, sendo que este ar deverá estar isento de resíduos como, óleo, água e particulados. Devido a este problema teve-se que projetar e implantar uma linha de ar comprimido, contendo estações de rebaixamentos de pressões, secador refrigerante para a unidade do ar, filtros de 50 um e 5 um para particulados, e filtros coalescente para possíveis gotículas de óleo.

No Desenho C mostra em vista isométrica a linha em questão.

Os produtos deste sistema, deverão aparecer no final do decorrente ano, pois toda a implantação construção, montagens, recebimento da parte instrumental, (ressaltando-se que é da FASE I); completou-se em março de 1988, salvo a parte dos acessórios de microfotografia (descrita no capítulo 4).



CETESB

5.2.1. BENEFÍCIOS

Como benefícios decorrentes dos objetivos listados entendemos que após a implantação total ocorrerá:

- Condições de treinamento prático do corpo técnico da CETESB nas técnicas de calibração aumentando a confiabilidade dos resultados obtidos pela CETESB nas suas atividades de amostragem em chaminé e na aferição de indicadores de desempenho.
- Condições de calibração de amostradores de material particulado no meio ambiente com consequente ganho na exatidão e interpretação dos resultados obtidos.
- Abertura devido às facilidades de aferição, para desenvolvimento futuro da tecnologia no que diz respeito a amostradores de material particulado.
- Desenvolvimento de projetos de execução de equipamentos e parte de impactador de aparatos de avaliação existentes.

6. OUTRAS ATIVIDADES

Face aos percalços surgidos com a importação e recepção dos equipamentos; adequação física do Prédio (edificações); usinagens de peças, montagens, o laboratório voltou-se para outras tarefas correlatas aos sistemas (atividades estas desde de 1984 a março/88) quais sejam.

6.1. REDUÇÃO DE DADOS PARA AMOSTRAGEM EM CHAMINÉ E USO DE IMPACTADORES EM FLUXO CANALIZADOS-CALCULADORA PROGRAMÁVEL.

6.1.1. OBJETIVO

- Prover com as facilidades requeridas a análise e interpretação dos dados obtidos em amostragem em chaminé com a utilização de dispositivos de impactação inercial visando a distribuição de tamanho de particulados.
- Prover com fundamentos teóricos e exemplos explicativos a programação e redução de dados de impactadores com a finalidade de proporcionar material de treinamento ao corpo técnico da CETESB.

Os objetivos acima é justificado tendo em vista a provável adoção no futuro, de Padrão de Qualidade do ar para material particulado condicionado do tamanho do mesmo e a necessidade de fixar políticas de controle, para as respectivas fontes estacionárias de emissão.



O laboratório decidiu-se a levar a cabo a ordenada adaptação, recuperação e desenvolvimento dos programas em termos de calculadora programável.

Os programas completos para calculadora HP 41 foram desenvolvidas (adaptados) e apresentados na forma de relatório contendo de forma estanque, cada um dos assuntos propostos abaixo (os programas estão no ANEXO 2):

Os títulos desses trabalhos são os citados a seguir:

PA1 - Calibração de Orifícios

PA2 - Distribuição de Partículas Analisados pelo Bahco

PA3 - Conversão do Diâmetro de estoques para o Diâmetro Aerodinâmico Equivalente, incluindo o fator de Cunningham, em termos do cálculo prévio do diâmetro de corte.

PA4 - Propriedades dos Aerossóis

PA5 - Cálculo da Viscosidade de Mistura Gasosas

ACH1- Cálculo da Localização dos Pontos para Amostragem em chaminés

ACH2- Determinação da velocidade e da Vazão Volumétricas de Chaminés

ACH3- Determinação da Porcentagem de Dióxido de Carbono, do Excesso de Ar e Peso Molecular Seco dos Gases de Chaminés

ACH4- Determinação da Umidade em Chaminés

ACH5- Determinação da Emissão de Material Particulado em Chaminés

ACH6- Operação dos Impactadores:

Redução de dados do tubo Pitot

Seleção de vazão e bocal e parâmetros de medida de fluxo

ACH7- Vazão do Impactador calculada pelo DH do orifício

ACH8- Vazão do Impactador calculada pelo diâmetro do bocal e velocidade do gás

ACH9- Tempo de Amostragem para coletar 50 mg

ACH10- Vazão do Impactador, Volume de amostra e massa de particulado

Os formatos de cada um desses programas conterá no mínimo o seguinte:

Diagrama de blocos

Listagem de programa

Fundamentos teóricos necessários ao atendimento do programa juntamente com um exemplo prático

Procedimento para utilização do programa

6.2. AVALIAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS ATRAVÉS DO USO DO SISTEMA CIDRS

6.2.1. OBJETIVO

O sistema CIDRS é uma conjunto de programas utilizado para tratamento e análise de dados de impactador e consiste de 6 programas principais escritos para computador PDP, possível de ser usado no IBM com modificações.

O CIDRS emite um relatório dos dados, pronto para ser anexado ao relatório padrão da CETESB. (ANEXO 3)

Outra versão do CIDRS foi desenvolvida para computador APPLE.

O CIDRS é composto dos seguintes programas:

1. MPROG - que faz o tratamento preliminar dos dados e organiza uma tabela com os dados de entrada e alguns dados obtidos por cálculos internos;
2. SPLINI - faz o ajuste de uma curva sobre os pontos obtidos na amostragem, arquivar os coeficientes relativos às curvas para o uso em outros programas do CIDRS, para a geração de novos valores e funções (derivada da frequência) acumulada com relação ao tamanho de partícula

6.3. ELABORAÇÃO DE UM MANUAL DE PROCEDIMENTOS PARA USO DE IMPACTADORES EM FLUXOS GASOSOS

6.3.1. OBJETIVO

O presente texto base é produto de uma tradução adaptada do texto "Procedures For Cascade Calibration and Operation in Process Streams". O manual encontra-se na Biblioteca da CETESB, o trabalho contém 165 páginas.

6.4. ESTUDO REFERENTES A DETERMINAÇÃO DE DENSIDADE DE AGREGADOS SÓLIDOS DE PARTICULADOS.

6.4.1. OBJETIVO

O estudo está concluído em um relatório final que encontra-se no acervo da G.T.A.R.

O presente projeto visa operacionalizar, de forma preliminar, a técnica descrita por F. Stein e colaboradores no artigo "Determination of the Density of Respirable Solid Aerosol Samples". A sua proposição se deve, em parte, à oportunidade de utilização de um aparato concebido e construído para esta finalidade. A característica que confere o caráter preliminar, à técnica se refere basicamente a ser a câmara de pressão do mencionado aparato, razoavelmente diversa da utilizada no artigo original.

Além da operacionalização da técnica propriamente dita, o presente projeto visa utilizar como material amostral agregados sólidos de particulados específicos, obtidos em processos e operações industriais de fontes altamente poluidoras do ar para obter resultados práticos que já fossem de valia para o acervo da CETESB.

Entretanto sucessivas avarias ocorridas na câmara de pressão do aparato existente resultaram em um projeto de N^o 002/87/GTAR de uma nova câmara de pressão. (ver ANEXO 4). (vide documentação fotografica)

Este trabalho contém os fundamentos teóricos do método, caracterização do método, procedimentos preliminares, procedimentos utilizados, resultados obtidos, análise de resultados, conclusões e recomendações.

6.5. ELABORAÇÃO DE UM PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM EQUIPAMENTO DO TIPO CALIBRADOR PADRÃO PARA AFERIÇÃO DE MEDIDORES DE VOLUME ÚMIDO OU SECO E OUTROS DISPOSITIVOS DO TIPO.

6.5.1. OBJETIVO:

A elaboração deste projeto é de um equipamento padrão denominado " Dispositivo Padrão por escoamento líquido. Este dispositivo segue o princípio da técnica das garrafas de Dalton. (ver ANEXO 5)

O projeto permite calibrar e aferir equipamentos do tipo medidores úmido e seco, das quais são utilizados em calibração dos equipamentos de amostradores em chaminés.

6.6. CONSTRUÇÃO DE COLUNAS DE SECAGEM POR DIFUSÃO

6.6.1. OBJETIVO:

O projeto atendeu ao projeto de Nº 38.09.00 e tem a finalidade de secar os aerossóis gerados pelo processo físico denominado por " DIFUSÃO " (Velocidade real dada por adsorção da dessorção ou troca iônica é determinada por uma ou mais etapas de difusão, definidos em equações da cinética e nos valores dos coeficientes das velocidades para uma única partícula).

As colunas encontra-se já instaladas no sistema de geração de aerossóis. (vide documentação fotografica)

6.7. DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UM TUBO DE PITOT TIPO " COBRA "

6.7.1. OBJETIVO:

Este projeto visou dar suporte ao programa de Cubatão. Foi projetado, construído e calibrado para uso da Regional de Cubatão.

O equipamento tem a finalidade de medir pressões de velocidades em duto e chaminés. Deve-se ressaltar que este dispositivo substitui ao equipamento padrão importado, pois a sua avaliação são altamente satisfatório

Maiores detalhes estão no ANEXO 6 (Planilha de calibração)

6.8. CONSTRUÇÃO DE UM MANÔMETRO INCLINADO

6.8.1. OBJETIVO:

Este projeto é construir um manômetro inclinado que irá substituir os manômetros importados. Este será utilizado ao sistema de velometria. (ver Desenho D)

O presente projeto permitirá ler pressões de velocidades, pressões estática do sistema de velometria.



6.9. CONSTRUÇÃO DO ORIFÍCIO DO VOAG. (Gerador de aerossóis)

6.9.1. OBJETIVO:

O projeto em questão atende ao projeto 38.09.00 e possui a finalidade de medir as vazões do sistema de gerador de aerossóis.

Para maiores detalhes vide ANEXO 7. (Desenvolvimento do orifício)

6.10. PARTICIPAÇÃO DO PROJETO DE AEREAÇÃO

6.10.1. OBJETIVO:

Envolvimento no estudo completo referente do despreendimento de Gás Sulfídrico proveniente da aeração por insuflamento de ar na água. A atividade constitui-se em dar suporte técnico aos ensaios de campo e métodos para determinação da oxidação de sulfetos no rio. O serviço inclui no projeto, construção e definição da vazão de ar a ser insuflada no sistema, bem como às análises de H₂S.

2

O trabalho foi apresentado no 13º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. (ver ANEXO 8)

O laboratório/GTAR foi envolvida nesta atividade, no sentido de dar apoio técnico.

7. COMENTÁRIOS GERAIS:

Esta Gerência possui definições estratégicas de produtos /mercados. O PROCOP está investindo recursos como subsídio às ações de controle no desenvolvimento desta gerência, em contra partida o laboratório LEC/GTAR oferece serviços de calibração aerodinâmica de equipamentos de avaliação de material particulado, serviços de calibração de velocidade e vazão, determinação de densidades para agregados sólidos:

- Testes de caracterização de efluentes gasosos contendo material particulado em suspensão e de equipamentos de controle de material particulado pela determinação de tamanho de partícula e utilização de simulação de perda de carga.

O laboratório continuará, isto é, dar prosseguimento referente à FASE II do projeto N^o 38.09.00 durante o triênio 87/89 a gerar material teórico, resultante de suas atividades inerentes, no que concerne à calibração de equipamentos e à qualidade do ar em geral, desde que as áreas de controle e de avaliação tanto da CETESB, bem como empresas que atuam efetivamente na área ambiental, ou empresas que prestam serviços continuem necessitando de tais subsídios para o incremento de sua performance.

Todos os produtos citados acima, tratam-se de produtos potenciais, disponíveis após a efetiva implantação da área.

Como análise da área e do projeto durante a FASE I no período de 84/86, podemos dizer que como ponto fraco é a falta de recursos humanos existente, por outro lado como ponto forte temos a motivação dos recursos humanos disponíveis.

Do exposto, conclui-se ser imprescindível a busca de novos métodos que permitam desenvolver e construir equipamentos totalmente nacionais sem similaridade, que será útil ao controle de poluição do ar e ao desenvolvimento tecnológico desta Companhia.

Espera-se como produto do presente projeto o Laboratório de Engenharia de Controle montado e pronto para consolidar o desenvolvimento de equipamentos correlatos.

Para o próximo relatório, referente à FASE II, (Após a vinda dos equipamentos importados), esperamos ilustrar com relatórios, conclusões e estudos de calibração de impactadores e tubos de Pitot "S" e "Cobra", utilizando-se gerações de particulados do tipo monodispersos e polidispersos e o sistema de velometria respectivamente.

A N E X O S

ANEXO 01

CALIBRACAO DE TUBOS DE PITOT

	!!		!!		!!		!!		!!
	!!	!! PITOT DE CALIBRACAO S. COBRA! PITOT PADRAO!				!!	!!	!!	!!
	!!	!! TRAMO A !!		!! TRAMO B !!		!!	!!	!!	!!
BOO. !VOLTAS!!	<>P	!P. EST.!!	<>P	!P. EST.!!	<>P	!P. EST.!!	ORIF.!!	!!	VELOCIDADE LIDA FT/MIN
POL. !	!!	!!	!!	!!	!!	!!	!!	!!	!!
	!!		!!		!!		!!		!!
	!!		!!		!!		!!		!!
	!!		!!		!!		!!		!!
	!!		!!		!!		!!		!!
	!!		!!		!!		!!		!!
	!!		!!		!!		!!		!!
	!!		!!		!!		!!		!!
	!!		!!		!!		!!		!!
	!!		!!		!!		!!		!!
	!!		!!		!!		!!		!!
	!!		!!		!!		!!		!!
	!!		!!		!!		!!		!!
	!!		!!		!!		!!		!!
	!!		!!		!!		!!		!!
	!!		!!		!!		!!		!!

<>P = POL. H2O !
 <> ORIF. = POL. H2O !
 P. EST. = POL. H2O !

DIA: / / P. BAR. = MM HG POL. HG

TEMP. SECO = C= F

TEMP. UMIDO = C= F

MATRICULA DO EQUIPAMENTO = FIRMA:

RESPONSAVEL:

APROVADO:

CONDICOES DO COEFICIENTE DO PITOT POR TRAMO CONFORME A VELOCIDADE:

PARA VELOCIDADE DE 3 M/S A 5 M/S

CP \geq 0.7990
CP \leq 0.9010

11/10/01

PARA VELOCIDADE DE 6 M/S A 15 M/S

CP \geq 0.8245
CP \leq 0.8755

PARA VELOCIDADE DE 16 M/S A 50 M/S

CP \geq 0.7820
CP \leq 0.9180

IDENTIFICACAO DO PITOT:.....DIA: .../.../...
FIRMA:.....

USANDO O BOQUILHA= 1/2" PARA 3 M/S <V< 5 M/S

TRAMO A ---> CP =.....
TRAMO B ---> CP =.....

OBSERVACAO: RECOMENDA-SE

USANDO O BOQUILHA= 3/8" PARA 6 M/S <V< 13 M/S

TRAMO A ---> CP =.....
TRAMO B ---> CP =.....

OBSERVACAO: RECOMENDA-SE.....

USANDO O BOQUILHA= 1/4" PARA 14 M/S <V< 25 M/S

TRAMO A ---> CP =.....
TRAMO B ---> CP =.....

OBSERVACAO: RECOMENDA-SE.....

USANDO O BOQUILHA= 1/8" PARA 26 M/S <V< 50 M/S

TRAMO A ---> CP =.....
TRAMO B ---> CP =.....

OBSERVACAO: RECOMENDA-SE.....

ANEXO 02

PA 1 - CALIBRAÇÃO DE ORIFÍCIOS

INTRODUÇÃO

Um orifício deve ser calibrado, previamente ao seu uso, para que os resultados obtidos através dele sejam confiáveis.

Um sistema simples de calibração consiste de um filtro, um elemento de vazão laminar, o orifício a ser calibrado e uma bomba de vácuo, com todos esses elementos ligados em série. Obviamente para controle da vazão, necessita-se de pelo menos uma válvula. Como as vazões são determinadas pelas diferenças de pressão nos diversos elementos, há necessidade de manômetros, em cada elemento do sistema, dotados de precisão compatível com os resultados desejados.

Embora se tenha citado como medidor de vazão o elemento de vazão laminar, pode se utilizar este mesmo procedimento e montagem para o caso de medir-se a vazão por medidor de massa ou pelo "Wet Test Meter", todavia mudanças no programa deverão ser feitas, para possibilitar a entrada da vazão medida, sem o cálculo da mesma pela diferença de pressão, como no elemento de vazão laminar.

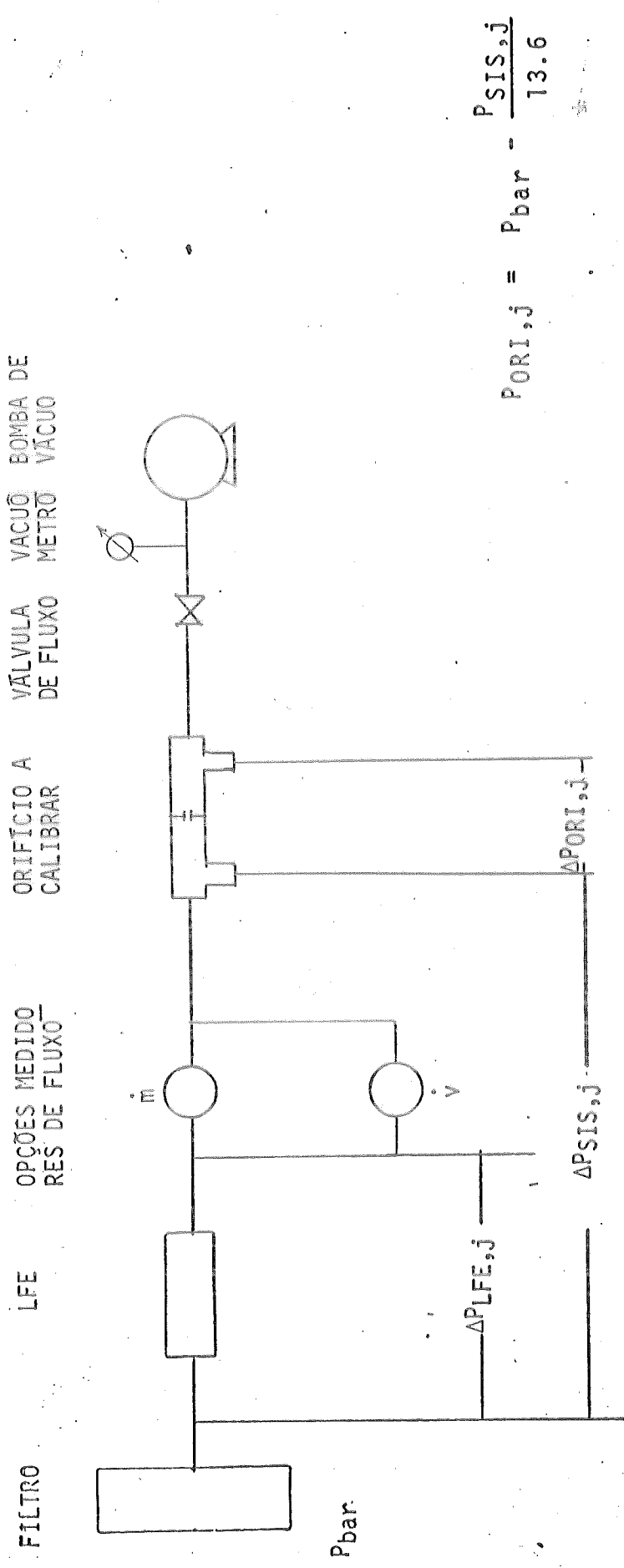
A Fig. 1 ilustra o acima exposto.

SIMBOLOGIA

$\Delta P_{ORI,j}$ diferença de pressão entre a entrada e a saída da placa de orifício, o índice j refere-se ao número da placa. (pol. H₂O)

$\Delta P_{SIST,j}$ diferença de pressão entre a saída do filtro do fluido e a entrada do orifício, inclui os diversos equipamentos de medida de vazão, que porventura forem utilizados. O índice j refere-se à particular montagem do sistema. (pol. H₂O)

ID_{LFE} Diâmetro interno do elemento de vazão laminar (LFE). (pol.)



$$P_{ORI,J} = P_{bar} - \frac{P_{SIS,J}}{13.6}$$

Fig. 1 - Diagrama para Montagem de um Sistema para Calibração de Orifícios

ΔP_{LFE}	diferença de pressão entre a entrada e a saída do elemento de vazão laminar (LFE). (pol. H ₂ O)
Q_{ORI}	vazão medida pelo LFE. (cfm)
Q	vazão
A_c	valor da constante multiplicativa da equação da vazão do orifício em função da queda de pressão através do mesmo.
b	valor do expoente da equação da vazão do orifício em função da queda de pressão no mesmo.
T_{ORI}	temperatura absoluta do fluido no orifício. (°K)
$P_{ORI,j}$	pressão à montante do orifício. (pol. Hg)
M	peso molecular do fluido. (lb)

METODOLOGIA

A montagem da Figura 1 deve ser feita, escolhendo-se a opção desejada.

A válvula de controle de fluxo é então acertada para uma determinada posição para a qual se lêem os seguintes parâmetros experimentais:

$\Delta P_{ORIF,j}$ (pol. H₂O)

$\Delta P_{SIST,j}$ (pol. H₂O)

ID_{LFE} (pol.)

ΔP_{LFE} (pol. H₂O)

Muda-se então a posição da válvula e repete-se a leitura.

Sugere-se que o experimento seja feito em ambiente condicionado, onde a temperatura ambiente (°F), pode ser lida apenas uma vez. A pressão atmosférica (pol. Hg) deve ser conferida a cada mudança da posição da válvula de controle de

fluxo, embora em nossa região as variações de pressão atmosférica sejam lentas e pequenas.

Após a obtenção de alguns pontos (cerca de 6), tem-se uma tabela de valores de vazão versus diferença de pressão no orifício.

A relação entre esses valores deveria ser uma curva quadrática, todavia devido a pequenas variações no fator de expansibilidade com a variação da diferença de pressão (1) o valor do expoente varia.

Para determinar esse valor faz-se uma correlação entre $\log Q$ e $\log \Delta P$, que levando-se em conta a pressão montante do orifício; a temperatura do fluido no orifício e o peso molecular médio do fluido, tem-se uma curva linear(2), ou seja a função é do tipo $y = ax^b$ onde a e b devem ser obtidos graficamente. A equação abaixo relaciona vazões, pressões e condições de teste para um dado orifício:

$$Q_{\text{ORI},j} = A_c \left(\frac{T_{\text{ORI}} \cdot \Delta P_{\text{ORI},j}}{P_{\text{ORI},j} \cdot M} \right)^b \quad (1)$$

A_c e b são obtidos graficamente.

Uma vez feito o experimento de calibração, a seguinte equação, permite obter os valores para condições de operação:

$$Q_{i,j} = A_c \left(\frac{T_i}{P_i M_i} \right)^b (\Delta P_j)^b \quad (2)$$

com A_c e b obtidos para a condição de calibração. O índice i refere-se ao número de ordem da repetição do experimento com ΔP_j aplicado ao orifício.

Para o cálculo da vazão no elemento de vazão laminar, em condições padrão utiliza-se a equação:

$$Q_{\text{STD},j} = \left(\frac{P_i}{P_{\text{STD}}} \right) \left(\frac{T_{\text{STD}}}{T_i} \right) Q_{i,j} \quad (3)$$

onde o índice STD refere-se à condição padrão.

Agrupando-se a equação acima e as demais e rearranjando seus termos obtém-se:

$$Q_{STD,j} = \left(A_c \frac{T_{STD}}{P_{STD}} \right) \left(\frac{T_i}{P_i M_i} \right)^b \left(\frac{P_i}{T_i} \right) (\Delta P_j)^b \quad (4)$$

Se definirmos:

$$K_{STD} = A_c \frac{T_{STD}}{P_{STD}} \quad (5)$$

teremos:

$$Q_{STD,j} = K_{STD} \left(\frac{T_i}{P_i} \right)^{b-1} \left(\frac{\Delta P_j}{M} \right)^b \quad (6)$$

Para obter a vazão no orifício em condições ordinárias de pressão e temperatura, corrige-se a vazão do elemento laminar para a pressão do orifício, resultando na seguinte equação:

$$Q_{ORI,j} = \left(\frac{460 + T_{ORI}}{460 + T_{LFE}} \right) \left(\frac{P_{LFE}}{P_{BAR} - \frac{\Delta P_{SIS}}{13.6}} \right) Q_{LFE,j} \times T_{cfn} \quad (7)$$

onde T_{cfn} é o fator de correção devido a temperatura e expresso por:

$$T_{cfn} = 1.100 - 0.001429 T_{LFE} (^{\circ}F) \quad (8)$$

ou retirado de tabelas que acompanham o elemento de vazão laminar (LFE).

Q_{LFET} é obtido da equação do LFE e é basicamente uma equação do seguinte tipo:

$$Q_{LFET,j} = m (P_{LFE,j})^a + a \quad (9)$$

A vazão corrigida é dada por

$$Q_{LFEA,j} = \left(\frac{P_{Bar}}{29.92} \right) Q_{LFET,j} \times T_{cfn} \quad (10)$$

Temos então todas as equações para descrição do fenômeno,

faltando apenas a determinação estatística de A_c e b , da equação (1), de calibração do orifício.

A exponencial \bar{e} do tipo $y = ax^b$ com $a > 0$; $y > 0$ e $x > 0$. Aplicando-se logaritmo a ambos os membros obtem-se

$$\ln y = b \ln x + \ln a$$

que é uma equação linear para a qual calculam-se as seguintes estatísticas (3).

$$b = \frac{(\sum X_i Y_i) - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n}}{\sum (X_i)^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}} \quad (11)$$

$$a = \exp \left[\frac{\sum Y_i}{n} - \frac{b \sum X_i}{n} \right] \quad (12)$$

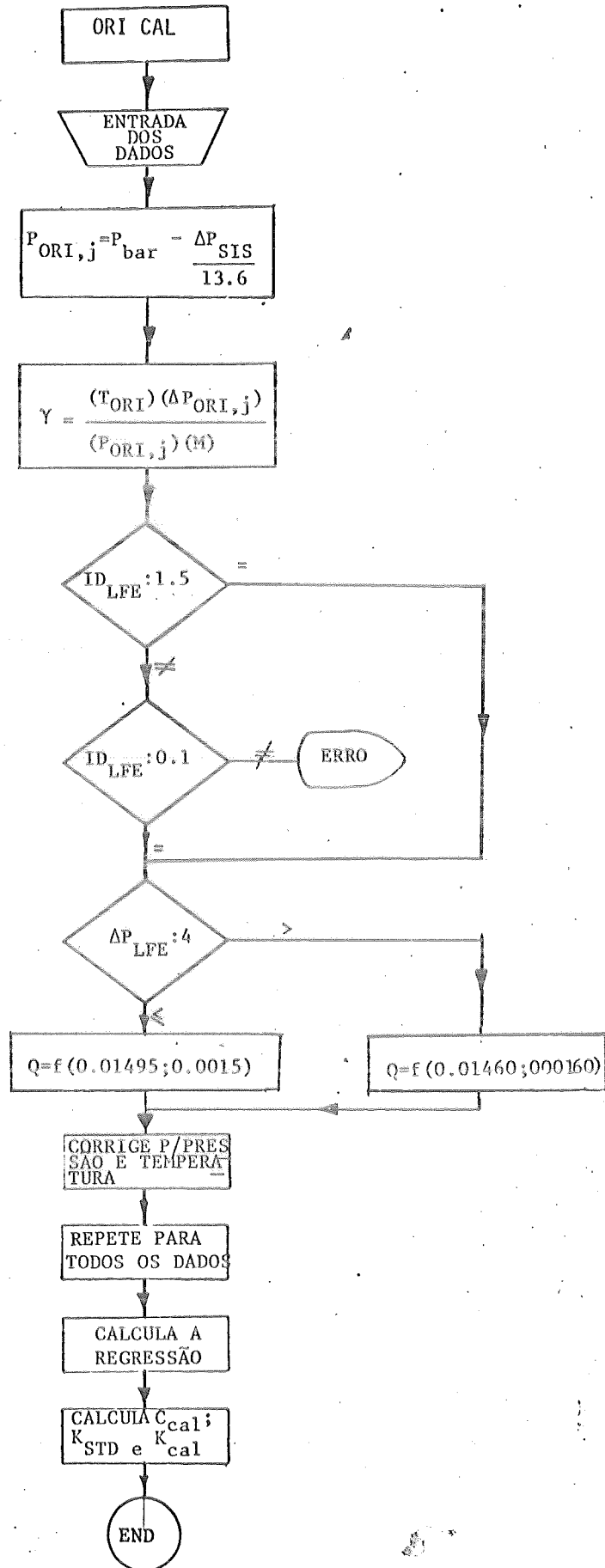
$$r^2 = \frac{\left[\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n} \right]^2}{\left[\sum (X_i)^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n} \right] \left[\sum (Y_i)^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{n} \right]} \quad (13)$$

onde $X_i = \ln x_i$

$Y_i = \ln y_i$

sendo r^2 o coeficiente de determinação e i o índice correspondente ao número de ordem do conjunto de dados correspondentes a cada ΔP_i .

Para o uso deste programa, se supõe que existam dois orifícios com equações de fluxo conhecidas. Como não dispomos desses orifícios, admitimos as equações utilizadas pelo Southern Research Institute e com isso podemos usar os dados experimentais desses orifícios para testar o programa. Posteriormente com a manufatura e calibração de orifícios para a GTAR, teremos que alterar os valores das constantes das equações de fluxo, presentes no programa de cálculo.



Exemplo de cálculo :

Dados de laboratório				Dados calculados	
$\Delta P_{ORI,j}$ (pol H ₂ O)	$\Delta P_{SIST,j}$ (pol H ₂ O)	ID _{LFE} pol.	ΔP_{LFE} (pol H ₂ O)	\dot{Y} ;	Q _{ORI,j} ACFM
1.0	2.1	1.5	1.04	0.625	0.234
4.0	4.9	1.5	2.01	2.519	0.453
10.0	9.05	1.5	3.15	6.363	0.716
16.0	12.6	1.5	4.00	10.274	0.917

$$P_{bar} = 29.58 \text{ pol H}_g$$

$$T_{amb} = (73 + 460)^{\circ}R$$

Do ajuste da curva potencial obtem-se

$$A_c = 0.292$$

$$K_{STD} = 5.16$$

$$b = 0.487$$

$$b = 0.487$$

$$r^2 = 0.99975$$

Para o ponto $\Delta P_{ORI,j} = 10.0$

$$P_{SIS,j} = 9.05$$

obtem-se $\dot{Y}_{cal} = 6.363$

$$Q_{cal} = 0.716$$

$$K_{cal} = 12.412$$

$$\text{onde } K_{cal} = \frac{\dot{Y}_{cal}}{(Q_{cal})^2}$$

Recomendações

Substituir no programa de cálculo, o valor das constantes das equações de vazão dos orifícios, pelos valores próprios para os orifícios construídos para a GTAR. Isto implica em mu

dar :

LBL 04; LBL 05 e LBL 06

Obedecer a montagem da Figura 1, pois este programa s^o se aplica à aquela configuração.

Repetir o experimento de calibração diversas vezes para as segurar a precisão, se necessário recorrer ao dimensionamento estatístico do tamanho da amostra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Methods for the Measurement of fluid flow in pipes.
B.S. 1042 : Part 1 : 1964
2. Material Apostilado do Curso de Amostragem de Chamimē ministrado por Joseph McCain na Cetesb em 1984.
3. Curso de Estatística. Elementos - Editora Ao Livro Técnico - Rui Aguiar da Silva Leme.



CETESB

Programação de Máquina

11.

Program Title ORICAL ORTIC CALIBRATION W/ CRT Date _____

Name _____

REGISTERS

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A		B		C		D		E	
LABELS					FLAGS		SET STATUS		
A	B	C	D	E	0	FLAGS		TRIG	
B	D	C	d	e	1	ON OFF	DISP		
C	1	2	3	4	2	0 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	DEG <input type="checkbox"/>	FIX <input type="checkbox"/>	
D	1	2	3	4	2	1 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	GRAD <input type="checkbox"/>	SCI <input type="checkbox"/>	
E	6	7	8	9	3	2 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	RAD <input type="checkbox"/>	ENG <input type="checkbox"/>	
						3 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		n _____	

STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY
001	APOL		+		REL06
	2 REG 17		REL03		0.0146
	REC		+		ST011
	CLZ		28.97		0.0016
	FIX		+		ST012
	REL01		REL07		ST007
	TAN		+		REL07
	APOL		FIX 2		REL06
	TIME		CLA		REL11
	TIME 1	050	T GAVE	110	+
	STOP	01	ST022		REL12
	ST001		REL05		+
	FIX 6		1.5		ST010
	REL02		KEY 7		11
	T GAVE		ST001		REL01
	APOL		REL05		0.01229
	TIME 1		0.1		+
	TIME 1		V=??		-
	STOP		ST001		ST015
	REL02	070	TAN	120	*
	REL01		REL01		REL02
	REL02		+		REL07
	AVIEW		REL06		+
	TIME 2		KEY 7		ST016
	TIME 2		ST002		*
	TIME 2		ST002		ST024
	REL 22		REL02		REL23
	APOL		0.0025		REL21
	APOL		ST011		REL21
	REL22	050	0.0025	130	TIME 2
	REL22		ST012		REL14
	TIME 2		ST007		*
	APOL		REL03		REL22
	STOP		0.2040		+
	REL01		ST011		REL14
	ST006		0.073		REL17
	REL11		ST012		*
	ST005		ST007		REL22
	REL11		REL04		+
	ST001	070	+		+
	REL11		REL06	140	+
	ST003		KEY 7		REL20
	REL01		ST005		REL19
	REL04		ST006		REL19
	13.6		REL05		X 12
	+		0.0146		REL22
	+		ST011		+
	ST012		0.0015		+
	460		ST013		+
	REL01	100	ST007		+



COMMENTS

6 cartões (1 pistão) pode ser diminuído.

Pode ser atribuído a uma delay também a execução de Rca. passo 161. Size 028

Mark: 28.97

STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY
	11		REL21
	X 12		REL17
	11	190	REL19
	+		*
	CLA		REL22
	11=		+
	APOL		-
	AVIEW		REL18
	TIME		REL17
	ST000		X 12
160	REL22.0		REL22
	TIME 6		+
	TIME 2	200	-
	REL21		+
	REL17		+
	REL14		FIX 3
	*		ST014
	REL22		CLA
	+		REL14
	+		REL22
	+		+
	X 12		REL14
	REL18		REL17
	REL17	210	*
	X 12		REL22
	REL22		+
	+		+
	+		EAX
	+		ST013
	REL20		17.65
170	REL19		*
	X 12		ST026
	REL22		REL10
	+		REL13
	+		+
	+		+
	ST025		T A=
	T C: b		APOL X
			PR0121
			REL14



CETESB

Program Listing

.12.

Program Title OPTICAL OPTICAL CALIBRATION W/ LFE Date _____
Name _____

REGISTERS

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A		B		C		D		E	

LABELS					FLAGS	SET STATUS			
A	B	C	D	E	0	FLAGS		TRIG	DISP
a	b	c	d	e	1	ON	OFF	DEG	FIX
0	1	2	3	4	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	5	7	8	9	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY
001	b= ARCLX PROMPT RCL 25 FIX 5 T R2= ARCLX PROMPT RCL 26	005	RCL 09 T R2= ARCLX PROMPT RCL 27 T RCL= ARCLX PROMPT STO 10		
010	Fix 3 KETDE ARCLX PROMPT RCL 14 T b= ARCLX PROMPT ASSUMED S RT= A VIEW	060	END	110	
020	001810= TONE 2 PROMPT STO 09 DDAYS 10= A VIEW TONE 6 PROMPT STO 04 RCL 01	070		120	
030	480 + RCL 02 RCL 04 15.6 ÷ - ÷ 10 * 25.07	080		130	
040	STO 04 RCL 09 X 2 ÷ STO 27 RCL 09 T C ME ARCLX PROMPT	090		140	
050	PROMPT	100		150	

COMMENTS
 calcula p/ SORI LFE'S & orifices
 Precisa mudar p/ nossos valores.

STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY
160		190	
170		200	
180		210	
		220	

Name: ORICAL Code: _____

STEP	INSTRUCTIONS	INPUT DATA/UNITS	KEYS	OUTPUT DATA/UNITS
1	PLANS A	PLANS		PLANS
2	R/S			R/S
3				
4	LOAD	LOAD		LOAD
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				
51				
52				
53				
54				
55				
56				
57				
58				
59				
60				
61				
62				
63				
64				
65				
66				
67				
68				
69				
70				
71				
72				
73				
74				
75				
76				
77				
78				
79				
80				
81				
82				
83				
84				
85				
86				
87				
88				
89				
90				
91				
92				
93				
94				
95				
96				
97				
98				
99				
100				

PA 2 - DISTRIBUIÇÃO DE PARTÍCULAS ANALISADAS

PELO BAHCO

INTRODUÇÃO

Fenômenos de redução de visibilidade assim como de coloração do ar podem estar associados a tamanho de partícula dispersas no ar, outro aspecto mais importante que esses é que filtragem, deposição, captura, dispersão e muitos outros fenômenos que ocorrem com aerossóis, estão diretamente ligados a distribuição de partículas. Os efeitos dessas partículas sobre a saúde, também estão associados a distribuição de tamanho de partículas. Quando falamos de eficiência de coleta de material particulado, associamos sempre o tamanho de partícula para uma dada eficiência.

Por essas razões o estudo da distribuição das partículas é algo muito necessário, para que se conheça seu comportamento em um fenômeno qualquer da física dos aerossóis.

Existem diversos equipamentos que analisam tamanho de partícula, alguns mais sofisticados utilizam-se de mobilidade elétrica, espalhamento de luz, etc, outros menos elaborados utilizam-se de princípios mais básicos, neste caso enquadrando-se o Bahco, que se vale basicamente da força centrífuga para separar as partículas por tamanho.

(Fig.1).

O equipamento consiste, fundamentalmente, de um bocal de alimentação, um prato giratório, um alimentador de ar com fluxo variável e um coletor de partículas.

METODOLOGIA

O equipamento deve ser limpo com muito cuidado, montado e colocado em funcionamento. Após duas corridas em branco (sem amostra), não se colhendo nenhuma partícula no coletor, pode-se alimentar o equipamento com a amostra.

Acerta-se o fluxo para obter as menores partículas, pela

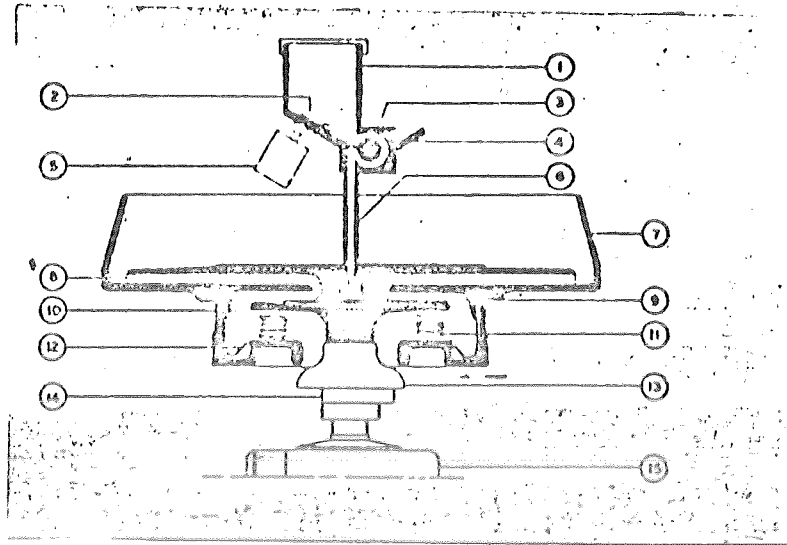


Figura 1 : Diagrama do Separador Bahco

- | | |
|-------------------------|-----------------------------------|
| 1. Depósito do Material | 9. Duto Giratório |
| 2. Placa Vibradora | 10. Câmara de Separação |
| 3. Escova | 11. Discos Simétricos |
| 4. Orifício | 12. Depósito de Material Separado |
| 5. Vibrador | 13. Porca do Espaçador |
| 6. Bico Alimentador | 14. Espaçador |
| 7. Rotor | 15. Motor |
| 8. Pás do Ventilador | |

utilização de um anel espaçador que permite variar a velocidade do fluxo de ar e liga-se o equipamento. Deixa-se a amostra cair pelo bocal de alimentação. Terminada a operação de alimentação desmonta-se e limpa-se o equipamento, pegando-se o material separado e pesando-se-o. A seguir toma-se o que restou da amostra e separa-se a parcela correspondente a um segundo tamanho repetindo-se o processo com todos os espaçadores. Quando do uso do último espaçador, obtêm-se o material de maior diâmetro e o que resta é computado como material de diâmetro maior que o da última corrida.

Os diâmetros dos materiais separados por tamanho, são determinados levando-se em conta a densidade da partícula:

Obtêm-se então uma tabela de correspondência entre tamanho de partícula e massa coletada, com a qual, pode-se gerar um gráfico de tamanho de partícula em função da porcentagem acumulada de partículas menores que esse tamanho.

Na maioria das vezes esse gráfico é, ou pode ser, assimilado a uma reta quando se usa papel logarítmico.

Pode-se ainda, nesses dados, eliminar as partículas maiores que o maior diâmetro separado pelo equipamento, os dados assim obtidos são qualificados de dados ajustados e isto é feito quando se sabe que partículas desse tamanho não interferirão no caso em estudo, por serem muito grandes.

Um exemplo de cálculo é dado a seguir:

Massa de amostra 10.000 g
Densidade 2.75 g/cm³

tamanho (micron)	resíduo (g)	% menor que
1.3	9.349	6.51
2.1	8.536	14.64
4.2	6.125	38.75
7.8	4.391	56.09
12.4	3.455	65.45
21.8	2.207	77.93
29.0	1.744	82.56
32.5	1.569	84.31

onde "% menor que" \bar{e} $(1 - \frac{\text{resíduo}}{\text{m. amostra}}) \times 100\%$.

Obtêm-se com esses dados o gráfico 1, de onde se pode tirar o desvio padrão e o tamanho médio em relação a massa, respectivamente σ_g e MMD, que no caso valem :

$$\sigma_g = 3.6 \quad e$$

$$\text{MMD} = 7.3 \mu$$

Para a obtenção desse gráfico é apresentado o programa em anexo, que calcula as diversas porcentagens, dadas as massas obtidas através do Bahco.

Nota : O processo gráfico para se obter MMD e σ_g consiste em :

1. Tomar MMD como o tamanho de partícula correspondente a 50%.
2. Calcular σ_g como o quociente entre o tamanho de partícula correspondente a 50% e o tamanho de partícula correspondente a 16%.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E CONSERVACAO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

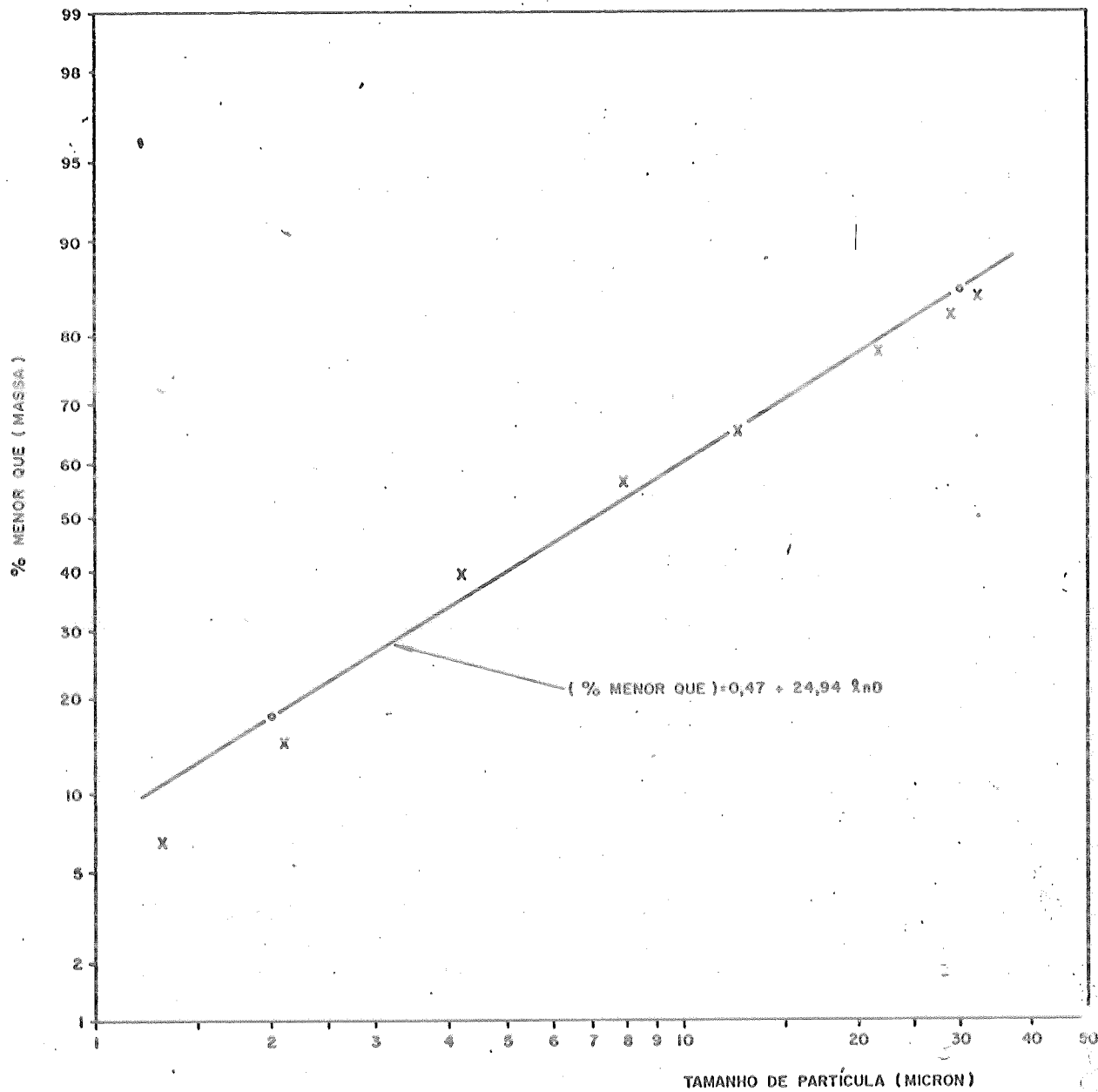
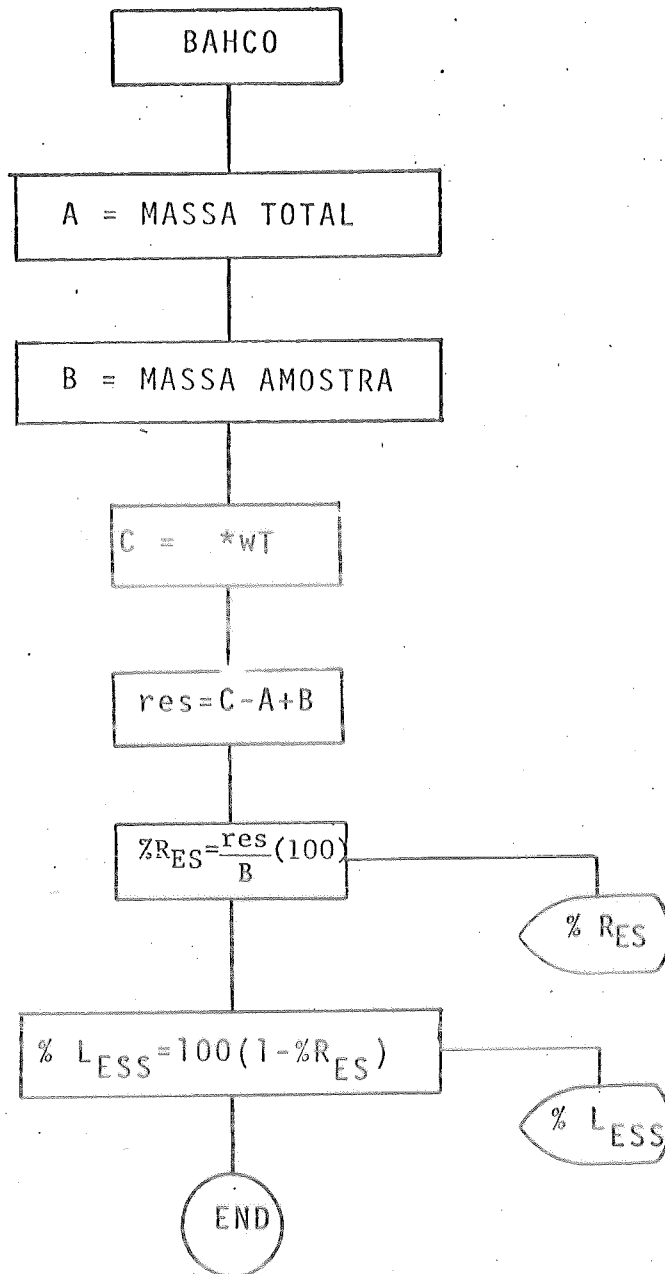


GRÁFICO 1 - DISTRIBUIÇÃO DE PARTÍCULAS ANALISADAS PELO "BAHCO"



*wT - é a massa correspondente a cada corrida do BAHCO, representada pela massa de particulado somada à massa do recipiente usado para a pesagem.

BIBLIOGRAFIA

- . Material do Curso de Amostragem de Chaminé, ministrado por Joseph McCain em 1984 na CETESB.
- . Manual on Aerosol Properties
Morton Corn Ph.D.
- . Catálogo da Dietert Co.

PA 3 - DIÂMETRO DE CORTE

Conversão Do Diâmetro De Stokes Para o Diâmetro Aerodinâmico Equivalente

INTRODUÇÃO

Alguns fenômenos físicos com aerossóis, são explicados matematicamente por relações que se valem de um diâmetro em especial (Stokes, Aerodinâmico ou de Impactação) da partícula, produzindo resultados que para serem comparados com os resultados de outras fontes requerem conversões.

Este trabalho tem como objetivo mostrar como se efetua a conversão do Diâmetro de Stokes para o Diâmetro Aerodinâmico Equivalente, através de um programa para calculadora programável (HP-41), que em última análise expressa o diâmetro de corte para impactadores inerciais.

METODOLOGIA

A conversão de um dos diâmetros para o outro se faz através de um processo iterativo elaborado por Ragland et alii (1).

A fórmula utilizada para o cálculo (2) é :

$$D_{AE} = D_s \left| \frac{\rho C_s^i}{C_{AE, i-1}} \right|^{1/2} \quad |||$$

Onde :

D_{AE} = Diâmetro Aerodinâmico Equivalente

D_s = Diâmetro de Stokes

ρ = Densidade da partícula

C_s = Fator de correção de Cunningham para o diâmetro de Stokes

C_{AE} = Fator de correção de Cunningham para o D_{AE}

i = Número da iteração

D_s , ρ e C_s são fixos e conhecidos, transformando-se então a equação ||| em :

$$D_{AE} = \frac{\text{CONSTANTE}}{(C_{AE})^{1/2}} \quad [2]$$

Onde se verifica que $D_{AE} = f_1(C_{AE})$.

Todavia C_{AE} também é uma função de D_{AE} como mostra a equação abaixo :

$$C_{AE} = 1 + \frac{2\lambda}{D_{AE}} \left[1.23 + 0.41 \exp \left(-0.44 \frac{D_{AE}}{\lambda} \right) \right] \quad [3]$$

ou seja $C_{AE} = f_2(D_{AE})$, em outras palavras :

$$D_{AE} = F\{C_{AE}(D_{AE})\}$$

o que quer dizer que para o cálculo de D_{AE} é necessário o conhecimento prévio do valor do próprio D_{AE} . Este impasse pode ser resolvido por um processo iterativo que consiste em :

1. Estabelecer um critério de aceitação;
2. Admitir C_{AE0}
3. Calcular D_{AE1}
4. Calcular C_{AEi}
5. Utilizar o critério de aceitação
6. Em caso de rejeição repetir 3,4 e 5 até que o valor calculado para C_{AEi} seja igual a C_{AEi-1} , de acordo com o critério de aceitação.
7. Terminado o processo utiliza-se D_{AEi-1} como o valor do diâmetro procurado.

Um critério de aceitação pode ser :

$$\left| 1 - \frac{C_{AEi-1}}{C_{AEi}} \right| < 0.001 \quad [4]$$

que é um critério muito mais restrito do que o utilizado no programa para cálculo das propriedades dos aerossóis, onde o fator de Cunningham para projetos de equipamentos era desprezado quando menor que 0.02.

O fator Cunningham é dado por (2) :

$$C = 1 + 2A \frac{\lambda}{D} \quad [5]$$

$$A = \alpha + \beta e^{\gamma D/2\lambda} \quad [6]$$

onde :

C = Fator de Cunningham (adimensional)

λ = Livre percurso médio do gás (cm)

D = Diâmetro da partícula (cm)

e α, β e γ são dados na tabela 1 abaixo :

Tabela 1 : Valores das Constantes para as Equações [5] e [6], segundo três pesquisadores (2).

	α	β	γ
Fuchs	1.246	0.42	0.87
Reif	1.26	0.45	1.08
Cushing et al	1.23	0.41	0.88

Utilizando-se a terceira linha da tabela, as equações [5] e [6], agrupadas já na forma própria para este trabalho, resultam em :

$$C_i = 1 + \frac{2\lambda}{D_{AE_i}} \left[1.23 + 0.41 \exp \left(0.44 \frac{D_{AE_i}}{\lambda} \right) \right] \quad [7]$$

correspondente à expressão [3].

Na expressão [7], de acordo com Ragland (1), tem-se :

$$\lambda = 1.04 \frac{\mu}{P} (1 + 0.00367T)^{1/2} \quad [8]$$

$$\mu = (174.4 + 0.406T) \times 10^{-6} \quad [9]$$

onde :

λ = Livre caminho médio do gás (cm)

μ = Viscosidade do gás (g/cm seg)

P = Pressão absoluta do gás após o jato do estágio (pol Hg)

T = Temperatura do gás ($^{\circ}$ C)

Temos então neste ponto todas as equações necessárias ao procedimento de determinação do valor de D_{AE} dado o valor de D_s , vejamos :

1. Critério :
$$\left| 1 - \frac{C_{AE_{i-1}}}{C_{AE_i}} \right| < 0.001 ;$$

2. Admitimos um valor para C_{AEO} por exemplo 1.5 ou outro valor melhor, este corresponde a uma partícula de aproximadamente 0.3μ ;

3. Calcula-se D_{AE_1} através de (1) onde colocamos aos valores da densidade, diâmetro de Stokes e fator de Cunningham para o diâmetro de Stokes;

4. Calcula-se C_{AE_1} para o valor de D_{AE_1} acima ;

5. Verifica-se se o critério de aceitação é obedecido;

6. Se não for obedecido, repetem-se os itens 3, 4 e 5 até que o critério de aceitação seja satisfeito.

O programa apresentado em anexo executa esse processo automaticamente e mostra o valor de D_{AE} após o critério de aceitação ser obedecido.

Um exemplo de cálculo é apresentado a seguir.

Em anexo encontram-se o programa e o respectivo diagrama de blocos.

Exemplo de cálculo

$$T = 20^{\circ}\text{C}$$

$$P = 29.92 \text{ in Hg}$$

$$\rho = 2.75 \text{ g/cm}^3$$

$$D_s = 7.3 \times 10^{-6} \text{ cm}$$

$$C_0 = 1.5 \text{ (valor inicial colocado no programa)}$$

$$D_1 = 18.93 \times 10^{-6} \qquad C_1 = 1.934$$

$$D_2 = 16.67 \times 10^{-6} \qquad C_2 = 2.076$$

$$D_3 = 16.09 \times 10^{-6} \qquad C_3 = 2.119$$

$$D_4 = 15.93 \times 10^{-6} \qquad C_4 = 2.132$$

$$D_5 = 15.88 \times 10^{-6} \qquad C_5 = 2.136$$

$$D_6 = 15.87 \times 10^{-6} \qquad C_6 = 2.137$$

$$D_7 = 15.87 \times 10^{-6}$$

$$D_{AE} = 15.87 \times 10^{-6} \text{ cm}$$

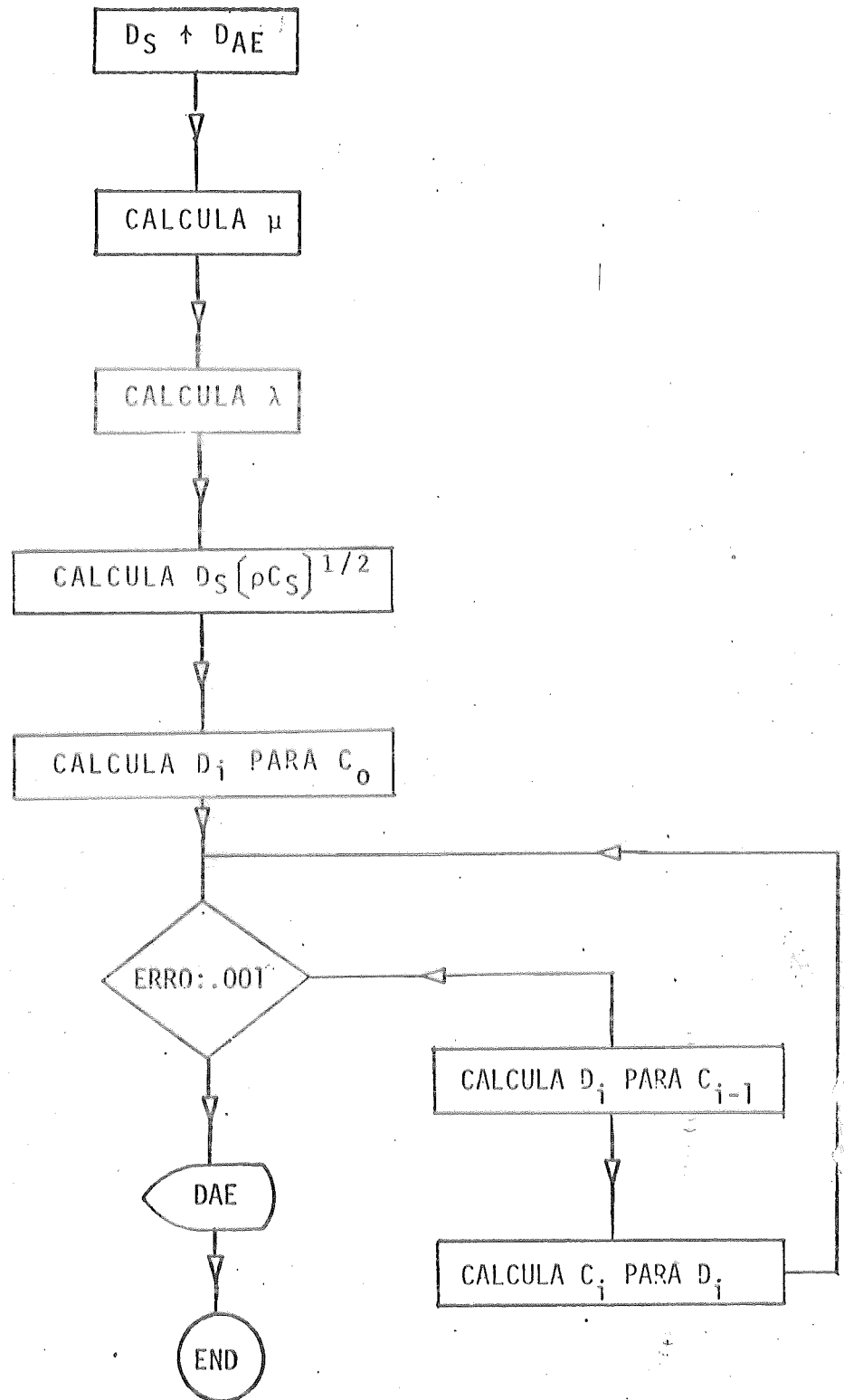


DIAGRAMA DE BLOCOS PARA O PROGRAMA DIÂMETRO DE CORTE



CETESB

Program Listing

7.

Program Title DE A DAE Date _____
 Name CONFERIR O DIAM. DE STORES PARA DIAM. AERODINAMICO EQUIVALENTE
QUANTO AO USO O FATOR REGISTERS DE CUNNINGHAM

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A		B		C		D		E	
LABELS						FLAGS		SET STATUS	
A	B	C	D	E	0	FLAGS		TRIG DISP	
a	b	c	d	e	1	ON OFF			
0	1	2	3	4	2	0	<input type="checkbox"/>	DEG	<input type="checkbox"/>
5	6	7	8	9	3	1	<input type="checkbox"/>	GRAD	<input type="checkbox"/>
						2	<input type="checkbox"/>	RAD	<input type="checkbox"/>
						3	<input type="checkbox"/>	ENG	<input type="checkbox"/>
									n _____

STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY
001					
	ABS		ABS		
	0.001		0.001		
	XKEY		XKEY		
	STO 01		STO 02		
	PROMPT		XEQ D		
	1.300		ENG 3		
	T DAE, CM =		T DAE, CM =		
	010		ARCLX		
	1.307		PROMPT		
	1.307		T DAE, M =		
	174.4		IE-2		
	*		*		
	ARCLX		ARCLX		
	PROMPT		PROMPT		
	RCL 01		RCL 02		
	0.406		RCL 05		
	*		STO 04		
	10-6		STO 01		
	*		LBLD		
	RCL 02		DI RCL 00		
	+		ASPT RCL 04		
	1.04		SQRT		
	*		+		
	1		STO 03		
	A		RTN		
	PROMPT		LBLC		
	0.00267		STO 03		
	RCL 01		RCL 06		
	*		+		
	+		CL 0.44		
	SQRT		PACA *		
	*		DI CHS		
	STO 06		EPX		
	RCL 07		0.41		
	XEQ C		*		
	RCL 08		1.23		
	*		+		
	SQRT		2		
	RCL 07		*		
	*		RCL 06		
	STO 00		*		
	1.5		RCL 03		
	STO 04		+		
	LBL 01		STO 05		
	XEQ D		RTN		
	XEQ C		E.ND		
	1				
	RCL 04				
	RCL 05				



COMMENTS
 PARA OBTER CADA DAE, INSERIR
 P/S NO PASSO 77. PARA OBTER
 CADA C_i INSERIR P/S ANTES DO
 RTN DO LBLC.

STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY
150			
160			
170			
180			
190			
200			
210			
220			

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PB-269666 HP25 Programmable Calculator Applied to Air Pollution Measurement Studies : Stationary Sources.
2. PB-276470/2BE Particle Size Definitions for Particulate Date Analysis.

PA 4 - PROPRIEDADES DE AEROSSOIS

I. INTRODUÇÃO

O cálculo de grandezas físicas de aerossóis, utiliza-se de certas quantidades que são medidas ou são determinadas in diretamente e outras quantidades obtidas por cálculos matemáticos. Praticamente toda medida indireta e todo cálculo matemático envolvendo aerossóis se vale de Números Adimensionais e outras características de aerossóis. É portanto, de grande utilidade a geração desses adimensionais e dessas outras características. Por essa razão é apresentado neste trabalho um programa para calculadora programável (HP-41) que gera uma tabela conhecida como "Tabela para Uso em Física dos Aerossóis", produzida e distribuída pela BGI Incorporated de Waltham Massachusetts - Estados Unidos.

A análise dessa tabela mostrou que pelo menos uma hipótese utilizada na sua geração não corresponde à realidade (admitir a densidade do ar nula, em certas situações),

Contrariamente, uma hipótese aceita na prática, não foi adotada na confecção da tabela, ou seja, o uso do fator de Cunningham igual a 1 para partículas maiores que 10 ou 20 μ . Estas razões, justificaram a execução deste trabalho.

II. OBJETIVO

O objetivo é bastante simples, é o de prover as áreas que se utilizem da física dos aerossóis, com as ferramentas necessárias aos cálculos envolvidos em suas atividades.

SIMBOLOGIA

η	Viscosidade do ar (poise)
λ	Caminho livre médio do ar (cm)
ν	Viscosidade cinemática do ar (cm^2/seg)
μ	Viscosidade do ar (poise)
μ	Unidade de comprimento (10^{-6} cm)
ρ	Densidade da partícula (g/cm^3)
ρ'	Densidade do ar (g/cm^3)
τ	Tempo de relaxação (seg)
A	Valor definido na equação do fator Cunningham (adimensional)
B	Mobilidade da partícula (seg/g)
c	Fator de Cunningham (adimensional)
C_D	Coefficiente de arraste (adimensional)
g	Aceleração da gravidade (cm/seg^2)
K	Constante de Boltzmann ($\text{erg}/^\circ\text{C}$)
M	Peso molecular do ar (g)
R	Constante dos gases perfeitos ($\text{erg}/^\circ\text{K mol}$)
Re	Número de Reynolds (adimensional)
T	Temperatura absoluta do ar ($^\circ\text{K}$)
v	Velocidade Terminal de queda (cm/seg)

METODOLOGIA

Foram admitidas as seguintes constantes físicas (1):*

$\lambda = 6.53 \times 10^{-6}$ cm	- Caminho Livre Médio do Ar.
$\eta = 1.810 \times 10^{-4}$ poise	- Viscosidade do Ar
$K = 1.3708 \times 10^{-16}$ erg/ $^\circ\text{C}$	- Constante de Boltzmann
$T = 293$ $^\circ\text{K}$	- Temperatura Absoluta (20°C)

* Número entre parêntesis, no texto, indicam referências bibliográficas apresentadas no final do trabalho.

$\rho = 1 \text{ g/cm}^3$	- Densidade da Partícula
$\rho' = 1.205 \times 10^{-3}$	- Densidade do Ar
$g = 981 \text{ cm/seg}^2$	- Aceleração da Gravidade

Existem pequenas diferenças entre estes valores e os valores utilizados por outros manuais, todavia estes foram mantidos para ser o mais coerente possível com o manual acima (1), anteriormente utilizado em curso de Aerosóis na CETESB.

Estabelecidas estas constantes, os seguintes valores foram calculados:

1. Fator de Deslizamento ou Fator de Correção de Cunningham = (c)
2. Mobilidade (B)
3. Difusibilidade (D)
4. Tempo de Relaxação (τ)
5. Número de Reynolds (Re)
6. Velocidade de sedimentação (v)

III. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1. Fator de Deslizamento

$$c = 1 + \frac{2\lambda}{d} \quad (1)$$

$$A = 1.257 + 0.400 \exp\left(-\frac{1.10 d}{2}\right) \quad (2)$$

onde:

c = Fator de Cunningham

λ = Caminho livre médio do ar

d = Diâmetro da partícula considerada

A = Desmembramento da equação para facilidade de expressão e de cálculo.

O fator de escorregamento é um número utilizado para corrigir os valores calculados para fenômenos de interação de partículas com moléculas de gás (ar no caso), quando as partículas são pequenas o suficiente, para serem consideradas de mesma ordem de grandeza que o caminho livre das moléculas do gás.

O caminho livre é calculado pela teoria cinética dos gases como sendo

$$\lambda = \frac{\nu}{\sqrt{8RT/\pi M}} \quad (3)$$

onde:

λ = é o caminho livre médio do ar

ν = viscosidade cinemática do gás

M = Mol do ar

R = Constante dos gases perfeitos

T = Temperatura absoluta do gás

A grandeza $\frac{2\lambda}{d}$ é o adimensional chamado número de Knudsen que pode ser calculado por:

$$Kn = 0.0226 \frac{\mu}{d p} \sqrt{\frac{T}{M}} \quad (4)$$

onde:

d = diâmetro da partícula (cm)

p = pressão absoluta do gás (atm)

μ = viscosidade do gás (poise)

T = temperatura absoluta do ar ($^{\circ}K$)

M = peso molecular (g)

O fator de Cunningham é então expresso por

$$c = 1 + Kn \left[1.257 + 0.400 \exp \left(- \frac{1.10}{Kn} \right) \right] \quad (5)$$

Para as condições estabelecidas na Metodologia, resulta na equação:

$$c = 1 + \frac{13.06}{d} [1.257 + 0.400 \exp(-3.5915 \times 10^{-6} d)] \quad (6)$$

Para o programa de cálculo, foram utilizadas as equações 1 e 2 por permitirem a mudança das constantes representando as condições do fenômeno, sem exigirem pré cálculo, para simplificar a expressão. As equações que permitem o cálculo de maneira mais precisa e de acordo com a teoria dos gases, ficam indicadas (números 3,4 e 5) para facilitar o entendimento e até para melhorar o trabalho no futuro.

2. Mobilidade

Mobilidade é aqui apresentada apenas por ser a grandeza da qual a difusão depende diretamente. É por outro lado, muito importante em Métodos Osmóticos de Análise de Partículas, como o empregado para aumento ou redução de concentração de soluções (2).

É definida como:

$$B = (3\pi\eta d)^{-1} \quad (7)$$

onde:

B = mobilidade da partícula

η = viscosidade do ar

d = diâmetro da partícula

De 7 pode se concluir que quanto maior o tamanho da partícula (d), menor será sua mobilidade e que quanto maior a viscosidade do meio (η) tanto menor a mobilidade, conclusões sugeridas pelo conceito comum de mobilidade. B varia inversamente com o tamanho da partícula.

Para um estudo mais detalhado de Mobilidade são aconselhadas as referências 1 e 2.

3. Difusibilidade

É definida como:

$$D = K B T \quad (8)$$

onde:

K = constante de Boltzmann
 B = mobilidade da partícula
 T = temperatura absoluta e
 D = a difusibilidade

Esta grandeza é importante, por exemplo, para o cálculo de concentrações obtidas pela diluição de vapores em fluxo de gás nas chamadas células de difusão (3). É também a grandeza interferente nos métodos de captura de pequenas partículas.

Do ponto de vista de saúde é a grandeza que governa a absorção das partículas que penetram nos alvéolos pulmonares (fumaça de cigarro) (4), produzindo, às vezes, doenças ou lesões nesse órgão.

Na equação 8 todos os valores são conhecidos e o resultado é uma simples questão de cálculo.

4. Tempo de Relaxação

É o tempo que uma partícula leva para decelerar desde sua velocidade até o repouso (5).

O tempo de relaxação é uma característica do sistema partícula-fluido. Uma vez definido esse sistema, o tempo de relaxação está estabelecido.

É uma grandeza muito importante em todos os sistemas de captura de partícula do tipo gotas de líquido colidindo e captando a partícula, como em lavadores e lavadores Venturi.

É definido como:

$$\tau = \frac{d^2 \rho}{18 \eta} \quad (9)$$

onde:

τ = o tempo de relaxação
 d = diâmetro da partícula

ρ = densidade da partícula
 η = viscosidade do ar

5. Número de Reynolds

É provavelmente o adimensional de maior uso em mecânica dos fluídos, transmissão de calor, física dos aerossóis, além de outras ciências.

É aqui definido como:

$$Re = \frac{C_D R_e^2}{24} = \frac{(\rho - \rho') \rho' g d^3}{18 \eta^2} \quad (10)$$

onde:

Re = número de Reynolds
 C_D = coeficiente de arraste
 ρ' = densidade do ar
 g = aceleração da gravidade
 η = viscosidade do ar
 ρ = densidade da partícula

Este adimensional relaciona as forças de inércia com as de viscosidade podendo ser expresso de diversas maneiras, por exemplo:

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (11)$$

onde:

Re = número de Reynolds
 ρ = densidade da partícula
 d = diâmetro da partícula
 μ = viscosidade do ar
 v = velocidade terminal de queda

Através do uso coeficiente de arraste C_D e da hipótese de que a Lei de Stokes é obedecida, resulta na equação 10, que é mais adequada às aplicações da CETESB.

Em 10 também todos os termos são conhecidos e o resultado é uma questão apenas de cálculo.

Deve-se lembrar que o número de Reynolds aqui calculado refere-se à velocidade terminal de queda.

Quando a partícula não obedece a Lei de Stokes a equação 13 será usada na determinação da velocidade a ser aplicada à fórmula 11, na determinação do número de Reynolds.

6. Velocidade de sedimentação

Quando uma partícula é lançada verticalmente em um meio viscoso (ar neste caso) ela vai acelerar-se (ou decelerar-se) até uma determinada velocidade que, a partir de então, mantém-se constante. Essa velocidade é chamada de velocidade terminal de queda ou velocidade de sedimentação.

Embora a teoria de partículas quase sempre se aplique somente a pequenas partículas, para fixar conceitos, pode-se pensar na gota de água da chuva, que cai com velocidade constante, partindo do repouso, acelerando-se até atingir a velocidade de queda. O mesmo ocorre com a partícula, quando lançada em meio viscoso.

No caso em que a velocidade de lançamento seja maior que a velocidade terminal de queda, a força de arraste somada ao empuxo será maior que a força peso e a partícula será decelerada até a velocidade de sedimentação.

Basicamente é um problema de equilíbrio de forças. Quando o empuxo somado à força de arraste for igual ao peso, teremos a velocidade terminal de queda.

Para o cálculo dessa velocidade Corn (1) apresenta duas possibilidades:

1. Região onde Reynolds é menor que 0.05.
 2. Região onde Reynolds é maior que 0.05 e menor que 4.
- onde as velocidades são calculadas por:

para $Re \leq 0.05$:

$$v = \frac{(\rho - \rho')gd^2}{18\eta} \quad (12)$$

para $0.05 < Re \leq 4.0$

$$v = \left[\frac{C_D Re^2}{24} - 2.3363 \times 10^{-4} (C_D Re^2)^2 + 2.0154 \times 10^{-6} (C_D Re^2)^3 - 6.9105 \times 10^{-9} (C_D Re^2)^4 \right] \frac{\eta}{\rho' d} \quad (13)$$

Para o cálculo do número de Reynolds utiliza-se a fórmula 10, que se vale da Lei de Stokes, portanto só pode ser usada para $Re \leq 0.1$.

Para o cálculo do número de Re em regiões de $Re > 0.1$ existem fórmulas diversas como as de:

$$\text{Oseen} \quad C_D = \frac{24}{Re} \left(1 + \frac{3}{16} Re \right) \quad (14)$$

$$\text{Goldstein} \quad C_D = \frac{24}{Re} \left(1 + \frac{3}{16} Re - \frac{19}{1280} Re^2 + \dots \right) \quad (15)$$

para $Re < 2$:

$$\text{Schiller e Nauman} \quad C_D = \frac{Re}{24} \left(1 + 0.15 Re^{0.687} \right) \quad (16)$$

para $0 < Re < 700$

outras fórmulas aplicáveis ao nosso caso são :

$$\text{Oseen (6)} \quad 0.1 < Re < 0.5 \quad C_D = \frac{24}{Re} + 4.5 \quad (17)$$

$$\text{Shillar e Nauman} \quad 0.5 < Re < 3.0 \quad C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3.60}{Re^{0.313}} \quad (18)$$

todavia Davies, equação 13, aplica-se exatamente a essa região $0.05 < Re < 4.0$.

O procedimento de cálculo é o seguinte:

Verifica-se se o regime é de Stokes ($Re < 0.1$), através de 11, caso afirmativo, v é calculado por :

$$v = \frac{(\rho - \rho')gd^2}{18\eta} \quad 12$$

caso contrário, calcula-se

$$C_D Re^2 = \frac{4}{3}(\rho - \rho') \frac{\rho'gd^3}{\eta^2} \quad 14$$

e aplica-se a

$$v = \left(\frac{C_D Re^2}{24} - 2.3363 \times 10^{-4} (C_D Re^2)^2 + 2.0154 \times 10^{-6} (C_D Re^2)^3 - 6.9105 \times 10^{-9} (C_D Re^2)^4 \right) \frac{\eta}{\rho'g} \quad (13)$$

Nestes cálculos, contrariamente aos cálculos constantes na referência (1), usa-se a densidade do ar, para subtraí-la da partícula. Como se trabalha com partículas muito pequenas e estamos utilizando a correção de escorregamento, seria contraditório eliminar a densidade do ar dos cálculos.

Vale a pena citar o processo de cálculo, através do uso de tabelas, de H. Heywood (8), que se vale delas para diminuir a quantidade de cálculos algébricos.

Por último observe-se que as equações teóricas 14, 15, 17, 18, obtidas com hipóteses plausíveis, e que na prática, talvez por condições experimentais apresentem resultados piores que os obtidos com as equações 12 e 13. Além disso essas equações devidas a Schillar e Nauman e Goldstein, são resolvíveis através de método de tentativa e erro, pois para todas elas:

$$v = f[Re(v), C_D(v)]$$

ou seja para se calcular v é necessário o conhecimento de grandezas que dependem de v .

Allen (8) (pag.65) afirma que a não ser pela equação 13 todas as demais tem que ser resolvidas por tentativa e erro. Tal processo neste tipo de problema parece ser da envergadura a requerer um computador e não apenas uma calculadora. Talvez a criação de um projeto nesse sentido seja razoável.

IV. COMENTÁRIOS

Como dito no item 1, o fator de escorregamento tem importância menor, quanto maior o tamanho da partícula considerada. Decorre disso que deve existir um tamanho de partícula acima do qual o fator não mais se aplica.

Davies C.N. representou as equações 1 e 2 para cálculo do fator de escorregamento, mas não estabeleceu limites.

É prática usual desconsiderar-se para projetos o fator de escorregamento quando menor que 2%, o que corresponderia a aplicar a correção a partículas de diâmetro até aproximadamente 10μ :

A calculadora em uso consegue calcular a exponencial da fórmula 2 para um diâmetro máximo de 27μ , acima desse valor o resultado da exponenciação é considerada nulo.

A tabela apresentada por Corn (1) não faz menção a isso e prossegue calculando os valores. Neste programa a calculadora avisa que seu limite de cálculo foi ultrapassado, para que o usuário decida se prossegue nos cálculos ou não. O erro desse procedimento é muito pequeno pois quando isso ocorre a partícula já é bem maior que 10μ .

No que diz respeito à velocidade de sedimentação, coeficiente de difusão, mobilidade e tempo de relaxação, existe a correção pelo efeito de escorregamento, dependendo do tamanho da partícula; neste caso cabe ao usuário, (para limitar o tamanho do programa), efetuar a correção, multiplicando o valor obtido (de uma das grandezas citadas) pe!

lo fator de escorregamento.

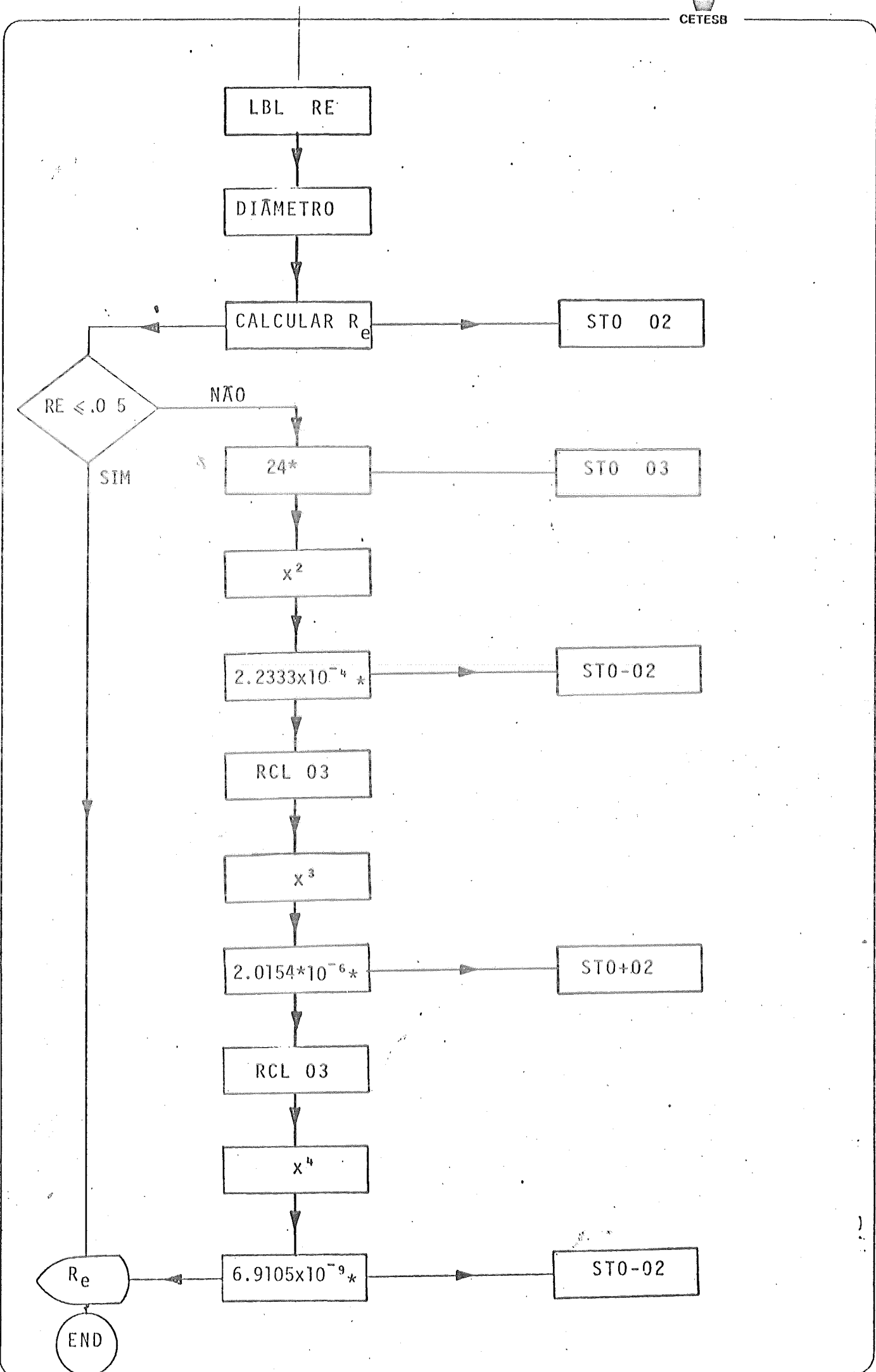
A velocidade de sedimentação é consistentemente menor que a dada pela referência (1) por que o programa corrige-a para a densidade do ar.

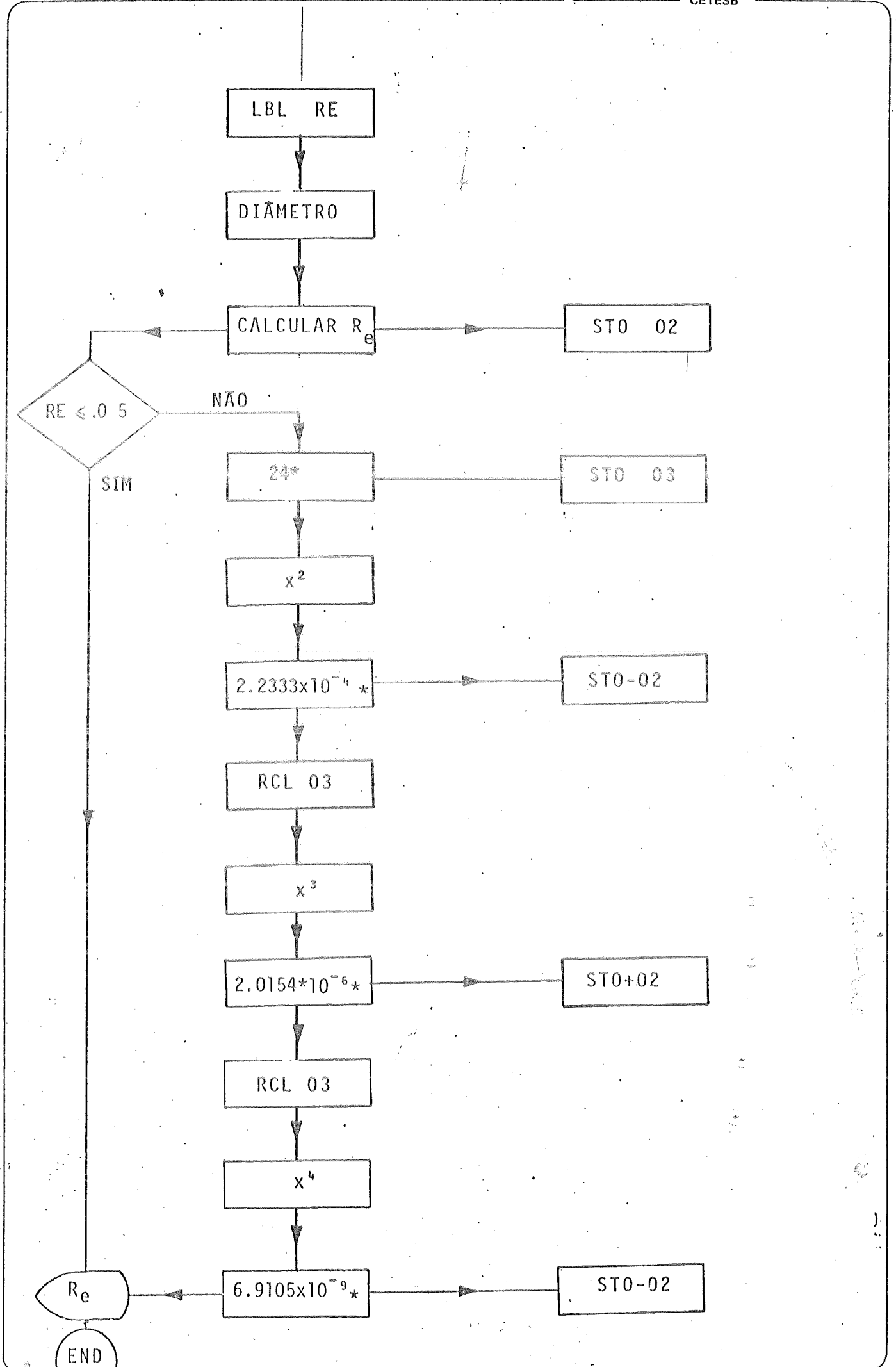
O produto final destes programas é a tabela 1 em anexo.

Em anexo encontram-se também as listagens dos programas usados na elaboração da tabela.

TABELA PARA USO EM FÍSICA DOS AEROSSÓIS

Diâmetro da Partícula (μ)	Fator Cunningham (Adimensional)	Número de Reynolds (Adimensional)	Coefficiente de Difusão (cm ² /seg)	Mobilidade (seg/g)	Tempo de Relaxação (seg)	Velocidade Terminal (cm/seg)	Velocidade Terminal Corrigida (cm/seg)	Coefficiente de Difusão Corrigido (cm ² /seg)	Mobilidade Corrigida (seg/g)	Tempo de Relaxação Corrigido (seg)
0.001	2.1497+02	2.0022-15	2.3545-4	5.8621+13	3.0694-12	3.0074-7	6.5261-7	5.1084-2	1.2719+12	6.6595-10
0.002	1.0877+02	1.6017-14	1.1772-4	2.9310+9	1.2277-11	1.2030-8	1.3084-6	1.2804-2	3.1830+11	1.3354-9
0.003	7.2700+01	5.4059-14	7.8482-5	1.9540+8	2.7624-11	2.7067-8	1.9678-6	5.7057-3	1.4206+11	2.0083-9
0.004	5.4668+01	1.2814-13	5.8862-5	1.4655+9	4.9110-11	4.8119-8	2.6306-6	3.2179-3	8.0117+10	2.6848-9
0.005	4.3850+01	2.5027-13	4.7089-5	1.1724+9	7.6734-11	7.5186-8	3.2969-6	2.0649-3	5.1410+10	3.3648-9
0.006	3.6638+01	4.3247-13	3.9241-5	9.7701+8	1.1050-10	1.0827-7	3.9567-6	1.4377-3	3.5796+10	4.0484-9
0.007	3.1488+01	6.8675-13	3.3635-5	8.3744+8	1.5040-10	1.4736-7	4.6401-6	1.0591-3	2.6369+10	4.7357-9
0.008	2.7625+01	1.0251-12	2.9431-5	7.3276+8	1.9644-10	1.9247-7	5.3171-6	8.1303-4	2.0242+10	5.4266-9
0.009	2.4621+01	1.4596-12	2.6161-5	6.5134+8	2.4862-10	2.4360-7	5.9977-6	6.4411-4	1.6037+10	6.1213-9
0.01	2.2218+01	2.0022-12	2.3545-5	5.8621+8	3.0694-10	3.0074-7	6.6820-6	5.2313-4	1.3025+10	6.8197-9
0.02	1.1415+01	1.6017-11	1.1772-5	2.9310+8	1.2277-9	1.2030-6	1.3732-5	1.3638-4	3.3459+9	1.4015-8
0.03	7.8247+00	5.4059-11	7.8482-6	1.9540+8	2.7624-9	2.7067-6	2.1179-5	6.1410-5	1.5290+9	2.1615-8
0.04	6.0366+00	1.2814-10	5.8862-6	1.4655+8	4.9110-9	4.8119-6	2.9047-5	3.5532-5	8.8467+8	2.9645-8
0.05	4.9690+00	2.5027-10	4.7089-6	1.1724+8	7.6734-9	7.5186-6	3.7360-5	2.3399-5	5.8257+8	3.8129-8
0.06	4.2613+00	4.3247-10	3.9241-6	9.7701+7	1.1050-8	1.0827-5	4.6136-5	1.6722-5	4.1634+8	4.7087-8
0.07	3.7591+00	6.8675-10	3.3635-6	8.3744+7	1.5040-8	1.4736-5	5.5395-5	1.2644-5	3.1480+8	5.6536-8
0.08	3.3849+00	1.0251-9	2.9431-6	7.3276+7	1.9644-8	1.9247-5	6.5151-5	9.9621-6	2.4803+8	6.6493-8
0.09	3.0960+00	1.4596-9	2.6161-6	6.5134+7	2.4862-8	2.4360-5	7.5420-5	8.0994-6	2.0166+8	7.6973-8
0.1	2.8667+00	2.0022-9	2.3545-6	5.8621+7	3.0694-8	3.0074-5	8.6212-5	6.7494-6	1.6805+8	8.7988-8
0.2	1.8693+00	1.6017-8	1.1772-6	2.9310+7	1.2277-7	1.2030-4	2.2487-4	2.2006-6	5.4789+9	2.2950-7
0.3	1.5611+00	5.4059-8	7.8482-7	1.9540+7	2.7624-7	2.7067-4	4.2255-4	1.2252-6	3.0505+7	4.3125-7
0.4	1.4149+00	1.2814-7	5.8862-7	1.4655+7	4.9110-7	4.8119-4	6.8083-4	8.3284-7	2.0736+7	6.9486-7
0.5	1.3299+00	2.5027-7	4.7089-7	1.1724+7	7.6734-7	7.5186-4	9.9988-4	6.2623-7	1.5592+7	1.0205-6
0.6	1.2742+00	4.3247-7	3.9241-7	9.7701+6	1.1050-6	1.0827-3	1.3795-3	5.0000-7	1.2449+7	1.4079-6
0.7	1.2347+00	6.8675-7	3.3635-7	8.3744+6	1.5040-6	1.4736-3	1.8195-3	4.1530-7	1.0340+7	1.8570-6
0.8	1.2053+00	1.0251-6	2.9431-7	7.3276+6	1.9644-6	1.9247-3	2.3199-3	3.5672-7	8.8318+6	2.3677-6
0.9	1.1824+00	1.4596-6	2.6161-7	6.5134+6	2.4862-6	2.4360-3	2.8804-3	3.0933-7	7.7017+6	2.9398-6
1	1.1642+00	2.0022-6	2.3545-7	5.8621+6	3.0694-6	3.0074-3	3.5012-3	2.7410-7	6.8245+6	3.5733-6
2	1.0621+00	1.6017-5	1.1772-7	2.9310+6	1.2277-5	1.2030-2	1.3017-2	1.2739-7	3.1716+6	1.3285-5
3	1.0547+00	5.4059-5	7.8482-8	1.9540+6	2.7624-5	2.7067-2	2.8548-2	8.2777-8	2.0609+6	2.9136-5
4	1.0410+00	1.2814-4	5.8862-8	1.4655+6	4.9110-5	4.8119-2	5.0094-2	6.1277-8	1.5257+6	5.1125-5
5	1.0328+00	2.5027-4	4.7089-8	1.1724+6	7.6734-5	7.5186-2	7.7654-2	4.8635-8	1.2109+6	7.9254-5
6	1.0274+00	4.3247-4	3.9241-8	9.7701+5	1.1050-4	1.0827-1	1.1123-1	4.0315-8	1.0037+6	1.1352-4
7	1.0235+00	6.8675-4	3.3635-8	8.3744+5	1.5040-4	1.4736-1	1.5082-1	3.4424-8	8.9708+5	1.5393-4
8	1.0205+00	1.0251-3	2.9431-8	7.3276+5	1.9644-4	1.9247-1	1.9642-1	3.0035-8	7.4779+5	2.0047-4
9	1.0182+00	1.4596-3	2.6161-8	6.5134+5	2.4862-4	2.4360-1	2.4804-1	2.6638-8	6.6322+5	2.5315-4
10	1.0164+00	2.0022-3	2.3545-8	5.8621+5	3.0694-4	3.0074-1	3.0568-1	2.3931-8	5.9580+5	3.1198-4
20	1.0082+00	1.6017-2	1.1772-8	2.9310+5	1.2277-3	1.2004+0	1.2162+0	1.1869-8	2.9551+5	1.2378-3
30	1.0055+00	5.3670-2	7.8482-9	1.9540+5	2.7624-3	2.6872+0	2.7019+0	7.8912-9	1.9647+5	2.7775-3
40	1.0041+00	1.2599-1	5.8862-9	1.4655+5	4.9110-3	4.7311+0	4.7505+0	5.9103-9	1.4715+5	4.9311-3
50	1.0033+00	2.4227-1	4.7089-9	1.1724+5	7.6734-3	7.282+0	7.3021+0	4.7244-9	1.1763+5	7.6986-3
60	1.0027+00	4.0947-1	3.9241-9	9.7701+4	1.1050-2	1.0251+1	1.0279+1	3.9348-9	9.7968+4	1.1080-2
70	1.0023+00	6.3179-1	3.3635-9	8.3744+4	1.5040-2	1.3557+1	1.3589+1	3.3714-9	8.3940+4	1.5075-2
80	1.0021+00	9.1118-1	2.9431-9	7.3276+4	1.9644-2	1.7108+1	1.7143+1	2.9491-9	7.3426+4	1.9684-2
90	1.0018+00	1.2491+0	2.6161-9	6.5134+4	2.4862-2	2.0848+1	2.0886+1	2.6208-9	6.5253+4	2.4907-2
100	1.0016+00	1.6495+0	2.3545-9	5.8621+4	3.0694-2	2.4777+1	2.4817+1	2.3583-9	5.9717+4	3.0744-2
110	1.0015+00	2.1209+0	2.1404-9	5.3291+4	3.7139-2	2.8961+1	2.9004+1	2.1436-9	5.5771+4	3.7195-2







Program Listing

Program Title CÁLCULO DO NÚMERO DE REYNOLDS

Date _____

Name RE

REGISTERS

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A	B	C	D	E					I

LABELS

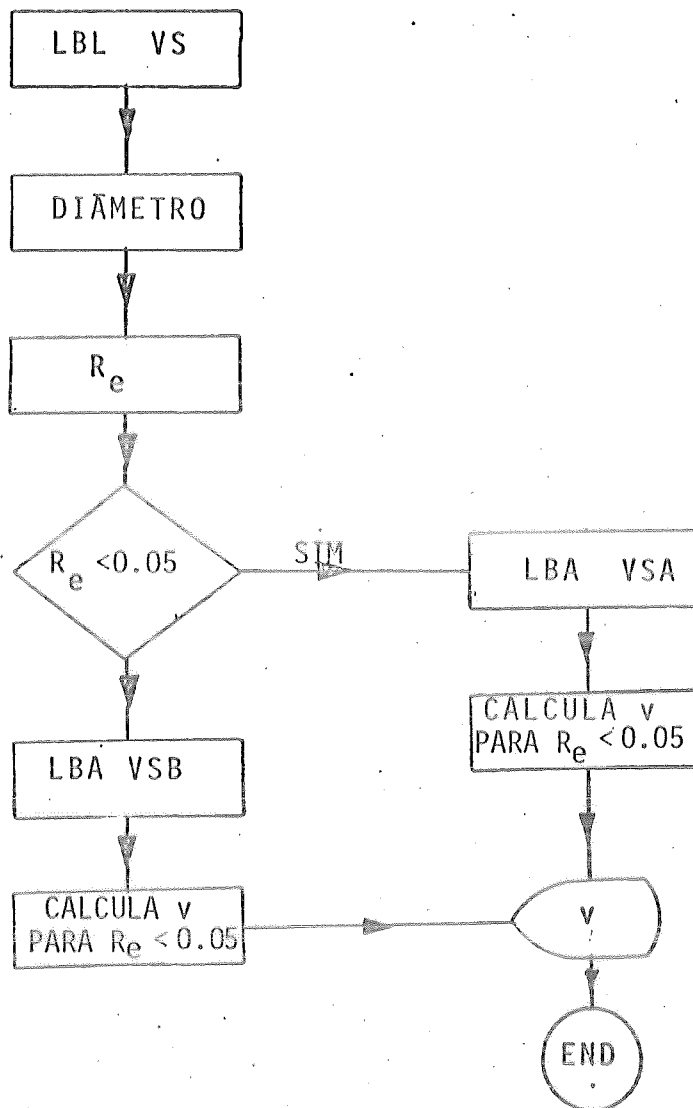
FLAGS

SET STATUS

A	B	C	D	E	0	SET STATUS	
a	b	c	d	e	1	FLAGS	TRIG
0	1	2	3	4	2	ON OFF	DISP
5	6	7	8	9	3	0 <input type="checkbox"/> ON <input type="checkbox"/> OFF	DEG <input type="checkbox"/>
						1 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	GRAD <input type="checkbox"/>
						2 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	RAD <input type="checkbox"/>
						3 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	FIX <input type="checkbox"/>
							SCI <input type="checkbox"/>
							ENG <input type="checkbox"/>
							n _____

STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY
------	-----------	------	-----------	------	-----------

001	101 DE
	DECRESC
	DECRESC
	102
	103
	104
	105
	106
	107
	108
	109
010	X
	110
	111
	112
	113
	114
	115
	116
	117
	118
	119
	120
	121
	122
	123
	124
	125
	126
	127
	128
	129
020	130
	131
	132
	133
	134
	135
	136
	137
	138
	139
	140
	141
	142
	143
	144
	145
	146
	147
	148
	149
	150
	151
	152
	153
	154
	155
	156
	157
	158
	159
030	160
	161
	162
	163
	164
	165
	166
	167
	168
	169
	170
	171
	172
	173
	174
	175
	176
	177
	178
	179
	180
	181
	182
	183
	184
	185
	186
	187
	188
	189
	190
	191
	192
	193
	194
	195
	196
	197
	198
	199
	200
	201
	202
	203
	204
	205
	206
	207
	208
	209
	210
	211
	212
	213
	214
	215
	216
	217
	218
	219
	220
	221
	222
	223
	224
	225
	226
	227
	228
	229
	230
	231
	232
	233
	234
	235
	236
	237
	238
	239
	240
	241
	242
	243
	244
	245
	246
	247
	248
	249
	250
	251
	252
	253
	254
	255
	256
	257
	258
	259
	260
	261
	262
	263
	264
	265
	266
	267
	268
	269
	270
	271
	272
	273
	274
	275
	276
	277
	278
	279
	280
	281
	282
	283
	284
	285
	286
	287
	288
	289
	290
	291
	292
	293
	294
	295
	296
	297
	298
	299
	300
	301
	302
	303
	304
	305
	306
	307
	308
	309
	310
	311
	312
	313
	314
	315
	316
	317
	318
	319
	320
	321
	322
	323
	324
	325
	326
	327
	328
	329
	330
	331
	332
	333
	334
	335
	336
	337
	338
	339
	340
	341
	342
	343
	344
	345
	346
	347
	348
	349
	350
	351
	352
	353
	354
	355
	356
	357
	358
	359
	360
	361
	362
	363
	364
	365
	366
	367
	368
	369
	370
	371
	372
	373
	374
	375
	376
	377
	378
	379
	380
	381
	382
	383
	384
	385
	386
	387
	388
	389
	390
	391
	392
	393
	394
	395
	396
	397
	398
	399
	400
	401
	402
	403
	404
	405
	406
	407
	408
	409
	410
	411
	412
	413
	414
	415
	416
	417
	418
	419
	420
	421
	422
	423
	424
	425
	426
	427
	428
	429
	430
	431
	432
	433
	434
	435
	436
	437
	438
	439
	440
	441
	442
	443
	444
	445
	446
	447
	448
	449
	450
	451
	452
	453
	454
	455
	456
	457
	458
	459
	460
	461
	462
	463
	464
	465
	466
	467
	468
	469
	470
	471
	472
	473
	474
	475
	476
	477
	478
	479
	480
	481
	482
	483
	484
	485
	486
	487
	488
	489
	490
	491
	492
	493
	494
	495
	496
	497
	498
	499
	500
	501
	502
	503
	504
	505
	506
	507
	508
	509
	510
	511
	512
	513
	514
	515
	516
	517
	518
	519
	520
	521
	522
	523
	524
	525
	526
	527
	528
	529
	530
	531
	532
	533
	534
	535
	536
	537
	538
	539
	540
	541
	542
	543
	544
	545
	546
	547
	548
	549
	550
	551
	552
	553
	554
	555
	556
	557
	558
	559
	560
	561
	562
	563
	564
	565
	566
	567
	568
	569
	570
	571
	572
	573
	574
	575
	576
	577
	578
	579
	580
	581
	582
	583
	584
	585
	586
	587
	588
	589
	590
	591
	592
	593
	594
	595
	596
	597
	598
	599
	600
	601
	602
	603
	604
	605
	606
	607
	608
	609
	610
	611
	612
	613
	614
	615
	616
	617
	618
	619
	620
	621
	622
	623
	624
	625
	626
	627
	628
	629
	630
	631
	632
	633
	634
	635
	636
	637
	638
	639
	640
	641
	642
	643
	644
	645
	646
	647
	648
	649
	650
	651
	652
	653
	654
	655
	656
	657
	658
	659
	660
	661
	662
	663
	664
	665
	666
	667
	668
	669
	670
	671
	672
	673
	674
	675
	676
	677
	678
	679
	680
	681
	682
	683
	684
	685
	686
	687
	688
	689
	690
	691
	692
	693
	694
	695
	696
	697
	698
	699
	700
	701
	702
	703
	704
	705
	706
	707
	708
	709
	710
	711
	712
	713
	714
	715
	716
	717
	718
	719
	720
	721
	722
	723
	724
	725
	726
	727
	728
	729
	730
	731
	732
	733
	734
	735
	736
	737
	738
	739
	740
	741
	742
	743





CETESB

Programa de Trabalho Mensúario

.18.

Program Title CÁLCULO DA VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO

Date _____

Name VS

REGISTERS

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A		B		C		D		E	
LABELS					FLAGS		SET STATUS		
A	B	C	D	E	0	FLAGS		SET STATUS	
a	b	c	d	e	1	ON OFF		TRIG	
0	1	2	3	4	2	0	<input type="checkbox"/>	DEG	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	3	1	<input type="checkbox"/>	GRAD	<input type="checkbox"/>
2	3	4	5	6	3	2	<input type="checkbox"/>	RAD	<input type="checkbox"/>
3	4	5	6	7	3	3	<input type="checkbox"/>	ENG	<input type="checkbox"/>
								n	_____

STEP	KEY ENTRY
001	LBL VS
	D=H*E/DU
	PROMPT
	10^9
	*
	STO 01
	3
	Y*
	1
010	4
	1.205x10^5
	-
	K
	1.205x10^5
	*
	981
	*
	1.810x10^9
	X^2
020	÷
	4
	*
	3
	÷
	STO 02
	0.05
	X<=>Y
	KEY?
	GTO VSA
030	GTO VSB
	LBL VSA
	RCL 02
	1.810x10^9
	*
	24
	÷
	RCL 01
	-
	1.205x10^5
040	÷
	GTO VSB
	LBL VSB
	RCL 02
	24
	÷
	STO 03
	RCL 02
	X^2
050	2.235x10^9
	*

STEP	KEY ENTRY
	STO 03
	RCL 02
	3
	Y*
	2.015x10^6
	*
	STO 03
	RCL 02
	4
060	Y*
	6.9105x10^1
	*
	CVS
	1.203
	+
	1.813x10^4
	*
	1.205x10^5
	÷
070	RCL 01
	÷
	GTO VSB
	LBL VSB
	5314
	V=
	ARCL X
	AVIEW
	END
080	
090	
100	

STEP	KEY ENTRY
110	
120	
130	
140	
150	

COMMENTS

STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY
160		190	
170		200	
180		210	
		220	

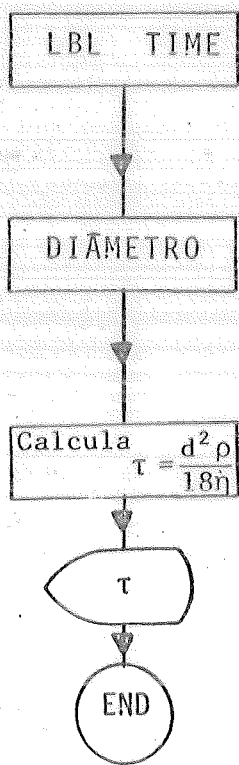
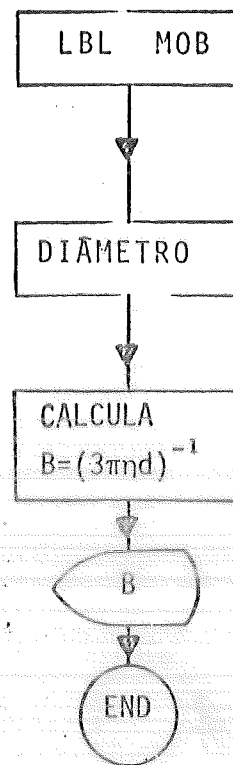
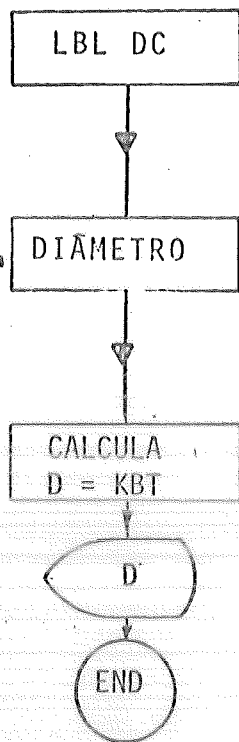


CETESB

Name

Code

STEP	INSTRUCTIONS	INPUT DATA/UNITS	KEYS	OUTPUT DATA/UNITS
1	...			
2	...			
3	...			
4	...			
5	...			
6	...			
7	...			
8	...			
9	...			
10	...			
11	...			
12	...			
13	...			
14	...			
15	...			
16	...			
17	...			
18	...			
19	...			
20	...			
21	...			
22	...			
23	...			
24	...			
25	...			
26	...			
27	...			
28	...			
29	...			
30	...			
31	...			
32	...			
33	...			
34	...			
35	...			
36	...			
37	...			
38	...			
39	...			
40	...			
41	...			
42	...			
43	...			
44	...			
45	...			
46	...			
47	...			
48	...			
49	...			
50	...			





Programação Ilustrada

Program Title EXECUÇÃO AUTOMÁTICA E CONTÍNUA DO PROGRAMA Date _____
 Name VELOCIDADE TERMINAL DE QUEDA CORRIGIDA

REGISTERS

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A		B		C		D		E	
LABELS					FLAGS		SET STATUS		
A	B	C	D	E	0	FLAGS		SET STATUS	
a	b	c	d	e	1	ON	OFF	DEG	FIX
0	1	2	3	4	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRAD	SCI
2	3	4	5	6	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RAD	ENG
3	4	5	6	7	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		n

STEP	KEY ENTRY
01	LPL CV
	RCL01
	XEQ S0
	0.009x10 ⁻⁴
	RCL01
	X<Y?
	GTO 10
	GTO 20
	LBL 10
10	RCL01
	0.001x10 ⁻⁴
	+
	STOD1
	GTO CV
	LBL 20
	0.03x10 ⁻⁴
	RCL01
	X<Y?
	GTO 20
20	GTO 40
	LBL 30
	RCL01
	2.01x10 ⁻⁴
	+
	STOD1
	GTO CV
	LBL 40
	0.9x10 ⁻⁴
	RCL01
	X<Y?
	GTO 50
	GTO 60
	LBL 50
	RCL01
	0.1x10 ⁻⁴
	+
	STOD1
	GTO CV
	LBL 60
30	9x10 ⁻⁴
	RCL01
	X<Y?
	GTO 70
	GTO 80
	LBL 70
	RCL01
	1x10 ⁻⁴
	+
	STOD1
40	GTO CV

STEP	KEY ENTRY
	LBL 80
	110x10 ⁻⁴
	RCL01
	X<Y?
	GTO 90
	GTO 91
	LBL 90
	RCL01
	10x10 ⁻⁴
60	+
	STOD1
	GTO CV
	LBL 91
	END
70	
80	
90	
100	

STEP	KEY ENTRY
	LBL SC
	RCL01
	27x10 ⁻⁴
	X>Y?
	GTO SCA
	GTO SCA
	LBL SCA
	RCL01
	1.1
110	X
	2
	+
	6.53x10 ⁻⁶
	÷
	CHS
	Q*
	0.400
	X
	1.257
120	+
	2
	X
	GTO SCC
	LBL SCB
	T D FORADE
	AVIEW
	PSE
	T FAIXA
	AVIEW
130	PSE
	*PROSEQUE
	AVIEW
	PSE
	SIM=1 N20=0
	AVIEW
	PSE
	ENTRE 1000
	PROMPT
	X=0?
140	GTO SC
	GTO SCB
	LBL SCB
	2.514
	GTO SCC
	LBL SCC
	RCL01
	+
	6.53x10 ⁻⁶
150	X

COMMENTS

STEP	KEY ENTRY
	+
	SCI 4
	T C=
	ARCL X
	AVIEW
	PSE
	XEQ SV
	RTN
160	
170	
180	
190	
200	
210	
220	

STEP	KEY ENTRY
190	
200	
210	
220	

Programação Usando

Program Title EXECUÇÃO AUTOMÁTICA E CONTINUA DO PROGRAMA Date _____

Name VELOCIDADE TERMINAL DE QUEDA CORRIGIDA

REGISTERS

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9		
A		B		C		D		E			
LABELS					FLAGS		SET STATUS				
A	B	C	D	E	0	FLAGS		TRIG		DISP	
a	b	c	d	e	1	ON OFF					
0	1	2	3	4	2	0	<input type="checkbox"/>	DEG	<input type="checkbox"/>	FIX	<input type="checkbox"/>
						1	<input type="checkbox"/>	GRAD	<input type="checkbox"/>	SCI	<input type="checkbox"/>
						2	<input type="checkbox"/>	RAD	<input type="checkbox"/>	ENG	<input type="checkbox"/>
						3	<input type="checkbox"/>			n	_____

STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY
001	LPLV RCL01 3 Yx ↑ 1.205x10 ⁻³		RCL03 + 1.810x10 ⁻⁴ X 1.205x10 ⁻³ ÷ RCL01 + G10RCLP SCI4		
010	X 981 * 1.510x10 ⁻⁴ x ÷ 4 X 3 ÷	050	ARCX AVIEW PBE RTN	110	
020	STO02 0.05 X=BY YZY G10VSA G10VSB LCLVSA RCL02 1.810x10 ⁻⁴	070		120	
030	X 29 ÷ STO03 RCL02 x ² 2.3263x10 ⁻⁴ X STO-03 RCL02	080		130	
040	3 Yx 2.0184x10 ⁻⁶ X STO+03 RCL02 4 Yx 6.9105x10 ⁻⁹ X	090		140	
050	CHS	100		150	

COMMENTS

STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY
		190	
		200	
		210	
		220	

APÊNDICE 1

Caso se deseje gerar a tabela I completa, é melhor ter um processo contínuo ao invés de gerar cada número individualmente. Neste apêndice, um programa genérico ABC é rodado, automaticamente, gerando cada linha da tabela I.

Sendo:

$$A B C = F (AB, BC)$$

onde:

AB é o programa que gera os valores ai bi

BC é o programa que gera os valores bi ci

F é a função que permite obter o valor ai bi ci tal que
 $ai bi ci = F (ai bi, bi ci)$

Suponhamos que ABC seja a Velocidade Terminal de Queda corrigida (VTQC), portanto AB e BC serão Velocidade Terminal (VT) e Fator de Correção de Cunningham (FC), a ordem não interfere.

Então:

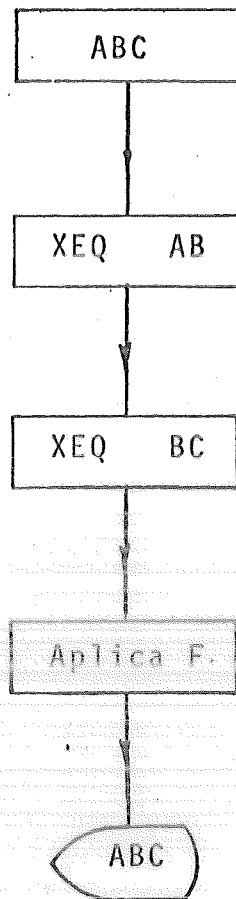
$$VTQC = (VT) \times (FC)$$

Este programa calcula a velocidade terminal para uma dada partícula; calcula o correspondente fator de correção; multiplica-os; mostra o resultado, durante o tempo que se desejar e executa novamente o programa para os outros diâmetros.

Os valores dos diâmetros entram automaticamente, o programa roda automaticamente e recomeça com outro diâmetro também automaticamente.

Isto elimina o erro de entrada do número e economiza tempo de execução.

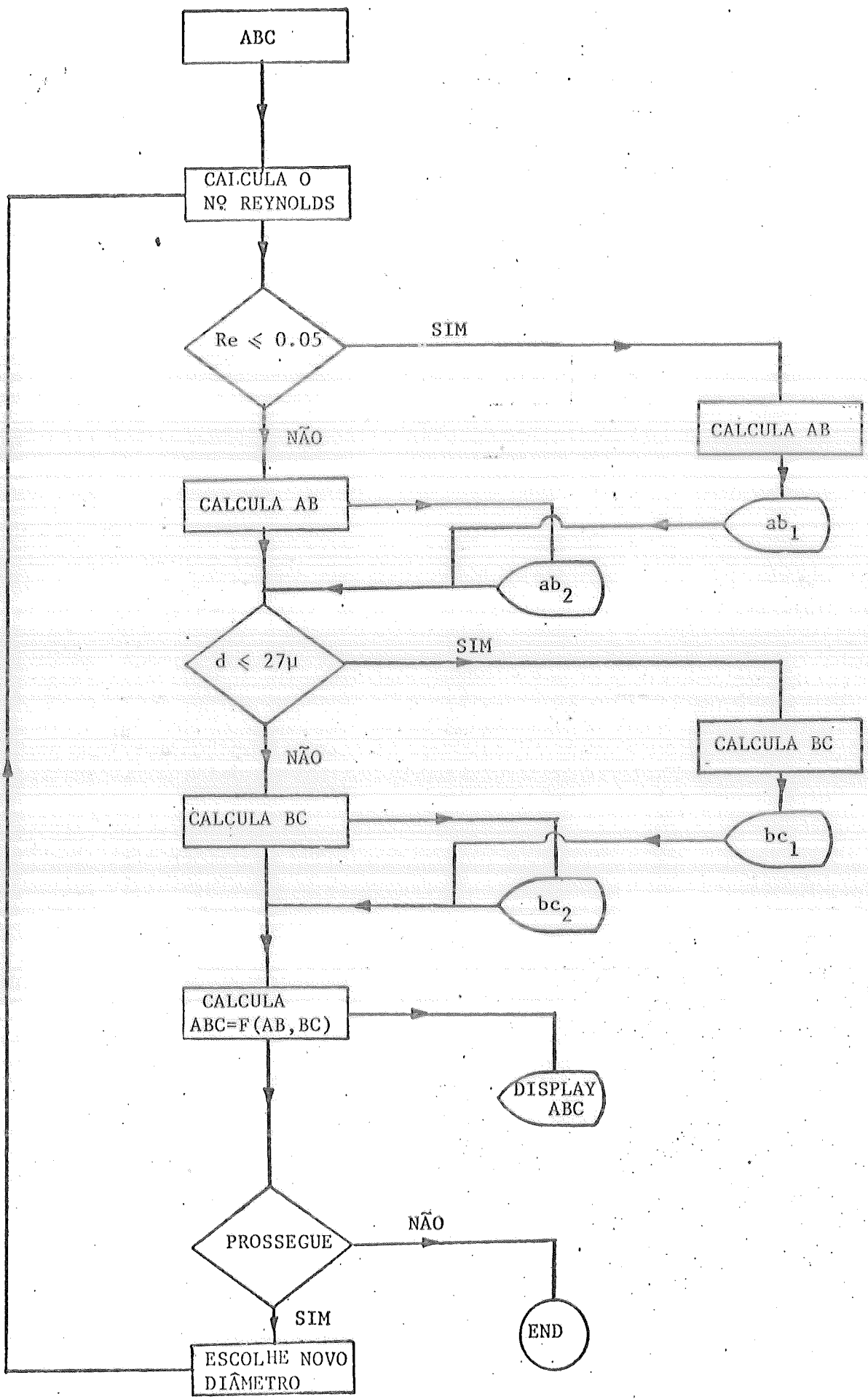
Um diagrama de blocos genérico fica assim:



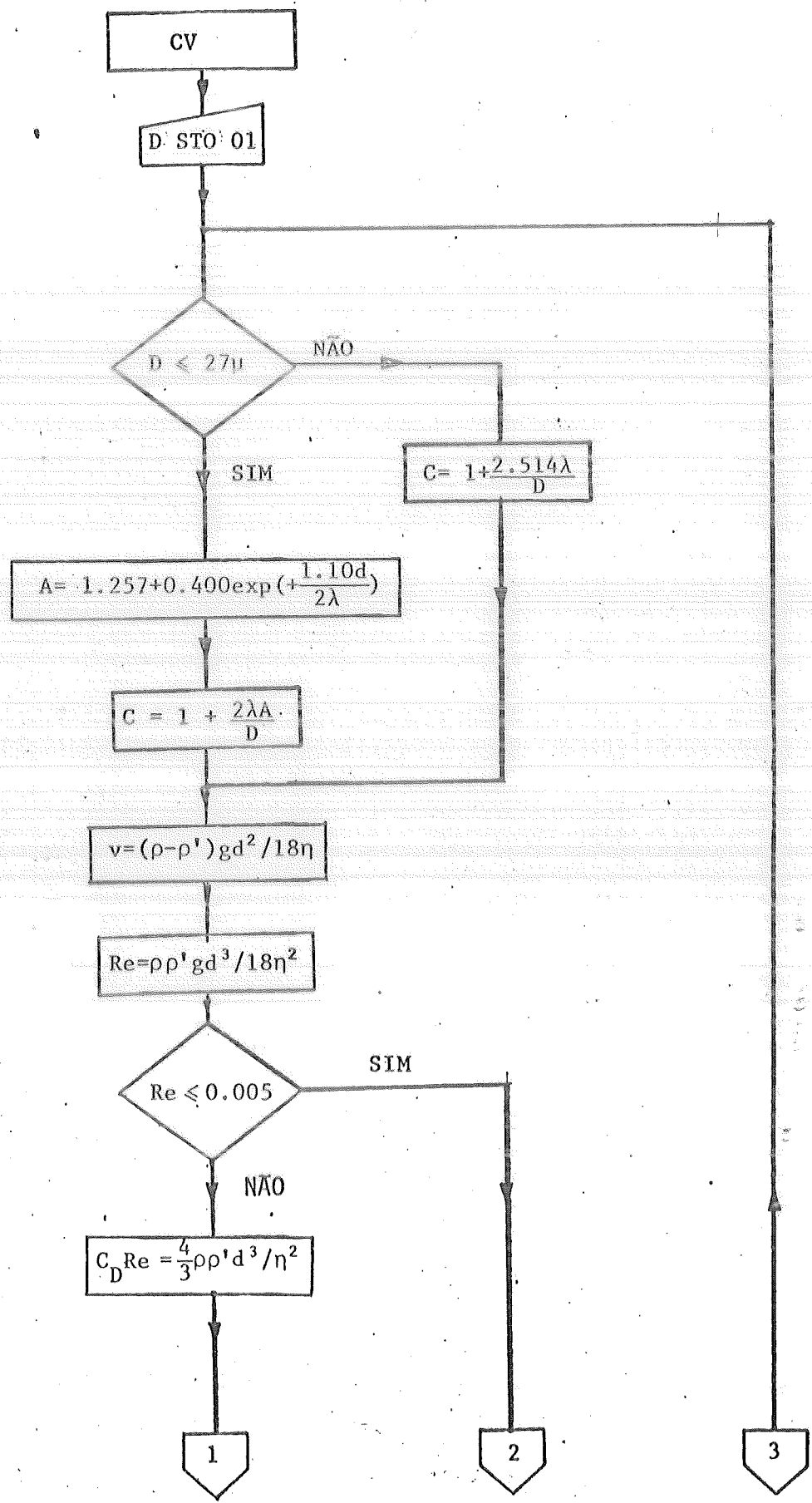
A parte maior deste programa é : a escolha dos diâmetros, feita dentro de um critério e a escolha das fórmulas a usar, feita de acordo com a teoria de Comportamento de Pequenas Partículas.

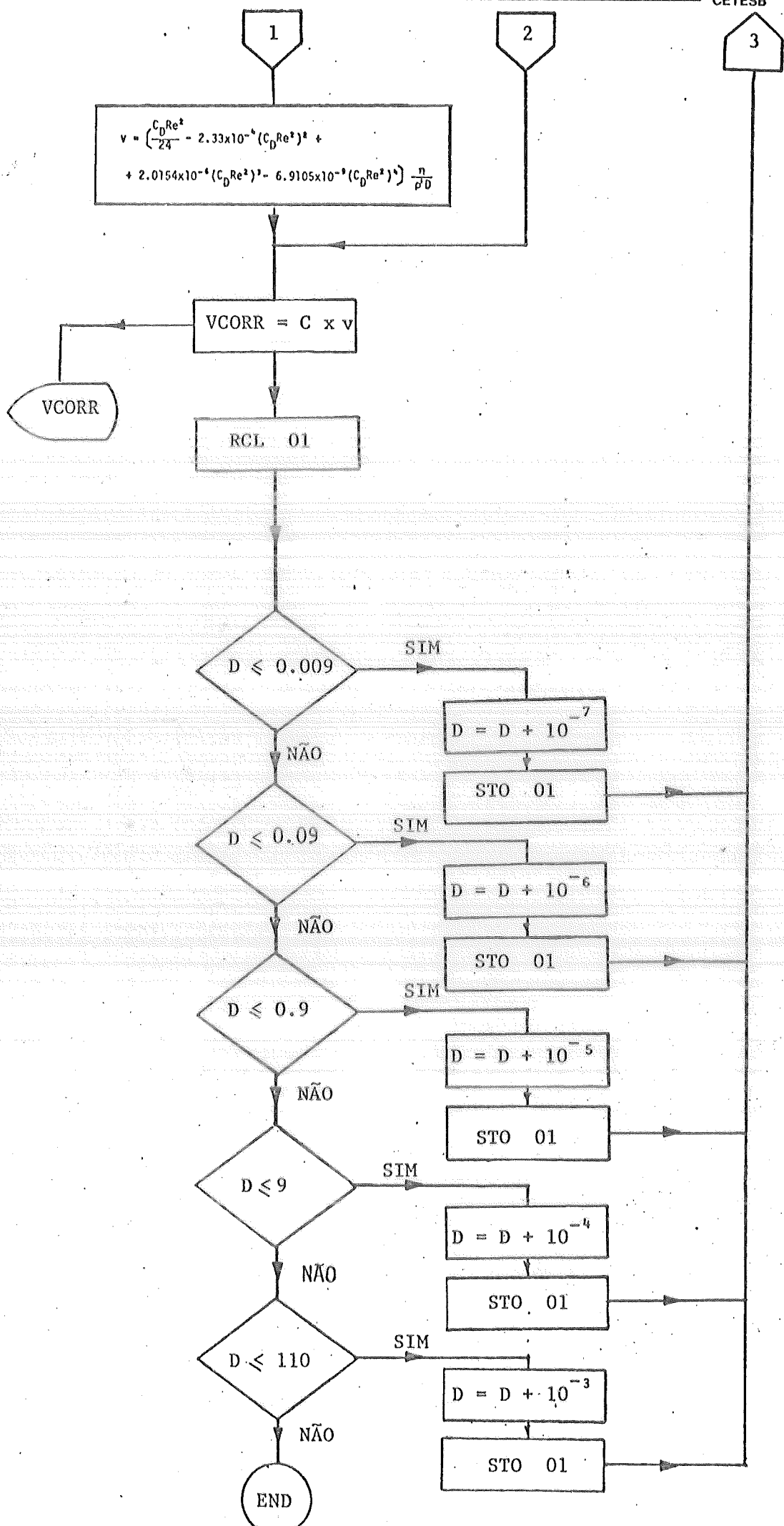
A teoria fixa as fórmulas em função do número de Reynolds e em função do tamanho da partícula, duas condições possíveis de serem programadas.

O diagrama de blocos seguinte mostra como as condições dos dois parágrafos anteriores são impostas.



O diagrama de blocos para o exemplo citado, Velocidade Terminal de Queda Corrigida, fica:





Este programa pode ser interrompido e recomeçado mas quando se deseja entrar novamente um valor de diâmetro já calculado, o programa não consegue voltar e interrompe sua execução.

Para recálculo de algum valor não anotado, deve-se esperar o programa terminar ou reposicionar a memória da calculadora no ponto apropriado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Manual on Aerosol Properties - Morton Corn
2. Particle Size Analysis - Z.K. Jelinek
3. Miguel A.H. e Natusch D.F.S. - Diffusion Cell for the Preparation of Dilute Vapor Concentrations, Analytical Chemistry, vol 47, nº 9, Aug 1975, pp 1706/7.
4. Aula - Klaus Willek
5. Aerosol Science - C.N. Davies
6. C. Oseen - Neue Methoden und Ergebnisse in der Hydrodynamik, sec 16, Leipzig 1927.
7. L. Schiller and L.A. Naumann, Zeit, vol. Ing., 77: 318 (1933).
8. Particle Size Measurement - Terence Allen Chapman and Hall.

BIBLIOGRAFIA

1. Cascade Impactor Data Reduction with SR-52 and TI-59 Programable Calculator EPA-600/7-78-226 Leslie E. Sparks.
2. Curso de Amostragem de Chaminé - Apostila - Joseph Mc Cain - Cetesb - 1984.

PA 5- CÁLCULO DA VISCOSIDADE DE MISTURAS GASOSAS

INTRODUÇÃO

A viscosidade de misturas gasosas pode ser calculada, a partir da viscosidade dos componentes da mistura, por meio de uma equação desenvolvida por Wilke, descrita em (1). Essa grandeza é importante no cálculo de diversos parâmetros relativos a amostragem de poluentes em fluxo gasoso, especialmente partículas de tamanho pequeno, para as quais o fator de Cunningham tem grande influência e depende em muito da viscosidade do gás (1).

O objetivo deste trabalho é apresentar um programa que calcule a viscosidade em poise, de produtos de combustão.

METODOLOGIA

A viscosidade da mistura é dada por :

$$\mu = \sum_{i=1}^5 \frac{v_i}{1 + \frac{1}{f_i} \sum_{j=1}^{j/i} (f_j \phi_{ij})} \times 10^{-6} \quad (I)$$

com:

$$\phi_{ij} = \frac{\left(1 + \left(\frac{v_i}{v_j} \right)^{1/2} \left(\frac{w_j}{w_i} \right)^{1/4} \right)^2}{\frac{4}{\sqrt{2}} \left(1 + \left(\frac{w_i}{w_j} \right) \right)^{1/2}} \quad (II)$$

onde :

v_i = viscosidade de cada componente gasoso (g/cm.seg)

i = índice referente a cada componente da mistura gasosa

1 - Dióxido de Carbono

2 - Monóxido de Carbono

3 - Nitrôgenio

4 - Oxigênio

5 - Água

f_i = frações em base úmida de cada componente da mistura

w_i = peso molecular de cada componente da mistura

Obs.: Para $f_i = 0$ adotar $f_i = 10^{-20}$

A viscosidade de cada componente gasoso é dada, em função da temperatura segundo a edição 42 do Handbook of Chemistry and Physics, citado em (1) por :

$$v_1 = 138.494 + 0.499T - 0.267 \times 10^{-3} T^2 + 0.972 \times 10^{-7} T^3 \quad (\text{III})$$

$$v_2 = 165.763 + 0.442T - 0.213 \times 10^{-3} T^2 \quad (\text{IV})$$

$$v_3 = 167.086 + 0.417T - 0.139 \times 10^{-3} T^2 \quad (\text{V})$$

$$v_4 = 190.187 + 0.558T - 0.336 \times 10^{-3} T^2 + 0.139 \times 10^{-6} T^3 \quad (\text{VI})$$

$$v_5 = 87.800 + 0.347T + 0.238 \times 10^{-4} T^2 \quad (\text{VII})$$

onde :

v_i = viscosidade em (g/cm.seg) de cada componente gasoso

T = temperatura em ($^{\circ}$ C)

Com estas fórmulas completam-se os dados necessários ao cálculo da viscosidade da mistura.

Em anexo são apresentados um exemplo numérico, o diagrama de blocos, o mapa das memórias e a listagem do programa.

Há também um apêndice cujo objetivo é prover um meio de se acompanhar a execução do programa, vide pág. 7.

COMENTÁRIOS

O programa apresentado calcula através de "loops" os valores de cada somatória, como existem dois índices, i e j, logicamente existe uma espécie de ninho de "DO" do FORTRAN.

A primeira tentativa de realização deste programa, foi através da execução a partir da fórmula totalmente desenvolvida, que facilitaria muito mais a compreensão do programa, para quem o acompanhasse através da listagem, dando também uma visão mais geral da solução do problema, para quem o utilizasse. Executado dessa forma, o programa levava, o que pareceu na ocasião, um tempo muito longo.

Foi então tentada a execução através de ninhos de "DO". O tempo de execução ficou praticamente de mesma ordem de grandeza, até um pouco maior. Porém como o tamanho do programa foi muito diminuído, reduzindo-se a aproximadamente 1/3 do tamanho inicial, preferiu-se esta solução, por deixar espaço de memória para a gravação de outros programas a serem utilizados em conjunto com este e pela economia de cartões decorrente, no caso em que se deseje gravá-lo em cartão, para uso posterior.

O programa permite interrupção e continuação posterior, sem ocasionar erros, todavia como se trata de execução através de "loops", fica muito difícil a correção de dados introduzidos errados. Quando isto ocorrer, o melhor é recomençar o programa com os dados corretos.

O programa não transforma dados de porcentagem em fração volumétrica dos componentes da mistura, por isso, há que introduzi-los já na forma de fração. O programa também não verifica se as frações somadas dão 1, portanto deve-se verificar a soma antes de entrar dados.

Caso se deseje eliminar essa possível causa de erros deve-se introduzir os seguintes passos, num bloco único, imediatamente depois do passo número 151 da listagem:

RCL 29

+

RCL 28

+

RCL 27

+

RCL 26

+

1

-

x = 0 ?

GTO ERRO

Coloca-se a sub rotina ERRO, no final, imediatamente antes do END existente no passo 219, como se segue :

```

LBL "ERRO"
  "ERRO NA"
  AVIEW
  PSE
"COMPOSIÇÃO"
  AVIEW
  PSE
"DOS GASES"
  AVIEW
  PSE
GTO PREX

```

com essas alterações o programa fica cerca de 10% mais longo.

Não foram encontradas em (1) limitações para uso da fórmula da viscosidade, todavia a citação original da fórmula da viscosidade foi feita no Manual CRC da 41.^a edição, (Handbook of Chemistry and Physics, páginas 2188 a 2192) que por não ser disponível não pode ser consultado. Assume-se que para gases de chaminé em temperaturas comuns de chaminés, a fórmula seja válida.

EXEMPLO NUMÉRICO

$$T = 150^{\circ}\text{C}$$

$$F_1 = 0.01$$

$$F_2 = 0.01$$

$$F_3 = 0.70$$

$$F_4 = 0.18$$

$$F_5 = 0.10$$

$$\text{VIS} = 206.1 \times 10^{-6} \text{ poise}$$



Para obter a viscosidade individual dos componentes da mistura, chamar as memórias R01 a R06 e multiplicar o valor obtido por 10^{-6} para obter os resultados em poise.

$$R01 - v_1 = 207.7 \times 10^{-6} \text{ poise}$$

$$R02 - v_2 = 227.3 \times 10^{-6} \text{ poise}$$

$$R03 = v_3 = 226.5 \times 10^{-6} \text{ poise}$$

$$R04 = v_4 = 266.8 \times 10^{-6} \text{ poise}$$

$$R05 = v_5 = 144.4 \times 10^{-6} \text{ poise}$$

MAPA DAS MEMÓRIAS

REG.			
00	VISCOSIDADE x 10 ⁶	23	\emptyset_{52}
01	v_1	24	\emptyset_{53}
02	v_2	25	\emptyset_{54}
03	v_3	26	w_1 / f_1
04	v_4	27	w_2 / f_2
05	v_5	28	w_3 / f_3
06	T / \emptyset_{12}	29	w_4 / f_4
07	T^2 / \emptyset_{13}	30	w_5 / f_5
08	T^3 / \emptyset_{14}	31	i para v
09	\emptyset_{15}	32	j para v
10	\emptyset_{21}	33	(w_i/w_j)
11	\emptyset_{23}	34	i para w
12	\emptyset_{24}	35	j para w
13	\emptyset_{25}	36	contador para loop até 5
14	\emptyset_{31}	37	registro indireto de \emptyset_{ij}
15	\emptyset_{32}	38	registro indireto para o f_i de fora da segunda somatória da fórmula (I).
16	\emptyset_{34}		
17	\emptyset_{35}	39	registro indireto para o f_j de dentro da segunda somatória da fórmula (I).
18	\emptyset_{41}		
19	\emptyset_{42}	40	Registro indireto de v_i
20	\emptyset_{43}	41	Contador para loop até 5
21	\emptyset_{45}	42	Acumulador provisório
22	\emptyset_{51}		

APÊNDICE 1

Apresenta-se a seguir o desenvolvimento da fórmula (I) e um caso particular do desenvolvimento da fórmula (II)

$$\mu = \frac{v_1}{1 + \frac{1}{f_1} (f_2 \phi_{12} + f_3 \phi_{13} + f_4 \phi_{14} + f_5 \phi_{15})} =$$

$$\frac{v_2}{1 + \frac{1}{f_2} (f_1 \phi_{21} + f_3 \phi_{23} + f_4 \phi_{24} + f_5 \phi_{25})} =$$

$$\frac{v_3}{1 + \frac{1}{f_3} (f_1 \phi_{31} + f_2 \phi_{32} + f_4 \phi_{34} + f_5 \phi_{35})} =$$

$$\frac{v_4}{1 + \frac{1}{f_4} (f_1 \phi_{41} + f_2 \phi_{42} + f_3 \phi_{43} + f_5 \phi_{45})} =$$

$$\frac{v_5}{1 + \frac{1}{f_5} (f_1 \phi_{51} + f_2 \phi_{52} + f_3 \phi_{53} + f_4 \phi_{54})} \times 10^{-6}$$

onde :

f_i é dado e

ϕ_{ij} é obtido pela fórmula (II) e para o caso de $i = 1$ e

$j = 2$ fica

$$\phi_{12} = \frac{\left[1 + \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^2 \left(\frac{w_2}{w_1} \right)^{0.25} \right]^{0.25}}{2.8284 \left(1 + \frac{w_1}{w_2} \right)^{1/2}}$$

Program Listing

Program Title VIS Date 25.09.84
 Name Cálculo da Viscosidade de Misturas Gasosas

REGISTERS									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A		B		C		D		E	
LABELS					FLAGS		SET STATUS		
A	B	C	D	E	0	FLAGS		TRIG	
a	b	c	d	e	1	ON OFF		DISP	
0	1	2	3	4	2	0	0	DEG	0
5	6	7	8	9	3	1	0	GRAD	0
						2	0	RAD	0
						3	0		n

STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY
001	1.134E-3		X		STO 33
	X		-		0.25
	167.086		+		Y*
	+		STO 33		+
	STO 33		0.134E-6		X ²
	STO 32		X		RCL 33
	26		+		+
	STO 34		X		X ²
	STO 35		0.134E-6		RCL 33
	STO 36		X		1/X
	1.004		+		+
	STO 36		-		SQRT
	6		RCL 06		2.8264
	STO 27		0.558		X
	-(X)-?		+		÷
	RCL 37		+		STO 37
	STO 36		190.137		+
	X ²		+		STO+37
020	STO 07		STO 04		STO+35
	RCL 06		0.134E-6		STO+32
	X		X		125.36
	STO 35		+		STO 13
	1.004		RCL 06		1.004
	X		0.574		STO 36
	RCL 07		+		+
	0.267E-3		87.507		STO+21
	X		+		STO 32
	+		STO 05		STO+34
	138.494		24		26
	+		STO 26		STO 25
	STO 01		25		RCL 37
	RCL 06		STO 27		X<=Y?
	0.242		STO 28		STO 13
	X		22		LBL PRES
	+		STO 27		FI=?
	165.763		STO 27		PROMPT
	+		STO 30		STO 26
	STO 02		STO 30		STO 26
	1.1406		LBL FI 15		FI=?
	0.417		RCL 31		PROMPT
	X		RCL 32		STO 27
	+		X=Y?		FI=?
	165.763		XEQ F1		PROMPT
	+		RCL 31		STO 28
	STO 02		RCL 32		FI=?
	1.1406		RCL 32		PROMPT
	0.417		X ²		STO 29
	X		RCL 32		FI=?
	+		RCL 34		PROMPT
	RCL 07				



COMMENTS
 XEQ SIZE 043

STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY
	STO 30		STO+00
	0		1
	STO 42	190	ST+38
	1.004		ST+40
	STO 36		15641
	.004		STO RESET
	STO 41		RCL 04
	26		1E-6
	STO 36		X
	STO 30		FIX 3
	6		VIS(PAGE)=
	STO 37		ARCL X
	1		/VIEW
	STO 40	200	STOP
	LBL E		LBL FI
	RCL 38		1
	RCL 39		ST+32
	X=Y?		ST+35
	XEQ SOMA		STO 13
	RCL 37		LBL SOMA
	RCL 37		1
	X		ST+39
	STO+42	210	STI
	1		LBL RESET
	STO+39		1.004
	STO+37		STO 36
	156.36		26
	STO 2		STO 39
	RCL 38		0
	1/X		STO 42
	RCL 42		STO 3
	X		END
	+	220	
	1/X		
	RCL 40		
	X		



Name _____ Code _____

STEP	INSTRUCTIONS	INPUT DATA/UNITS	KEYS	OUTPUT DATA/UNITS
1	COMENÇO PROGRAMA			
2	USC		USC	
3	ATIVAR A LAMPADA T.C.C.L.A		ACIII	
			ALFA	
			TAN	
			ALFA	
4	INICIA O PROGRAMA		TAN	T(C)=?
5	ENTRA COM A TEMPERATURA T°C		R/S	
6	AGUARDE APÓS 1 MIN			F1=?
7	ENTRA COM F1	F1	R/S	F2=?
8	ENTRA COM F2	F2	R/S	F3=?
				F4=?
		F3	R/S	F5=?
		F4	R/S	
		F5	R/S	
9	AGUARDE APÓS 1/2 MIN			MICROSEGUNDO
				EM
				POISE
10	DADA CUMOS VALORES		TAN	T(C)=?
11	REPETE 5 A 9			
12	TAMA OBTEN A VISCOSIDADE			
	INDIVIDUAL DOS COMPONENTES			
	FATOR DE CORREÇÃO K01			
	R02, K03, R04, R05			SS, V2, T3
	E AGUARDE APÓS 10 ⁻⁶			190 05

VIS

INI

T = ?

CALCULA v_i

CALCULA $\phi_{ij} = \frac{|1 + (\frac{v_i}{v_j})^2 (\frac{w_j}{w_i})^{0.25}|}{(\frac{4}{\sqrt{2}}) (1 + \frac{w_i}{w_j})^{1/2}}$

CALCULA $\mu = \frac{5 \sum_{i=1}^5 \frac{v_i}{1 + \frac{1}{f_i} \sum_{j=1}^5 (f_j \phi_{ij})}} \times 10^{-6}$

END

Diagrama de blocos do programa VIS

B I B L I O G R A F I A

- (1) EPA 600/7-78-042 A Computer-Based Cascade Impactor Data Reduction System.

ACH-1 - CÁLCULO DA LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM EM CHAMINÉ

INTRODUÇÃO

Para que uma amostragem de chaminé seja representativa do fluxo que passa por ela, há necessidade de obedecer certos critérios como distância da perturbação de fluxo, mais próxima, número de pontos a amostrar, etc.

Este trabalho trata da determinação das distâncias, medidas ao longo do tubo de amostragem, com o intuito de permitir a quem faz a amostragem, saber exatamente o ponto de coleta.

OBJETIVO

Fornecer um programa que permita calcular previamente as coordenadas dos pontos de amostragem, conhecendo-se o diâmetro da chaminé, o número de pontos a amostrar e a espessura da chaminé.

METODOLOGIA

A figura 1 mostra o corte de uma chaminé na altura da secção de amostragem.

Dessa figura tira-se a seguinte relação geométrica :

$$t_j = \left(d + \frac{D}{2}\right) \pm \alpha_j$$

onde :

d = Distância entre a face externa da flange da abertura para amostragem e a borda interna da chaminé.

D = Diâmetro da chaminé

α_j é dado por :

$$\alpha_j = \left(\frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{(2n_j - 1)}{K}}$$

com :

$$n_j = 1, 2, 3, \dots, \quad (\text{inteiro})$$

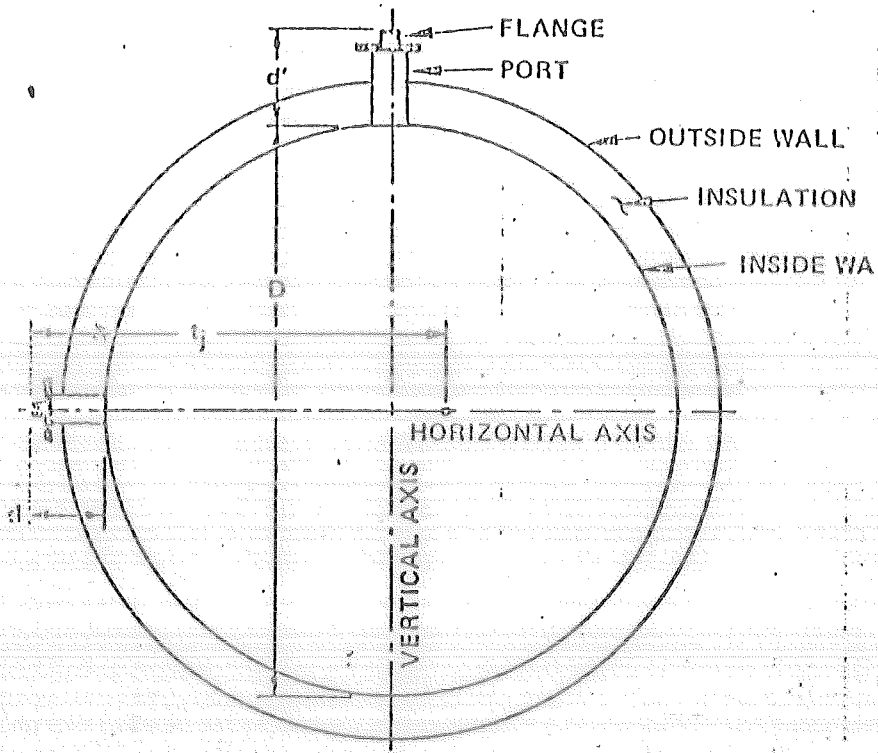


Fig. 1 - Corte de uma chaminé, com as principais di mensões.

$$z = \frac{K}{2}$$

K = número inteiro e par, que representa o número de pontos a amostrar, num dado eixo.

Segue-se então que

$$t_1 = \left(d + \frac{D}{2}\right) - \alpha_z$$

$$t_2 = \left(d + \frac{D}{2}\right) - \alpha_{z-1}$$

.....

$$t = \left(d + \frac{D}{2}\right) - \alpha_1$$

da mesma forma :

$$t_K = \left(d + \frac{D}{2}\right) + \alpha_z$$

$$t_{K-1} = \left(d + \frac{D}{2}\right) + \alpha_{z-1}$$

.....

$$t_{z+2} = \left(d + \frac{D}{2}\right) + \alpha_2$$

$$t_{z+1} = \left(d + \frac{D}{2}\right) + \alpha_1$$

O programa cuja listagem encontra-se em anexo, calcula es sas distâncias.

EXEMPLO NUMÉRICO

$$d = 0.25 \text{ m}$$

$$D = 1.20 \text{ m}$$

$$K = 12$$

t_i em m

$$t_1 = 0.677$$

$$t_2 = 1.023$$

$$t_3 = 0.550$$

$$t_4 = 1.15$$

$$t_5 = 0.463$$

$$t_6 = 1.24$$

$$t_7 = 0.392$$

$$t_8 = 1.31$$

$$t_9 = 0.330$$

$$t_{10} = 1.37$$

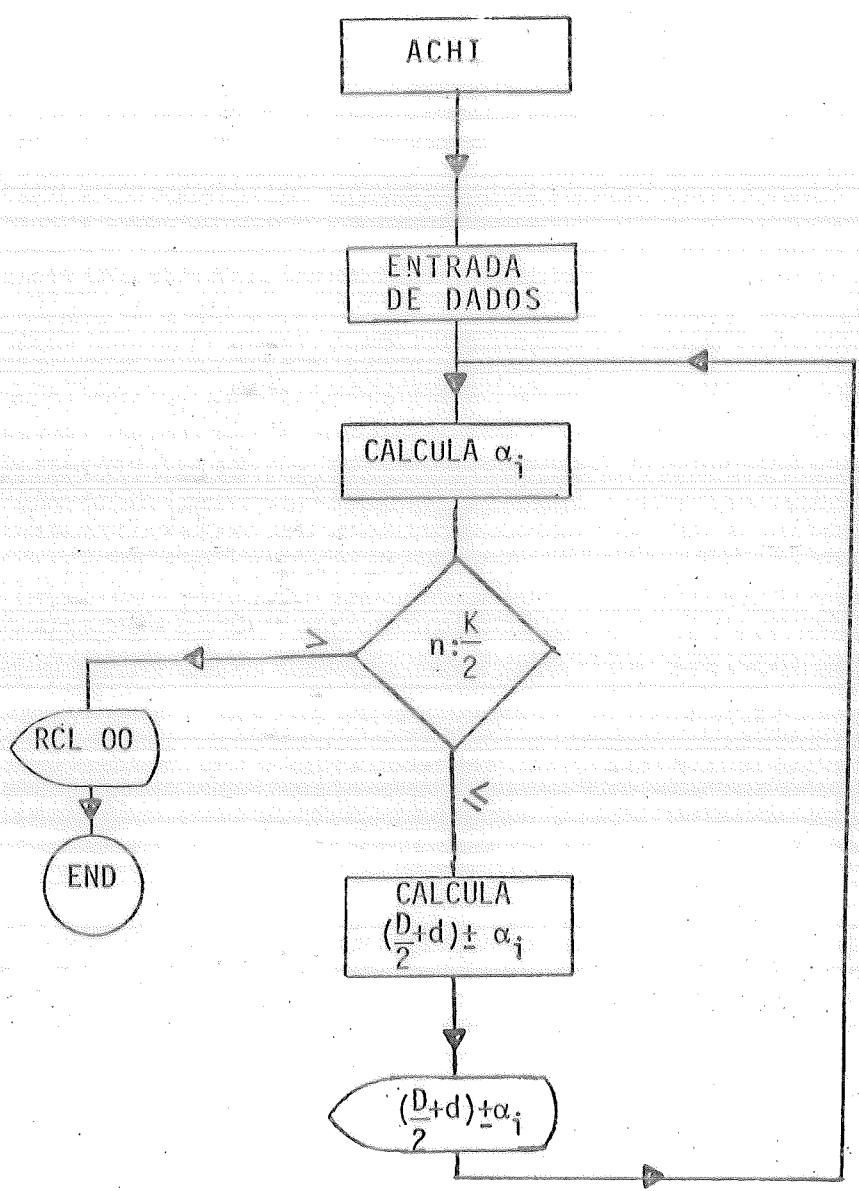
$$t_{11} = 0.276$$

$$t_{12} = 1.42$$

Observação :

O procedimento utilizado neste programa foi substituído pelo EPA em 30 de setembro de 1983 e será objeto do programa ACH1/1 a ser apresentado em breve.

DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROGRAMA ACHI



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PB-269666 HP25 Programmable Calculator Applied to Air Pollution Measurement Studies : Stationary Sources.

PB-276470/2BE Particle Size Definitions for Particulate Date Analysis.

ACII 2 - DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE E DA VAZÃO VOLUMÉTRICA EM CHAMINES

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

INTRODUÇÃO

O processo de amostragem de material particulado em chaminês exige o conhecimento da velocidade dos gases na chaminê para que se possa amostrar em condição isocinética. Da mesma forma, o volume de gases da chaminê precisa ser conhecido, para que se possa calcular a concentração, dada em unidades de massa de poluente emitido por volume de gases liberados pela chaminê.

OBJETIVO

Apresentar um programa para cálculo da velocidade e da vazão de chaminês, a partir das características do fluxo e da chaminê.

METODOLOGIA

A velocidade dos gases em uma chaminê pode ser calculada pela seguinte fórmula (I).

$$(V_s)_{AVG} = K_p C_{P_{test}} (\sqrt{\Delta P})_{AVG} \sqrt{\frac{(T_s)_{AVG}}{P_s M_s}} \quad (I)$$

Onde :

$(V_s)_{AVG}$ = Velocidade média dos gases (pés/seg);

K_p = 85.48 para estas unidades; (*)

$C_{P_{test}}$ = Coeficiente do Pitot Tipo S, adimensional, determinado por (II);

* Para o sistema métrico este valor é outro, consultar o trabalho "Determinação da Emissão de Material Particulado em Chaminês", a ser apresentado em breve.

$(T_s)_{AVG}$ = Temperatura absoluta média dos gases da chaminé ($^{\circ}R$);

$(\sqrt{\Delta P})_{AVG}$ = Pressão de velocidade média dos gases da chaminé (pol H_2O);

P_s = Pressão absoluta da chaminé (pol Hg);

M_s = Peso molecular úmido dos gases da chaminé (lb/lb mol), dado por (III);

Caso o valor de $C_{P_{test}}$ não seja conhecido, sua determinação se faz através de experimento em laboratório, com o uso da seguinte fórmula :

$$C_{P_{test}} = C_{P_{std}} \sqrt{\frac{\Delta P_{std}}{\Delta P_{test}}} \quad (II)$$

onde :

$C_{P_{std}}$ = Coeficiente do Pitot padrão, admitido como sendo 0.99, quando não conhecido;

ΔP_{std} = Pressão de velocidade para o Pitot padrão (pol H_2O);

ΔP_{test} = Pressão de velocidade para o Pitot tipo S, medida ao mesmo tempo que o ΔP_{std} , (pol H_2O).

O peso molecular é dado por : $M_s = M_d(1 - B_{wo}) + 18 B_{wo}$ (III)

onde :

M_d = Peso molecular seco (lb/lb mole)

B_{wo} = Fração volumétrica de vapor de água no fluxo da chaminé, adimensional.

Uma vez obtida a velocidade média dos gases nas condições da chaminé, através das fórmulas anteriores (I), (II) e (III), pode-se calcular a vazão de gases pela chaminé através de :

$$Q_s = 3600(1 - B_{wo})(V_s)_{AVG} A \left\{ \frac{T_{std}}{(T_s)_{AVG}} \right\} \left(\frac{P_s}{P_{std}} \right) \quad (IV)$$

Q_s = Vazão volumétrica, base seca, condições padrão (normal, $528^{\circ}R$, 29.92 pol Hg), dada em ($p\bar{e}^3/h$);

A = Área da chamine, $p\bar{e}^2$;

$$T_{std} = 528^{\circ}R$$

$$P_{std} = 29.92 \text{ pol Hg}$$

B_{wo} , $(V_s)_{AVG}$, $(T_s)_{AVG}$ e P_s , são os definidos anteriormente.

O programa, um exemplo numérico e o diagrama de blocos, são apresentados em anexo.

BIBLIOGRAFIA

EPA 600/7 - 77 - 058 , JUNE 1977 - HP-25 Programmable
Pocket Calculator Applied to Air Pollution Measurement
Studies : Stationary Sources.

EXEMPLO NUMÉRICO

$$C_{p_{\text{test}}} = 0.80$$

$$(\sqrt{\Delta P})_{\text{AVG}} = 0.30 (\sqrt{\text{H}_2\text{O}})$$

$$(T_s)_{\text{AVG}} = 596^{\circ}\text{R}$$

$$P_s = 27.68 \text{ "Hg}$$

$$M_s = 28.85 \text{ lb/lb mol}$$

$$B_{wo} = 0.07$$

$$A = 13.99 \text{ pe}^2$$

Resultados

$$(\bar{V}_s)_{\text{AVG}} = 17.72 \text{ pe/seg}$$

$$Q_s = 680359.19 \text{ pe}^3/\text{h}$$

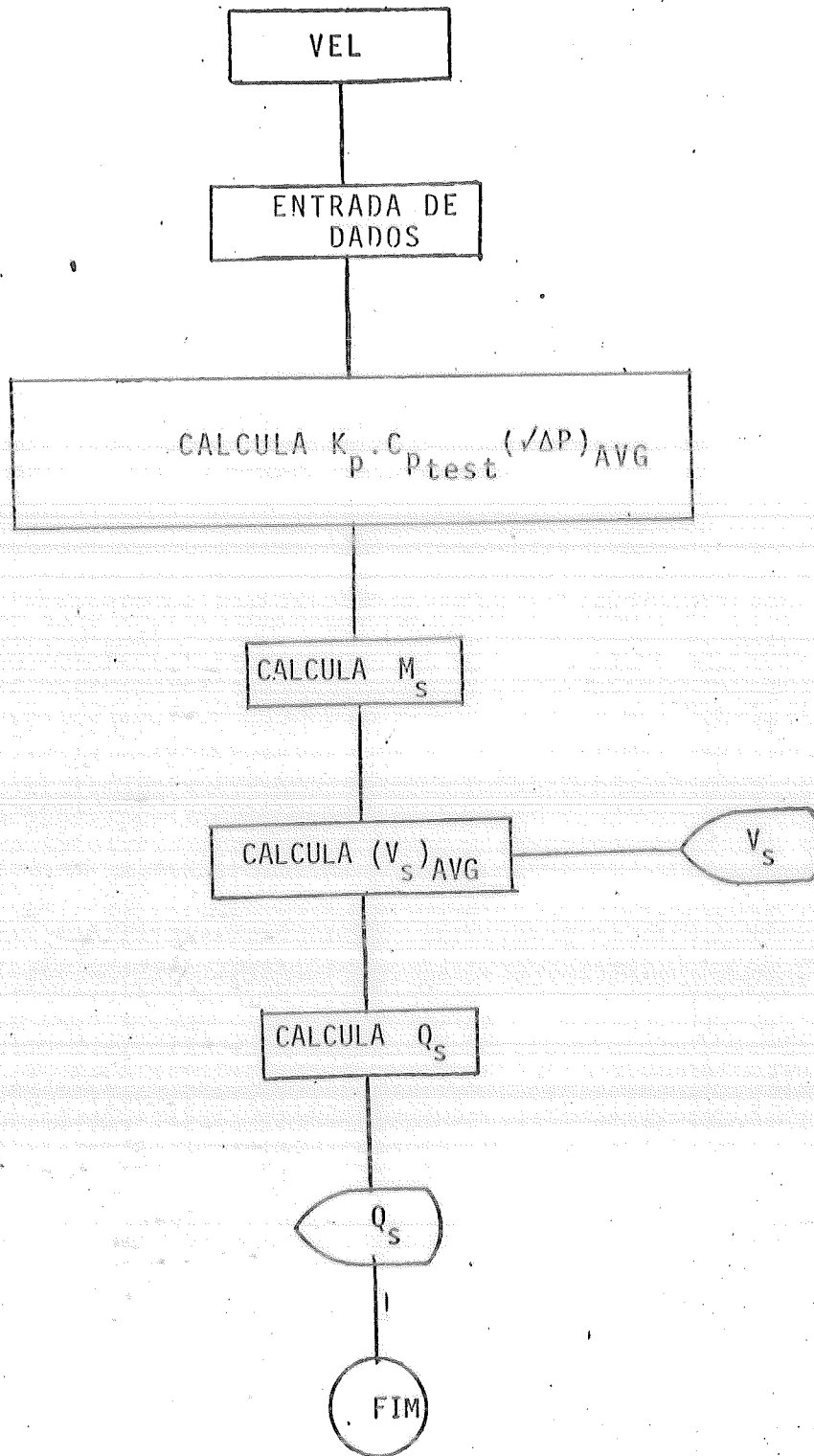


DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROGRAMA

ACH 3 - DETERMINAÇÃO DA PORCENTAGEM DE DIÓXIDO DE CARBONO, DO EXCESSO DE AR E DO PESO MOLECULAR SECO DE GASES DE CHAMINÉ

INTRODUÇÃO

Normalmente os processos de combustão trabalham com excesso de ar, com o intuito de melhorar o rendimento dos meses. Todavia o excesso de ar dilui a emissão e portanto há necessidade de conhecer seu valor numérico, para corrigir os resultados.

A determinação da porcentagem de dióxido de carbono e do peso molecular seco fazem parte do conhecimento necessário à avaliação de uma fonte fixa.

OBJETIVO

Fornecer um programa para cálculo do Excesso de Ar e do Peso Molecular Seco dos gases de chaminé.

METODOLOGIA

O Federal Register, vol. 36, nº 247, Part II, 23 de dezembro de 1971 citado em (1), apresenta a determinação do excesso de ar como :

$$a. \quad \%EA = \frac{(\% O_2) - 0.5(\% CO)}{0.264(\% N_2) - (\% O_2) + 0.5(\% CO)} \times 100\% \quad (I)$$

onde :

$\%EA$ = Porcentagem de excesso de ar

$\%O_2$ = Porcentagem de oxigênio, em volume, em base seca;

$\%CO$ = Porcentagem de monóxido de carbono, em volume, em base seca;

$\%N_2$ = Porcentagem de nitrogênio, volume em base seca e

0.264 = Relação entre os volumes de oxigênio e nitrogênio no ar, equivalente a aproximadamente 21/79.

Conceitualmente podemos exprimir a equação (I), como sendo :

$$\%EA = \frac{\text{oxigênio na exaustão}}{\text{oxigênio no ar de combustão} - \text{oxigênio na exaustão}} \times 100\%$$

por sua vez :

oxigênio na exaustão = oxigênio na exaustão na forma molecular + 1/2 oxigênio na exaustão na forma de CO, onde o número 1/2 surge pelo fato de existir somente um átomo de oxigênio na molécula de CO.

b. A mesma fonte bibliográfica (1) apresenta ainda o peso molecular seco, como sendo :

$$M_d = 0.44 (\%CO_2) + 0.32 (\%O_2) + 0.28 (\%N_2 + \%CO)$$

onde :

M_d = Peso molecular seco, lb/lb mol

$\%CO_2$ = Porcentagem de CO_2 , em volume, base seca;

0.44 = Fração molar do dióxido de carbono;

$\%O_2$ = Porcentagem de O_2 , em volume, base seca;

0.32 = Fração molar do oxigênio;

$\%N_2$ = Porcentagem de N_2 , em volume, base seca;

$\%CO$ = Porcentagem de CO, em volume, base seca;

0.28 = Fração molar do nitrogênio e do monóxido de carbono.

c. A determinação do Dióxido de Carbono se faz através de medida direta pelo Orsat, no caso de chaminés.

Exemplo Numérico, caso de uma fundição :

$$\% CO = 0.2\%$$

$$\% N_2 = 78.8\%$$

$$\% O_2 = 15.6\%$$

$$\% CO_2 = 5.4\%$$

$$\%EA = 292.28\%$$

$$M_d = 29.49 \text{ lb/lb mol}$$

BIBLIOGRAFIA

(1) EPA 600/7 - 77 -058 June 1977

HP-25 Programmable Pocket Calculator Applied To Air
Pollution Measurement Studies : Stationary Sources -
PB 269 666.



Programa de Ensino

Program Title E AR Date _____
 Name CÁLCULO DO EXCESSO DE AR E DO PESO MOLECULAR SECO

REGISTERS									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A		B		C		D		E	

LABELS					FLAGS		SET STATUS			
A	B	C	D	E	0	1	FLAGS		TRIG	DISP
a	b	c	d	e	1	2	ON OFF	TRIG	DISP	
0	1	2	3	4	2	3	0 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	DEG <input type="checkbox"/>	FIX <input type="checkbox"/>	
							1 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	GRAD <input type="checkbox"/>	SCI <input type="checkbox"/>	
							2 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	RAD <input type="checkbox"/>	ENG <input type="checkbox"/>	
							3 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		n	

STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY
001	LBL E AR		*						
	% O2 = ?		+						
	PROMPT		Mod =						
	STO 00		ARCLX						
	% CO	050	AVIEW						
	PROMPT		END						
	STO 01								
	% CO2 = ?								
	PROMPT								
010	STO 02	060		110					
	RCL 01								
	+								
	RCL 00								
	+								
	CHS								
	100								
	+								
	STO 03								
	.262								
020	X	070		120					
	RCL 00								
	-								
	RCL 01								
	.5								
	X								
	+								
	RCL 00								
	RCL 01								
	.5								
030	*	080		130					
	-								
	÷								
	VX								
	100								
	X								
	E AR =								
	ARCLX								
	AVIEW								
	R/S								
040	KCLO2	090		140					
	.44								
	X								
	RCL 00								
	.32								
	X								
	+								
	RCL 03								
	RCL 01								
	+								
050	O.28	100		150					



COMMENTS

STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY
160			
170			
180			
190			
200			
210			
220			
230			
240			
250			
260			
270			
280			
290			
300			

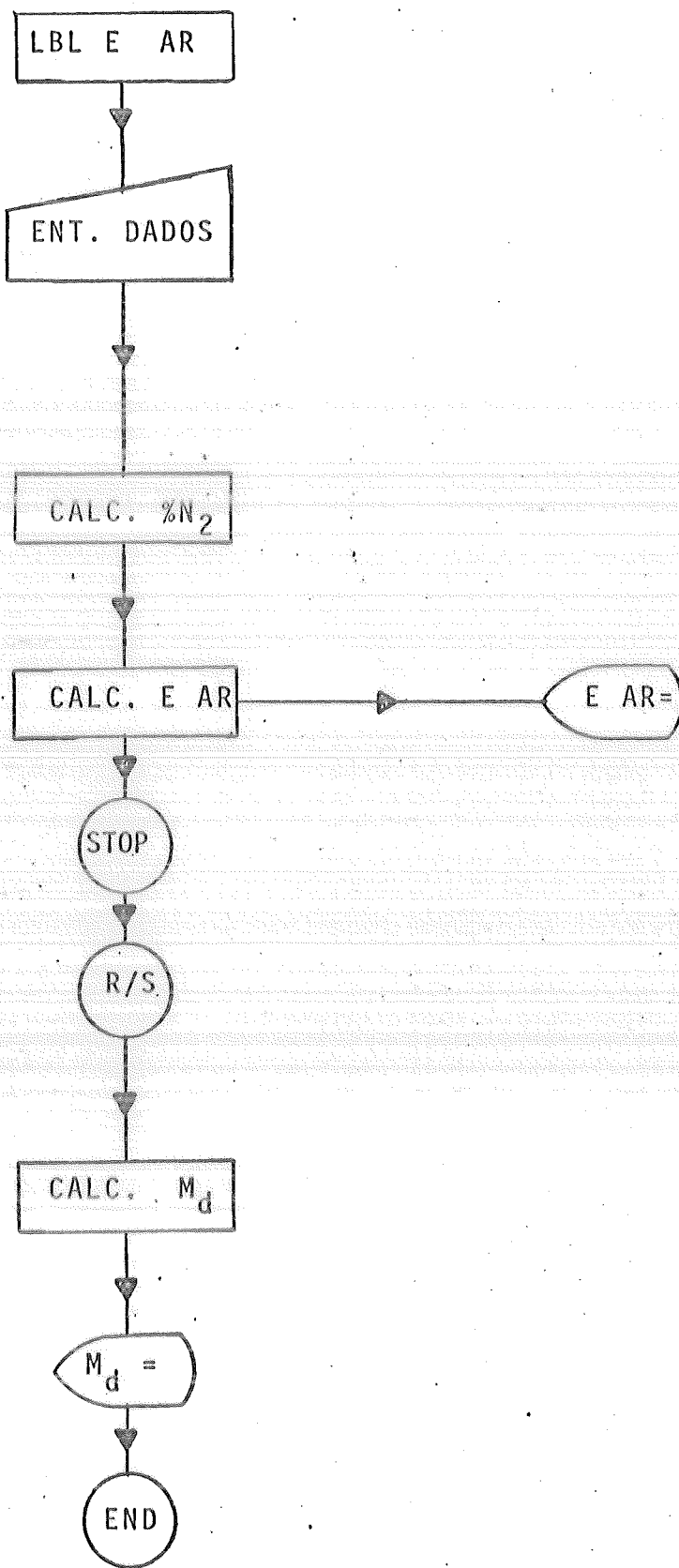


DIAGRAMA DE BLOCOS PARA O PROGRAMA ACH3.

ACH4 - DETERMINAÇÃO DA UMIDADE EM CHAMINÉS

INTRODUÇÃO

Trata-se do método 4 do EPA, Agência de Proteção Ambiental dos EUA (1), que tem a finalidade de determinar o conteúdo de água dos gases da chaminé, para as necessárias correções do volume de gases emitido pela chaminé.

OBJETIVO

Fornecer um programa de cálculo para a unidade de chaminés, como uma parcela dos programas de cálculo das diversas grandezas envolvidas em amostragem de chaminé.

METODOLOGIA

Segue-se o método 4 do EPA, utilizando-se as seguintes equações (2) :

$$V_{mc} = 0.0472 (V_f - V_i) \quad (I)$$

onde :

V_{wc} = volume de água coletada, ft^3 , a $528^{\circ}R$ e $29.92''Hg$

V_f e V_i = Volumes final e inicial dos "impingers" em ml

0.0472 = Fator de transformação de unidade, correspondente ao valor $0.04716 \text{ ft}^3/g$ apresentado no Federal Register, aproximado pela utilização da densidade da água igual a 1, em ft^3/ml , (2);

$$V_{me} = 17.65 \frac{V_m P_m}{T_m} \quad (II)$$

onde :

- V_{me} = volume seco através do medidor, em condições padrão, ft^3 ;
 V_m = volume de gás seco medido pelo medidor, ft^3 ;
 P_m = Pressão barométrica no medidor seco de gás, po legada de Hg;
 T_m = Temperatura absoluta no medidor de gás seco, $^{\circ}R$
 17.65 = Constante apresentada em (1) como 17.64 $^{\circ}R/po1$ Hg;

A umidade é dada por :

$$B_{wo} = \left(\frac{V_{wc}}{V_{wc} + V_{me}} \right) + 0.0025$$

onde :

- B_{wo} = Fração volumétrica de vapor de água no fluxo gaseoso, adimensional;
 V_{wc} = Volume de água coletada nos impingers, ft^3 ;
 V_{me} = Volume seco através do medidor em condições padrão, ft^3 ;

0.025 = Conteúdo de umidade admitido como presente nos gases que saem dos "impingers".

EXEMPLO NUMÉRICO

- $V_f = 12.5 \text{ ml}$
 $V_i = 10.0 \text{ ml}$
 $V_m = 1.00 \text{ pē}^3$
 $P_m = 29.00 \text{ po1 Hg}$
 $T_m = 100^{\circ}F$

Resultados

- $V_{wc} = 0.118 \text{ pē}^3$
 $V_{me} = 0.914 \text{ pē}^3$
 $B_{wo} = 0.139$

A seguir apresentam-se o diagrama de blocos e a listagem do programa.

BIBLIOGRAFIA

(1) Federal Register, Part 60, App A, Title 40
Chapter 1, pag. 377

(2) EPA 600/7 - 77-058 - JUNE 1978

HP-25 Programmable Pocket Calculator Applied To
Air Pollution Measurement Studies : Stationary Sources.

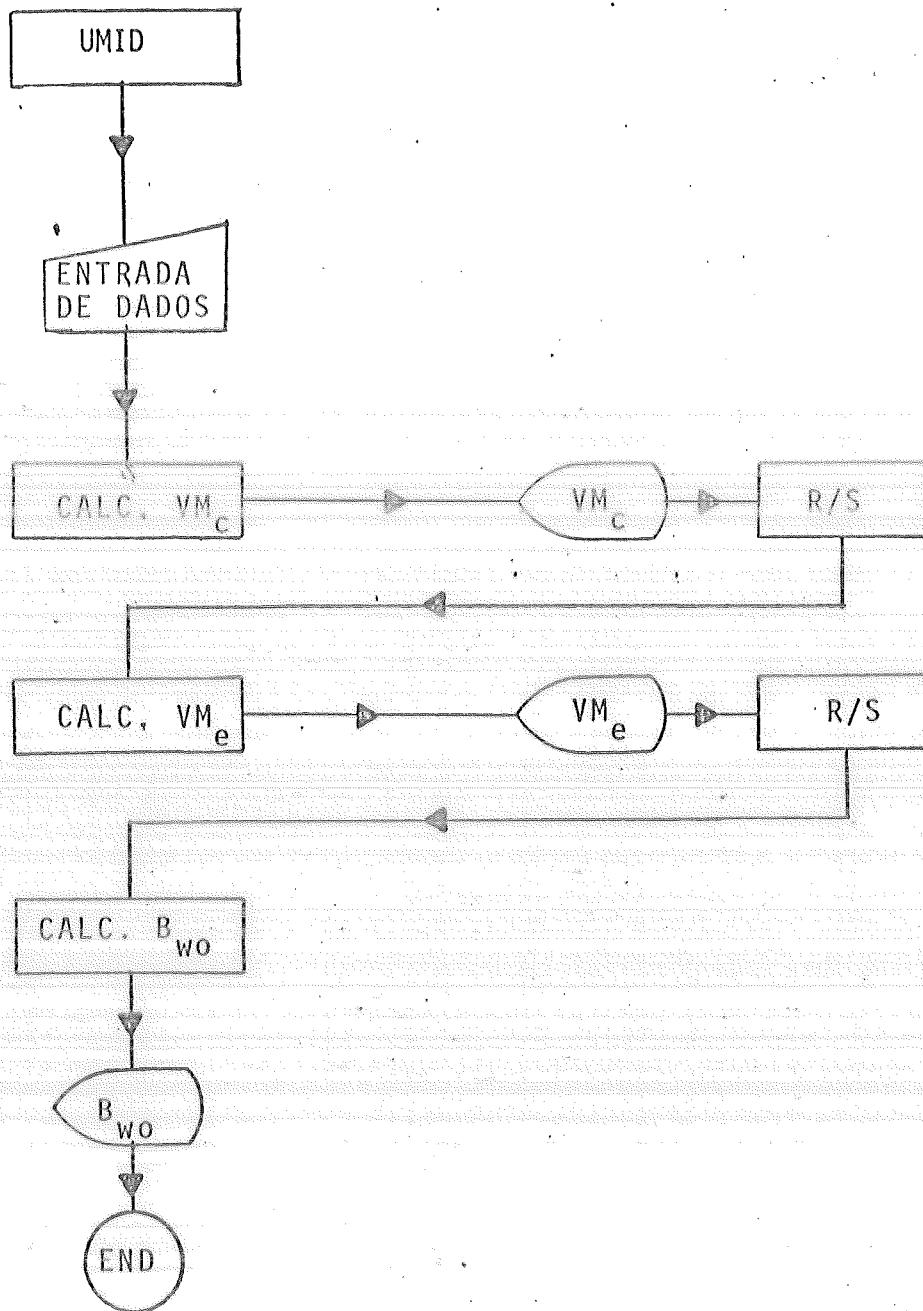


Diagrama de blocos para o programa ACH4.

Atividade - OPERAÇÃO DE IMPACTADORES : REDUÇÃO DE DADOS DO TUBO PITOT, SELEÇÃO DE VAZÃO E BOCAL E PARÂMETROS DE MEDIÇÃO.

INTRODUÇÃO

A operação de impactadores envolve na fase experimental a seleção da vazão e do bocal, a redução dos dados do tubo de Pitot e a determinação dos parâmetros da amostragem.

Este programa, dividido em três partes executa os cálculos a que se refere o parágrafo anterior.

OBJETIVO

Fornecer um programa de cálculo para amostragens com impactadores.

METODOLOGIA

Inicialmente deve se calcular o peso molecular seco, a umidade do gás e o peso molecular úmido do gás a amostrar.

O peso molecular seco é calculado por (I) :

$$M_d = 28(BN_2 + BCO) + 32 B O_2 + 44 BCO_2 \quad (I)$$

onde :

BN_2 ; BCO ; BO_2 e BCO_2 são as frações volumétricas secas de N_2 ; CO ; O_2 e CO_2 respectivamente.

O peso molecular úmido,

$$M_s = M_d (1 - Bwo) + 18 Bwo \quad (II)$$

onde :

Bwo = fração volumétrica de água adimensional.

Uma vez calculados esses valores, podem-se calcular outros parâmetros de fluxo.

As figuras 1 e 2 mostram duas montagens para coleta de amostra com impactadores, a primeira para baixos volumes e a se

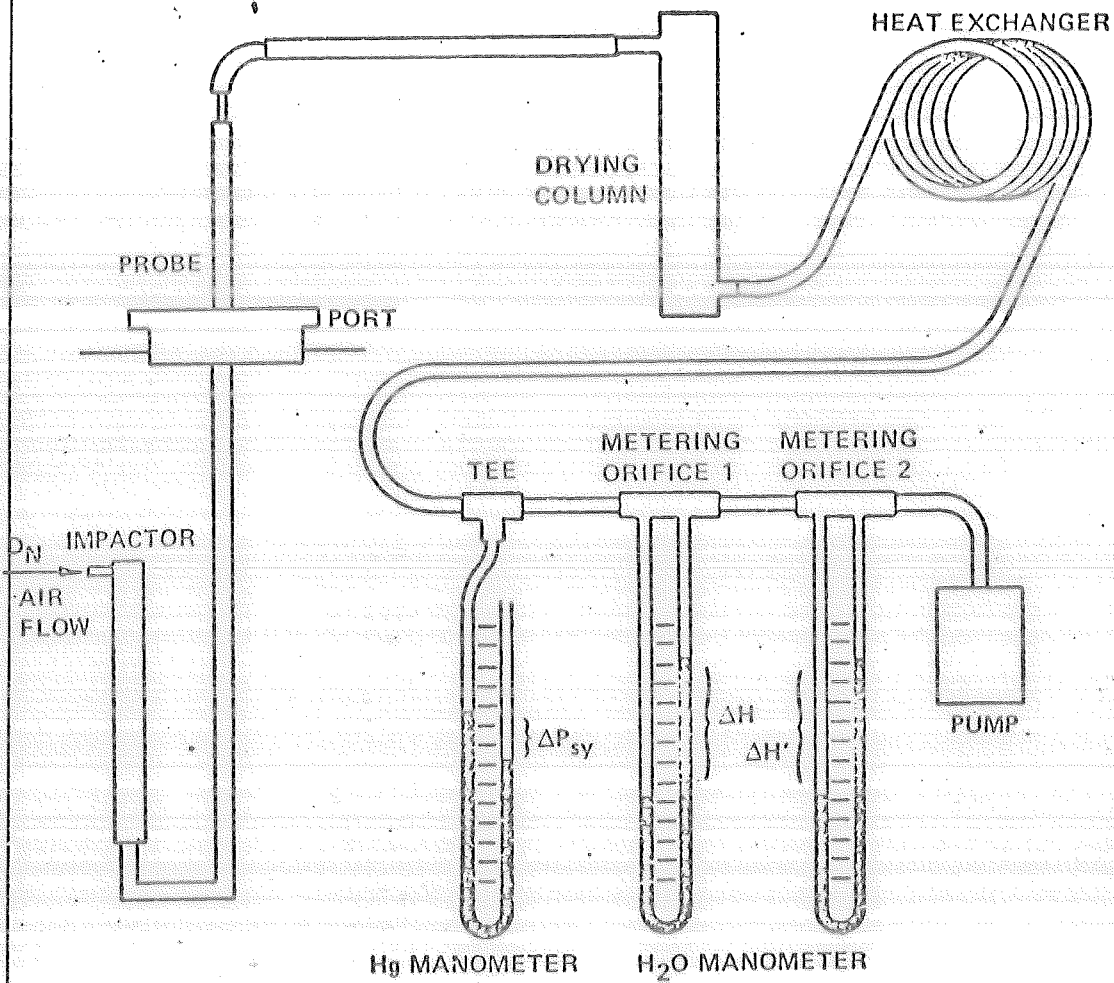


Fig. 1 : Montagem para baixos valores de volume.

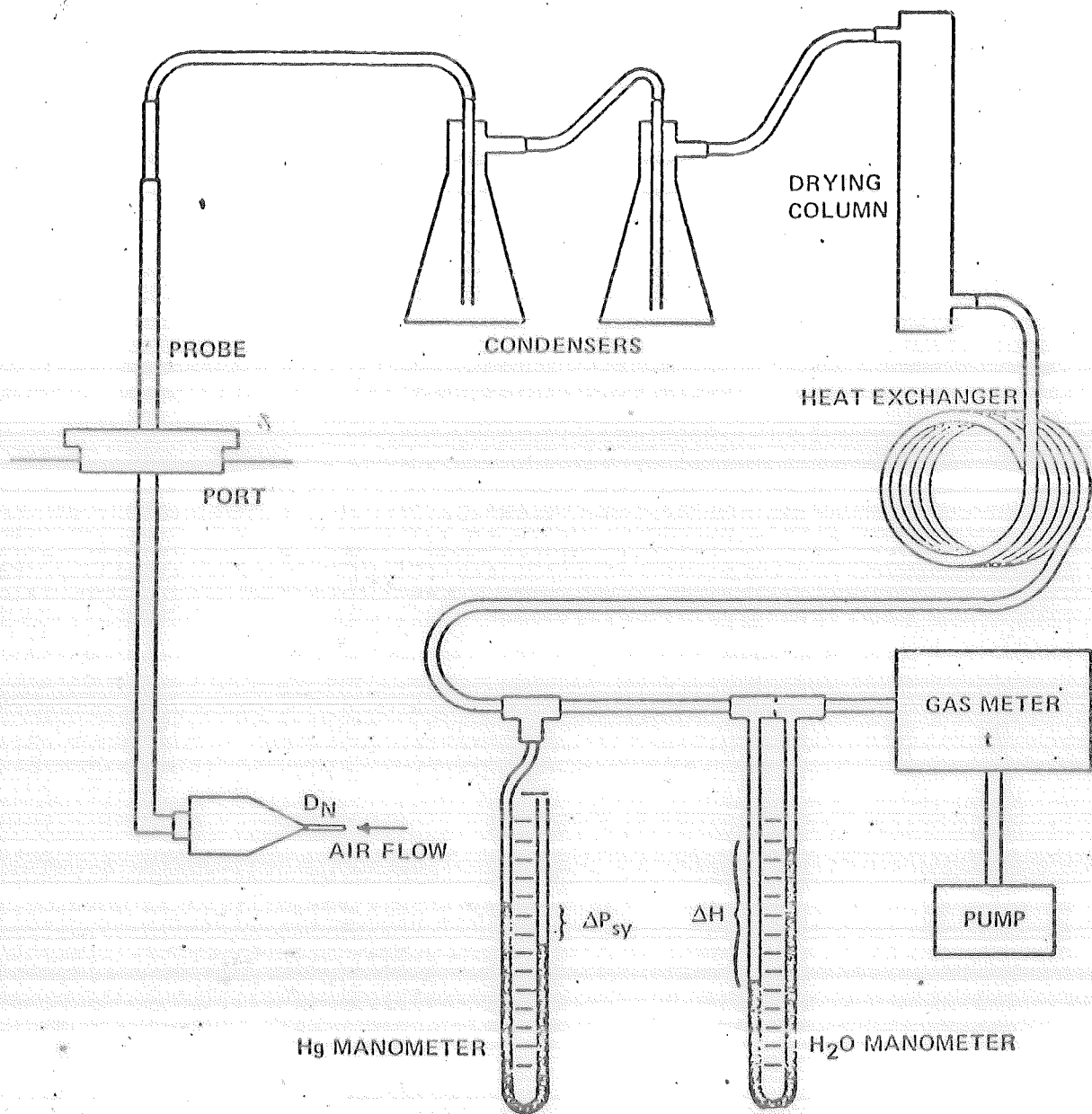


Fig. 2 : Montagem para altos valores de volume.

gunda para valores elevados de volume. Deve-se preferir a segunda opção, por operar com um medidor de gás, ao invés de operar como orifícios, todavia quando a vazão estiver fora da faixa de calibração do medidor, se faz necessário o uso de orifícios.

A velocidade do gás, determinada por um Pitot S é dada por:

$$V_i = \theta \sqrt{\Delta p_i T_i} \quad (\text{III})$$

onde

Δp_i = pressão cinética no ponto i, pol H₂O;

T_i = temperatura do gás no ponto i, °R e

$$\theta = 2.9 C_p \sqrt{\frac{29.92 R'}{P_s}} \quad (\text{IV})$$

$$R' = \frac{28.95 \text{ UAM}}{M_s} \quad (\text{V})$$

$$P_s = P_{\text{bar}} + \frac{(\pm \Delta P_s)}{13.6} \quad (\text{VI})$$

onde :

θ = fator do Pitot relativo ao gás;

R' = relação entre a unidade atômica de massa do ar para a massa molecular do gás da chaminê;

P_s = pressão absoluta da chaminê, pol. Hg ;

ΔP_s = diferença de pressão na chaminê, pol. H₂O;

C_p = constante do tubo Pitot, adimensional e

M_s = dado por (II)

As constantes 29.92 e 13.6 são respectivamente a pressão atmosférica normal; a densidade do mercúrio.

O valor 2.9 resulta da fórmula (III)

$$V_o = C_p \left[\frac{2g \rho_p(\text{man}) RT_o \Delta P}{P_o M_o} \right]^{1/2} \quad (\text{VII})$$

onde :

V_o = velocidade do gás na chaminé;

C_p = coeficiente do Pitot;

g = aceleração da gravidade;

$\rho_p(\text{man})$ = densidade do líquido manométrico do Pitot,

R = constante dos gases perfeitos;

T_o = temperatura do gás da chaminé;

ΔP = diferencial de pressão do Pitot;

P_o = pressão absoluta do gás da chaminé;

M_o = peso molecular do gás da chaminé.

A fórmula VII resulta em :

$$V_o = 85.48 C_p \sqrt{\frac{\Delta P T_o}{P_o M_o}} \quad (\text{VIII})$$

no sistema inglês, se adotar $P_o = 29.92$ in Hg e $M_o = 28.96$, o quociente $85.48/\sqrt{29.92 \times 28.96}$ resulta 2.9

A vazão do impactador é dada por :

$$Q_I = 0.3272 (V_s)_{AVG} D_N^2 \quad (\text{VIII})$$

onde :

Q_I = vazão do impactador em cfm

$(V_s)_{AV}$ = velocidade média dos gases da chaminé, pés/seg.

D_N = diâmetro do bocal, pol

$$0.3272 = \frac{\pi}{4} \times 60 \times \left(\frac{1}{12 \text{ pol/pé}}\right)^2$$

Neste ponto é possível calcular a queda de pressão através do orifício, necessária a se obter a vazão do impactador :

$$\Delta H = \frac{\alpha}{(P_{\text{bar}} - \Delta P_{\text{sy}})} \quad (\text{IX})$$

$$\alpha = \frac{\beta C_c}{(Q_{\text{cal}})^2} \quad (\text{X})$$

$$C_c = \frac{T_c \Delta H_c}{P_c M_c} \quad (\text{XI})$$

$$\beta = \left[\frac{0_1 (1 - B_{wo}) P_s}{(T_s)_{\text{AVG}}} \right]^2 M_d T_o \quad (\text{XII})$$

onde :

ΔH = queda de pressão no orifício, pol H_2O ;

P_{bar} = pressão barométrica, pol Hg ;

ΔP_{sy} = diferença da pressão atmosférica para a pressão a
juzante do orifício, pol Hg;

C_c = constante de calibração do orifício, adimensional;

Q_{cal} = vazão de calibração, acfm;

T_c = temperatura de calibração, $^{\circ}R$;

ΔH_c = queda de pressão de calibração, para a qual Q_{cal} é
medida durante a calibração, pol H_2O ;

M_c = peso molecular médio do gás, adotado 29.96 para o
gás seco.

As demais constantes adotadas são :

$$C_c = 6.260,$$

$$T_c = 535^{\circ}R$$

$$P_c = 29.50 \text{ pol Hg } e$$

$$\Delta H_c = 10 \text{ pol } H_2O$$

- Q_I = vazão desejada, acfm ;
 B_{wo} = fração volumétrica de água;
 P_s = definida em IV;
 $(T_s)_{AVG}$ = temperatura média da chaminé, $^{\circ}R$;
 M_d = peso molecular seco do gás e
 T_o = temperatura do orifício, $^{\circ}R$.

Se utiliza a montagem da figura 1, a queda de pressão, no segundo orifício é dada por :

$$\Delta H' = \frac{\lambda}{P_o} \quad (XIII)$$

onde :

$\Delta H'$ = queda de pressão em pol. H_2O e

P_o = pressão absoluta no segundo orifício, em pol de H_g e é dada por :

$$P_o' = P_{bar} - \left(\Delta P_{sy} + \frac{\Delta H}{13.6} \right) \quad (XIV)$$

onde :

ΔH = queda de pressão em pol. Hg , no primeiro orifício e

P_{bar} e ΔP_{sy} são definidos em IX.

$$\lambda = \frac{\beta \cdot C_c'}{(Q_{cal}')^2} \quad (XV)$$

Q_{cal}' = vazão de calibração para o segundo orifício;

C_c' = constante de calibração para o segundo orifício, como em XI e

β = definido em XII

Se se utiliza um medidor de gás no lugar do segundo orifício, o tempo, em segundos (t), requerido para uma revolução do medidor de gás, é dado por

$$t = \frac{K}{Q_m} \quad (\text{XVI})$$

onde :

$$K = V_o \times 60 \text{ seg/min};$$

V_o = volume por revolução, pé^3 e

Q_m = vazão através do medidor, nas condições de medidor, acfm e

$$Q_m = \phi \sqrt{\frac{\Delta H'}{P'_o}} \quad (\text{XVII})$$

onde :

$\Delta H'$ = queda de pressão estabelecida como se um segundo orifício fosse colocado, de forma que :

$$Q_m = Q'_{\text{orifício}}$$

$$Q'_{\text{cal}} = Q_{\text{cal}}$$

$$C'_c = C_c \text{ dado por X e } P'_o \text{ dado por XIV e}$$

$$\phi = Q_{\text{cal}} \sqrt{\frac{T_o}{C_c M_d}}$$

Apresentam-se a seguir, o diagrama de blocos listagem para cada parte do programa quais sejam :

1. Seleção do bocal e velocidade
2. ΔP_{sy} ; ΔH e $\Delta H'$ para dois orifícios
3. ΔP_{sy} , ΔH , t para orifício e medidor de gases

O programa para cálculo de P_{sy} , ΔH e t , para o conjunto orifício e medidor, é idêntico ao programa que calcula ΔP_{sy} , ΔH e $\Delta H'$ para dois orifícios exceto no que diz respeito a algumas modificações uma referente à substituição do segundo orifício pelo medidor e outra referente ao cálculo do tempo para uma revolução do medidor, que não é calculado para o caso de orifícios.

Exemplos numéricos

Programa NOZZ.

$BN_2 = 0.78$

$BCO = 0.02$

$BO_2 = 0.05$

$BCO_2 = 0.15$

$M_d = 30.60$

$Bwo = 0.06$

$M_s = 29.84$

$P_{bar} = 29.43 \text{ "Hg}$

$\Delta P_s = -6.7 \text{ "H}_2\text{O}$

$C_p = 0.83$

$\theta = 2.41$

$N = 4$

$\Delta P_i = 0.06$	$T_i = 321$	$V_i = 16.5 \text{ pē/seg}$
0.08	329	19.15
0.08	330	19.17
0.07	325	17.87

$V_{AVG} = 18.17 \text{ pē/seg}$

$T_{AVG} = 786.3 \text{ } ^\circ\text{R}$

$S_{DEV} = 1.27$

$DN = 0.06 \text{ "}$

$Q_I = 0.0207 \text{ pē}^3/\text{min}$

$DN = 0.0787 \text{ "}$

$Q_I = 0.0369 \text{ pē}^3/\text{min}$

PROGRAMA ΔPΔH

$$T_c = 535^{\circ}R$$

$$H_c = 10''H_2O$$

$$P_c = 29.50''Hg$$

$$M_c = 28.97$$

$$C_c = 6.26$$

$$T'_c = 535^{\circ}R$$

$$H'_c = 10''H_2O$$

$$P'_c = 29.50''Hg$$

$$M'_c = 28.97$$

$$C_c = 6.26$$

$$B_{wo} = 0.06$$

$$Q_I = 0.0369 \text{ pe}^3/\text{min}$$

$$P_s = 28.94''Hg$$

$$T_{s \text{ AVG}} = 786.3^{\circ}R$$

$$M_d = 30.60$$

$$T_o (F) = 75^{\circ}F$$

$$\beta = 2.67 \times 10^{-2}$$

$$Q_{cal} = 0.02363 \text{ pe}^3/\text{min}$$

$$\alpha = 299.13$$

$$Q_{I \text{ cal}} = 0.02509$$

$$\lambda = 265.33$$

$$P_{bar} = 29.43$$

$$\Delta H_1 = 10.7 \quad \Delta H'_1 = 9.8$$

$$\Delta H_2 = 10.9 \quad \Delta H'_2 = 10.0$$

$$\Delta H_3 = 11.1 \quad \Delta H'_3 = 10.2$$

$$\Delta H_4 = 11.3 \quad \Delta H'_4 = 10.4$$

$$\Delta H_5 = 11.5 \quad \Delta H'_5 = 10.6$$

PROGRAMA MTR

T_c	=	535 ⁰ R				
H_c	=	10"H ₂ O				
P_c	=	29.50				
\dot{M}_c	=	28.97	C_c	= 6.26		
Q_I	=	0.5808 pe ³ /min				
P_s	=	28.94"Hg				
T_{sAVG}	=	786.3 ⁰ R				
M_d	=	30.60				
$T_o(F)$	=	75 ⁰ R	β	= 6.61		
Q_{cal}	=	0.3512	α	= 335.49		
T_o	=	535 ⁰ R				
M_d	=	30.60	ϕ	= 0.59		
P_{bar}	=	29.43	ΔH_1	= 12.01	t_1	= 15.34 seg
			ΔH_2	= 12.23	t_2	= 15.06
			ΔH_3	= 12.46	t_3	= 14.77
			ΔH_4	= 12.69	t_4	= 14.49
			ΔH_5	= 12.94	t_5	= 14.20

Apresentam-se a seguir os diagramas de bloco e as listagens dos programas.

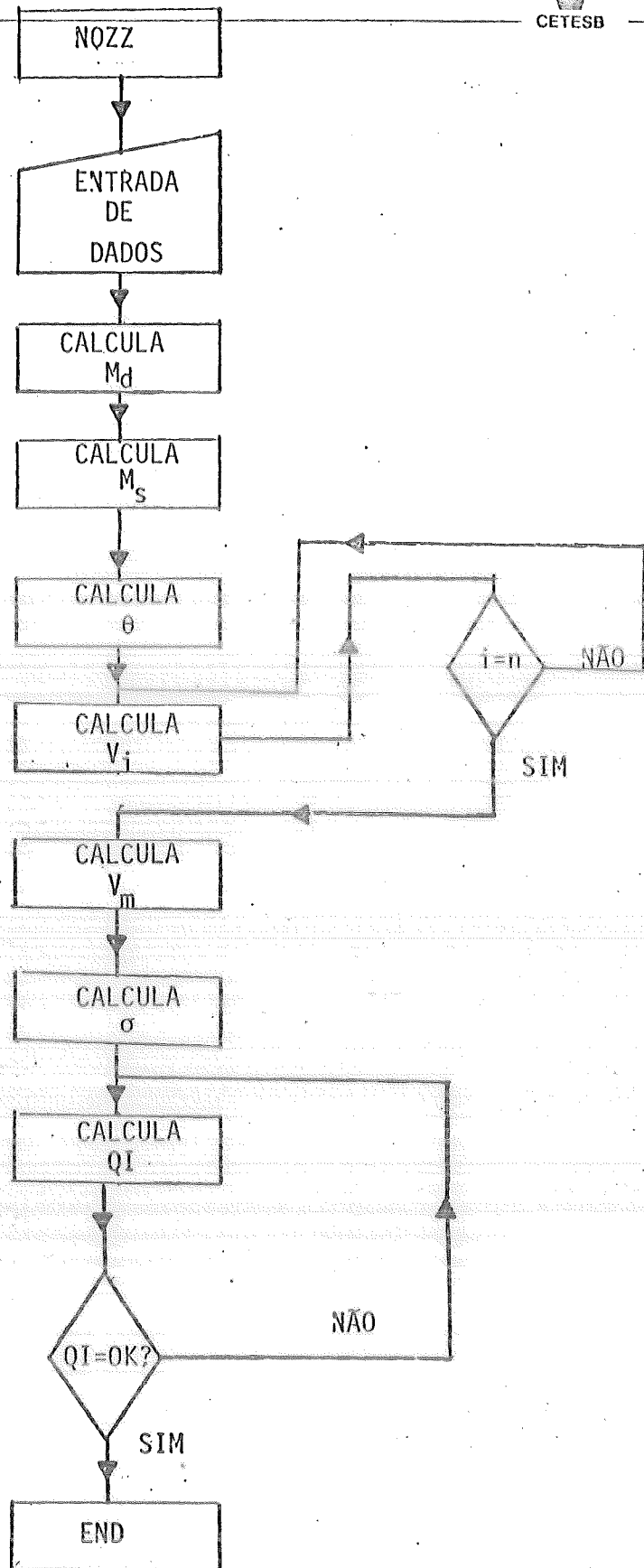
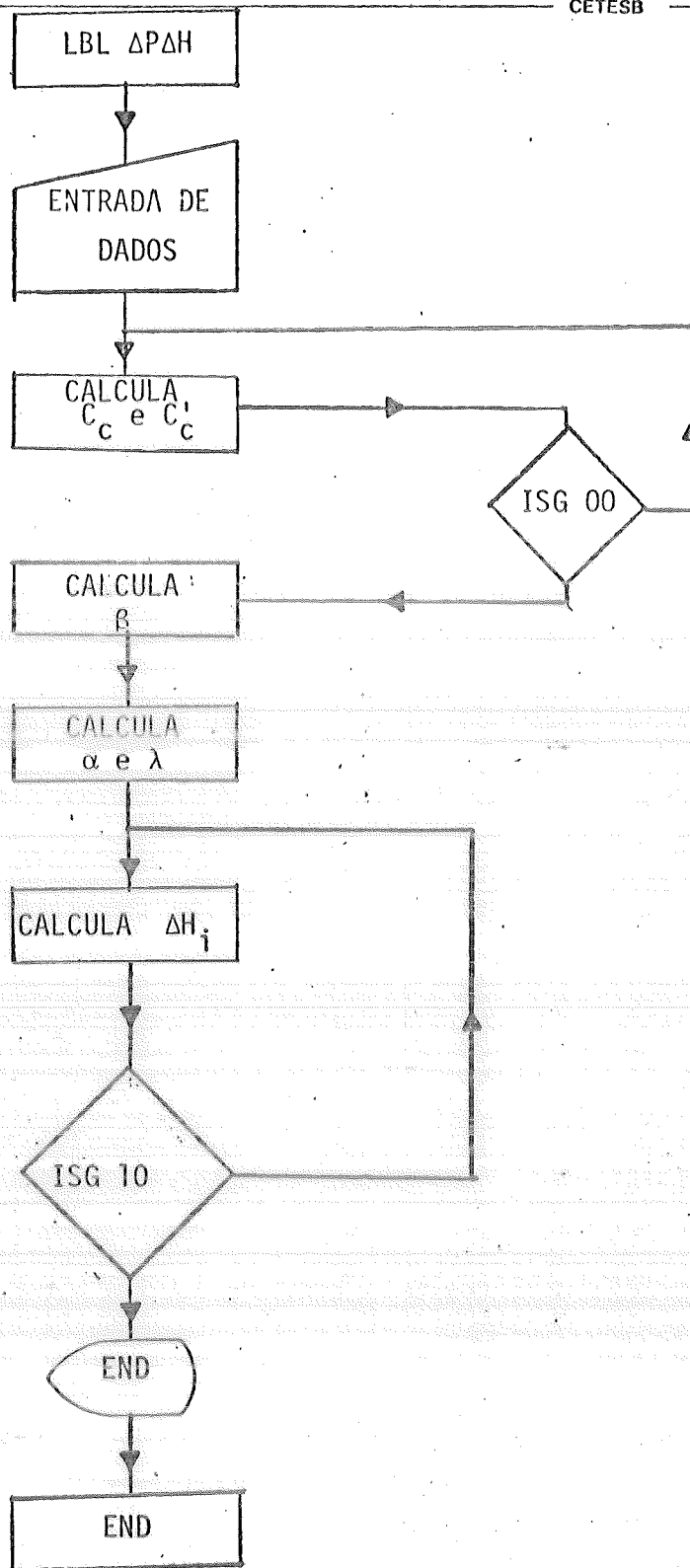


DIAGRAMA DE BLOCOS PARA A SELEÇÃO DO BOCAL

NOTA: Existem entradas de dados antes de cada operação de cálculo, não mostradas para simplificação.


 DIAGRAMA DE BLOCOS PARA O PROGRAMA ΔPAH

* Existem entradas de dados, antes de cada cálculo, não mostrados, para simplificação.

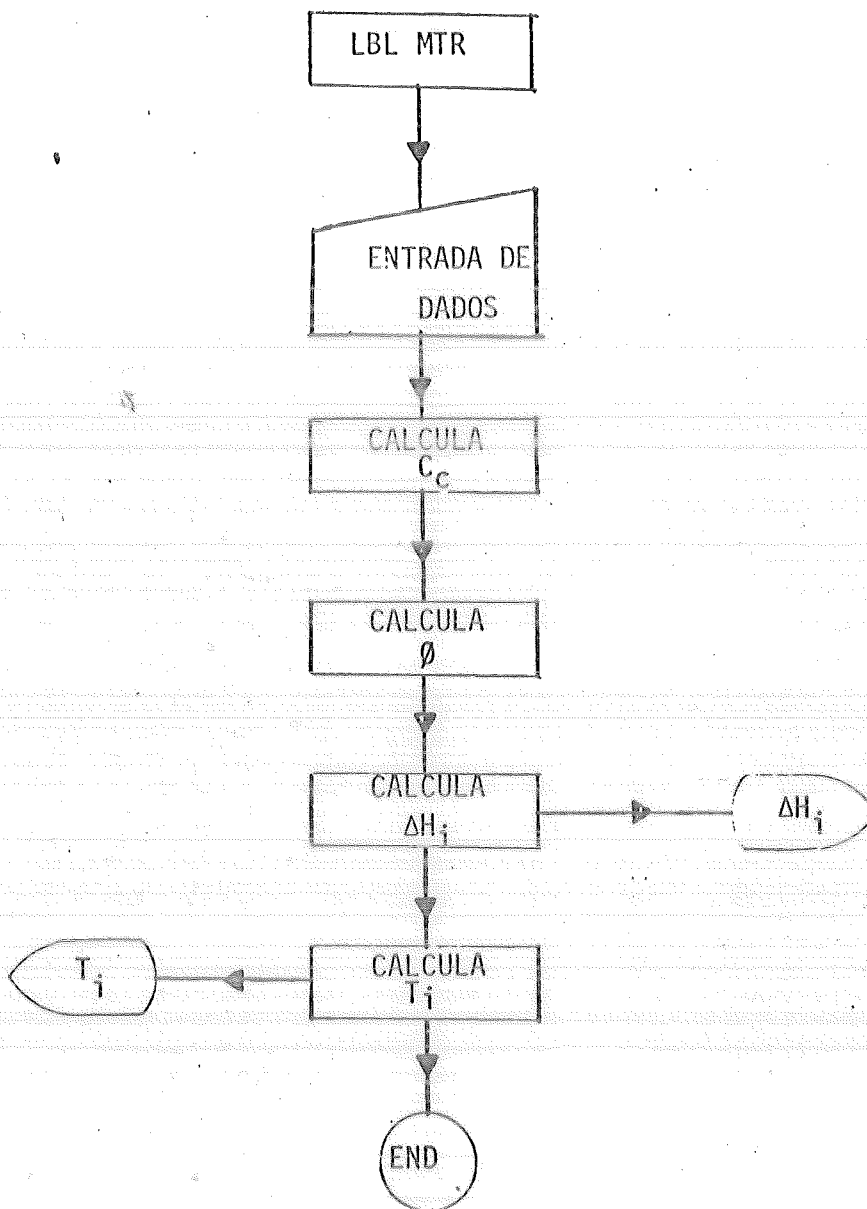


DIAGRAMA DE BLOCOS PARA O PROGRAMA MTR (medidor de gás)

OBS. Existem entradas de dados antes de cada operação de cálculo, não mostradas para simplificação.

COMENTÁRIOS

No programa de seleção do bocal e velocidade, no cálculo das velocidades, colocou-se uma pausa na apresentação dos resultados parciais, apenas para que o usuário veja o resultado. Caso haja necessidade de consulta a outras fontes para verificação desses resultados parciais, sugere-se a substituição da pausa pela operação R/S. Este programa engloba os dois primeiros substitutos do programa ACH 6.

No programa de cálculo de ΔP_{sy} , ΔH e $\Delta H'$, existe, no passo 122, uma operação R/S, que pode ser substituída por pausas para anotação dos resultados caso se deseje modificar o programa.

Quando a unidade de temperatura for $^{\circ}F$, o programa apresenta o pedido de entrada do dado como :

$$T(F) = ?$$

caso contrário :

$$T = ?$$

a temperatura será em $^{\circ}R$.



Program Name Listing

Program Title ΔHAP Date _____
 Name CASCADE IMPACTOR OPERATION

REGISTERS

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J

LABELS

FLAGS

SET STATUS

A	B	C	D	E	0	FLAGS		SET STATUS	
a	b	c	d	e	1	ON OFF		TRIG	DISP
0	1	2	3	4	2	0	<input type="checkbox"/>	DEG	<input type="checkbox"/>
5	6	7	8	9	3	1	<input type="checkbox"/>	GRAD	<input type="checkbox"/>
						2	<input type="checkbox"/>	RAD	<input type="checkbox"/>
						3	<input type="checkbox"/>	ENG	<input type="checkbox"/>
								n	

STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY
001	LD CHAP		X		LH=				
	LOAD		STO 03		LCL X				
	STO 00		SCI ?		AVIEW				
	LD C0		PTR =		RCL 08				
	TR = ?		TRCY		15.6				
	PROMPT		AVIEW						
	ΔH0 = ?		PSE		RCL 07				
	PROMPT		LD LDA		+				
	SC =	060	RCL 05	110	CHS				
	PROMPT		RCL 01		RCL 06				
	L0 = ?		X		+				
	PROMPT		Q01 = ?		STO 09				
	X		PROMPT		RCL 05				
	+		X/2						
	X		STO 05		1/X				
	LD C0		=		LH =				
	INT		STO 04		TRCY				
	TRCY		FIX 2		AVIEW				
020	LD C0	070	ALFA =	120	STO 07				
	TR =		TRCY		STOP				
	ALFA =		AVIEW		ISG 10				
	TRC		PSE		SEQ LH				
	STO 00		RCL 03		CLY				
	TRC		RCL 02		END				
	LD BETH		X		AVIEW				
	TRC =		Q1 ent = ?		END				
	PROMPT		PROMPT						
030	Q1 = ?	030	X/2	130					
	PROMPT		STO 05						
	TR = ?		FIX 2						
	PROMPT		LDA =						
	TRCY = ?		APU X						
	PROMPT		AVIEW						
	TRCY = ?		PSE						
	PROMPT		PROB = ?						
	+		PROMPT						
	X		STO 06						
	Y = PV		FIX 1						
	CHS	090	TRC	140					
040	I		TRC 05						
	+		STO 10						
	X		1.6						
	X ²		STO 07						
	TRC = ?		LCL AH						
	PROMPT		RCL 04						
	TR(F) = ?		RCL 06						
	PROMPT		RCL 07						
	ΔH0		+						
	+		+						
050	X	100	STO 08	150					

COMMENTS

STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY
160		190	
170		200	
180		210	
190		220	

BIBLIOGRAFIA

- (1) EPA-600/7-77-058 - HP-25 Programmable Pocket Calculator Applied to Air Pollution Measurement Studies : Stationary Sources.
- (2) Programmable Calculator Routines Used to Determine Flow Metering Parameters Necess for Isokinetic Sampling - TI-59 and HP-41CV.
- (3) EPA Course 450 - Source Sampling.

ACH 7 - VAZÃO DO IMPACTADOR CALCULADA PELO
ΔH DO ORIFÍCIO.

ACH 8 - VAZÃO DO IMPACTADOR CALCULADA PELO
DIÂMETRO DO BOCAL E VELOCIDADE
DO GÁS.

ACH 9 - TEMPO DE AMOSTRAGEM PARA COLETAR 50 mg.

INTRODUÇÃO

Os três programas acima são bastante simples, têm seus títulos auto explicativos.

Os dois primeiros programas são de cálculo de vazão por caminhos diferentes e o terceiro é para cálculo do tempo de coleta.

As fórmulas foram na maioria apresentadas em programas anteriores e o uso das mesmas é direto, sem elaborações.

OBJETIVO

Fornecer um programa que permita o cálculo da vazão e do tempo de amostragem para impactadores utilizados em amostragem de chaminés.

METODOLOGIA

O fluxo através de um impactador é dado por Q_I , segundo a fórmula :

$$Q_I = \frac{Q_{cal} T_s}{(1-Bw_o)P_s} \sqrt{\frac{(P_{bar} - \Delta P_{sy}) \Delta H}{T_o M_d C_c}} \quad (I)$$

onde :

T_s = temperatura da chaminé, °R;

B_{w0} = fração volumétrica de água;

P_{bar} = pressão atmosférica, pol Hg;

ΔP_{sy} = diferença de pressão entre o ambiente e o ponto imediatamente à montante do orifício, pol Hg;

ΔH = queda de pressão no orifício, pol de água;

T_o = temperatura no orifício, °R

C_c = fator de calibração do orifício, dado por :

$$C_c = \frac{T_c \Delta H_c}{P_c M_c} \quad (II)$$

onde :

P_c = pressão de calibração, pol Hg;

T_c = temperatura de calibração, °R;

ΔH_c = queda de pressão no orifício, pol Hg; quando se utiliza a vazão de calibração;

M_c = peso molecular média do gás e

Q_{cal} = fluxo de calibração para H_c , pe^3/min .

$$P_s = P_{bar} + \frac{\Delta P_s}{13.6} \quad (III)$$

ΔP_s = diferença de pressão entre a chaminé e o ambiente, pol H_2O

M_d = peso molecular seco do gás, dado por :

$$M_d = 32 B_{O_2} + 44 B_{CO_2} + 28(B_{N_2} + B_{CO})$$

B_{N_2} , B_{O_2} , B_{CO_2} e B_{CO} são as frações volumétricas de N_2 , O_2 , CO_2 e CO .

O segundo programa resume-se na aplicação da seguinte fórmula

$$Q_I = 5.072 \times 10^{-4} (V_s)_{AVG} (DN)^2 \quad (IV)$$

onde :

Q_I = fluxo através do impactador, pe^3/min ;

$(V_s)_{AVG}$ = velocidade média do gás, pē/seg e
 DN = diâmetro do bocal, mm.

para Q_I em cm^3/sec e em litros/min utilizam-se :

$$Q_I = 0.2394 (V_s)_{AVG} (DN)^2 \quad (V) \quad e$$

$$Q_I = 0.01436 (V_s)_{AVG} (DN)^2 \quad (VI)$$

O terceiro programa vale-se da seguinte fórmula :

$$t_g = \frac{0.77162}{Q_I \times G} \quad (VII)$$

onde :

t_g = tempo de coleta, min ;

Q_I = fluxo no impactador, acfm e

G = carga de particulado, g/acf ou mg/m^3 quando se deve utilizar

$$t'_g = \frac{1765.7}{Q_I \times G} \quad (VII)$$

A seguir apresentam-se os exemplos numéricos, os diagramas de bloco e a listagem dos programas reunidos em uma única lista.

EXEMPLOS NUMÉRICOS

$$B_{wo} = 0.12$$

$$Q_{cal} = 0.420 \text{ CFM}$$

$$T_s = 840^{\circ}R$$

$$P_{bar} = 28.04 \text{ "Hg}$$

$$\Delta P_{sy} = 2.0 \text{ "Hg}$$

$$\Delta H = 6.0 \text{ "Hg}$$

$$T_o = 505^{\circ}R$$

$$B_{N_2} = 0.78$$

$$B_{CO} = 0.03$$

$$B_{CO_2} = 0.13$$

$$B_{O_2} = 0.06$$

$$\Delta P_s = -6.0 \text{ "Hg}$$

$$T_c = 535^{\circ}R$$

$$\Delta H_c = 10 \text{ " H}_2\text{O}$$

$$P_c = 29.50 \text{ " Hg}$$

$$M_c = 28.97$$

$$Q_I = 2.16 \text{ ACFM}$$

$$V_{s_{AVG}} = 60 \text{ ft/seg}$$

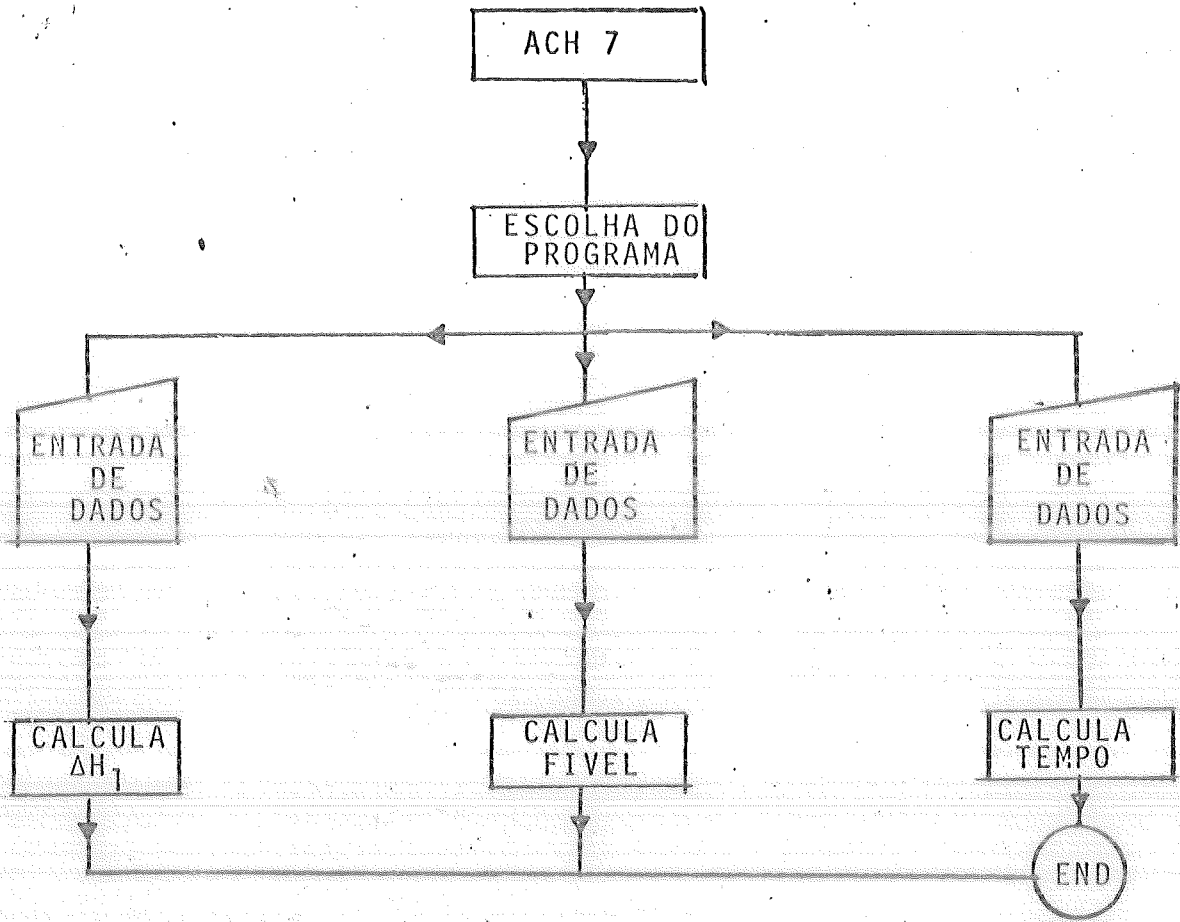
$$DN = 2 \text{ mm}$$

$$Q_I = 0.12 \text{ ACFM}$$

$$Q_I = 0.03 \text{ ACFM}$$

$$G = 2 \text{ g/ACF}$$

$$T_G = 12.86 \text{ min.}$$



BIBLIOGRAFIA

EPA 600/7-77-058 HP-25 Programmable Pocket Calculator
Applied to Air Pollution Measurement Studies : Stationary
Sources.

ACH 10 - VAZÃO DO IMPACTADOR, VOLUME DE
AMOSTRA E MASSA DE PARTICULADO

INTRODUÇÃO

Este programa calcula a massa de material particulado por volume de gás de chaminé, chamado de taxa de emissão. Esse valor é comparado com um padrão para determinar se a fábrica está ou não dentro dos limites legais.

METODOLOGIA

De acordo com (1) a vazão do gás nas condições da chaminé é da do por :

$$(Q_I)_{AVG} = Q_m \frac{P_{bar} - \Delta P_m}{P_s} \frac{T_s}{T_m(1 - B_{wo})} \quad (I)$$

onde:

$(Q_I)_{AVG}$ = vazão real média através do impactador determinada através de um medidor de gás, nas condições da chaminé, em $\text{pé}^3/\text{min}$;

P_{bar} = pressão atmosférica, pol Hg;

P_s = pressão da chaminé dada por

$$P_s = P_{bar} + \frac{\Delta P_s}{13.6} \quad (II)$$

onde :

ΔP_s = diferença de pressão entre a chaminé e o ambiente, pol H_2O ;

T_s = temperatura da chaminé, $^{\circ}R$

T_m = temperatura do medidor, $^{\circ}R$;

B_{wo} = fração volumétrica de água, adimensional;

ΔP_m = diferença de pressão entre o medidor e o ambiente, \bar{a} em trada do medidor, em pol Hg;

$$\Delta P_m = \Delta P_{sy} + \frac{\Delta H}{13.6} \quad (III)$$

onde :

ΔP_{sy} = diferença de pressão entre o ambiente e um ponto imediatamente a jusante do orifício, pol Hg;

ΔH = diferença de pressão através do orifício, pol H_2O .

$$Q_m = \frac{V_m}{t} \quad (IV)$$

onde:

Q_m = vazão média no medidor de gás, $\bar{p}\bar{e}^3/\text{min}$

V_m = volume medido, $\bar{p}\bar{e}^3$

t = tempo de amostragem

O volume correspondente a $(Q_I)_{AVG} \times t$ (V)

onde :

$(V_I)_{AVG}$ = volume amostrado através impactador

t = tempo de amostragem

O volume amostrado corrigido para $68^{\circ}F$ e $29.92''$ Hg \bar{e} :

$$V_N = (V_I)_{AVG} \left[17.65 \frac{P_s}{T_s} (1 - B_{wo}) \right] \quad (VI)$$

onde todos os termos já foram anteriormente definidos.

A taxa de emissão (massa de particulado por volume de gás da chaminé), em condições normais \bar{e} :

$$G_N = (0.01543) \frac{M_s}{V_N} \quad (VII)$$

onde :

G_N = massa de particulado por pē cúbico normal seco de gás em grãos/pē³.

M_S = massa de material particulado coletada em cada estágio do impactador ou a massa total (inclusive a do filtro), conforme necessário, em grãos.

A taxa de emissão nas condições da chaminē, gás úmido é :

$$G_A = (0.01543) M_S / (V_I)_{AVG} \quad (VIII)$$

Apresentam-se a seguir, um exemplo numérico, o diagrama de blocos e a listagem do programa.



EXEMPLO NUMÉRICO

$P_{bar} = 30.00''Hg$

$P_s = -13.6''H_2O$

$P_s = 29.00$

$T_s = 300^{\circ}F$

$B_{wo} = 0.05$

$T_M = 70^{\circ}F$

$T = 20 \text{ min}$

$V_M = 10 \text{ pe}^3$

$Q_M = 0.50 \text{ ACFM}$

$\Delta P_{sy} = 1.6''Hg$

$\Delta H = 5.4''H_2O$

$(Q_I)_{AVG} = 0.729 \text{ ACFM}$

$(V_I)_{AVG} = 14.575 \text{ ACF}$

$V_N = 9.326 \text{ DNCF}$

$n = 1 \text{ (nº de massas -1)}$

$M_s = 25 \text{ mg}$

$G_N = 0.041 \text{ gr/DNCF}$

$G_A = 0.026 \text{ gr/ACF}$

$M_T = 100 \text{ mg}$

$G_N = 0.165 \text{ gr/DNCF}$

$G_A = 0.106 \text{ gr/ACF}$

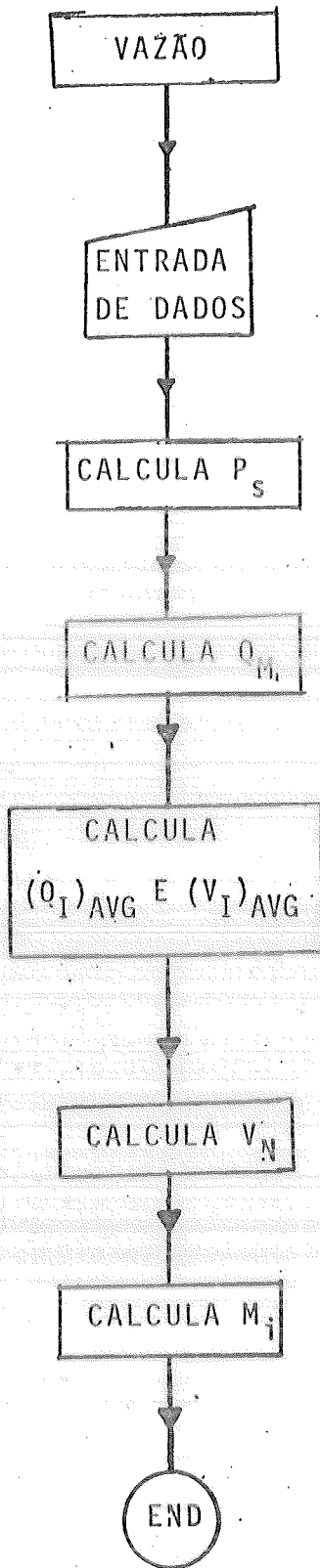


DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROGRAMA ACH-10



CETESB

Programa de Análise

Program Title ACH-10 VAZÃO DO IMPACTADOR
Name VAZAO

06.
Data 20.12.84

REGISTERS

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
LABELS					FLAGS			SET STATUS	
A	B	C	D	E	0	FLAGS		TRIG	DISP
a	b	c	d	e	1	ON OFF		DEG <input type="checkbox"/>	FIX <input type="checkbox"/>
0	1	2	3	4	2	0 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRAD <input type="checkbox"/>	SCI <input type="checkbox"/>
5	6	7	8	9	3	1 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RAD <input type="checkbox"/>	ENG <input type="checkbox"/>
						2 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		n
						3 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY
001	LCL VAZAO		÷		*
	PROMPT		+		SN=
	ST001		CH3		ARCLX
	APS=?		RCL01		AVIEW
	PROMPT		+		PSE
	13.6		RCL02		PSE
	÷		÷		RCL00
	+		RCL03		RCL07
010	PS=	000	÷	110	*
	ARCLX		RCL08		RCL05
	AVIEW		*		÷
	PSE		QIANG=		GA=
	PSE		ARCLX		ARCLX
	TS=?		AVIEW		AVIEW
	PROMPT		STOP		PSE
	460		LCL VIANG		PSE
	+		RCL04		TEG09
	÷		*		STO 6N
	1		STO 05		END
020	RWIO=?	070	VIA'S	120	
	PROMPT		ARCLX		
	-		AVIEW		
	*		STOP		
	STO02		LCL VIJ		
	TH=?		17.65.		
	PROMPT		*		
	460		RCL02		
	+		*		
	STO03		STO 06		
030	LCL QM	080	VIJ=	130	
	TE?		ARCLX		
	PROMPT		AVIEW		
	STO04		STOP		
	VI=?		QTOE ESTA		
	PROMPT		SIDE?		
	RCL04		PROMPT		
	÷		1000		
	STO 08		÷		
040	Qm=	090	0.00001	140	
	ARCLX		+		
	AVIEW		STO09		
	PSE		LCL GN		
	PSE		0.1543		
	LCL VIANG		STO 07		
	APSY=?		MS=?		
	PROMPT		PROMPT		
	AM=?		STO 00		
	PROMPT		RCL06		
050	13.6	100	+	150	
			RCL01		

COMMENTS

STEP	KEY ENTRY	STEP	KEY ENTRY
100		190	
		200	
		210	
		220	
		230	
		240	
		250	
		260	
		270	
		280	
		290	
		300	

BIBLIOGRAFIA

EPA - 600/7-77-058 HP-25 Programmable Pocket Calculator
Applied to Air Pollution Measurement Studies Stationary
Sources.



ANEXO .03

MPPROG

```

1 REM      * * * * IMPACTOR PROGRAM VERSION 4.1 * * *
*
2 REM      ***** MAIN IMP. DATA REDUCTION
3 REM      **** BASED ON DRI TRS 80 IMP. PROG. IN TURN BASED ON
SORI "CIDRS"
4 REM      **** APPLE VERSION BY J D MCCAIN      ****
5 REM      **** VERSION 1.0 CREATED 1/28/83 V1.2 3/16/83 V1.5 5
/2/83 V2.2 5/19/83 V2.3 10/20/83 V2.4 2/23/84 V2.5 4/12/84 (T
HEO. SQR PSI)
6 REM      7/20/84 ADD AV, ND, AND IS TO OUTPUT FILE ON DISK 12
/10/84 ADD RAW DATA SAVE&RETRIEVE
7 REM      V3.0 4/22/85 REVISE PRESSURE DROP ALLOCATION WHEN DP
TOTAL IS ENTERED WITH DATA
8 REM      12/12/85 V3.1 ADD COMP. GAS CORRECTIONS TO STAGE D
P CALC'S, DROP TEST FILE INFO READS, & CHANGE FROM VXD50 TO
VXD50XSQR(RHO) FOR BOUNCE TEST V4.0 12/16/85 ADD METER CORR &
ZH2O CALC, 2/13/86 ADD MANUAL GAS COMP. INPUT (V4.1)
9 GOSUB 63999: REM INITIALIZE PRINT FORMATTER
15 D$ = CHR$(13) + CHR$(4)
16 WG = 0:RH = 2.5:DA = 0:DL = 0
19 REM ***** NOTE! DO NOT EDIT LINE #20 NOR PLACE ANY 'DIM'
STATEMENTS BEFORE IT OR DATA SAVE PART OF PROGRAM WILL NOT WO
RK
20 DIM M(23),JN(20),DJ(20),JA(20),SI(20),JS(20),MZ(20),DA(40
),RE(20),U(5),F(5),MW(5): REM NOTE! DO NOT EDIT THIS LINE!!
!!
30 I$ = "INLET":FI$ = "XX"
50 DIM DI$(50)
60 DIM F$(35),Z2$(100)
100 HOME : GOSUB 1000: REM INITIALIZE PROGRAM
105 POKE 216,0: PRINT "DO YOU WANT TO RETRIEVE AN OLD": PRINT
"DATA SET? (Y/N)": GET R$: IF R$ = "Y" THEN GOSUB 31000
110 POKE 216,0: GOSUB 2000
115 ZY = 0: IF NM$ = FI$ THEN HOME : PRINT "THE NAME USED FO
R THIS RUN IS THE SAME AS THAT OF THE OLD/LAST RUN. THE
PREVIOUS DATA WILL BE OVERWRITTEN IF THERESULTS ARE SAVED.
": PRINT "IS IT OK TO PROCEED (Y/N) ?": GET A$: IF A$ < > "Y
" GOTO 110
116 IF NM$ = "" THEN HOME : PRINT "NEED FILE NAME - WILL GO
BACK TO PAGE 1 OF DATA ENTRY. PRESS ANY KEY TO CONT.": GET A
$: GOTO 110
120 HOME : PRINT "CALCULATIONS"
140 PRINT : PRINT "FLOW RATES": GOSUB 4000
155 PRINT "PRESSURE DROPS": GOSUB 4900: IF SH = 1 THEN 160
156 INPUT "C(ALIB. OR T)HEO. SQR T PSI ?":TH$: IF TH$ < > "C
" AND TH$ < > "T" THEN 156
157 IF TH$ = "T" THEN GOSUB 20000
160 POKE 216,0: PRINT "CUTPOINTS": GOSUB 5000
170 HOME : PRINT "CALCULATIONS"
180 PRINT "FIT - INIT": GOSUB 5500
182 IF ZY = 1 THEN GOTO 110
185 PRINT "LOG-NORMAL SIZE DISTRIBUTION": GOSUB 10000

```

```

190 PRINT "SPLINE FIT": GOSUB 6000
200 GOSUB 9000: PRINT D$;"PR#0": REM HARDCOPY
220 GOSUB 7000: REM DISK SAVE
225 PRINT "DO YOU WANT TO SAVE RAW DATA? (Y/N)": GET R$: IF
R$ = "Y" THEN GOSUB 30000
240 HOME : VTAB 5: PRINT "R)ETURN TO MAIN MENU OR": INPUT "C
)ONTINUE WITH MORE RUNS";R$
250 IF R$ = "R" THEN 997
260 IF R$ < > "C" THEN 240
270 GOTO 105
997 PRINT D$;"RUN MAIN MENU" + ",D1"
999 END
1000 REM <<< XXX INITIALIZATION XXX>>>
1002 DIM XX(20),YY(20),Y1(20),Y2(20),DG(20),XP(20)
1004 DIM H(20),DL(20),H2(20),B(20),DQ(20),S2(20),C(20),S3(20
)
1005 DIM CU(20),CC(20),PS(20),DP(20),UJ(20),D5(20),D6(20),X(
20),Y(20)
1006 F$(29) = " 1)PART. DIAMETER "
1008 F$(30) = " 12) ORIFICE ID (OPTIONAL): &"
1009 F$(31) = " 13) SUBSTRATE MATERIAL: "
1010 F$(32) = " 14)WATER VOLUME ####.# CC"
1012 F$(33) = " 15)METER FACTOR #.####"
1018 F$(0) = "IMPACTOR VERSION 4.1"
1020 F$(1) = " 2)DATE OF TEST: "
1030 F$(2) = " 3)TIME OF TEST: "
1040 F$(3) = " 4)LOCATION OF TEST: "
1050 F$(4) = " 5)TEST NUMBER ####"
1060 F$(5) = " 7)RUN NUMBER: "
1070 F$(6) = " 8)RUN REMARKS: "
1080 F$(7) = " 10) IMPACTOR TYPE: "
1090 F$(8) = " 1) GAS METER VOL ###.### CUBIC FEET"
1100 F$(9) = " 2) IMPACTOR DELTA P ##.## IN. HG."
1110 F$(10) = " 3) ORIFICE DELTA P #.## INCHES H2O"
1120 F$(11) = " 4) STACK PRESSURE ##.## INCHES H2O"
1130 F$(12) = " 5) BAROMETRIC PRES ##.## INCHES HG"
1140 F$(13) = " 6) STACK TEMP #### DEGREES F"
1150 F$(14) = " 7) METER TEMP ### DEGREES F"
1160 F$(15) = " 8) IMPACTOR TEMP #### DEGREES F"
1170 F$(16) = " 9) SAMPLE TIME ####.# MINUTES"
1180 F$(17) = " 10) AVG GAS VEL ###.## FEET/SEC"
1190 F$(18) = " 11) ORIFICE PRES ##.## INCHES HG"
1200 F$(19) = " 12) NOZZLE DIA #.#### INCHES"
1205 F$(21) = " 13) MAX PART DIA ####.# MICRONS"
1210 F$(20) = " CO2 ##.##%; CO ##.##%"
1220 F$(22) = " O2 ##.##%; N2 ##.##%"
1230 F$(24) = " 9) WATER VAPOR ##.##%"
1240 F$(25) = " 11) PARTICLE DENSITY ##.## GRAMS/CC"
1250 F$(26) = " MASS GAIN OF &; ##.## MG"
1260 F$(27) = " 6) TEST TYPE "
1265 F$(28) = " CUM MASS LESS THAN ##.###; MICRON: ##.##; MG/
DNM3 (##.## %)"
1269 REM GET FILE VALUE FOR MOISTURE CONTENT
1270 PRINT D$;"OPEN METH4.DAT" + ",D2": PRINT D$;"READ METH4
.DAT"

```

```

1280 INPUT X,X,X,X,X,BW
1290 PRINT D$;"CLOSE"
1299 REM GET FILE VALUES FOR DRY GAS COMPOSITION
1300 PRINT D$;"OPEN ORSAT.DAT" + ",D2": PRINT D$;"READ ORSAT
.DAT"
1310 INPUT CM,CD,02,N2
1320 PRINT D$;"CLOSE"
1330 TH$ = "C":MF = 1:GD = 1.293E - 03:PM = 1.4764E - 05:MA =
28.97:DC2 = .61 % .61:HG = 13.6:QC = 471.95:FR = 460:FS = 492
:SP = 29.92:X0 = 1000:F1 = 10: REM DC2=SQUARE OF DISCHARGE
COEFF.
1335 GOSUB 5700
1340 RETURN
1400 REM XXXX MENU INSTRUCTIONS
1410 VTAB 21: PRINT "ENTER: Q)UIT, P)AGE, OR NUMBER OF ITEM
TO ENTER/CHANGE: ""
1420 VTAB 22: HTAB 20: INPUT R$: IF R$ = "Q" THEN RETURN
1430 IF R$ = "P" THEN RETURN
1440 P = VAL (R$): IF P < 1 OR P > MX THEN GOTO 1410
1450 RETURN
2000 REM XXX<<< MENU, PAGE 1 >>>XXX
2010 MX = 13:ZY = 0
2020 HOME : PRINT F$(0);" - PAGE 1 OF 3": PRINT
2025 PRINT F$(29);: IF F1 = 1 THEN PRINT "PHYSICAL": GOTO 2
030
2026 IF F1 = 0 THEN PRINT " IMP. AERO.": GOTO 2030
2027 F1 = 10: PRINT "CLASS. AERO."
2030 PRINT F$(1);DT$
2040 PRINT F$(2);T$
2050 PRINT F$(3);L$
2060 CALL BU,R$,F$(4),TN: PRINT R$
2070 PRINT F$(27);I$
2080 PRINT F$(5);RN$;" -FILE NAME: ";NM$
2090 PRINT F$(6);RR$
2100 CALL BU,R$,F$(24),BW * 100: PRINT R$
2104 CALL BU,R$,F$(20),CD,CM: PRINT R$
2106 CALL BU,R$,F$(22),02,N2: PRINT R$: PRINT
2110 PRINT F$(7);IM$;" ";IN$
2155 CALL BU,R$,F$(25),RH: PRINT R$
2157 CALL BU,R$,F$(30),RO$: PRINT R$
2158 PRINT F$(31) + SM$
2160 GOSUB 1400
2200 IF R$ = "Q" THEN RETURN
2210 IF R$ = "P" THEN GOTO 3000
2230 ON P GOSUB 2252,2260,2270,2280,2290,2390,2420,2520,2730
,2530,2240,2610,2850
2235 GOTO 2010
2240 VTAB 23: HTAB 15: INPUT " PART. DENS.= ";RH: RETURN
2252 VTAB 23: HTAB 15: PRINT "ENTER DIAM.BASIS I)MP.AERO, C)
LASS.AERO,OR P)HYSICAL": GET X$: IF X$ = "I" THEN F1 = 0: RETURN
2253 IF X$ = "C" THEN F1 = 10: RETURN
2254 F1 = 1: RETURN
2260 VTAB 23: HTAB 15: INPUT "ENTER TEST DATE ";DT$: RETURN

```

```

2270 VTAB 23: HTAB 15: INPUT "ENTER TEST TIME ";T$: RETURN
2280 VTAB 23: HTAB 15: INPUT "TEST LOCATION ";L$: RETURN
2290 VTAB 23: HTAB 15: INPUT "ENTER TEST NUMBER ";Y: IF TN =
Y THEN RETURN
2295 TN = Y: GOTO 2430
2390 VTAB 23: HTAB 15: INPUT "ENTER I)NLET OR O)UTLET ";X$: IF
X$ = "I" THEN I$ = "INLET": RETURN
2400 X$ = "O": I$ = "OUTLET"
2410 IF RN$ = "" THEN RETURN
2415 GOTO 2430
2420 VTAB 23: HTAB 15: INPUT "ENTER RUN NUMBER ";RN$
2429 REM BUILD FILE NAME FOR SAVING RESULTS
2430 NM$ = "T" + STR$(TN) + "R" + RN$ + "." + LEFT$(I$,1)
+ "T"
2431 ZZ$ = "RUN": Y$ = NM$
2433 GOSUB 2800: REM CHECK FOR PRIOR USE OF FILE NAME
2436 IF OK = 0 THEN RETURN
2470 VTAB 24: PRINT "A FILE FOR THAT TEST/RUN ALREADY EXISTS"

2480 FOR I = 1 TO 2000: NEXT I
2490 RN$ = "": NM$ = "": RETURN
2520 VTAB 23: HTAB 15: INPUT "ENTER RUN REMARKS ";RR$: RETURN

2530 VTAB 23: HTAB 15: INPUT "ENTER IMP. TYPE ";Y$
2535 IM$ = Y$
2536 ZZ$ = "IMP"
2537 GOSUB 2800: REM CHECK FOR IMPACTOR FILE EXISTENCE
2538 IF OK = 0 THEN IM$ = IM$ + " NOT IN FILE": RETURN
2539 REM GET IMPACTOR HARDWARE DATA
2540 PRINT D$;"OPEN" + IM$ + "/IMP" + ",D2": PRINT D$;"READ"
+ IM$ + "/IMP"
2550 INPUT S
2560 FOR I = 1 TO S
2570 INPUT JN(I),DJ(I),JA(I),SI(I),JS(I),MZ(I),MZ(I)
2580 NEXT I
2590 INPUT IN$,MR,SH,DC2
2600 PRINT D$;"CLOSE":DC2 = DC2 % DC2: RETURN
2610 VTAB 23: HTAB 5: INPUT "ENTER ORIFICE ID (.DDDL) ";RO$:
Y$ = RIGHT$(RO$,1):ZZ$ = "ORI": GOSUB 2800
2620 IF OK = 0 THEN RO$ = RO$ + " NOT IN FILE": RETURN
2629 REM GET ORIFICE METER CONSTANTS
2630 PRINT D$;"OPEN" + Y$ + "/ORI" + ",D2": PRINT D$;"READ" +
Y$ + "/ORI"
2640 INPUT NN
2650 FOR I = 1 TO NN
2660 INPUT DI,CQ,CP,CT,PP
2670 IF DI = VAL(RO$) THEN PRINT D$;"CLOSE": I = NN: NEXT
I: RETURN
2680 NEXT I
2690 RO$ = RO$ + " NOT IN FILE": PRINT D$;"CLOSE": RETURN
2730 VTAB 23: HTAB 20: INPUT "% H20=" ;R$: IF R$ = "" THEN GOTO
2742
2735 BW = VAL(R$):BW = BW / 100:WA = 0
2740 F$(24) = LEFT$(F$(24),28) + " (KEYBOARD)"
2742 VTAB 23: HTAB 20: PRINT "CHANGE OTHER GASES?";: GET R$:

```

```

PRINT R$: IF R$ < > "Y" THEN RETURN
2744 VTAB 23: HTAB 20: PRINT "          "; VTAB 23
: HTAB 20: INPUT "ENTER CO2: ";R$: IF R$ < > "" THEN CD = VAL
(R$)
2746 VTAB 23: HTAB 20: PRINT "          "; VTAB 23
: HTAB 20: INPUT "ENTER CO : ";R$: IF R$ < > "" THEN CM = VAL
(R$)
2748 VTAB 23: HTAB 20: PRINT "          "; VTAB 23
: HTAB 20: INPUT "ENTER O2: ";R$: IF R$ < > "" THEN O2 = VAL
(R$)
2750 N2 = 100 - (O2 + CD + CM)
2760 RETURN
2800 PRINT D$;"OPEN" + ZZ$ + "/NAM" + ",D2": PRINT D$;"READ"
+ ZZ$ + "/NAM"
2802 OK = 0
2805 INPUT N9: IF N9 = 0 THEN PRINT D$;"CLOSE": PRINT "FILE
FOR ";ZZ$;" /NAM EMPTY": FOR I = 1 TO 3000: NEXT I: RETURN
2810 FOR I = 1 TO N9
2815 INPUT YY$: IF YY$ = Y$ THEN OK = 1
2820 NEXT I
2830 PRINT D$;"CLOSE": IF N9 = 100 THEN HOME : FLASH : PRINT
"FILE FOR ";ZZ$;" /NAM FULL": NORMAL : PRINT "PURGE FILE BEFOR
E CONTINUING": FOR I = 1 TO 1000: NEXT I
2840 RETURN
2850 VTAB 23: INPUT "ENTER SUBTRATE MATERIAL: ";SM$: RETURN

3000 REM      <<<XXX MENU, PAGE 2 XXX>>>
3010 P = 1
3020 HOME : PRINT F$(0);" - PAGE 2 OF 3": PRINT
3030 CALL BU,R$,F$(8),VM: PRINT R$
3040 CALL BU,R$,F$(9),DP: PRINT R$
3050 CALL BU,R$,F$(10),OP: PRINT R$
3060 CALL BU,R$,F$(11),PS: PRINT R$
3070 CALL BU,R$,F$(12),PB: PRINT R$
3080 CALL BU,R$,F$(13),TS: PRINT R$
3090 CALL BU,R$,F$(14),TM: PRINT R$
3100 CALL BU,R$,F$(15),TI: PRINT R$
3110 CALL BU,R$,F$(16),TD: PRINT R$
3120 CALL BU,R$,F$(17),AV / 60: PRINT R$
3130 CALL BU,R$,F$(18),PC / 13.569: PRINT R$
3140 CALL BU,R$,F$(19),ND: PRINT R$
3150 CALL BU,R$,F$(21),X0: PRINT R$
3152 CALL BU,R$,F$(32),WA: PRINT R$
3154 CALL BU,R$,F$(33),MF: PRINT R$
3160 MX = 15: GOSUB 1400
3190 IF R$ = "Q" THEN RETURN
3200 IF R$ = "P" THEN GOTO 3500
3230 ON P GOSUB 3260,3270,3280,3290,3300,3310,3320,3330,3340
,3350,3360,3370,3380,3390,3400
3250 GOTO 3020
3260 VTAB 24: HTAB 5: INPUT "VM (0 FOR ORIFICE FLOW) = ";VM:
RETURN
3270 VTAB 24: INPUT "IMPACTOR DP (FOR THEO.DP ENTER 0). DP= "
;DP: RETURN
3280 VTAB 24: HTAB 15: INPUT "ORIFICE DP= ";OP: RETURN

```

```

3290  VTAB 24: HTAB 5: INPUT "STACK DP TO AMBIENT = ";PS: RETURN
3300  VTAB 24: HTAB 15: INPUT "PB= ";PB: RETURN
3310  VTAB 24: HTAB 15: INPUT "TS= ";TS: RETURN
3320  VTAB 24: HTAB 15: INPUT "TM= ";TM: RETURN
3330  VTAB 24: HTAB 15: INPUT "TI= ";TI: RETURN
3340  VTAB 24: HTAB 15: INPUT "SAMPLE DURATION= ";TD: RETURN

3350  VTAB 24: HTAB 15: INPUT "AV= ";AV:AV = AV * 60: RETURN

3360  VTAB 24: HTAB 5: INPUT "ORIFICE DP TO AMBIENT = ";PC:PC
= PC * 13.569: RETURN
3370  VTAB 24: HTAB 15: INPUT "ND= ";ND: RETURN
3380  VTAB 24: HTAB 15: INPUT "MAX DIA= ";X0: RETURN
3390  VTAB 24: HTAB 15: INPUT "WATER VOL.= ";WA: RETURN
3400  VTAB 24: HTAB 15: INPUT "METER FACTOR = ";MF: RETURN
3498  RETURN
3500  REM          <<< XXX MENU, PAGE 3, IMPACTOR STAGE WEIGHT
5 XXX>>>
3510  F = 1:WG = 1
3520  HOME : PRINT F$(0);" - PAGE 3 OF 3"
3540  NZ = S - MR:MX = S + 3: FOR I = 1 TO S + 3
3550  IF I < = S THEN X$ = "STAGE " + STR$(I)
3570  IF I = S + 1 THEN X$ = "FILTER " + STR$(I)
3575  IF I = S + 2 THEN PRINT :X$ = STR$(I) + " BLANK SUBS
T."
3578  IF I = S + 3 THEN X$ = STR$(I) + " BLANK FILTER"
3580  CALL BU,R$,F$(26),X$,M(I): PRINT R$
3590  NEXT I
3600  GOSUB 1400
3640  IF R$ = "Q" THEN RETURN
3650  IF R$ = "P" THEN GOTO 2000
3670  VTAB 23: HTAB 10: PRINT "ENTER MASS ";P: VTAB 23: HTAB
23: INPUT " ";M(P)
3690  FF = M(S + 1):FC = M(S + 3):SC = M(S + 2): GOTO 3520
4000  REM  <<< XXX SUBROUTINE FLOW XXX>>>
4002  IF WA > 0 AND VM > 0 THEN VH = .0472 * WA:VS = 17.65 *
VM * MF * (PB - (OP - PC) / 13.6) / (TM + FR):BW = VH / (VH +
VS): REM  CALCULATE MOISTURE CONTENT IF CONDENSED WATER & GAS
METER VOLUMES WERE ENTERED
4003  PRINT "VISCOSITY": GOSUB 4500
4005  IF VM = 0 THEN Q0 = CQ * SQR (OP * CP * MA * (TM + FR)
/ PP / (CT + FR) / DM / (PB + PC / HG)):QS = Q0 * (PB + PC /
HG) * FS / SP / (TM + FR):QI = QS * (TI + FR) * SP / FS / (PB
+ PS / HG) / (1 - BW): REM  FLOW FROM ORIFICE METER
4020  IF VM < > 0 THEN QI = MF * VM / TD * (PB - (OP - PC) /
HG) / (PB + PS / HG) * (TI + FR) / ((TM + FR) * (1 - BW)): REM
FLOW FROM GAS METER
4030  IF VM < > 0 THEN QS = MF * VM / TD * 17.65 * (PB - (OP
- PC) / HG) / (TM + FR)
4040  IF AV < > 0 AND ND < > 0 THEN IS = 183.35 * QI / (ND *
ND * AV) * 100 * (TS + FR) / (TI + FR): REM  PERCENT ISOKINET
IC
4045  PRINT "QI = ";QI;" QS= ";QS;" IS= ";IS: IF WA > 0 THEN
PRINT "% WATER = ";BW * 100

```

```

4050 RETURN
4500 REM <<<XXX SUBROUTINE VISCOSITY XXX>>>
4509 REM CALCULATE WET AND DRY MOLECULAR WEIGHTS
4510 MW(1) = 44.1
4520 MW(2) = 28.01
4530 MW(3) = 28.02
4540 MW(4) = 32
4550 MW(5) = 18.02
4560 F(1) = CD / 100
4570 F(2) = CM / 100
4580 F(3) = N2 / 100
4590 F(4) = O2 / 100
4600 F(5) = BW
4610 MW = 0: FOR I = 1 TO 4: MW = MW + F(I) * MW(I): NEXT I: DM
= MW: MW = MW * (1 - BW) + BW * MW(5)
4619 REM CALCULATE VISCOSITIES OF INDIVIDUAL GAS COMPONENT
S FROM CURVE FITS TO DATA IN CRC HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PH
YSICS
4620 T = (TI - 32) * 5 / 9
4630 U(1) = 138.494 + T * (.499 + T * (-.286E - 3 + T * .97
2E - 7))
4640 U(2) = 165.763 + T * (.442 + T * (-.213E - 3))
4650 U(3) = 167.086 + T * (.417 + T * (-.139E - 3))
4660 U(4) = 190.187 + T * (.558 + T * (-.336E - 3 + T * .13
9E - 6))
4670 U(5) = 87.8 + T * (.374 + T * (-.283E - 4))
4679 REM CALCULATE VISCOSITY OF GAS MIXTURE BY METHOD GIVEN
BY WILKE - J. CHEM. PHYSICS VOL 18
4680 U = 0
4690 FOR I = 1 TO 5
4700 IF F(I) = 0 GOTO 4790
4710 SU = 0
4720 FOR J = 1 TO 5
4730 IF F(I) = 0 GOTO 4770
4740 IF I = J GOTO 4770
4750 VT = 1 + SQR (U(I) / U(J) * SQR (MW(J) / MW(I)))
4760 SU = SU + VT * VT / (4 * SQR ((1 + MW(I) / MW(J)) / 2))
* F(J)
4770 NEXT J
4780 U = U + U(I) / (1 + SU / F(I))
4790 NEXT I
4795 PRINT "VIS = "; U; " UP"
4800 U = U * 1E - 6
4810 RETURN
4900 REM XXXX"THEO. PRES. DROP CALC. FOR COMPRESSIBLE FLOW
XXXX
4901 REM BASED ON PRESURE DROP FOR SHARP EDGED ORIFICE
4902 PRINT "HARDCOPY OF STAGE DP CALC'S?": GET R$: IF R$ = "
Y" THEN PRINT D$;"PR#1"
4910 DP(0) = 0: PS(0) = PB + PS / HG: Y2 = 1: REM "Y2=COMPRESSI
ON CORRECTION FACTOR
4920 FOR I = 1 TO S
4921 PRINT : PRINT "FOR STAGE="; I
4925 PS(I) = PS(I - 1) - DP(I - 1): REM "STAGE INLET PRES.
4927 PRINT "P IN. = "; PS(I)

```

```

4930 VJ(I) = QC * QI * PS(0) / (JA(I) * JN(I) * PS(I)): REM "
PLUG FLOW VELOCITY AT JET INLET
4931 RE(I) = GD * PS(I) * MW * FS * VJ(I) * DJ(I) / SP / (TI +
FR) / MA / U:LRE = .434 * LOG (RE(I)): REM CALCULATE REYNOL
DS NUMBER OF FLOW
4932 PRINT "RE=";RE(I)
4934 REM "DISCHARGE COEFFICIENT FOR SHARP EDGED ORIFICE VS
RE. NO. - APPROACH RATIO = 0.2 FROM PIECEWISE FIT TO CURVE I
N BROWN - "UNIT OPERATIONS"
4935 DC2 = (LRE < 1.55) * (.273 * LRE + .2173) + (LRE > = 1.
55 AND LRE < 2) * (.089 * LRE + .5022) + (LRE > = 2 AND LRE <
2.2) * (.05 * LRE + .58) + (LRE > = 2.2 AND LRE < 3) * ( -
.05 * LRE + .8) + (LRE > = 3 AND LRE < 4) * ( - .03 * LRE +
.74) + (LRE > = 4) * .62:DC2 = DC2 * DC2
4936 PRINT "DC="; SQR (DC)
4940 DP(I) = PM * GD * PS(I) * MW * FS * VJ(I) * VJ(I) / SP /
(TI + FR) / MA / DC2 / Y2:DP(I) = DP(I) * .78: REM "PRESSURE
DROP ESTIMATE
4941 Y2 = 1 - DP(I) / PS(I) * .25:Y2 = Y2 * Y2: REM "COMPRES
SION CORRECTION FACTOR FROM FIT TO CURVE IN CONSIDINE - "PRO
CESS INSTRUMENTS AND CONTROLS HANDBOOK"
4942 PRINT "DP EST.=";DP(I)
4943 PRINT "Y="; SQR (Y2)
4950 DP(I) = PM * GD * PS(I) * MW * FS * VJ(I) * VJ(I) / SP /
(TI + FR) / MA / DC2 / Y2:DP(I) = DP(I) * 0.78: REM "CORRECTE
D PRESSURE DROP
4951 PRINT "DP=";DP(I): PRINT
4955 IF (DP(I) / PS(I)) > .47 THEN PRINT "FLOW SONIC AT STA
GE ";I:DP(I) = 0.47 * PS(I): PRINT "REVISED DP=";DP(I): REM "
LIMIT TO SONIC DP
4960 NEXT I
4961 IF DP = 0 GOTO 4991
4965 REM "SCALE DP'S IF MEASURED PRESSURE DROP WAS INPUT
4971 FOR I = 1 TO S:DP(I) = DP(I) * DP / (PS(0) - PS(S) + DP
(S)): NEXT I
4972 FOR I = 1 TO S:PS(I) = PS(I - 1) - DP(I - 1): NEXT I
4973 FOR I = 1 TO S:VJ(I) = QC * QI * PS(0) / (JA(I) * JN(I)
* PS(I)): NEXT I
4991 PRINT "STAGE VJET,CM/S RE. NO. DP P IN"
4992 F$ = " ##; ####.#; #####; ##.#; ##.##"
4993 FOR I = 1 TO S
4994 CALL BU,R$,F$,I,VJ(I),RE(I),DP(I),PS(I): PRINT R$
4996 NEXT I
4997 PRINT "TOTAL DP= ";PS(0) - PS(S) + DP(S): PRINT D$;"PR#
0"
4998 RETURN
5000 REM <<<XX SUBROUTINE CUT XX>>
5005 IF F1 = 10 THEN RH = 1
5010 TK = 5 / 9 * (TI - 32) + 273
5020 FOR I = 1 TO S
5030 L = .337 * U * SQR (TK / MW) / PS(I): REM MEAN FREE PA
TH
5040 CU = 1.05
5050 X = 1
5059 REM CALCULATE D50 ESTIMATE

```

```

5060 D5 = SQR (18 * U * DJ(I) / (RH * VJ(I) * CU)) * SI(I)
5070 CC = CU
5080 CU = 1 + 2 * L / D5 * (1.23 + .41 * EXP (- .44 * D5 /
L)): REM CALCULATE CUNNINGHAM SLIP CORRECTION FACTOR
5090 X = X + 1
5095 REM **LIMIT TO NO. OF ITERATIONS SET IN LINE 5100**
5100 IF X > 30 THEN PRINT "STAGE ";I;"FAILED TO CONVERGE": GOTO
5120
5105 REM **CONVERGENCE CRITERIUM SET IN LINE 5110**
5110 IF ABS (1 - CC / CU) > .0002 GOTO 5060: REM CHECK FOR
CONVERGENCE
5120 D5(I) = D5 * 10000: REM CONVERT D50 FROM CM TO MICRONS
5130 CC(I) = CU
5140 D6(I) = D5(I) * SQR (CC(I) * RH): REM CALCULATE D50 ON
IMPACTION AERODYNAMIC BASIS
5160 NEXT I
5169 REM CALCULATE TOTAL MASS OF PARTICULATE SAMPLED
5170 XM = 0: M(S + 1) = FF
5180 FOR I = 1 TO S + 1
5190 XM = XM + M(I)
5200 NEXT I
5205 XM = XM - (S * SC) - FC: REM CORRECT TOTAL MASS FOR BLA
NK WEIGHT CHANGES
5209 REM CALCULATE CUMULATIVE MASS FRACTIONS (INCLUDING BLA
NK CORRECTIONS)
5210 FOR I = 1 TO S
5220 CU(I) = 0
5230 FOR J = I + 1 TO S + 1
5240 CU(I) = CU(I) + M(J)
5245 IF J < S + 1 THEN CU(I) = CU(I) - SC
5247 IF J = S + 1 THEN CU(I) = CU(I) - FC
5250 NEXT J
5260 CU(I) = CU(I) / XM
5270 NEXT I
5280 HOME
5289 REM DISPLAY RAW RESULTS
5290 IF F1 < > 10 THEN PRINT "STAGE C.CORR CUMFR DP(PHY
) DP(I.AERO": GOTO 5297
5295 PRINT "STAGE C.CORR CUMFR DP(CL.A) DP(I.A)"
5297 F$ = " ##; ###.###; ##.###; ##.###; ##.###"
5300 FOR I = 1 TO S
5310 CALL BU,R$,F$,I,CC(I),(CU(I) * 100) * (CU(I) > .000005)
,D5(I),D6(I): PRINT R$
5320 NEXT I
5330 PRINT
5340 PRINT "PRESS ANY KEY TO CONTINUE": GET R$
5350 HOME : GOTO 5380
5380 TC = XM / (QS * TD * .02832): REM CONCENTRATION, MASS P
ER DNM3
5390 RETURN
5500 REM <<<*** SUBROUTINE FIT ***>>>
5510 C0 = 2.515517
5520 C1 = 0.802853
5530 C2 = 0.010328
5540 D1 = 1.432788

```

```

5550 D2 = 0.189269
5560 D3 = 0.001308
5570 LT = LOG (10)
5578 K = 0
5579 REM REVERSE ORDER OF DATA FOR SPLINE FIT
5580 FOR I = 1 TO S
5581 FOR J = 1 TO MR
5582 IF MZ(J) = I THEN I = I + 1; REM CHECK FOR STAGES TO B
E SKIPPED IN SPLINE FIT
5583 NEXT J
5585 K = K + 1
5590 IF F1 > 0 THEN X(K) = LOG (D5(I)) / LT; GOTO 5600
5591 X(K) = LOG (D6(I)) / LT
5600 FL = 1
5610 CU = CU(I)
5620 IF CU < = .5 GOTO 5650
5630 FL = - 1
5640 CU = 1 - CU
5650 IF CU < = 0 THEN PRINT "XXXX !!!! PUNT !!!! XXXX"; PRINT
" STAGE WEIGHTS PRODUCE NEGATIVE OR ZERO CUMULATIVE. RECHECK
WEIGHTS."; GET R$:ZY = 1; RETURN
5660 T = SQR ( - 2 * LOG (CU))
5670 Y(K) = ( - T + (C0 + C1 * T + C2 * T * T) / (1 + T * (D1
+ T * (D2 + T * D3))) * FL
5680 NEXT I
5690 GOTO 5775
5699 REM GET ARRAY OF STANDARD DIAMETERS FOR SPLINE OUTPUT
5700 PRINT D$;"OPEN XPOINTS.DAT" + ",D1"
5705 PRINT D$;"READ XPOINTS.DAT"
5710 INPUT NP
5730 FOR I = 1 TO NP
5740 INPUT XP(I)
5760 NEXT I
5770 PRINT D$;"CLOSE"; RETURN
5775 S = S - MR; REM NUMBER OF DATA POINTS FOR SPLINE FIT
5776 FOR I = 1 TO NP
5777 XX(I) = LOG (XP(I)) / LT; REM LOG TRANSFORM OF STANDAR
D DIAMETER ARRAY
5778 NEXT I
5780 FOR I = 1 TO S / 2
5790 TX = X(I);TY = Y(I)
5800 X(I) = X(S + 1 - I);Y(I) = Y(S + 1 - I)
5810 X(S + 1 - I) = TX;Y(S + 1 - I) = TY
5820 NEXT I
5830 FOR I = 1 TO S - 1
5840 FOR J = I + 1 TO S
5850 IF X(J) > = X(I) GOTO 5890
5860 TX = X(I);TY = Y(I)
5870 X(I) = X(J);Y(I) = Y(J)
5880 X(J) = TX;Y(J) = TY
5890 NEXT J
5900 NEXT I
5910 IF F1 = 1 THEN XX(0) = LOG (X0 / SQR (RH)) / LT; GOTO
5920
5915 XX(0) = LOG (X0) / LT

```

```

5920 RETURN
6000 REM <<<XXX SPLINE FIT XXX>>>
6001 REM USES METHOD OF LAWLESS - EPA 600/7-78-187
6005 YY(0) = - 100
6010 OM = 1.0717968: REM 'RELAXATION PARAMETER'
6020 VT = SQR (6.2832)
6030 REM - FIRST DIFFERENCES
6040 FOR I = 1 TO S - 1
6050 H(I) = X(I + 1) - X(I)
6060 DL(I) = (Y(I + 1) - Y(I)) / H(I)
6070 NEXT I
6080 REM - SECOND DIFF'S
6090 FOR I = 2 TO S - 1
6100 H2(I) = H(I - 1) + H(I)
6110 B(I) = .5 * H(I - 1) / H2(I)
6120 DQ(I) = (DL(I) - DL(I - 1)) / H2(I)
6130 S2(I) = 2 * DQ(I)
6140 C(I) = 3 * DQ(I)
6150 NEXT I
6160 S2(1) = 0
6170 S2(S) = 0
6180 REM - SUCCESIVE OVER RELAXATION SOL'N
6190 ET = 0
6200 FOR I = 2 TO S - 1
6210 W = (C(I) - B(I) * S2(I - 1) - (.5 - B(I)) * S2(I + 1) -
S2(I)) * OM
6220 IF ABS (W) > ET THEN ET = ABS (W)
6230 S2(I) = S2(I) + W
6240 NEXT I
6250 IF ET > 1E - 5 GOTO 6190
6260 REM - THIRD DIFF'S
6270 FOR I = 1 TO S - 1
6280 S3(I) = (S2(I + 1) - S2(I)) / H(I)
6290 NEXT I
6500 REM XXX NOW INTERPOLATE XXX
6520 FOR J = 1 TO NP
6525 PRINT " . ";
6530 I = 1
6540 IF XX(J) = X(I) GOTO 6750
6550 IF XX(J) < X(I) GOTO 6630
6560 IF XX(J) = X(S) GOTO 6730
6570 IF XX(J) > X(S) GOTO 6680
6580 I = I + 1
6590 IF XX(J) = X(I) GOTO 6750
6600 IF XX(J) > X(I) GOTO 6580
6610 GOTO 6740
6620 REM EXTRAPOLATE BELOW X(I)
6630 S1 = DL(1) - H(1) / (H(1) + H(2)) * 2 * (DL(2) - DL(1))
6635 IF S1 < 0 THEN S1 = DL(1)
6640 YY(J) = Y(1) + (XX(J) - X(1)) * S1
6645 IF YY(J) < YY(J - 1) THEN S1 = DL(1):YY(J) = Y(1) + (XX
(J) - X(1)) * S1
6650 Y1(J) = S1
6660 GOTO 6820
6670 REM - EXTRAPOLATE ABOVE X(S)

```

```

6680 S1 = DL(S - 1) + H(S - 1) * S2(S - 1)
6685 IF S1 < 0 THEN S1 = DL(S - 1)
6690 YY(J) = Y(S) + (XX(J) - X(S)) * S1
6694 IF XX(J) > = XX(0) THEN YY(J) = 1E6:Y1(J) = 0: GOTO 67
10
6696 X3 = XX(J) - XX(0):X1 = X(S) - XX(0):X2 = XX(J) - X(S)
6698 YY(J) = YY(J) + ((X2 * X2 / X1 - X2) / X1 + 1) / X1 - 1 /
X3
6704 Y1(J) = S1 + (2 * X2 / X1 - 1) / X1 / X1 + 1 / X3 / X3
6710 GOTO 6820
6720 REM -INTERPOLATE BETWEEN X(X)
6730 I = S
6740 I = I - 1
6750 H1 = XX(J) - X(I)
6760 H2 = XX(J) - X(I + 1)
6770 FR = H1 * H2
6780 Y2(J) = S2(I) + H1 * S3(I)
6790 DQ = (S2(I) + S2(I + 1) + Y2(J)) / 6
6800 YY(J) = Y(I) + H1 * DL(I) + PR * DQ
6805 IF YY(J) < Y(I) THEN YY(J) = Y(I) + H1 * DL(I)
6810 Y1(J) = DL(I) + (H1 + H2) * DQ + PR * S3(I) / 6
6815 IF Y1(J) < 0 THEN Y1(J) = DL(I)
6820 DG(J) = EXP (- YY(J) * YY(J) / 2) * Y1(J) * TC / VT
6830 NEXT J
6831 PRINT
6835 S = S + MR
6840 RETURN
7000 REM <<<XXX DISPLAY RESULTS XXX>>>
7005 XZ$ = "PHYS DIA.":XY$ = "IMP. AERO DIA.":XX$ = "CLASS. A
ERO DIA."
7006 F$ = " ##.##; ###.##; #.##^####; #.##^####"
7007 IF F1 = 0 THEN ZZ$ = XY$
7008 IF F1 = 1 THEN ZZ$ = XZ$
7009 IF F1 = 10 THEN ZZ$ = XX$
7010 HOME : PRINT ZZ$ + " CUM% CONC. DM/DLOGD"
7015 C0 = .47047 / SQR (2):C1 = .34802:C2 = -.0958798:C3 =
.7472556
7020 FOR I = 1 TO NP
7025 X1 = YY(I): GOSUB 9900
7030 CALL BU,R$,F$,XP(I),(X3 * 100) * (X3 > .00005),X3 * TC,
DG(I): PRINT R$
7040 NEXT I
7050 INPUT "DO YOU WANT TO SAVE THE RESULTS";Y$
7060 IF LEFT$(Y$,1) = "N" THEN RETURN
7070 IF LEFT$(Y$,1) < > "Y" THEN 7050
7075 REM SAVE RESULTS TO DISK
7080 PRINT D$;"OPEN" + NM$ + ",D2": PRINT D$;"WRITE" + NM$
7090 PRINT DT$: PRINT T$
7100 PRINT L$: PRINT RR$: PRINT ZZ$
7110 PRINT TC
7120 FOR I = 1 TO NP
7130 PRINT XP(I): PRINT YY(I): PRINT DG(I)
7140 NEXT I
7150 PRINT S
7152 FOR I = 1 TO S

```

```

7153 PRINT D5(I): PRINT D6(I): PRINT CU(I): PRINT Y(I)
7154 NEXT I
7156 PRINT AV: PRINT ND: PRINT IS: PRINT U: PRINT RH
7160 PRINT D$;"CLOSE"
7165 IF FI$ = NM$ THEN RETURN
7169 REM ADD RESULTS FILE NAME TO INDEX FILE
7170 PRINT D$;"OPEN RUN/NAM" + ",D2": PRINT D$;"READ RUN/NAM
"
7180 INPUT FI: FOR I = 1 TO FI: INPUT ZZ$(I): NEXT I:FI = FI
+ 1: PRINT D$;"CLOSE"
7185 ZZ$(FI) = NM$
7190 PRINT D$;"OPEN RUN/NAM" + ",D2": PRINT D$;"WRITE RUN/NA
M"
7200 PRINT FI: FOR I = 1 TO FI: PRINT ZZ$(I): NEXT I: PRINT
D$;"CLOSE"
7220 FI$ = NM$
7240 RETURN
9000 REM <<<XXXHARDCOPYXXX>>
9010 HOME : INPUT "DO YOU WANT HARDCOPY (Y/N) ?";R$: IF R$ =
"N" THEN RETURN
9015 IF R$ < > "Y" THEN GOTO 9010
9020 HOME : PRINT "TURN PRINTER ON"
9030 D$ = CHR$(4): PRINT D$;"PR#1": PRINT CHR$(9) + "80 N
" + CHR$(9) + "10L" + CHR$(24)
9040 PRINT "XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX";F$(0);"XXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXX": PRINT
9050 PRINT "XXXXXXXXXXXXXXXXX INPUT DATA XXXXXXXXXXXXX": PRINT
: PRINT
9060 PRINT F$(29);: IF F1 = 1 THEN PRINT "PHYSICAL"
9065 IF F1 = 0 THEN PRINT "IMPACTION AERODYNAMIC"
9070 IF F1 = 10 THEN PRINT "CLASSICAL AERODYNAMIC"
9080 PRINT F$(1);DT$
9090 PRINT F$(2);T$
9100 PRINT F$(3);L$
9110 CALL BU,R$,F$(4),TN: PRINT R$
9120 PRINT F$(27);I$
9130 PRINT F$(5);RN$;"-FILE NAME:";NM$
9140 PRINT F$(6);RR$
9180 PRINT F$(7);IM$
9185 PRINT IN$
9190 PRINT
9200 CALL BU,R$,F$(24),BW * 100: PRINT R$
9210 CALL BU,R$,F$(20),CD,CM: PRINT R$
9220 CALL BU,R$,F$(22),O2,N2: PRINT R$
9225 CALL BU,R$,F$(30),RO$: PRINT R$
9227 PRINT F$(31) + SM$
9230 PRINT : PRINT
9240 CALL BU,R$,F$(8),UM: PRINT R$
9250 CALL BU,R$,F$(9),DP: PRINT R$
9260 CALL BU,R$,F$(10),OP: PRINT R$
9270 CALL BU,R$,F$(11),PS: PRINT R$
9280 CALL BU,R$,F$(12),PB: PRINT R$
9285 CALL BU,R$,F$(13),TS: PRINT R$
9290 CALL BU,R$,F$(14),TM: PRINT R$
9300 CALL BU,R$,F$(15),TI: PRINT R$

```

```

9310 CALL BU,R$,F$(16),TD: PRINT R$
9320 CALL BU,R$,F$(17),AV / 60: PRINT R$
9330 CALL BU,R$,F$(18),PC / 13.569: PRINT R$
9340 CALL BU,R$,F$(19),ND: PRINT R$
9350 CALL BU,R$,F$(21),X0: PRINT R$
9352 CALL BU,R$,F$(32),WA: PRINT R$
9354 CALL BU,R$,F$(33),MF: PRINT R$
9360 PRINT : PRINT
9370 FOR I = 1 TO S + 1
9380 X$ = "STAGE " + STR$(I)
9390 IF I = S + 1 THEN X$ = "FILTER "
9400 CALL BU,R$,F$(26),X$,M(I): PRINT R$
9410 NEXT I
9412 PRINT :X$ = "MASS GAIN OF BLANK SUBSTRATE   ##.##": CALL
BU,R$,X$,SC: PRINT R$
9414 X$ = "MASS GAIN OF BLANK FILTER   ##.##": CALL BU,R$,
X$,FC: PRINT R$
9420 PRINT CHR$(12)
9500 PRINT "XXXXXXXXXX      RESULTS      XXXXXXXXXXXXX"
9505 PRINT : PRINT "TEST NUMBER: ";TN;"  RUN NUMBER: ";RN$: PRINT

9510 F$ = "ACTUAL FLOW RATE           ##.### CFM": CALL BU,R$,F$
,QI: PRINT R$
9520 F$ = "FLOW RATE AT STANDARD CONDITIONS   ##.### CFM": CALL
BU,R$,F$,QS: PRINT R$
9530 F$ = "PERCENT ISOKINETIC           ###.### %": CALL BU,R$,F$
,IS: PRINT R$
9550 F$ = "VISCOSITY                   ##.#^GM/CM-SEC": CALL B
U,R$,F$,U: PRINT R$
9555 IF DP = 0 THEN F$ = "CALCULATED IMPACTOR DELTA P = ##.#
# IN. HG": CALL BU,R$,F$,PS(0) - PS(S) + DP(S): PRINT R$
9558 PRINT : PRINT
9560 IF F1 = 10 THEN XZ$ = "(CLAS AERO)"
9565 IF F1 < > 10 THEN XZ$ = "(PHYSICAL) "
9570 PRINT "STAGE   CUNN.       DP           DP           CUM       R
E.   VXD50"
9575 PRINT "   CORR. ";XZ$;"(IMP AERO)  FREQ.   NO.
UM-M/S"
9580 F$ = "   ##;   #.###;   ##.###;   ##.###;   #.###;
###;   ##.##"
9590 FOR I = 1 TO S
9600 CALL BU,R$,F$,I,CC(I),D5(I),D6(I),(CU(I) * 100) * (CU(I
) > .000005),RE(I),D5(I) * VJ(I) * SQR(RH) / 100: PRINT R$
9610 NEXT I
9615 PRINT : PRINT "STAGE CUT DIAMETERS BASED ON ";: IF TH$ =
"C" THEN PRINT "FILE VALUES OF STAGE CONSTANTS": PRINT
9616 IF TH$ = "T" THEN PRINT "THEORETICAL VALUES OF STAGE C
ONSTANTS": PRINT
9620 IF MR = 0 GOTO 9650
9625 FOR I = 1 TO MR
9630 PRINT "NOTE: THE MASSES ON STAGES ";MZ(I);" AND ";MZ(I)
+ 1;" HAVE BEEN COMBINED FOR THE SPLINE FIT BECAUSE OF CUTS
BEING TOO CLOSE TOGETHER"
9635 PRINT
9650 F$ = "TOTAL MASS CONCENTRATION = ##.##^MG/DRY NORMAL

```

```

CUBIC METER": CALL BU,R$,F$,TC: PRINT R$
9651 PRINT
9655 IF F1 = 1 THEN PRINT "SPLINE FIT ON PHYSICAL DIAMETER
BASIS": PRINT
9660 IF F1 = 0 THEN PRINT "SPLINE FIT ON IMPACTION AERODYNA
MIC DIAMETER BASIS": PRINT
9665 IF F1 = 10 THEN PRINT "SPLINE FIT ON CLASSICAL AERODYN
AMIC DIAMETER BASIS": PRINT
9670 PRINT "PARTICLE DIA. CUMFR CUMFR CUM.MASS DM/DLOG
D"
9680 PRINT " (MICRONS) (STDDEV) (PERCENT) (MG/DRY N.CU.METER
) "
9690 PRINT :D0 = .47047 / SQR (2):C1 = .34802:C2 = - .0958
798:C3 = .7478556
9695 F$ = " ##.###; -##.###; ###.##; #.##^ ^ ^; #.##^
^ ^ ^"
9700 FOR I = 1 TO NP
9706 X1 = YY(I): GOSUB 9900
9710 CALL BU,R$,F$,XP(I),YY(I),(X3 * 100) * (X3 > .00005),X3
* TC,DG(I): PRINT R$
9720 NEXT I
9725 PRINT
9730 IF F1 < > 10 THEN GOTO 9790
9735 PRINT : PRINT
9740 PRINT "XXX INHALABLE PARTICULATE MATTER XXX"
9745 PRINT
9750 I = 6: GOSUB 9800
9760 I = 8: GOSUB 9800
9770 I = 11: GOSUB 9800
9780 I = 12: GOSUB 9800
9785 PRINT "NOTE: DIAMETERS FOR INHALABLE PARTICULATE MATTER
ARE": PRINT "ON CLASSICAL AERODYNAMIC BASIS."
9790 GOSUB 9840: RETURN
9800 X1 = YY(I): GOSUB 9900
9810 CALL BU,R$,F$(28),XP(I),X3 * TC,X3 * 100: PRINT R$
9820 RETURN
9840 REM XXX PRINT SIZE DIST. PARAMETERS
9842 IF MR > 1 OR F1 = 10 THEN PRINT CHR$(12)
9843 IF MR > 1 OR F1 = 10 THEN PRINT " XXXX RESULTS CONTIN
UED XXXX"
9845 PRINT
9850 PRINT "LOG-NORMAL SIZE DISTRIBUTION PARAMETERS": PRINT

9855 F$ = "LEAST SQUARES LINE: Y=##.##; + ##.##X"
9860 CALL BU,R$,F$,L6,L5: PRINT R$
9865 F$ = "MASS MEDIAN DIAMETER: ##.##": CALL BU,R$,F$,L7: PRINT
R$
9870 F$ = "GEOMETRIC STANDARD DEVIATION: ##.##": CALL BU,R
$,F$,L8: PRINT R$
9880 F$ = "CORRELATION COEFFICIENT: ##.##": CALL BU,R$,F$,
L9: PRINT R$
9890 PRINT CHR$(12): RETURN
9900 REM XXX CALC. N(X)-THE NORMAL FCN XXX
9905 IF X1 > = 0 THEN FL = 1
9910 IF X1 < 0 THEN X1 = - X1:FL = - 1

```

```

9920 X2 = 1 / (1 + D0 * X1)
9930 X3 = 1 - ((C3 * X2 + C2) * X2 + C1) * X2 * EXP (- X1 *
X1 / 2)
9940 X3 = (1 + FL * X3) / 2
9950 RETURN
9960 REM   ***INSERT COEFF'S.
9970 D0 = .47047 / SQRT (2)
9980 C1 = .34802:C2 = - .0958798:C3 = .7478556
9990 RETURN
10000 REM   *** CALCULATE LOG-NORMAL LEAST SQUARES FIT TO D
ATA ***
10020 LZ = 0:L1 = 0:L2 = 0:L3 = 0:L4 = 0:L5 = 0:L6 = 0:L7 = 0
:L8 = 0:L9 = 0
10030 FOR I = 1 TO NZ
10040 LZ = LZ + X(I): REM   X(I) IS LOG OF STAGE D50
10050 L1 = L1 + Y(I): REM   Y(I) IS LOGNORM TRANSFORM OF CUM
FRACTION
10055 L2 = L2 + Y(I) * X(I)
10060 L3 = L3 + X(I) * X(I)
10070 L4 = L4 + Y(I) * Y(I)
10080 NEXT I
10090 L5 = (L2 - L1 * LZ / NZ) / (L3 - LZ * LZ / NZ)
10100 L6 = L1 / NZ - L5 * LZ / NZ
10110 L7 = 10 ^ (- L6 / L5)
10120 L8 = 10 ^ (1 / L5)
10130 L9 = L5 * SQRT ((L3 - LZ * LZ / NZ) / (L4 - L1 * L1 / N
Z))
10140 L9 = L9 * L9
10145 PRINT "MMD=";L7;" SIGG=";L8;" R2=";L9: PRINT : PRINT
"TO CONTINUE PRESS ANY KEY ": GET R$
10150 PRINT R$: RETURN
19999 REM   CALCULATE THEORETICAL SQUARE ROOTS OF PSI50
20000 INPUT "SUBSTRATE TYPE IS G)REASE (OR BARE) OR F)ILTER
";FF$: IF FF$ < > "G" AND FF$ < > "F" THEN 20000
20010 INPUT "USE THEORY FOR STAGE 1 (Y/N) ";R$: IF R$ < > "
Y" AND R$ < > "N" THEN 20010
20020 BS = 2: IF R$ = "Y" THEN BS = 1
20021 IF R$ < > "Y" THEN GOTO 20025
20022 INPUT "IS STAGE 1 THE RIGHT ANGLE PRECOLLECTOR?";R$: IF
R$ = "Y" THEN BS = 2: REM   IF YES, CALCULATE RAPC SQRT PSI50
FROM FIT TO EMPIRICAL CALIBRATION DATA FOR VARIOUS NOZZLE TIP
SIZES.
20023 IF R$ = "Y" THEN IF ND > = .25 THEN SI(I) = .245: GOTO
20025
20024 IF R$ = "Y" THEN IF ND < .25 THEN SI(I) = .045 + .2 *
ND / .25
20025 WX = - .01104:WY = .232:WZ = - .215:WN = .4343:WD = .
7:GX = .93:GY = 1.26:GZ = .798 * SQRT (3.14159):FA = .98:FM =
.13 / 5000
20029 REM   ACTUAL CALC'S OF STAGE SQRT PSI50'S
20030 FOR I = BS TO S
20040 SW = JS(I) / DJ(I):OF = WX * SW * SW + WY * SW + WZ
20050 ZP = (WN * LOG (RE(I)) - OF) / WD: IF ZP < 0 THEN ZP =
0
20060 SI(I) = GX * GY * ( EXP (- ZP * ZP / 2)) / GZ + GX *

```

```

52 / SQR (2)
20070 IF FF$ = "F" THEN SI(I) = SI(I) * (FA - VJ(I) * FM) : REM
CORRECT FOR EFFECTS OF FIBROUS SUBSTRATES IF USED.
20075 PRINT I,SI(I)
20080 NEXT I
20090 RETURN
29999 REM DATA SAVE - BINARY SAVE OF ALL REAL ARRAY VARIAB
LES IN PROGRAM AFTER FIRST PLACING NON-ARRAY VARIABLES INTO D
UMMY ARRAY
30000 DA(0) = F1:DA(1) = VM:DA(2) = DP:DA(3) = OP:DA(4) = PS:
DA(5) = PB:DA(6) = TS:DA(7) = TM:DA(8) = TI:DA(9) = TD:DA(10)
= AV:DA(31) = WA:DA(32) = MF
30010 DA(11) = PC:DA(12) = ND:DA(13) = X0:DA(14) = TN:DA(15) =
RH:DA(16) = S:DA(17) = MR:DA(18) = DC2:DA(19) = NN:DA(20) = D
I:DA(21) = CQ:DA(22) = CP:DA(23) = CT:DA(24) = PP:DA(25) = BW
:DA(26) = N9
30020 DA(27) = CD:DA(28) = CM:DA(29) = O2:DA(30) = N2
30040 DA = PEEK (107) + 256 * PEEK (108):DL = PEEK (109) +
256 * PEEK (110) - DA: REM START AND LENGTH OF ARRAY STORAG
E
30045 DL = 1000
30049 REM SAVE STRING DATA
30050 PRINT : PRINT D$;"BSAVE" + NM$ + ".DATA" + ",A";DA;" ,L
";DL
30060 PRINT D$;"OPEN" + NM$ + ".TEXT"
30070 PRINT D$;"WRITE" + NM$ + ".TEXT"
30080 PRINT DT$; PRINT T$; PRINT L$; PRINT I$; PRINT RN$; PRINT
NM$; PRINT RR$; PRINT IM$; PRINT IN$; PRINT RO$; PRINT SM$
30090 PRINT D$;"CLOSE": RETURN
30999 REM RELOAD OLD RUN DATA
31000 PRINT "ENTER FILE NAME OF RUN TO BE RETRIEVED:": INPUT
FI$
31010 DA = PEEK (107) + 256 * PEEK (108)
31020 PRINT D$;"BLOAD" + FI$ + ".DATA,A";DA;" ,D2": REM REST
ORE REAL ARRAY VARIABLES FROM DISK
31029 REM RESTORE NON-ARRAY VARIABLES FROM DUMMY ARRAY
31030 F1 = DA(0):VM = DA(1):DP = DA(2):OP = DA(3):PS = DA(4):
PB = DA(5):TS = DA(6):TM = DA(7):TI = DA(8):TD = DA(9):AV = D
A(10)
31040 PC = DA(11):ND = DA(12):X0 = DA(13):TN = DA(14):RH = DA
(15):S = DA(16):MR = DA(17):DC2 = DA(18):NN = DA(19):DI = DA(
20):CQ = DA(21):CP = DA(22):CT = DA(23):PP = DA(24):BW = DA(2
5):N9 = DA(26)
31050 CD = DA(27):CM = DA(28):O2 = DA(29):N2 = DA(30):WA = DA
(31):MF = DA(32)
31055 FF = M(S + 1):FC = M(S + 3):SC = M(S + 2)
31059 REM GET STRING VARIABLE DATA
31060 PRINT D$;"OPEN" + FI$ + ".TEXT"
31070 PRINT D$;"READ" + FI$ + ".TEXT"
31080 INPUT DT$: INPUT T$: INPUT L$: INPUT I$: INPUT RN$: INPUT
NM$: INPUT RR$: INPUT IM$: INPUT IN$: INPUT RO$: INPUT SM$
31085 F$(24) = " 9)WATER VAPOR      ##.##%"
31090 PRINT D$;"CLOSE": RETURN
63999 BU = PEEK (121) + 256 * PEEK (122) + 286: CALL BU:BU =
PEEK (6) + 256 * PEEK (7): CALL BU + 3: RETURN : REM

```

==> DO NOT EDIT 63999.

65535 REM
BUILDUSING (2.0) APPENDED.

COPYRIGHT (C) 1981
ROD STOVER

DISTRIBUTED BY:

SENSIBLE SOFTWARE

==> TO REMOVE 'APPENDAGE', ENTER:
JEXEC BU.STRIP

STATIS

```

1  REM  STATIS  V 2.1 - AVERAGES DATA AFTER MAKING CORRECTIO
N FOR ISOKINETIC SAMPLING ERROR - USES BELAYEV & LEVIN ALGLRI
THM - 8/16/84
2  REM      COMPUTES AVERAGES AND CONFIDENCE INTERVALS FOR DM/
DLOGD AND CUM. LOADING. CUM. LOADING OBTAINED BY INTEGRATION
OF AVG DMDLOGD AFTER OUTLIER REMOVAL.
3  REM      ORG 2/25/83 JDM - V1.3 4/2/83 - V1.4 2/22/84 - V
2.0 8/17/84 - V2.1 4/17/86
4  D$ = OHR$ (4):KF = 1800000000:BA = 2:BB = .617
10 HOME
20 DIM X(21),Y(21,60),XP(20),YY(20),DG(20),CP(20),RN$(100),F
$(20),FM$(10)
30 GOSUB 63999: REM INITIALIZE PRINT FORMATTER
35 GOSUB 1000: REM INIALIZE PROGRAM
40 HOME : PRINT F0$: PRINT : PRINT
50 PRINT "DO YOU WANT THE DATA CORRECTED FOR": INPUT "ISOKIN
ETIC SAMPLING ERRORS (Y/N)? ";IC$: IF IC$ < > "Y" AND IC$ <
> "N" THEN 40
100 HOME : PRINT "IMPACTOR DATA STATISTICS PROGRAM"
110 GOSUB 2000
115 IF OK = 0 GOTO 140
120 GOSUB 3000
130 GOTO 110
140 GOSUB 4000
150 GOSUB 5000
160 GOSUB 6000
170 GOSUB 7000
180 REM PRINT D$:"RUN MAIN-MENU"
999 END
1000 REM  ** INITIALIZE"
1001 NP = 20
1005 C1 = .34802:C2 = - .0958798:C3 = .7478556:D0 = .47047 /
SQR (2)
1010 N = 0:I0$ = "INLET":I$ = ".IT"
1020 F0$ = " STAT. VER 2.1"
1030 F1$ = "##.#"
1040 F2$ = "###.##; #.##^"; #.##^"; #.##^"
1050 F3$ = "####.###"
1069 REM GET INDEX FILE FOR REDUCED RUN DATA
1070 PRINT D$:"OPEN RUN/NAM" + ",D2"
1080 PRINT D$:"READ RUN/NAM"
1090 INPUT NR
1110 FOR I = 1 TO NR
1120 INPUT RN$(I)
1130 NEXT I
1140 PRINT D$:"CLOSE RUN/NAM"
1170 FM$(2) = "1) TEST TYPE & 2) TEST NUMBER ###"
1180 FM$(3) = "3)RUN ## ; &"
1399 RETURN
1400 REM MENU INSTRUCTIONS
1410 VTAB 23: PRINT "C)AT. OF RUNS, Q)UIT, OR NUMBER OF ITEM
TO ENTER/CHANGE: ";

```

```

1420 INPUT R$
1425 IF R$ = "C" THEN GOTO 1460
1430 IF R$ = "Q" THEN CK = 0: RETURN
1440 A = VAL (R$): IF A < 1 OR A > 3 THEN GOTO 1400
1450 RETURN
1459 REM DISPLAY RUN INDEX FILE CONTENTS
1460 HOME : VTAB 3
1465 GOSUB 1070
1467 SPEED= 100
1470 FOR I = 1 TO NR
1480 PRINT RN$(I)
1490 NEXT I
1495 SPEED= 255
1500 VTAB 1: PRINT "THE AVAILABLE RUNS ARE : "
1510 VTAB 23: PRINT "TO CONTINUE PRESS SPACE BAR.": GET R$:A
= 4: RETURN
2000 REM MENU
2010 P = 1
2020 HOME : PRINT F0$;" - PAGE 1 OF 1"
2030 CALL BU,R$,FM$(2),IO$,TN: PRINT R$
2050 IF N = 60 THEN MX = 60
2060 IF N < 60 THEN MX = N + 1
2065 IF P > 12 THEN P = 12
2070 FOR I = 1 TO MX
2080 CALL BU,R$,FM$(3),I,F$(I): PRINT R$
2100 NEXT I
2105 NI = MX
2110 GOSUB 1400
2115 IF R$ = "Q" THEN OK = 0: RETURN
2120 ON A GOTO 2130,2150,2170,2020
2130 IF IO$ = "INLET" THEN IO$ = "OUTLET":I$ = ".OT": GOTO 2
020
2135 IO$ = "INLET":I$ = ".IT": GOTO 2020
2150 VTAB 24: HTAB 19: PRINT " " "": VTAB 24: HTAB
19: INPUT "TN= ";TN: GOTO 2020
2170 VTAB 24: HTAB 19: PRINT " " "": VTAB 24: HTAB
19: INPUT "RUN = ";RN$
2175 NM$ = "T" + STR$(TN) + "R" + RN$ + I$:OK = 0
2176 FOR I = 1 TO NR
2177 IF NM$ = RN$(I) THEN OK = 1
2178 NEXT I
2179 IF OK = 1 THEN RETURN
2180 VTAB 24: INVERSE : PRINT " RUN NOT IN CATALOG - TRY AGA
IN ": NORMAL : FOR I = 1 TO 2000: NEXT I: GOTO 2020
3000 REM READ RUN FILES
3010 CK = 0
3019 REM GET RUN DATA
3020 PRINT D$;"OPEN" + NM$ + ",D2": PRINT D$;"READ" + NM$
3030 INPUT DT$: INPUT T$: INPUT L$: INPUT RR$: INPUT DB$: INPUT
TC
3040 FOR I = 1 TO NP: INPUT XP(I): INPUT YY(I): INPUT DG(I):
NEXT I
3041 IF IC$ = "N" THEN 3048
3042 INPUT S
3044 FOR I = 1 TO S: INPUT X: INPUT X: INPUT X: INPUT X: NEXT

```

```

I
3046 INPUT AV: INPUT ND: INPUT IS: INPUT U: INPUT RH
3048 PRINT D$;"CLOSE": IF IC$ = "N" THEN 3050
3049 IF AV < = 0 OR ND < = 0 OR IS < = 0 THEN PRINT "NO
VELOCITY OR NOZZLE DIAMETER FOR RUN": PRINT "SPECIFIED - CANN
OT DO ISOKINETIC ERROR": PRINT "CORRECTION - RUN REJECTED": RETURN

3050 IF NI = 1 THEN ZZ$ = DB$: FOR I = 1 TO NP: X(I) = XP(I):
NEXT I
3059 REM CHECK FOR CONSISTENT DIAMETER BASE AND DIAMETERS
3060 FOR I = 1 TO NP: IF XP(I) < > X(I) THEN CK = 1: NEXT I

3065 IF DB$ < > ZZ$ THEN CK = 1
3070 IF CK = 1 THEN VTAB 24: INVERSE: PRINT "LAST RUN WAS
INCOMPATIBLE IN DIAMETERS": NORMAL: FOR I = 1 TO 2000: NEXT
I: RETURN
3080 X1 = YY(I): IF X1 > = 0 THEN FL = 1
3090 IF X1 < 0 THEN X1 = - X1: FL = - 1
3100 X2 = 1 / (1 + D0 * X1)
3110 X3 = 1 - ((C3 * X2 + C2) * X2 + C1) * X2 * EXP (- X1 *
X1 / 2)
3120 Y(0,NI) = TC * (1 + FL * X3) / 2: Y(NP + 1,NI) = TC
3125 IF IC$ = "Y" THEN R = 100 / IS: AV = AV * .508: ND = ND *
2.54: REM SET UP FOR ISIKINETIC CORRECTION
3130 FOR I = 1 TO NP
3132 IF IC$ = "N" THEN Y(I,NI) = DG(I): GOTO 3150
3134 REM MAKE CORRECTION FOR ISOKINETIC SAMPLING ERRORS
3135 RT = RH * XP(I) * XP(I) / (KF * U)
3140 B = (BA + BB / R) * RT * AV / ND
3145 Y(I,NI) = DG(I) / (1 + (R - 1) * B / (B + 1))
3150 NEXT I
3170 REM HOME: PRINT NI, Y(0,NI), Y(1,NI), Y(20,NI), TC
3180 REM FOR I = 1 TO 5000: NEXT I
3190 N = N + 1: CK = 1: F$(NI) = NM$: RETURN
4000 REM *** NOW DO AVERAGES, STATS ETC.
4004 HOME: PRINT: PRINT "COMPUTING STATISTICS"
4020 DIM TC(10), CI(NP + 1)
4040 TC(2) = 6.314
4050 TC(3) = 2.920
4060 TC(4) = 3.353
4070 TC(5) = 2.132
4080 TC(6) = 2.015
4090 TC(7) = 1.943
4100 TC(8) = 1.895
4110 TC(9) = 1.86
4120 DIM M(NP + 1), S(NP + 1), C(NP + 1)
4125 INPUT "REMOVE OUTLIERS ? (Y/N)"; OL$: IF OL$ < > "Y" AND
OL$ < > "N" THEN 4125
4130 FOR I = 0 TO NP + 1
4135 PRINT "C";
4140 SX = 0
4150 SS = 0
4160 FOR J = 1 TO N
4170 Z = Y(I,J)
4180 SX = SX + Z

```

```

4190 SS = SS + Z * Z
4200 NEXT J
4210 M(I) = SX / N
4215 IF N = 1 THEN 4230
4220 S(I) = SQR ( ABS ( (SS - SX * SX / N) / (N - 1) ) )
4230 IF N < 2 THEN C(I) = 3E33: GOTO 4380
4235 IF N = 2 THEN CI(I) = TC(2) * S(I) / SQR (2): GOTO 438
0
4237 IF OL$ = "N" THEN NN = N: GOTO 4370
4240 SX = 0
4250 SS = 0
4260 NN = 0
4270 IF N < 3 THEN ZZ = 3E33
4274 IF N > = 3 AND N < 10 THEN ZZ = S(I) * TC(N)
4276 IF N > = 10 THEN ZZ = S(I) * 1.645
4280 FOR J = 1 TO N
4290 Z = Y(I,J)
4300 IF ABS (Z - M(I)) > ZZ GOTO 4340
4310 SX = SX + Z
4320 SS = SS + Z * Z
4330 NN = NN + 1
4340 NEXT J
4350 M(I) = SX / NN
4355 IF NN < = 1 THEN S(I) = 0: C(I) = 3E33
4360 S(I) = SQR ( ABS ( (SS - SX * SX / NN) / (NN - 1) ) ): REM
STANDARD DEVIATION
4369 REM FIND 90 PERCENT CONFIDENCE INTERVAL
4370 IF NN > = 2 AND NN < 10 THEN CI(I) = S(I) * TC(NN) / SQR
(NN)
4375 IF NN > 10 THEN CI(I) = 1.645 * S(I) / SQR (NN)
4380 NEXT I
4381 REM INTEGRATE FOR AVERAGE CUM. USING MODIFIED SIMPS
ONS'S RULE - MOD. GIVES VALUES AT EVERY X RATHER THAN ONLY FO
R ALTERNATE X'S
4382 YY(I) = M(0): DG(I) = CI(0) * CI(0)
4384 FOR I = 2 TO NP
4386 YY(I) = YY(I - 1) + 0.2 * ( ( (I - INT (I / 2) * 2) = 0 ) *
( 2 * M(I) + M(I - 1) ) + ( (I - INT (I / 2) * 2) = 1 ) * ( 2 * M
(I - 1) + M(I) ) ) / 3: DG(I) = DG(I - 1) + ( CI(I) * CI(I) + CI(
I - 1) * CI(I - 1) ) * .01
4388 NEXT I
4389 PRINT
4400 RETURN
5000 REM *** DISPLAY RESULTS ***
5010 HOME
5012 PRINT ZZ$: PRINT
5015 PRINT "DIA. MEAN STD DEV 90%CON.INT."
5020 FOR I = 0 TO NP + 1
5030 K = I - 1
5040 IF K / 10 < > INT (K / 10) THEN 5060
5050 PRINT " DIA. MEAN STD DEV 90%CON.INT."
5060 REM IF I < = NP THEN CALL BU,R$,F1$,X(I): PRINT R$:
5070 CALL BU,R$,F2$,X(I),M(I),S(I),CI(I): PRINT R$
5071 REM FIX SO THAT NA IS PRINTED IF CI=3E33
5090 IF I < > NP AND I / 10 = INT (I / 10) THEN PRINT "<P

```

```

RESS SPACE BAR FOR MORE>": GET R$
5100 NEXT I
5105 PRINT "<PRESS SPACE BAR TO CONTINUE>:GET R$
5110 RETURN
6000 REM *** HARDCOPY ***
6005 PRINT
6010 PRINT "DO YOU WANT HARDCOPY ? (Y / N)": GET R$: IF R$ <
  > "Y" AND R$ < > "N" THEN GOTO 6010
6020 IF R$ = "N" THEN RETURN
6030 PRINT : PRINT "TURN PRINTER ON"
6035 PRINT D$;"PR#1"
6040 PRINT CHR$(1) + "80N" + CHR$(24)
6045 PRINT CHR$(9) + "6L" + CHR$(24)
6050 FA$ = " DIA. DM/DLOGD STD DEV 98% CON CUM LO
AD. 98% CON CUM%"
6055 FB$ = " MICRON MG/DNM3 INT MG/DN
M3 INT "
6060 FM$ = " ###.##; #.##^; #.##^; #.##^; #.
##^; #.##^"
6065 FP$ = " ###.##; #.##^; #.##^; NA #.##
#^; NA ;##.##"
6070 IF IC$ = "Y" THEN PRINT "XXXXXX RESULTS OF STATIS(TICS
) WITH ISOKINETIC CORRECTIONS XXXXXX": GOTO 6075
6072 PRINT "XXXXXX RESULTS OF STATIS(TICS) XXXXXX"
6075 PRINT
6080 PRINT " RESULTS OF AVERAGES FOR RUNS :": PRINT
6090 FOR I = 1 TO N
6100 PRINT F$(I)
6110 NEXT I
6120 PRINT : PRINT ZZ$: PRINT : PRINT
6130 PRINT FA$: PRINT FB$: PRINT
6140 FOR I = 1 TO NP
6142 CP(I) = 100 * YY(I) / YY(NP): IF CP(I) < = .005 THEN CP
(I) = 0
6145 IF CI(I) > IE32 THEN CALL BU,R$,FP$,X(I),M(I),S(I),YY(
I),CP(I): PRINT R$: GOTO 6160
6150 CALL BU,R$,FM$,X(I),M(I),S(I),CI(I),YY(I), SQR (DG(I)),
CP(I): PRINT R$
6160 NEXT I
6170 PRINT
6180 PRINT "FOR TOTAL MASS: (UNCORRECTED)"
6190 CALL BU,R$,FM$,9999,M(NP + 1),S(I),CI(NP + 1): PRINT R$

6200 PRINT CHR$(12)
6300 PRINT D$;"PR#0"
6400 RETURN
7000 REM *** DISK SAVE ***
7010 HOME : INPUT " DO YOU WANT TO SAVE THE RESULTS ON DISK?
(Y/N) ";R$
7020 IF R$ = "N" THEN RETURN
7030 IF R$ < > "Y" GOTO 7010
7040 INPUT "ENTER A FILENAME FOR THE RESULTS :";NM$
7050 PRINT D$;"OPEN" + NM$ + ",D2": PRINT D$;"WRITE" + NM$
7055 PRINT ZZ$
7060 FOR I = 0 TO NP + 1

```

```
7065 IF I = NP + 1 THEN PRINT X(I): PRINT M(I): PRINT S(I):  
PRINT CI(I): GOTO 7080  
7070 PRINT X(I): PRINT M(I): PRINT S(I): PRINT CI(I): PRINT  
YY(I): PRINT SQR (DG(I))  
7080 NEXT I  
7085 PRINT IO$  
7090 PRINT D$; "CLOSE"  
7100 RETURN  
63999 BU = PEEK (121) + 256 * PEEK (122) + 286: CALL BU:BU =  
PEEK (6) + 256 * PEEK (7): CALL BU + 3: RETURN : REM
```

==> DO NOT EDIT 63999.

```
65535 REM  
BUILDUSING (2.0) APPENDED.
```

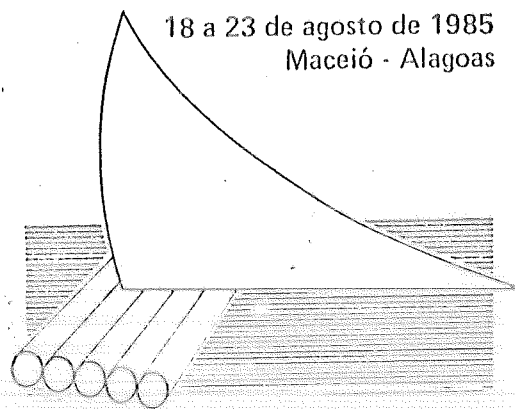
```
COPYRIGHT (C) 1981  
ROD STOVER
```

DISTRIBUTED BY:

SENSIBLE SOFTWARE

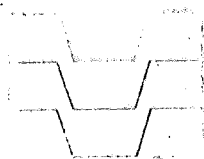
==> TO REMOVE 'APPENDAGE', ENTER:
IEXEC BU.STRIP

J



3

**AJUSTE DE DADOS EXPERIMENTAIS
DE MATERIAL PARTICULADO
EM IMPACTADORES PELA FUNÇÃO SPLINE**



AJUSTE DE DADOS EXPERIMENTAIS DE MATERIAL PARTICULADO EM IMPACTADORES PELA FUNÇÃO SPLINE

GERÊNCIA DE TECNOLOGIA DO AR

INTRODUÇÃO

Em poluição ambiental, com frequência se encontram experimentos que se repetidos diversas vezes apresentam variações de um para outro experimento.

Essas variações, além de normais, são até esperadas, uma vez que resultam de uma soma de desvios devidos à calibração dos vários instrumentos; aos erros do operador; a diferenças entre instrumentos utilizados em diferentes amostragens e até a condições climáticas tais como temperatura, pressão, umidade, etc.

A amostragem de material particulado em chaminés é feita, quando se deseja conhecer a distribuição de tamanho de partículas, através de um equipamento conhecido como Impactador, Figura 1, que separa as partículas coletadas por tamanho.

Uma vez obtidos os diversos tamanhos de partícula associados às respectivas frequências, constrói-se sobre eles, uma curva, através do uso de uma curva francesa.

Para o traçado matemático dessa curva foram experimentadas diversas técnicas e a que se mostrou mais vantajosa foi a técnica da função "Spline", conforme citação contida em (1), cujo método, apresentado neste trabalho, é o correspondente matemático da curva francesa do desenhista, com a vantagem de poder ser utilizado por computador e traçador de gráficos e poder reproduzir a curva exatamente igual, quantas vezes forem necessárias.

OBJETIVO

Este trabalho se propõe a apresentar um método para o traçado de curvas suaves e exatas por pontos discretos obtidos experimentalmente.

DEFINIÇÃO DA FUNÇÃO "SPLINE"

A função "Spline" é um conjunto de polinômios, cada um dos quais representativo de um subconjunto do universo de dados experimentais.

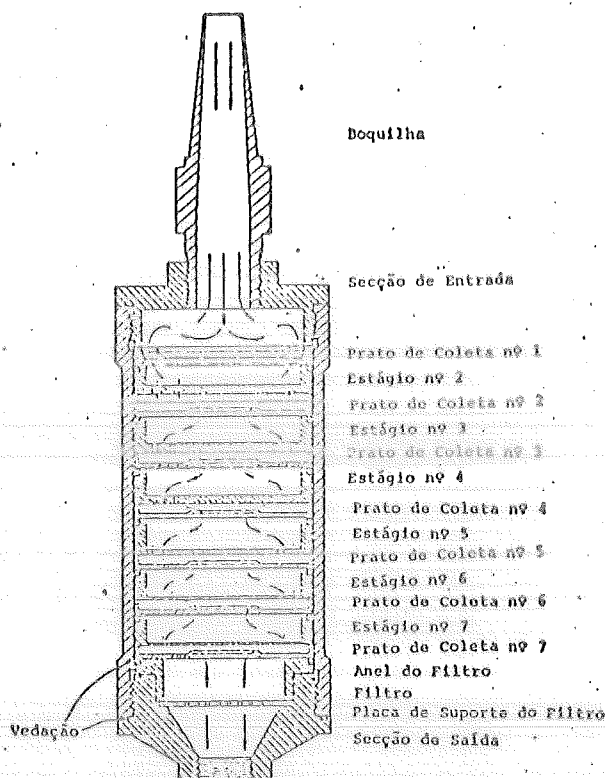


FIGURA 1 - Impactador tipo Cascata - Universidade de Washington - Mark 3

Essa função tem como característica a continuidade, tanto da própria função, quanto da sua primeira e segunda derivadas.

No caso particular da análise de dados obtidos por impactadores a função de interesse é a função "Spline" natural de terceira ordem (2), que é um conjunto de polinômios cúbico com propriedades de continuidade citadas acima e com a segunda derivada nula no primeiro e no último ponto experimental ou seja no maior e no menor diâmetro de partícula existente na amostra analisada. Essa função será chamada de agora em diante, neste trabalho, de "Spline".

Algumas propriedades da função de particular interesse são :

- 1) Se $F(x)$ é uma função contínua, com a primeira e segunda derivadas também contínuas então, a função "Spline" $S(x)$ que fornece os valores $F(x_i)$ para $a \leq x_i \leq b$, em cada ponto x_i obtido experimentalmente, minimiza a integral :

$$\int_a^b (F'(x) - S'(x))^2 dx \quad (2)$$

- 2) Dentre as funções $y(x)$ com primeira e segunda derivadas contínuas e que reproduz $F(x)$ nos pontos experimentais, a função "Spline" minimiza a integral :

$$\int_a^b y''(x)^2 dx \quad (2)$$

- 3) Se $Z(x)$ com primeira e segunda derivadas contínuas, mas que não fornece $F(x_i)$ para todos os x_i obtidos experimentalmente, pode ser reduzida, a uma função que forneça os valores $F(x_i)$, pela adição do "Spline" $w(x)$ tal que $Z + w = F(x_i)$ nos pontos experimentais (2).

- 4) Se o número de pontos no intervalo tender a um valor tal que $(x_i - x_{i-1})$ tenda zero, então a função "Spline" e sua primeira derivada, respectivamente $S(x)$ e $S'(x)$ convergem uniformemente para $F(x)$ e $F'(x)$. (2)

Com estas propriedades é possível estabelecer as equações que descreverão o comportamento dos dados obtidos, através da seguinte fórmula :

$$\frac{l_k}{6} M_{k-1} + \frac{l_k + l_{k+1}}{3} M_k + \frac{l_{k+1}}{6} M_{k+1} = \frac{F(x_{k+1}) - F(x_k)}{l_{k+1}} - \frac{F(x_k) - F(x_{k-1}))}{l_k} \quad (2)$$

onde :

$$l_k = x_k - x_{k-1}$$

$$M_k = S''(x_k)$$

$$M_1 = M_N = 0$$

$$K = 2, N$$

$$x_1 < x_2 < \dots < x_N$$

Um programa para resolver a equação acima, através de um processo iterativo, é apresentado neste trabalho juntamente com um exemplo.

O significado geométrico do cálculo da função "Spline", pode ser melhor visualizado através da Figura 2.

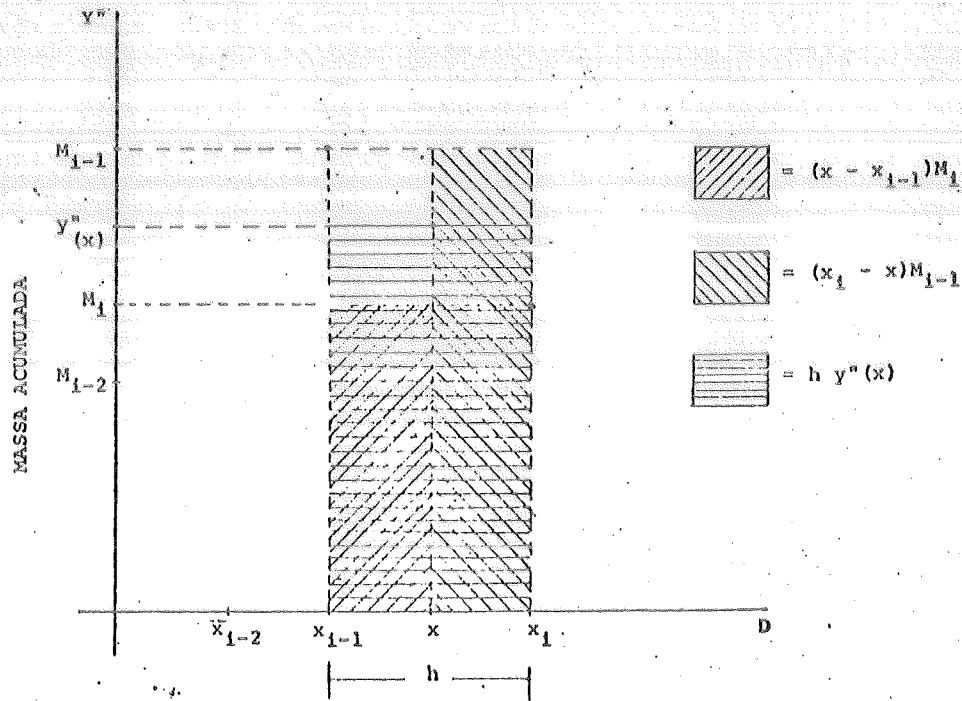


FIGURA 2 - Significado geométrico do ajuste da função "Spline"

A fórmula seguinte, para o cálculo da derivada da função "Spline" :

$$h y''(x) = (x - x_{i-1})M_i + (x_i - x)M_{i-1} \quad (3)$$

$$x \in (x_{i-1}, x_i)$$

onde:

$$h = x_i - x_{i-1}$$

M_i = derivada segunda no ponto x_i ,

observada, em conjunto com a figura 2, mostra que a função y'' , será uma média ponderada entre os valores de y'' no ponto anterior e no ponto posterior ao ponto x escolhido, como mostra a área achurada horizontalmente na figura citada.

Vê-se portanto que o valor dessa função será um valor médio entre valores vizinhos, esta característica faz com que a função seja resultado de uma inter-relação entre todos os pontos, mais do que simplesmente uma função ajustada ponto a ponto. Por essa razão erros em um ponto afetam seus vizinhos, mas seu efeito dilui-se a medida que se afasta do ponto considerado. Por outro lado a correção desse ponto não afetará tanto os pontos distantes, o que leva à conclusão de que a mudança de um valor não obriga a troca de toda a equação do ajuste, mas simplesmente da secção próxima ao ponto modificado, contrariamente a outras formas de ajuste que se modificam totalmente quando um valor da função se altera.

Outras características da função "Spline" ligadas às propriedades anteriormente citadas são a suavidade do ajuste, garantida pela propriedade número dois; o comportamento da curva com relação aos pontos mais distantes, comentado em outro parágrafo e justificado pela quarta propriedade e a boa aproximação, garantida pelas propriedades primeira e terceira.

Para a construção de gráficos do tipo frequência acumulada em função do tamanho de partícula, há necessidade da imposição de condições, tais como : 1º a existência de tangentes horizontais para tamanhos de partícula maiores que o maior tamanho ou para tamanhos de partícula menores que o menor tamanho e 2º a função deve ser monotônica crescente. Estas duas condições garantem a forma da curva.

APLICABILIDADE DA FUNÇÃO "SPLINE"

A função "Spline" é a curva mais suave e que melhor interpola os valores experimentais obtidos (2), fato que torna seu campo de aplicação bastante vasto. A característica de interpolação dos dados traduz-se pela exatidão da função. Logicamente quando se tem um ajuste com exatidão, é melhor aplicá-lo a dados com pequenos erros pois, um experimento com erros grosseiros produz resultados grosseiros com o mais perfeito dos ajustes e o inverso, um experimento, com erros muito pequenos, produz resultados grosseiros, pela aplicação de um ajuste grosseiro, ou seja, este método por sua característica de exatidão, é melhor aproveitado, quando aplicado a trabalhos onde os cuidados com o planejamento do experimento e com o controle das variáveis foi bem executado, como em trabalhos de laboratório.

Dadas as boas características de ajuste, a função "Spline" deve ser usada quando se desconhece a forma da função representativa dos dados.

Como as características da exatidão da função se aplicam a sua derivada, (2), se acon-

selha seu uso, quando se deseja conhecer taxas de variação ou seja, (dy/dx) .

Em resumo, a função "Spline" aplica-se à geração de curvas contínuas, através de pontos experimentais discretos, onde se deseje suavidade e exatidão de ajuste da função, bem como de sua derivada.

COMO ENCONTRAR A FUNÇÃO "SPLINE"

Dada uma série de pontos (x_i, y_i) Figura 3, com x_i em escala linear ou não, ordenado de forma estritamente crescente, com i natural qualquer; (normalmente entre sete e dez para impactadores), procede-se, como a seguir, para a obtenção da curva "Spline", representativa dos (x_i, y_i) (1).

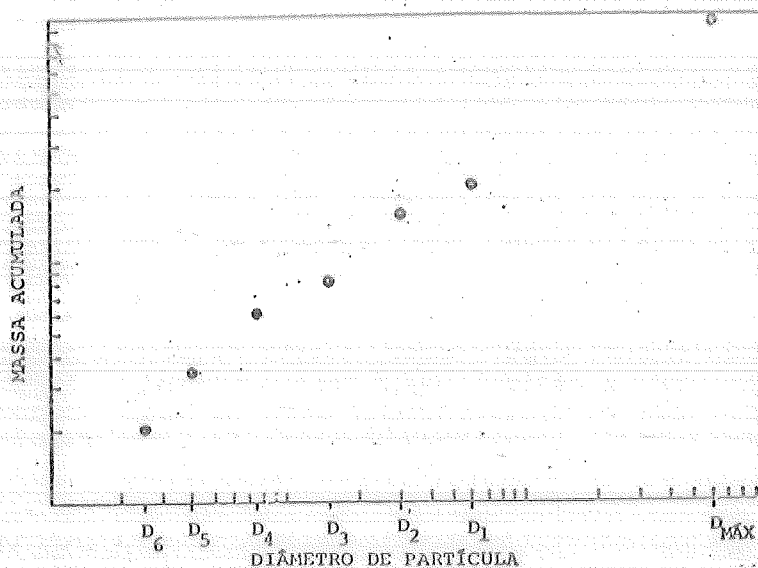


FIGURA 3 - Distribuição cumulativa - dados experimentais

Ajusta-se uma parábola por 3 pontos sucessivos, entre os dois primeiros interpolam-se 3 outros pontos equiespaçados, Figura 4. Repete-se este processo para 3 outros pontos sucessivos, começando-se pelo 2º ponto dos três anteriormente utilizados e repete-se o processo para todos os conjuntos de 3 pontos sucessivos, Figuras 5 e 6.

Deve ser feita uma verificação da existência de derivada primeira negativa, pois em se tratando de gráfico de frequência acumulada essa derivada deve ser positiva. Caso ocorra em qualquer intervalo exceto no primeiro, uma derivada negativa, deve-se substituir nesse intervalo a parábola por uma reta. Se a derivada negativa ocorrer no primeiro intervalo escolhe-se um diâmetro fictício dado por :

$$D_f = \frac{D_n^2}{D_{n-1}}$$

onde:

D_f = diâmetro fictício

D_n = diâmetro do primeiro ponto

D_{n-1} = diâmetro do segundo ponto

e atribui-se a D_f a frequência correspondente a D_n . A parábola correspondente deve passar por D_f , D_n e D_{n-1} .

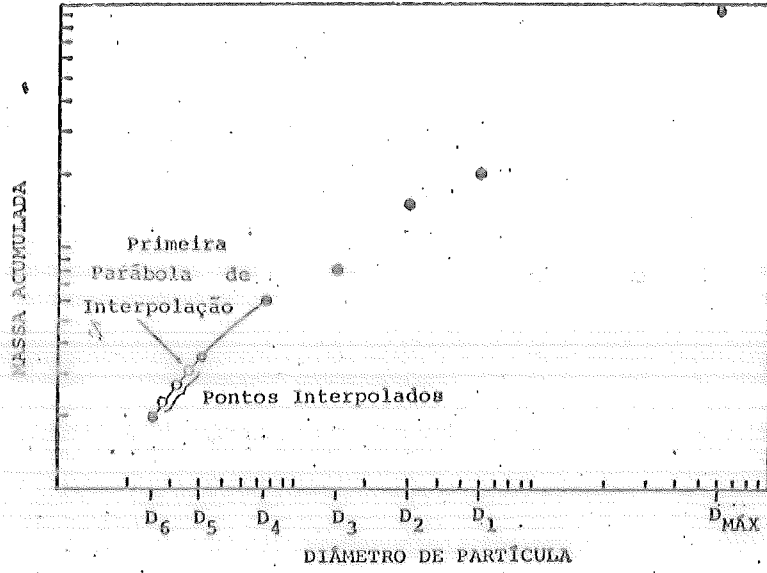


FIGURA 4 - Início do desenvolvimento de pontos interpolados (Pontos cheios são experimentais - círculos são pontos gerados matematicamente)

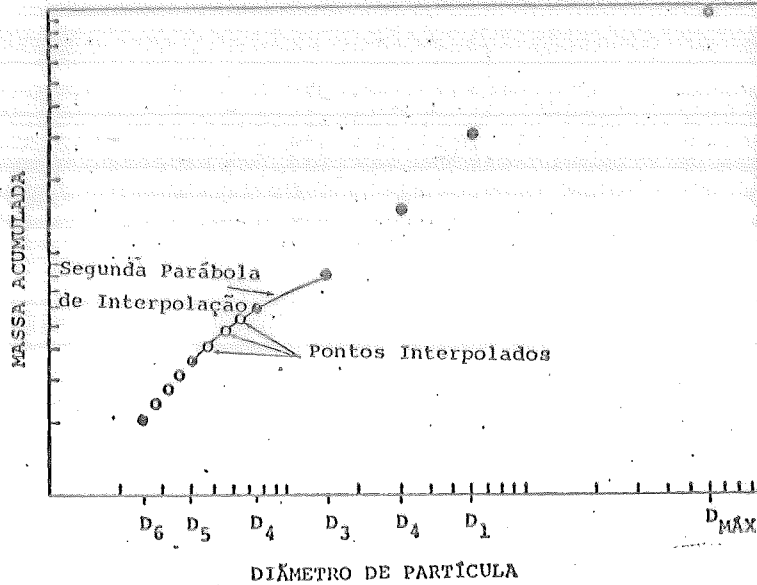


FIGURA 5 - Continuação da geração de pontos interpolados.

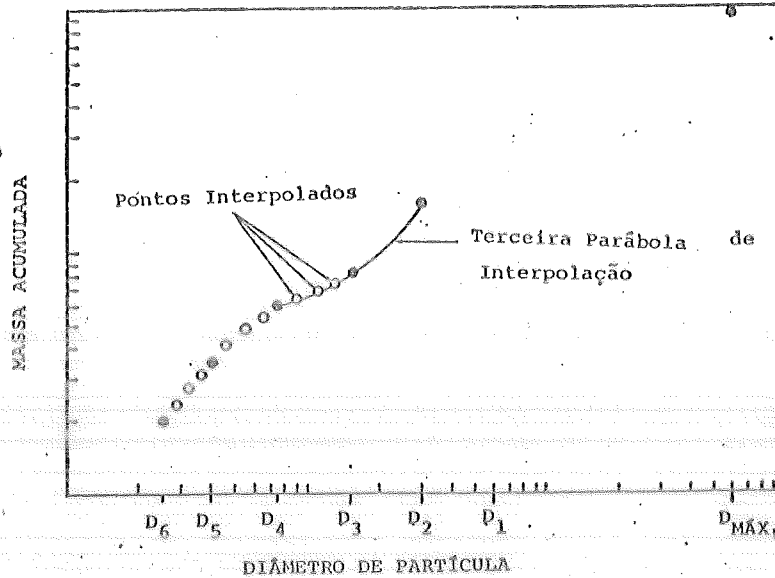


FIGURA 6 - Continuação da geração de pontos interpolados.

Para os últimos 3 pontos o procedimento é ligeiramente alterado. Interpola-se uma parábola entre D_{max} , D_1 e D_2 e geram-se dois pontos acima de D_1 com o mesmo espaçamento existente entre D_1 e D_2 . Figura 7, esses pontos são usados para a obtenção da curva final até D_1 . Além desses pontos uma série de outros pontos, entre D_1 e D_{max} , são extrapolados, acima de D_1 , através de uma hipérbole, em lugar de parábola, Figura 8, para facilitar a concordância com a tangente horizontal em D_{max} . Esta extrapolação tem dado bons resultados práticos, no que diz respeito a avaliação de tamanho de partículas maiores que D_1 (1). O número de intervalos entre D_1 e D_{max} é estabelecido como o dobro do número de intervalos gerados entre dois tamanhos consecutivos.

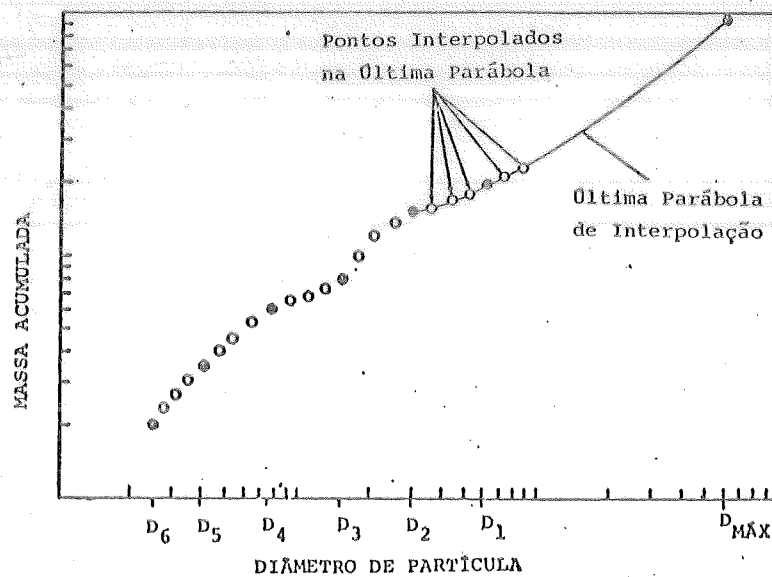


FIGURA 7 - Pontos interpolados na parábola que inclui D_{MAX} .

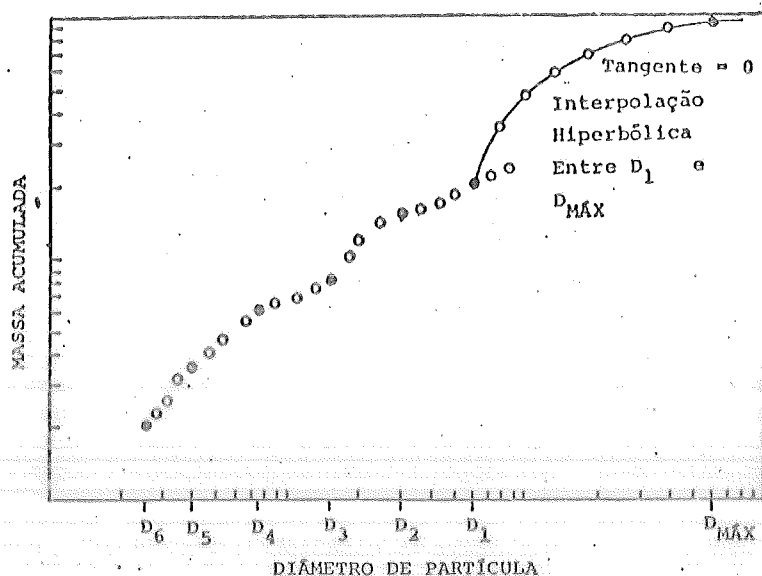


FIGURA 8 - Geração de pontos interpolados por hipérbole entre D_1 e D_{MAX}

Uma variante desta parte do processo foi proposta (4), para facilitar a concordância do trecho D_1 , D_{max} , no ponto D_1 , através do uso de polinômio osculador da primeira ordem. Este procedimento é apresentado no item "Exemplo Prático".

Um vez obtidos todos os pontos, inicia-se a fase final do ajuste que consiste em passar pelos 3 primeiros pontos, uma parábola. A parábola utilizada é a mesma que se usou para interpolação na primeira fase. Essa parábola será parte da curva "Spline" entre o primeiro ponto experimental e o primeiro ponto interpolado, vide Figura 9.

Em seguida passa-se uma parábola pelo limite superior da primeira parábola e pelos 3 próximos pontos, com a mesma inclinação da primeira no ponto inicial. O processo se repete até que se atinja o valor de x correspondente ao tamanho de partícula do primeiro estágio, Figuras 10 e 11.

Para os pontos acima deste segue-se o mesmo procedimento mas se utilizam os pontos gerados anteriormente pela hipérbole.

Os valores dos coeficientes das parábolas juntamente com os limites de cada parábola são arquivados para uso futuro, em especial em se tratando de computador ou "plotter".

Há ainda que se impor a condição de tangente nula para $x_1 < D_{min}$ e para $x_1 > D_{max}$.

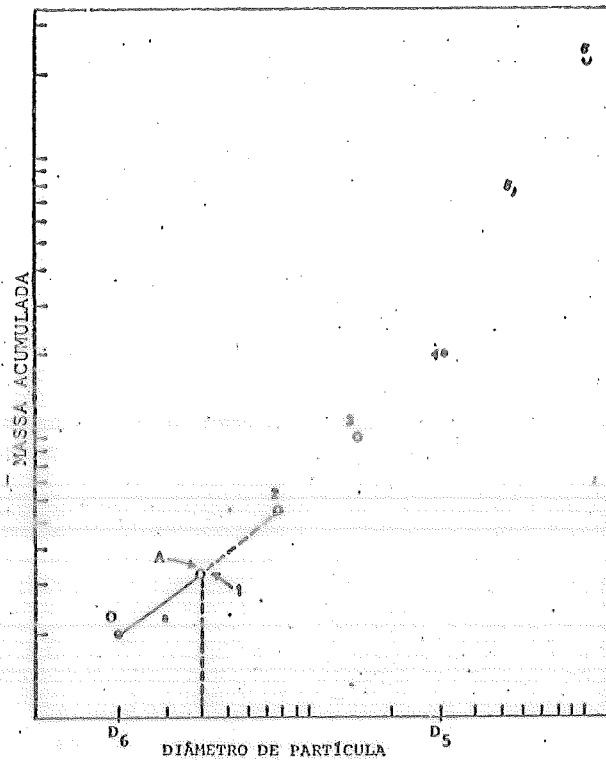


FIGURA 9 - Início do procedimento final de ajuste da função "Spline"

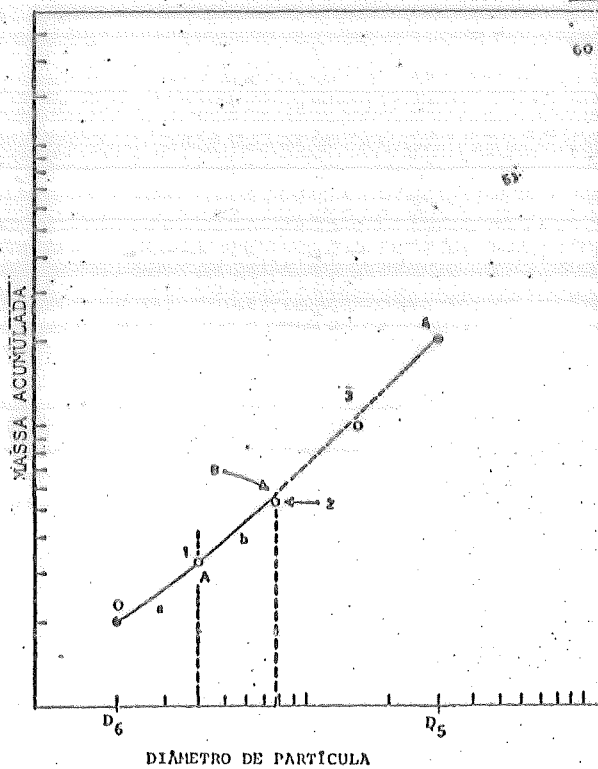


FIGURA 10 - Segundo passo no procedimento final de ajuste da função "Spline"

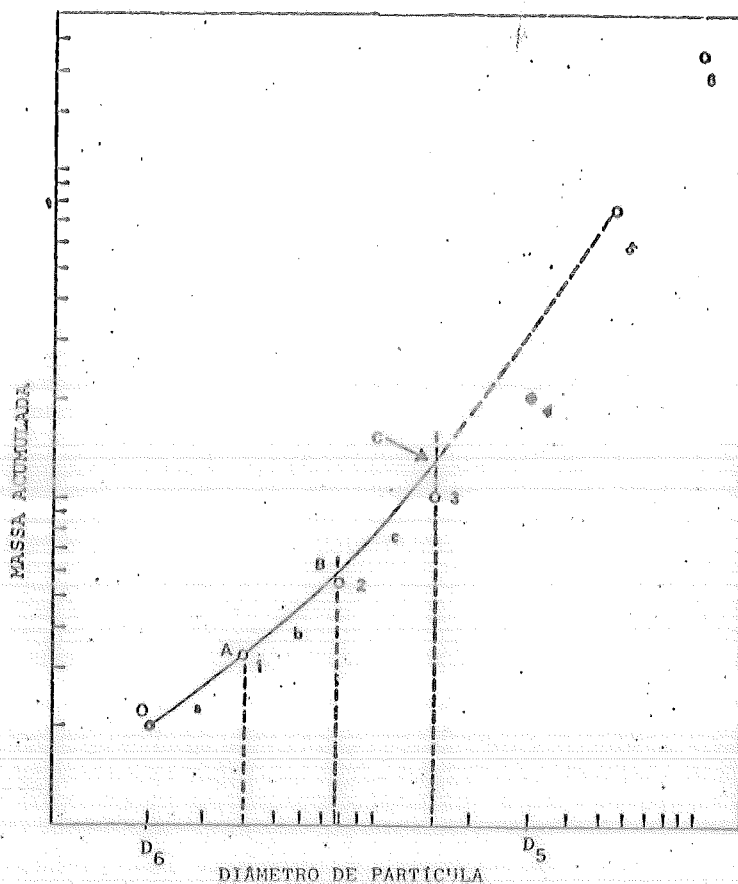


FIGURA 11 - Terceiro passo no procedimento final de ajuste da função "Spline"

QUANDO USAR A FUNÇÃO "SPLINE"

O uso da função "Spline" é recomendado para trabalhos experimentais com pequenos erros, como são os de laboratório, os de calibração de instrumentos, onde o controle das variáveis é bom e os erros pequenos. Não é desaconselhado o uso em outros casos, mas é utilizar-se de um método muito mais preciso que o próprio experimento.

O ajuste por este método é também recomendado quando se desconhece a forma da curva que representa os dados, todavia para este caso é necessário que os erros experimentais sejam pequenos, pois caso contrário influirão na forma da curva produzindo alterações enganosas.

A construção de curvas de calibração ajusta-se às restrições citadas e portanto podem ser obtidas pela função "Spline".

Dadas as características de exatidão da função e de sua derivada, curvas do tipo frequência acumulada versus tamanho de partícula e sua derivada, a distribuição de frequência, versus classes de tamanho, são bem representadas por curva obtidas por este método.

Em resumo, dado um conjunto de dados discretos pelo qual se deseja ajustar uma curva contínua, com primeira e segunda derivadas também contínuas, recomenda-se a utilização da função "Spline", quando o erro experimental é pequeno, ou não se conhece a forma da curva. Observe-se que, se o erro experimental não for pequeno, esta técnica não fica invalidada, torna-se apenas mais sofisticada que o necessário.

EXEMPLO PRÁTICO

Apresentam-se a seguir, um conjunto de dados reais ajustados pela técnica apresentada neste trabalho; o programa de cálculo que os ajustou e as equações a serem usadas para o caso de se desejar desenvolver um programa completo.

Dados : $\begin{cases} x & = \text{tamanho de partícula} \\ y & = \text{frequência acumulada correspondente} \end{cases}$

Obter os valores de y para os valores x constantes da Tabela 2, através do ajuste de uma curva, pelos dados da Tabela 1

TABELA 1 - VALORES DE X E Y OBTIDOS EXPERIMENTALMENTE

x =	0.249	0.426	0.756	1.415	2.380	4.430	11.930
y =	0.11131	0.25055	0.48160	0.77827	0.90377	0.96985	0.99157

TABELA 2 - VALORES DE X PARA OS QUAIS SE DESEJA CALCULAR O VALOR DE Y

x =	0.100; 0.150; 0.200; 0.210; 0.230; 0.250; 0.426; 0.450; 0.750; 0.756;
	1.415; 1.500; 2.000; 2.380; 3.000; 4.000; 4.430; 4.500; 5.000; 6.000;
	7.000; 8.000; 9.000; 10.000; 11.000; 11.930; 12.000; 12.500; 13.000;
	15.000.

Um programa, em FORTRAN, apresentado a seguir, calcula o valor da ordenada y . Este programa é ligeiramente mais simplificado que o descrito no trabalho.

As simplificações residem no seguinte :

1. Ausência de verificação da derivada primeira negativa;
2. Não utilização de interpolação linear onde a derivada primeira for negativa;
3. Não utilização do cálculo do diâmetro fictício no primeiro intervalo, se a derivada primeira for negativa;
4. Não interpolação dos pontos intermediários;
5. Como consequência de 4, não é calculada a função final, admitindo portanto, a função inicial calculada, como sendo a curva "Spline" e
6. Não verificação da frequência acumulada máxima ser $F_{ac} < 100\%$.

Segue-se o programa e a folha de resultados, na qual se podem notar tangentes, (SSI(J)), negativas, assim como frequências acumuladas (SS(J)) maiores que 1.00, como consequências das simplificações acima.

LISTAGEM DO PROGRAMA "SPLINE" SIMPLIFICADO

```

0001      KLAL * 2  X(1),Y(1),11,0),55(50),551(50),552(50),H(10),DELY(10),
0002      *F(10),S(10),DCL,S(10),S2(10),C(10),S3(10),K,ETA,SSICME,SSIN,SSIH,
0003      *F(2),PACO,CULOC,
0004      *A(1),L(1),C(1),T(1),S(1),
0005      K=7
0006      F(1)=1,20(1),1,1,7)
0007      H(1)=1,20(1),1,1,7)
0008      F(2)=1,20(1),1,1,7)
0009      F(3)=1,20(1),1,1,7)
0010      20  F(4)=1,20(1),1,1,7)
0011      00  F(5)=1,20(1),1,1,7)
0012      H(1)=1
0013      EC 51 1=1,H1
0014      H(1)=X(1)+1-X(1)
0015      51  DELY(1)=(Y(1)-Y(1))/H(1)
0016      CC 52 1=2,S1
0017      F(1)=H(1)-1+H(1)
0018      F(1)=0,5*(F(1)-1)/H(1)
0019      EC 53 1=1,0*(DELY(1)-DELY(1))/H(1)
0020      S2(1)=2,0*(DELY(1))
0021      52  C(1)=2,0*(DELY(1))
0022      S2(1)=2,0*(DELY(1))
0023      EC 10 1=2,H1
0024      K=(C(1)-F(1)*S2(1)-1)-(0,5-H(1))*S2(1)-S2(1)*0,0001
0025      H(1)=1,0*(S2(1)-S2(1))
0026      10  S(1)=S2(1)
0027      IF(C(1)-S(1)-C(1)) GO TO 5
0028      EC 55 1=1,H1
0029      53  S2(1)=(S2(1)+S2(1))/H(1)
0030      EC 61 1=1,20
0031      F(1)=1
0032      IF(F(1)-X(1)) 58,17,55
0033      55  F(1)=X(1)-X(1) 57,59,62
0034      56  F(1)=X(1)-X(1) 60,17,57
0035      57  1=1
0036      CC 10 56
0037      5c  SSICME=DELY(1)-H(1)/(H(1)+H(2))*2, 0*(DELY(2)-DELY(1))
0038      *SSIJ)*Y(1)+1(X)-X(1))*SSICME
0039      SSIJ)=SSICME
0040      CC 10 61
0041      62  SSIH=DELY(1)+H(1)*S2(1)
0042      SSIJ)=Y(1)+1(X)-X(1))*SSIH
0043      SSIJ)=SSIH
0044      CC 10 61
0045      55  1=1
0046      60  1=1-1
0047      17  F(1)=1(X)-X(1)
0048      F(1)=1(X)-X(1)
0049      H(1)=1+1(X)
0050      S(1)=S2(1)+21)*S3(1)
0051      EC 50 1=1,20(1),1,1,7)
0052      SSIJ)=Y(1)+1(X)+DELY(1)+PACO*SSICME
0053      SSIJ)=DELY(1)+H(1)+1(X)+PACO*SSICME
0054      61  CC=1,100
0055      WRITEL(3,30)
0056      60  F(4)=1,20(1),1,1,7),11X,*SSIJ)*1,1X,*SSIJ)*1,1X,*SSICME*1,1X,*SSIN*
0057      *1,1X,*S2(1)
0058      EC 90 1=1,30
0059      50  WRITEL(3,100(1),1,1,7),SS(1),SS(1),SSICME,SSIN,S2(1)
0060      100  F(4)=1,20(1),1,1,7),1,1,7),1,1,7),1,1,7)
0061      CALL EXIT
0062      100
  
```

X(1)	SSIJ	SSIJ	SSICME	SSIH	SSIH
0.100	-0.109000-C1	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	0.0
0.150	0.274570-C1	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	0.0
0.200	0.650250-C1	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	0.0
0.250	0.762740-C1	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	0.0
0.300	0.552150-C1	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	0.0
0.350	0.112170-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.189200-02
0.400	0.270550-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.324870-00
0.450	0.268950-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.250550-C0
0.500	0.477850-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.569140-C0
0.550	0.491000-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.543580-C0
0.600	0.778200-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.475410-C0
0.650	0.600210-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.435150-C0
0.700	0.060020-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.158400-C0
0.750	0.502170-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.188100-C1
0.800	0.529870-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.152220-C1
0.850	0.500120-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.943200-C2
0.900	0.509850-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.279210-C2
0.950	0.571250-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.713100-C2
1.000	0.500150-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.665140-C2
1.050	0.554350-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.565130-C2
1.100	0.100250-C1	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.473120-C2
1.150	0.100520-C1	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.510900-01
1.200	0.100200-C1	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.281210-C2
1.250	0.551160-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.185210-C2
1.300	0.551570-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	-0.892570-03
1.350	0.507550-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	0.0
1.400	0.562450-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	0.0
1.450	0.509030-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	0.0
1.500	0.634720-C0	0.047074-C0	0.047074-C0	-0.510900-01	0.0

Entre as linhas 9 a 20 são calculadas as aproximações por diferenças finitas, das derivadas primeira, para cada ponto e fixadas como nulas as derivadas para os valores extremos dos dados;

Da linha 21 à linha 26 resolve por relaxação, num processo iterativo, a segunda derivada nos pontos internos;

Nas linhas 27 e 28 é calculada a terceira derivada;

Da linha 29 à linha 35 é calculado o valor da derivada e da função, para os pontos da matriz T;

Da linha 36 à linha 39 é feita a extrapolação para os T(J), abaixo de D_{\min} ;

Da linha 40 à linha 43 é feita a extrapolação acima de D_1 e finalmente;

Da linha 44 à linha 53 é feito o cálculo para os pontos interiores ao intervalo D_{\min} ;

D_1 .

Apresentam-se a seguir as equações (5) e condições a serem obedecidas para a determinação da função "Spine".

$$\begin{aligned}
 S''(x_1) &= 0 \\
 -S''(x_2) - b_2 S''(x_1) - (1/2 - b_2) S''(x_3) + g_2 &\leq \epsilon \\
 -S''(x_3) - b_3 S''(x_2) - (1/2 - b_3) S''(x_4) + g_3 &\leq \epsilon \\
 -S''(x_4) - b_4 S''(x_3) - (1/2 - b_4) S''(x_5) + g_4 &\leq \epsilon \\
 -S''(x_5) - b_5 S''(x_4) - (1/2 - b_5) S''(x_6) + g_5 &\leq \epsilon \\
 S''(x_6) &= 0
 \end{aligned}$$

onde :

$$S''(x_i) = \frac{2}{x_{i+1} - x_{i-1}} \left[\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} - \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \right]$$

$$b_i = \frac{1}{2} \left(\frac{x_i - x_{i-1}}{x_{i+1} - x_{i-1}} \right)$$

$$g_i = \frac{3}{x_{i+1} - x_{i-1}} \left[\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} - \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \right]$$

para $2 < i < 5$

ϵ = tolerância pré estabelecida (1×10^{-5} é adequada)

Calcula-se :

$$S''_i = \frac{S''(x_{i+1}) - S''(x_i)}{x_{i+1} - x_i} \quad i = 1, 5$$

escolhe-se $x_i < t_j < x_{i+1}$

e resolve-se o sistema :

$$S''(t_j) = S''(x_1) + (t_j - x_1) S_1'''$$

$$S(t_j, x_1, x_{i+1}) = \frac{1}{6} [S''(x_1) + S''(x_{i+1}) + S''(t_j)]$$

$$S(t_j) = y_1 + (t_j - x_1) \left[\frac{y_{i+1} - y_1}{x_{i+1} - x_1} \right] + (t_j - x_1)(t_j - x_{i+1}) S(t_j, x_1, x_{i+1})$$

$$S'(t_j) = (y_{i+1} - y_1) + 2(t_j - x_1 - x_{i+1}) S(t_j, x_1, x_{i+1}) + \frac{1}{6} (t_j - x_1)(t_j - x_{i+1}) S_1'''$$

Deve-se ainda observar os três seguintes passos para cálculo :

1 - Impor a condição de curva monotônica, crescente;

2 - Impor a condição de que para

$$D < x_{\min} \text{ ou } D > x_{\max}$$

o valor de $S(x)$ seja $S(D_{\min})$ ou $S(D_{\max})$ conforme o caso;

3 - Impor a condição de interpolação linear onde $S'(x_1) < 0$, a partir do segundo intervalo de x , ou fixar um diâmetro fictício :

$$D_f = \frac{D_n^2}{D_{n-1}^2}$$

com frequência $\text{Fac}(D_n)$, para o caso de derivada negativa no primeiro intervalo de x .

A Figura 12 mostra o processo de ajuste, para os pontos com diâmetro entre D_1 e D_{\max} através do uso de um polinômio osculador de terceiro grau e primeira ordem(5), representado por $P(D_i) = M(D_i)$, onde

$i = 1$ ou 0

P é o polinômio osculador e

M é a massa de material particulado.

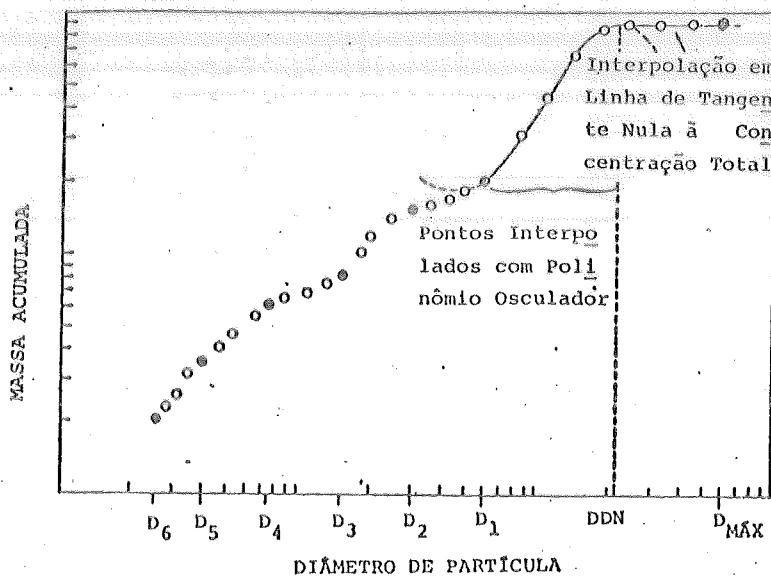


FIGURA 12 - Geração de pontos interpolados através do polinômio osculador e tangente nula na concentração em massa total.

A derivada $P'(D_1) = M'(D_1)$, com $P'(D) \geq 0$, para $D_0 \leq D \leq D_1$

A fórmula de Hermite :

$$P(D) = \sum_{i=0}^n U_i(D) M(D) + \sum_{i=0}^n V_i(D) M'(D_1)$$

onde :

$M(D_1)$ e $M'(D_1)$ são os valores das concentrações em massa e suas derivadas nos pontos D_0 a D_1

$U_i(D)$ e $V_i(D)$ podem ser expressos através dos multiplicadores de Lagrange como segue :

$$U_i(D) = 1 - 2L_i(D_1)(D - D_1) \left[L_i(D) \right]^2$$

$$V_i(D) = (D - D_1) \left[L_i(D) \right]^2$$

$$L_i(D) = \prod_{j=0, j \neq i}^n \frac{(D - D_j)}{(D_i - D_j)} \quad i = 0, 1, 2, \dots, n$$

$$L_0(D) = \frac{D - D_1}{D_0 - D_1} \quad e \quad L_0'(D) = \frac{1}{D_0 - D_1}$$

$$L_1(D) = \frac{D - D_0}{D_1 - D_0} \quad e \quad L_1'(D) = \frac{1}{D_1 - D_0}$$

$$\therefore P(D) = U_0(D) M(D_0) + U_1(D) M(D_1) + V_0(D) M'(D_0) + V_1(D) M'(D_1)$$

$$P(D) = \left[1 - \frac{2(D - D_0)}{(D_0 - D_1)} \right] \left[\frac{D - D_1}{D_0 - D_1} \right]^2 M(D_0) + \left[1 - \frac{2(D - D_1)}{(D_1 - D_0)} \right] \left[\frac{D - D_0}{D_1 - D_0} \right]^2 M(D_1) + \frac{(D - D_0)(D - D_1)^2 M'(D_0)}{D_0 - D_1} + \frac{(D - D_1)(D - D_0)^2 M'(D_1)}{(D_1 - D_0)^2}$$

Definem-se então as seguintes constantes :

$$K_1 = \frac{M(D_0)}{(D_0 - D_1)^2}$$

$$K_4 = \frac{2M(D_1)}{(D_1 - D_0)^2}$$

$$K_2 = \frac{2M(D_0)}{(D_0 - D_1)^3}$$

$$K_5 = \frac{M'(D_0)}{(D_0 - D_1)^2}$$

$$K_3 = \frac{M(D_1)}{(D_1 - D_0)^2}$$

$$K_6 = \frac{M'(D_1)}{(D_1 - D_0)^2}$$

$$a_1 = K_2 + K_4 + K_5 + K_6$$

$$a_2 = K_1 + K_3 - (2D_1 + D_0)(K_2 + K_5) - (2D_0 + D_1)(K_4 + K_6)$$

$$a_3 = (K_2 + K_5)(D_1^2 + 2D_0D_1) + (K_4 + K_6)(D_0^2 + 2D_0D_1) - 2K_1D_1 - 2K_3D_0$$

$$a_4 = K_1 D_1^2 + K_3 D_0^2 - D_0 D_1^2 (K_2 + K_5) - D_0 D_1^2 (K_4 + K_6)$$

$$P(D) = a_1 D^3 + a_2 D^2 + a_3 D + a_4$$

$$P'(D) = 3a_1 D^2 + 2a_2 D + a_3$$

$$P'(D) > 0, D_0 \leq D \leq D_1$$

Quando a condição $P'(D) > 0$ não é obedecida, deve-se redefinir $D_1 = D_{\max}$ para um valor menor e testar novamente, repete-se o processo de redefinição até o caso limite onde $P'(D)=0$, definindo-se assim D_{\max} para declividade nula, vide Figura 13, que passa a ser chamado de Diâmetro de Declividade Nula, (DDN), correspondendo ao máximo de frequência acumulada.

Os pontos de interpolação são definidos pelo polinômio osculador para $D_1 < D \leq DDN$ e para $DDN < D \leq D_{\max}$ é estabelecido como o valor máximo de frequência acumulada.

A vantagem deste ajuste é a maior facilidade da obtenção da tangente comum em D_1 , resultando em continuidade da primeira derivada e maior exatidão, como se pode depreender da observação conjunta das Figuras 13 e 8.

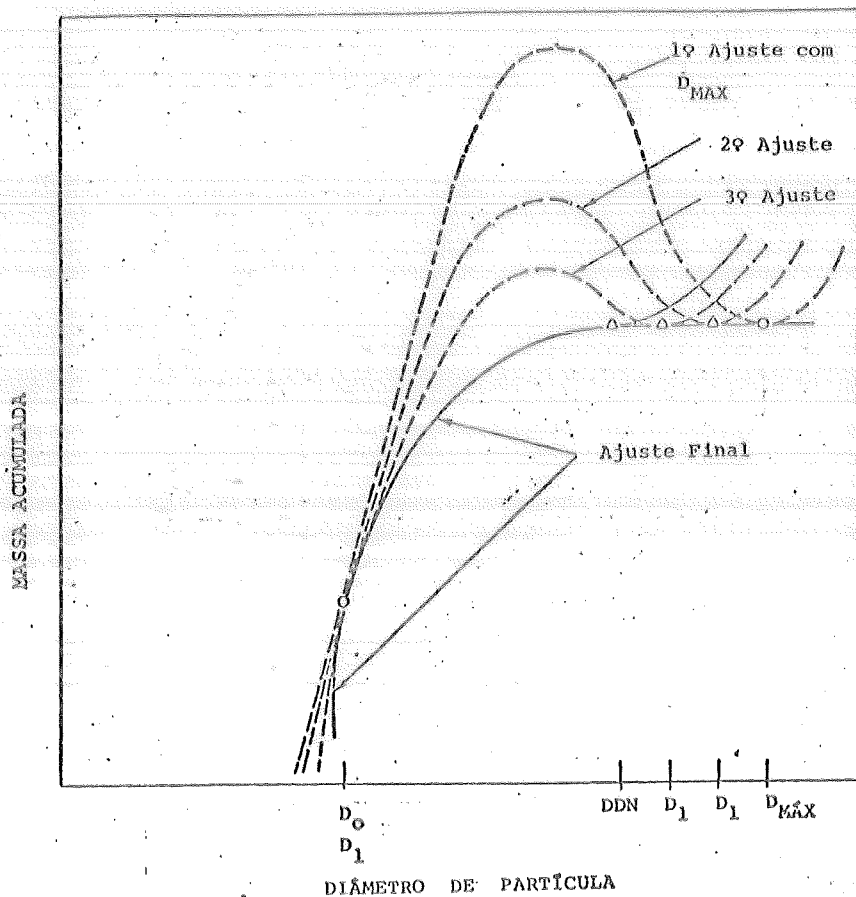


FIGURA 13 - Ajuste da curva entre D_1 e D_{\max} .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. JOHNSON, J.W., Clinard, G.I., Felix, L.G. e McCain, J.D. A Computer Based Cascade Impactor Data Reduction Systems. EPA-600/7-78-042, March 1978.
2. LAWLESS, Ph. A. Analysis of Cascade Impactor Data for Calculating Particle Penetration. EPA-600/7-78-189.
3. SNEDDON, I.N. Encyclopedia Dictionary of Mathematics for Engineering and Applied Scientists.
4. SMITH, W.B., Cushing, K.M., Johnson, J.W., Parsons, C.T., Williamson, A.D., Wilson Jr, R.R. Sampling and Data Handling, Methods for Inhalable Particulate Sampling.
5. SPARKS, L.E. Cascade Impactor Data Reduction with SR-52 and TI-59 Programmable Calculators. EPA-600/7-78-226, November 1978.



ANEXO 04

ÍNDICE

I) INTRODUÇÃO

II) FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO MÉTODO

III) DETALHES CONSTRUTIVOS

IV) CONCLUSÕES

V) REFERÊNCIAS

VI) DESENHOS

I) INTRODUÇÃO

O presente projeto visa operacionalizar e agilizar, de forma preliminar, a técnica descrita por F. STEIN E colaboradores no artigo "DETERMINATION OF THE DENSITY OF RESPIRABLE SOLID AEROSOL SAMPLES", publicado no periódico "POWER TECHNOLOGY, 5, 317, 1971/72.

A sua proposição se deve, em parte à oportunidade de utilização de um aparato concebido e construído para esta finalidade como produto do projeto 162/79 GFE em 1979, o qual teve a sua finalização de estudo no projeto de nº 01.09.02 do programa de nº 01.09/Dezembro 1985, relatado em um relatório.

Até o momento, em todos os cálculos e análises de projetos de equipamentos de poluição de ar realizado na CETESB, a densidade da partícula é pressuposta ou retirada de manuais. Tal procedimento sempre introduz uma margem de incerteza que pode ser reduzida com o uso de um valor prático ainda que o mesmo seja referido ao agregado e não a uma única partícula.

A possibilidade de estabelecer a distribuição de tamanhos de particulados quer em número, por microscopia ótica, quer em massa, pelo emprego de fracionadores inerciais, associado ao conhecimento da densidade média do agregado, permite a execução de inúmeros estudos ocupacionais e ambientais mormente aqueles ligados ao atendimento a padrões de exposição.

Assim sendo à confecção de uma nova CÂMARA DE PRESSÃO SE FAZ necessária, pois sucessivas avarias ocorridas na CÂMARA anterior resultaram no abandono desta pretensão.

II) FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO MÉTODO

O método se fundamenta na aplicação da LEI de BOYLE a duas condições de um sistema selado, em cujo o anterior se encontra a amostra de material e ao volume desta, como segue:

$$P V = \text{cte}$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Se for introduzido uma amostra de volume (x) no interior do sistema, teremos:

$$P_1 (V_1 - x) = P_2 (V_2 - x)$$

$$P_1 V_1 - P_1 x - P_2 V_2 + P_2 x = 0$$

$$x = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{P_2 - P_1}$$

A densidade fica determinada pelo volume da amostra, já que sua massa pode ser previamente determinada.

$$\rho = \frac{m}{x}$$

III) DETALHES CONSTRUTIVOS

A câmara de pressão, conforme a figura 1, consiste basicamente de duas bases de acrílico de 40 mm, a inferior possuindo dois canais para a entrada e saída do ar e a superior sendo removível para facilitar a colocação dos picnomêtros.

Esta câmara possui dimensões de 125cm x 125cm x 120cm a qual fica sustentada sobre anéis de borracha Torroidais, sendo as paredes serão fundidas e parafusadas.

Esta câmara será confeccionada pela GTME/DDT, que atenderá ao projeto de nº 040203. Observar figura 2.

IV) CONCLUSÕES

Este relatório discutiu detalhes sobre o projeto de construção de uma câmara de pressão para agregados sólidos de partículas. Além de tratar rigorosamente a teoria de determinação de densidade, o relatório apresentou a informação pertinente e desenhos práticos para a construção de uma câmara de pressão.

V) REFERÊNCIAS

Short Communication: Determination of the Density of Respirable Solid Aerosol Samples.

F. Stern, S. Penkala and J. Buchino

Powder Technology 5, 317 (1971/72)

Handbook of Chemistry and Physics

CRC Press - 61^a ed. 1981, D144, E 39, E 40.

VI) DESENHOS

RELATÓRIO ELABORADO POR :
ENG^o VINCENZO RIVELLI

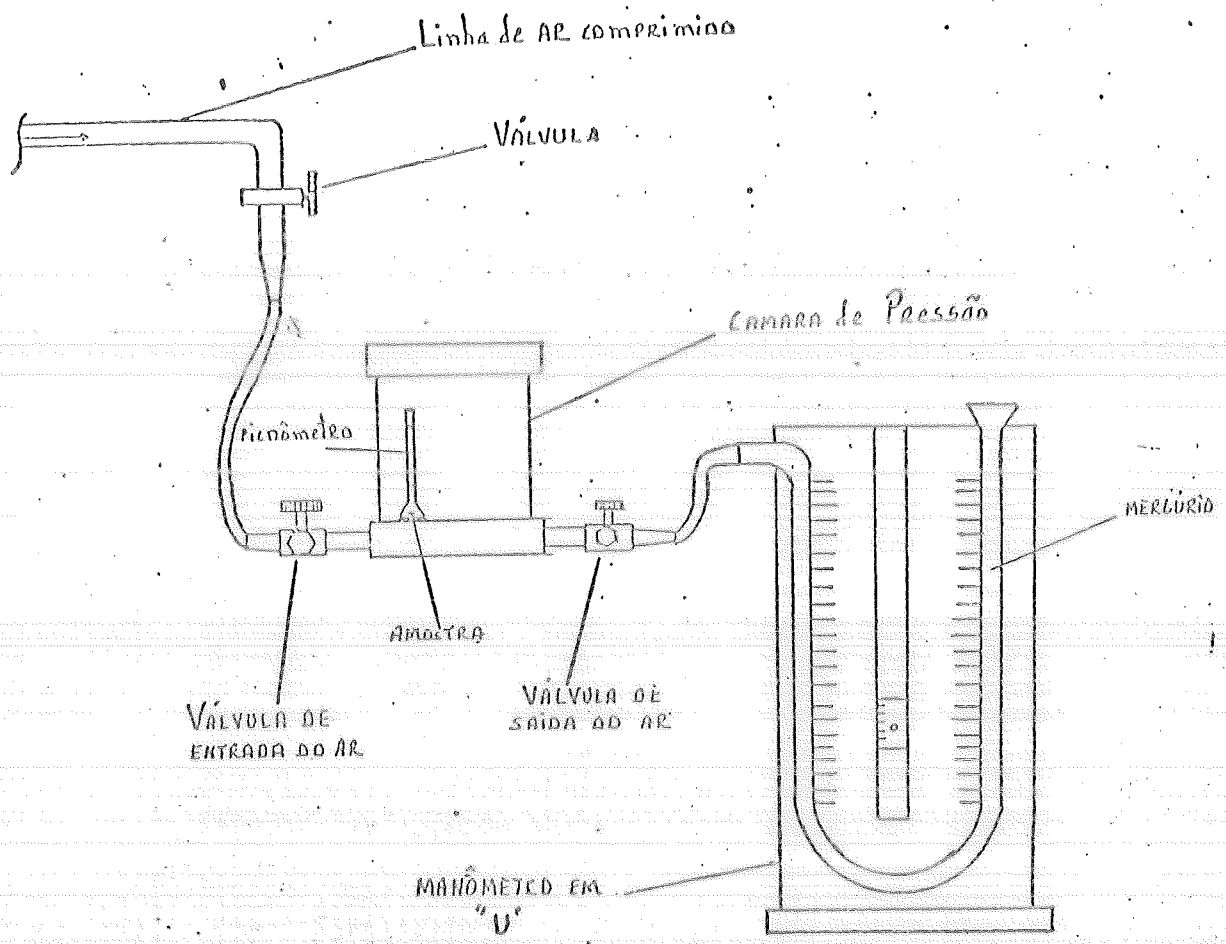
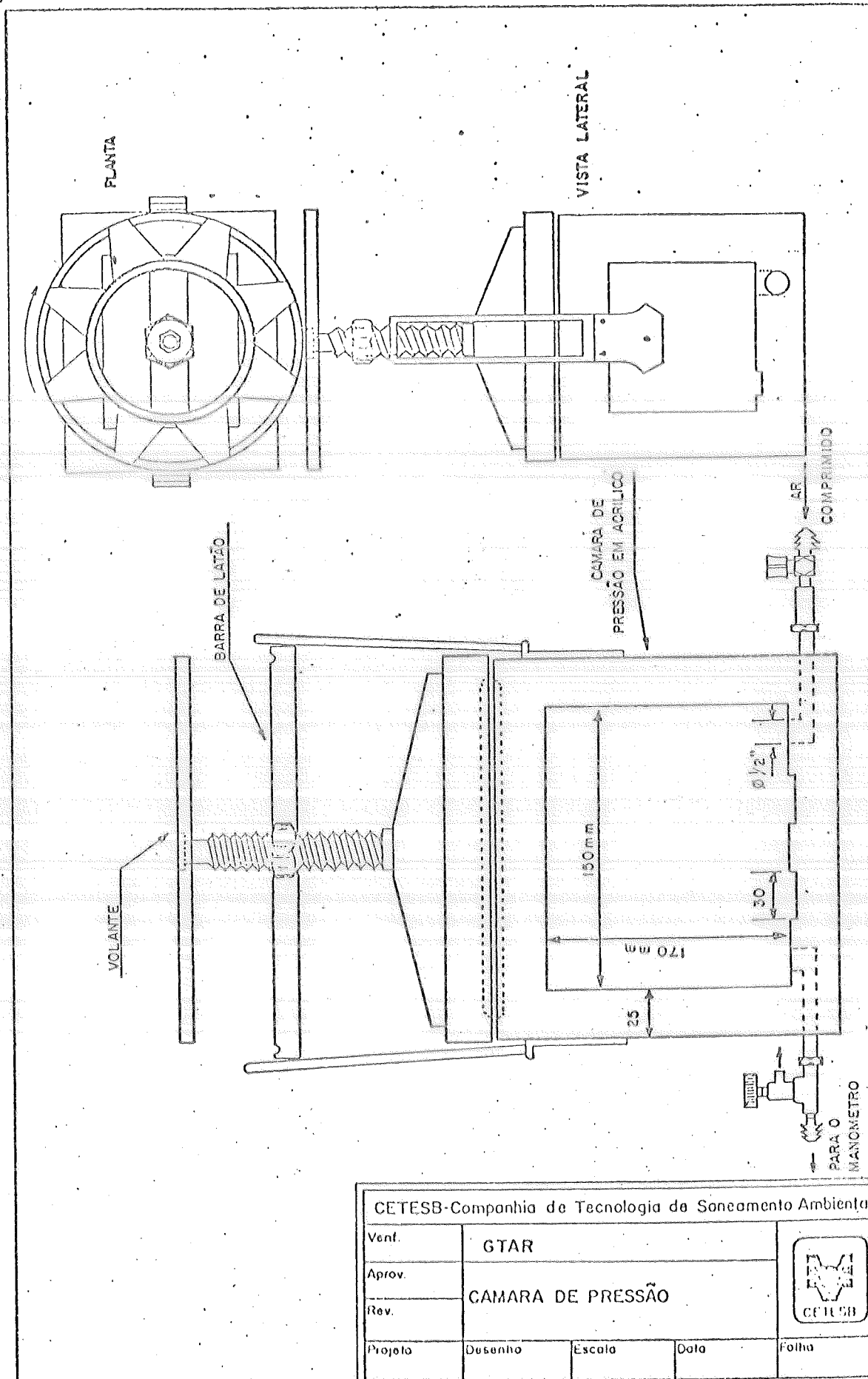



FIGURA1 : ESQUEMA DO SISTEMA PARA A DETERMINAÇÃO DE DENSIDADE DE AGREGADOS DE PARTICULAS SÓLIDAS.



CETESB



CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental				
Vent.	GTAR			
Aprov.	CAMARA DE PRESSÃO			
Rev.				
Projeto	Desenho	Escala	Data	Folha

ANEXO 05

INDICE

- I. INTRODUÇÃO
- II. TEORIA DO DISPOSITIVO PADRÃO POR ESCOAMENTO LIQUIDO
- III. METODOLOGIA
- IV . CALCULO DE CALIBRAÇÃO
- V . ANALISE DE CUSTO
- VI . COMENTARIOS
- VII . REFERÊNCIAS

I. INTRODUÇÃO

A elaboração do projeto de um equipamento a ser construído pela Gerência de Tecnologia do Ar, é um dispositivo considerado padrão, que segue o princípio da técnica de deslocamento de um certo volume de água por escoamento de um líquido, o qual produzirá uma depressão. Este equipamento segue o princípio das Garrafas de Dalton. Esta depressão gerada faz com que se possa calibrar e aferir equipamentos considerados intermediários ou secundários, por exemplo:

* Wet Test Meter - gasômetro úmido;

* Dry Gas Meter - gasômetro seco.

A finalidade deste relatório, é desenvolver um projeto que visa dotar o laboratório da GTAR de um sistema para calibrar equipamentos de medida de volume e levantar dados de fatores de correção dos equipamentos a serem aferidos.

II. TEORIA DO DISPOSITIVO PADRÃO POR ESCOAMENTO LÍQUIDO

Em sua forma mais simples, este equipamento se constitui em um cilindro de fibra de vidro com uma altura de 1,60 m por um diâmetro calculado de 356,82 mm.

Desta forma temos que cada cm de sua altura equivale a 1000ml de água, ou 0,03531 ft³ de volume de ar, isto é, a cada mm de deslocamento de água corresponde a um certo volume de ar.

A precisão mínima deste dispositivo, é que a cada 100 ml de água corresponde a $3,531 \times 10^{-3}$ ft³ de volume de ar. Este equipamento permitirá no máximo, deslocar um volume de água de até 150 litros; ou seja 5,30 ft³ de volume de ar.

Estes dados foram calculados conforme a dimensão do diâmetro a ser construído no dispositivo, segundo a equação:

$$V = \pi R^2 h$$
$$D_{\text{cilin}} = 2 \times \left(\sqrt{\frac{V}{\pi h}} \right) \times 10$$

onde:

V = volume do cilindro

h = altura do cilindro

D_{cilin} = diâmetro interno do cilindro

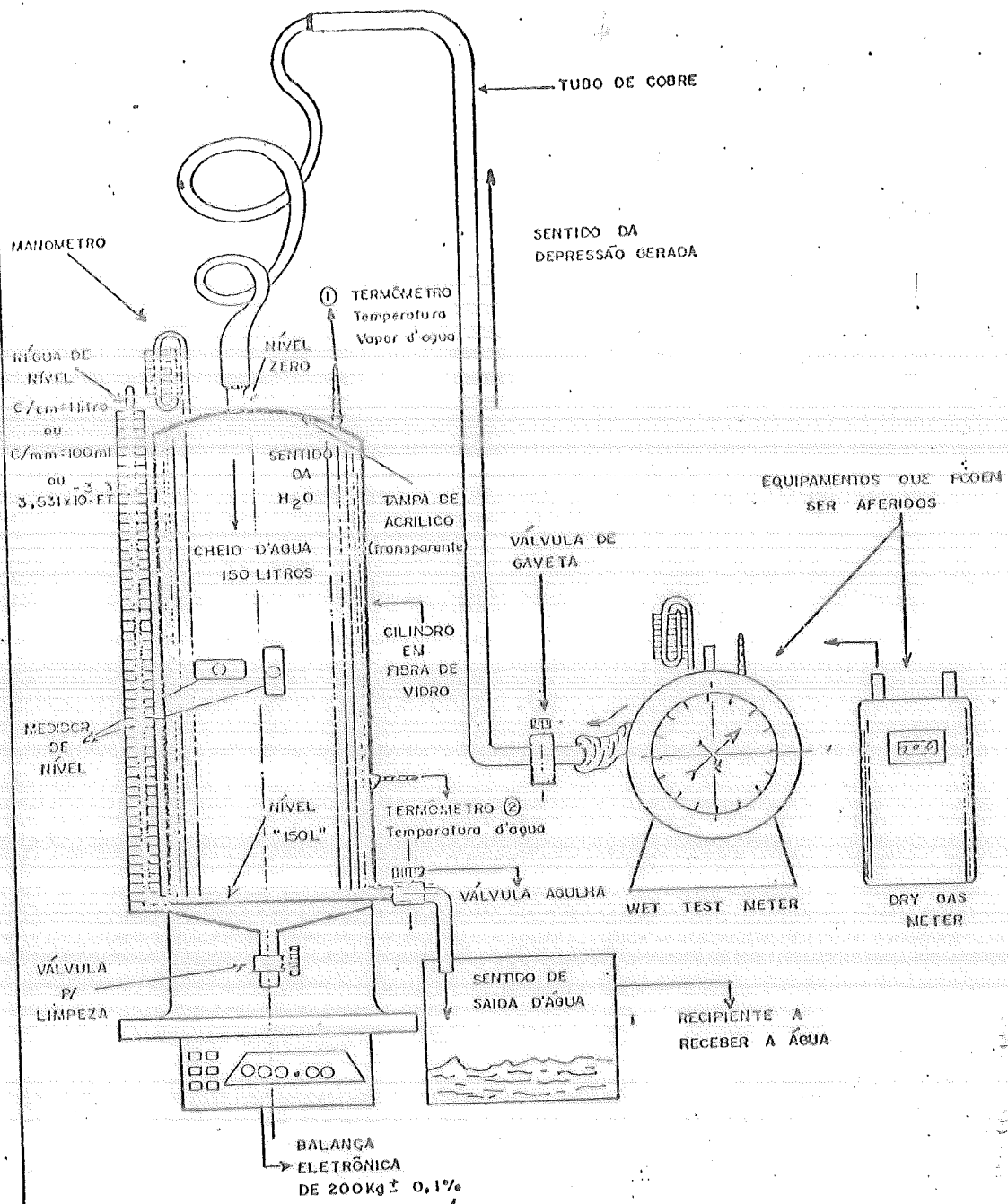



FIG. 1

CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental				
Verif	DISPOSITIVO PADRÃO POR ESCOAMENTO LÍQUIDO			
Aprov				
Rev				
OTAR				
Projeto	Desenho	Escala	Data	Folha

Na figura 1, mostra o esquema do dispositivo a ser construído, o qual está conectado aos equipamentos possíveis a serem aferidos.

Nota-se que o dispositivo possui uma régua de aço inox, com uma indicação de 0 a 150 cm, com subdivisão em mm, no qual esta régua foi corrigida com o fator de dilatação do aço inox. Anexo à régua há um tubo de vidro de borossilicato, para indicar o nível do líquido que foiescoado. Podemos citar com rigor, que o menor volume que podemos ter, é de 100 ml de água ou $3,531 \times 10^{-3}$ ft³ de ar.

A velocidade de escoamento do líquido será controlado por uma válvula de agulha colocada no nível de 150 litros, (conforme figura 1).

Para termos um controle maior da massa de água escoada, todo o dispositivo será colocado em uma balança eletrônica de até 200 kg, com precisão de $\pm 0,1\%$, ou seja com subdivisão de 200 g, que corresponde a 200 ml de água equivalente a $7,062 \times 10^{-3}$ ft³ de ar.

O máximo de volume de ar a ser escoado é de 5,2965 ft³ e equivalente a 150 litros de água.

O dispositivo terá um manômetro e dois termômetros, o qual registrará o diferencial de pressão de vapor de água e os termômetros 1 e 2, temperatura do vapor d'água, e da água, respectivamente.

III. METODOLOGIA

O princípio deste dispositivo é deslocar um certo volume de água provocando-se uma depressão ou vácuo.

Coloca-se no dispositivo, 150 l de água com corante e filtrada; acerta-se até o nível "zero" da régua de nível, verificando-se que no topo deste cilindro não ocorra a formação de bolhas de ar. Isto poderá ser observado, pois o cume deste cilindro é constituído de acrílico transparente.

Segundo passo é nivelar o dispositivo por meio de dois medidores de níveis, horizontal e vertical, fixados ao dispositivo (conforme fig.1) e tornar a verificar a régua de nível do líquido.

Terceiro passo é anotar o peso total do dispositivo, registrado na balança eletrônica e o volume inicial do equipamento a ser aferido.

Finalmente abre-se a válvula agulha do dispositivo e dá-se início ao ensaio, tomando-se o cuidado de verificar a vazão do líquido, pois não poderá exceder mais que 42,48 l/min ou 1,5 ft³.

No instante que a água escoar inicia-se uma depressão ou seja, uma sucção de ar de volume igual de ar-água.

Quando o nível da água atingir a marca de 150 litros, dá-se o término do ensaio, anotando-se exatamente o volume final do equipamento aferido e o peso final da balança eletrônica. Novamente preenche-se o compartimento cilíndrico com água e repete-se o ensaio por mais três vezes.

IV. CÁLCULO DE CALIBRAÇÃO

Conecta-se o equipamento a ser aferido, conforme fig.1, anotando-se todos os parâmetros necessários.

As equações a serem citadas a seguir servem para calcular o fator de correção do gasômetro úmido, sendo que para o cálculo de outros equipamentos, troca-se somente a nomenclatura.

Seguem as equações:

*Equação 1

$$V_{DPEL} = \left| V_{f_{DPEL}} - V_{i_{DPEL}} \right| \quad [1]$$

*Equação 2

$$V_E = \left| V_{r_E} - V_{i_E} \right| \quad [ft^3]$$

*Equação 3

$$V_{R_{DPEL}} = V_E \times 28,32 \times \frac{459,7 + t_{DPEL}}{459,7 + t_E} \times \frac{\left(P_{bar} - \frac{\Delta P_E}{13,6} - \Delta P_V \right)}{P_{bar}} \quad [L]$$

*Equação 4

$$\Delta \% = \frac{V_{R_{DPEL}} - V_{DPEL}}{V_{DPEL}} \times 100$$

*Equação 5

$$\Delta P_V = P_{V_{SAT}} - P_{V_{tb_s}} \quad [in Hg]$$

onde:

V_{DPEL} = volume do dispositivo padrão por escoamento líquido; [l]

V_{fDPEL} = volume final do dispositivo padrão por escoamento líquido; [l]

V_{iDPEL} = volume inicial do dispositivo padrão por escoamento líquido; [l]

V_E = volume do equipamento a ser aferido; [ft³]

V_{fE} = volume final do equipamento a ser aferido; [ft³]

V_{iE} = volume inicial do equipamento a ser aferido; [ft³]

V_{RDPEL} = volume real do dispositivo padrão por escoamento líquido; [l]

$(M)t_{DPEL}$ = temperatura do vapor de água do dispositivo padrão por escoamento líquido; [l]

t_E = temperatura do ar, dentro do equipamento a ser aferido; [°F]

P_{bar} = pressão barométrica; [in Hg]

P_E = diferencial de pressão do equipamento a ser aferido; [in H₂O]

P_V = diferencial de pressão de vapor; [in Hg]

P_{VSAT} = pressão de vapor d'água saturada; [in Hg]

P_{Vtb_s} = pressão do vapor d'água na temperatura do bulbo seco; [in Hg]

**Conversões necessárias**

$$P_1 \text{ (in Hg)} = 2,036 P \text{ (psia)}$$

$$t \text{ (}^\circ\text{F)} = 1,8 \cdot t \text{ (}^\circ\text{C)} + 32$$

$$t \text{ (}^\circ\text{R)} = t \text{ (}^\circ\text{F)} + 459,7$$

$$1 \text{ (ft}^3\text{)} = 28,32 \text{ (l)}$$

$$P \text{ (in Hg)} = P \text{ (mm Hg)} \cdot \frac{1}{25,4}$$

V. ANÁLISE DE CUSTOS

Os dados de custo foram fornecidos pela Divisão Financeira da Companhia, segue :

ITEM	CZ\$	US\$ (taxa dólar - CZ\$ 50,00)
Mão de obra	90.000,00	1.800,00
Custo indireto (material, equipamento, etc)	300.000,00	6.000,00
Total	390.000,00	7.800,00

VI. COMENTÁRIOS

A calibração de equipamentos intermediários e secundários é uma das mais importantes funções, pois mantém a qualidade dos dados e a verificação dos valores verdadeiros dos fabricantes, referente a precisão dos equipamentos.

Desta maneira, podemos no futuro próximo, construir equipamentos intermediários e secundários do tipo gasômetro úmido e gasômetro seco.

O dispositivo padrão se faz necessário possuir uma balança eletrônica da marca Toledo com o modelo de código - 2186, que permite uma precisão de $\pm 0,1\%$, para a comprovação da massa de água deslocada, o qual compara-se com o valor da régua de nível do dispositivo padrão.

A importação de um Espirômetro, considerado um equipamento padrão semelhante a este projetado pela GTAR, tem seu custo estimado em aproximadamente US\$45,000.00.

O investimento de US\$ 7,800.00 a ser gasto, é 17% do custo do equipamento importado. O retorno será a curto prazo; em termos de prestação de serviço a terceiros e a venda dos equipamentos a serem construídos pela Companhia.

Lembramos também que este dispositivo padrão não consome energia elétrica; Apenas poderá haver gastos com a água, pois a mesma é facilmente reaproveitada ao sistema proposto.

VII. REFERÊNCIAS

- * Published in the Federal Register, Volume 39, número 110 Part II 1973
- * Atmospheric Sampling, August, 1973
- * Technical Service Department, Precision Scientific Issue: AD - 4 ; TS - 63110-7
- * Manual Termo-Técnico - W Trevisan

RELATÓRIO ELABORADO POR :

ENGº VINCENZO RIVELLI = GTAR



ANEXO 06

Í N D I C E

	Páginas
INTRODUÇÃO	02
OBJETIVOS	02
DESCRIÇÃO DOS TRABALHOS	02 e 03
IDENTIFICAÇÃO DO DISPOSITIVO	04 a 07
CUSTOS	08 e 09
CONCLUSÃO	09
RECOMENDAÇÃO	09 e 10
DESENHOS	11 a 13

O procedimento utilizado foi o seguinte :

1. Colocava-se o Pitot Padrão e media-se as Pressões Cinéticas e Estática. Retirava-se o Pitot Padrão;
2. Colocava-se o lado A (denominado arbitrariamente) do Pitot prototipo e obtinham-se os mesmos dados. Retirava-se o Pitot prototipo;
3. Colocava-se o lado B do Pitot prototipo e obtinham-se os mesmos valores de 1 e 2 acima. Retirava-se o Pitot prototipo;
4. Repetia-se 1, 2 e 3, para se obter uma série de três valores;
5. Fechava-se parcialmente a saída do exaustor do duto, para variar a velocidade do ar no duto e repetia-se os passos 1, 2, 3 e 4 para o novo valor da velocidade .
6. Repetiu-se 5, para obter 4 diferentes velocidades na faixa de 1329 pés por minuto a 3283 pés por minuto .

Os dados obtidos são apresentados a seguir .



CETESB

IDENTIFICAÇÃO DO DISPOSITIVO : PITOT PROTÓTIPO DATA : 25 / 06 / 87CALIBRADO POR : Vincenzo Rivelli CP_{STD} 0.99VAZÃO LIVRE $V = 3283$ fpm

CORRIDA Nº	L A D O A			$d = CP_S - \overline{CP}(A)$
	ΔP_{STD} (IN H ₂ O)	ΔP_S (IN H ₂ O)	$CP_S = 0.99 \sqrt{\frac{\Delta P_{STD}}{\Delta P_S}}$	
1	0.63	0.63	0.9900	- 0.0027
2	0.63	0.63	0.9900	- 0.0027
3	0.63	0.62	0.9980	0.0053
VALOR MÉDIO			$\overline{CP}(A) = 0.993$	

CORRIDA Nº	L A D O B			$d = CP_S - \overline{CP}(B)$
	ΔP_{STD} (IN H ₂ O)	ΔP_S (IN H ₂ O)	$CP_S = 0.99 \sqrt{\frac{\Delta P_{STD}}{\Delta P_S}}$	
1		0.62	0.9980	0.0053
2		0.63	0.9900	- 0.0027
3		0.63	0.9900	- 0.0027
VALOR MÉDIO			$\overline{CP}(B) = 0.993$	

CONDIÇÕES SIMULTÂNEAS PARA ACEITAÇÃO:

$$d_{i(A)} ; d_{i(B)} \leq 0.01$$

$$|\overline{CP}(A) - \overline{CP}(B)| \leq 0.01$$

$$S_{(A)} ; S_{(B)} \leq 0.02$$

VERIFICAÇÃO:

PARÂMETROS	RESULTADOS
$d_{i(A)} \leq 0.01$	0.01
$d_{i(B)} \leq 0.01$	0.01
$ \overline{CP}(A) - \overline{CP}(B) \leq 0.01$	0.00
$S_{(A)} \leq 0.02$	0.005
$S_{(B)} \leq 0.02$	0.005

onde :

$$S_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 |d_{(A)}_i|^2}{2}}$$

$$S_B = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 |d_{(B)}_i|^2}{2}}$$

RECOMENDAÇÃO

$$V = 3000 \text{ fpm} \begin{cases} 13\% (V > 1000 \text{ fpm}) \\ 16\% 600 < V < 1000 \text{ fpm} \end{cases}$$

ABERTURA DE IMPACTO PRÓXIMA AO CENTRO DO DUTO NO MESMO PLANO TRANSVERSAL.

IDENTIFICAÇÃO DO DISPOSITIVO : PITOT PROTÓTIPO DATA : 25 / 06 / 87

CALIBRADO POR : Vincenzo Rivelli CP_{STD} 0.99

75% VAZÃO MÁXIMA $V = 2265.5$ fpm

L A D O A				
CORRIDA Nº	ΔP_{STD} (18 H ₂ O)	ΔP_S (18 H ₂ O)	$CP_S = \frac{0.99}{\sqrt{\frac{\Delta P_{STD}}{\Delta P_S}}}$	$d = CP_S - \overline{CP}(A)$
1	.30	.30	.9900	0.0000
2	.30	.30	.9900	0.0000
3	.30	.30	.9900	0.0000
VALOR MÉDIO			$\overline{CP}(A) = 0.990$	

L A D O B				
CORRIDA Nº	ΔP_{STD} (18 H ₂ O)	ΔP_S (18 H ₂ O)	$CP_S = \frac{0.99}{\sqrt{\frac{\Delta P_{STD}}{\Delta P_S}}}$	$d = CP_S - \overline{CP}(B)$
1		.30	.9900	0.0000
2		.30	.9900	0.0000
3		.30	.9900	0.0000
VALOR MÉDIO			$\overline{CP}(B) = 0.999$	

CONDIÇÕES SIMILIARES PARA ACEITAÇÃO:

$$d_1(A) ; d_1(B) \leq 0.01$$

$$|\overline{CP}(A) - \overline{CP}(B)| \leq 0.01$$

$$S(A) ; S(B) \leq 0.02$$

VERIFICAÇÃO:

PARÂMETROS	RESULTADOS
$d_1(A) < 0.01$	0.00
$d_1(B) < 0.01$	0.00
$ \overline{CP}(A) - \overline{CP}(B) < 0.01$	0.00
$S(A) < 0.02$	0.00
$S(B) < 0.02$	0.00

onde :

$$S_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 |d(A)_i|^2}{2}}$$

$$S_B = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 |d(B)_i|^2}{2}}$$

RECOMENDAÇÃO

$$V = 3000 \text{ fpm} \begin{cases} 13\% (V > 1000 \text{ fpm}) \\ 16\% 600 < V < 1000 \text{ fpm} \end{cases}$$

ABERTURA DE IMPACTO PRÓXIMA AO CENTRO DO DUTO NO MESMO PLANO TRANSVERSAL

IDENTIFICAÇÃO DO DISPOSITIVO : PITOT PROTOTIPO DATA : 29 / 06 / 87

CALIBRADO POR : Vincenzo Rivelli CP_{STD} 0.99

90% VAZÃO MÁXIMA $V = 2953.9$ fpm

CORRIDA Nº	L A D O A			$d = CP_S - \overline{CP(A)}$
	ΔP_{STD} (IN H ₂ O)	ΔP_S (IN H ₂ O)	$CP_S = \frac{0.99}{\sqrt{\frac{\Delta P_{STD}}{\Delta P_S}}}$	
1	.50	.49	1.001	0.0039
2	.51	.49	1.010	0.0129
3	.50	.51	0.9802	- 0.0169
VALOR MÉDIO			$\overline{CP(A)} = 0.997$	

CORRIDA Nº	L A D O B			$d = CP_S - \overline{CP(B)}$
	ΔP_{STD} (IN H ₂ O)	ΔP_S (IN H ₂ O)	$CP_S = \frac{0.99}{\sqrt{\frac{\Delta P_{STD}}{\Delta P_S}}}$	
1	.50	.50	0.9900	0.0000
2	.51	.49	1.010	0.0129
3	.50	.50	0.9900	0.0000
VALOR MÉDIO			$\overline{CP(B)} = 0.997$	

CONDIÇÕES SIMULTÂNEAS PARA ACEITAÇÃO:

$$d_1(A) ; d_1(B) \leq 0.01$$

$$|\overline{CP(A)} - \overline{CP(B)}| \leq 0.01$$

$$s(A) ; s(B) \leq 0.02$$

VERIFICAÇÃO:

PARÂMETROS	RESULTADOS
$d_1(A) \leq 0.01$	0.01
$d_1(B) \leq 0.01$	0.01
$ \overline{CP(A)} - \overline{CP(B)} \leq 0.01$	0.0004
$s(A) \leq 0.02$	0.02
$s(B) \leq 0.02$	0.01

onde :

$$s_A = \sqrt{\frac{3}{2} \frac{\sum_{i=1}^3 |d(A)_i|^2}{2}}$$

$$s_B = \sqrt{\frac{3}{2} \frac{\sum_{i=1}^3 |d(B)_i|^2}{2}}$$

RECOMENDAÇÃO

$$V = 3000 \text{ fpm} \left\{ \begin{array}{l} 13\% (V > 1000 \text{ fpm}) \\ \pm 6\% 600 < V < 1000 \text{ fpm} \end{array} \right.$$

ABERTURA DE IMPACTO PRÓXIMA AO CENTRO DO DUTO NO MESMO PLANO TRANSVERSAL

IDENTIFICAÇÃO DO DISPOSITIVO : PITOT PROTOTIPO DATA : 29 / 06 / 87

CALIBRADO POR : Vincenzo Rivelli CP_{STD} 0.99

90% VAZÃO MÁXIMA $V = 2953.9$ fpm

CORRIDA Nº	L A D O A			$d = CP_S - \overline{CP}(A)$
	ΔP_{STD} (IN H ₂ O)	ΔP_S (IN H ₂ O)	$CP_S = 0.99 \sqrt{\frac{\Delta P_{STD}}{\Delta P_S}}$	
1	.50	.49	1.001	0.0039
2	.51	.49	1.010	0.0129
3	.50	.51	0.9802	- 0.0169
VALOR MÉDIO			$\overline{CP}(A) = 0.997$	

CORRIDA Nº	L A D O B			$d = CP_S - \overline{CP}(B)$
	ΔP_{STD} (IN H ₂ O)	ΔP_S (IN H ₂ O)	$CP_S = 0.99 \sqrt{\frac{\Delta P_{STD}}{\Delta P_S}}$	
1	.50	.50	0.9900	0.0000
2	.51	.49	1.010	0.0129
3	.50	.50	0.9900	0.0000
VALOR MÉDIO			$\overline{CP}(B) = 0.997$	

CONDIÇÕES SIMULTÂNEAS PARA ACEITAÇÃO:

$$d_i(A) ; d_i(B) \leq 0.01$$

$$|\overline{CP}(A) - \overline{CP}(B)| \leq 0.01$$

$$s(A) ; s(B) \leq 0.02$$

VERIFICAÇÃO:

PARÂMETROS	RESULTADOS
$d_i(A) < 0.01$	0.01
$d_i(B) < 0.01$	0.01
$ \overline{CP}(A) - \overline{CP}(B) \leq 0.01$	0.0004
$s(A) < 0.02$	0.02
$s(B) < 0.02$	0.01

onde :

$$s_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 |d_i(A)|^2}{2}}$$

$$s_B = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 |d_i(B)|^2}{2}}$$

RECOMENDAÇÃO

$$V = 3000 \text{ fpm} \begin{cases} 13\% (V > 1000 \text{ fpm}) \\ 16\% (600 < V < 1000 \text{ fpm}) \end{cases}$$

ABERTURA DE IMPACTO PRÓXIMA AO CENTRO DO DUTO NO MESMO PLANO TRANSVERSAL.

IDENTIFICAÇÃO DO DISPOSITIVO : PITOT PROTOTÍPO DATA : 03 / 07 / 87

CALIBRADO POR : Vincenzo Rivelli CP_{STD} 0.99

40% VAZÃO MÁXIMA $V = 1329.6$ fpm.

L A B O A				
CORRIDA Nº	ΔP_{STD} (IN H ₂ O)	ΔP_S (IN H ₂ O)	$CP_S = \frac{0.99}{\Delta P_S} \sqrt{\Delta P_{STD}}$	$d = CP_S - \overline{CP}(A)$
1	.11	.11	.9900	0.0000
2	.11	.11	.9900	0.0000
3	.11	.11	.9900	0.0000
VALOR MÉDIO			$\overline{CP}(A) = 0.990$	

L A B O B				
CORRIDA Nº	ΔP_{STD} (IN H ₂ O)	ΔP_S (IN H ₂ O)	$CP_S = \frac{0.99}{\Delta P_S} \sqrt{\Delta P_{STD}}$	$d = CP_S - \overline{CP}(B)$
1		.11	0.9900	0.0000
2		.11	0.9900	0.0000
3		.11	0.9900	0.0000
VALOR MÉDIO			$\overline{CP}(B) = 0.990$	

CONDIÇÕES SIMULTÂNEAS PARA ACHITAMENTO:

$$d_1(A) ; d_1(B) \leq 0.01$$

$$|\overline{CP}(A) - \overline{CP}(B)| \leq 0.01$$

$$S(A) ; S(B) \leq 0.02$$

VERIFICAÇÃO:

PARÂMETROS	RESULTADOS
$d_1(A) \leq 0.01$	0.00
$d_1(B) \leq 0.01$	0.00
$ \overline{CP}(A) - \overline{CP}(B) \leq 0.01$	0.00
$S(A) \leq 0.02$	0.00
$S(B) \leq 0.02$	0.00

onde :

$$S_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 |d_{(A)_i}|^2}{2}}$$

$$S_B = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 |d_{(B)_i}|^2}{2}}$$

RECOMENDAÇÃO

$V = 3000$ fpm $\left\{ \begin{array}{l} 13\% (V > 1000 \text{ fpm}) \\ 16\% 600 < V < 1000 \text{ fpm} \end{array} \right.$

ABERTURA DE IMPACTO PRÓXIMA AO CENTRO DO DUTO NO MESMO PLANO TRANSVERSAL

CUSTOS

Para a construção de 1 (um) tubo de Pitot para dutos de até 3.0 m os custos em CZ\$ e US\$ são os que se seguem :
(taxa do dolar do dia 17/11/87 = CZ\$ 60,00)

		US\$	CZ\$
(6.0 m)	Tubo de aço inox s/costura de 3/8"	100	6000
-	Custo de construção	2000	120000
-	Custo dos acessórios (tubos de PVC e tubo de latex	33	2000
(1.0 m)	Barra de latão de 1"	33	2000
-	Custo de calibração	100	6000
-	Custo do Pitot	2266	136000
-	Custo de embalagem	16	1000
	TOTAL	2282	137000

O custo de calibração foi calculado para se determinarem as variáveis necessárias a alcançar os objetivos do experimento, através de um engenheiro senior e um técnico. Uma vez feita a calibração e estabelecido o procedimento, o custo da produção de outros dispositivos deve baixar, pois a experiência, uma vez comprovada ser correta e estabelecido seu procedimento, pode ser repetida por profissionais de menor experiência sob supervisão.

Um custo importante e não quantificado é o relativo à importação de um tubo de Pitot Padrão, que se compõe de três parcelas:

1. Valor do impostos ;
2. Custo do acompanhamento do processo pela CETESB e
3. Custo do despachante da CETESB para desembaraço alfandegário .

Com os valores acima, certamente o Pitot produzido na CETESB será mais econômico, pois o custo de um Pitot importado de 1 m de comprimento é de CZ\$ 150.000,00 ou US\$ 2,500.00 em valor de 17/11/87 .

Se do ponto de vista econômico a vantagem é de cerca de 9% (sem computar custos de importação e custo da embalagem), do ponto de vista tecnológico a vantagem é muito grande, pois elimina-se quase totalmente a necessidade de importação.

É suficiente que se possua um Pitot Padrão para uso de laboratório e para comparação com o Pitot prototipo e utilizar-se deste último como Padrão intermediário para calibrações rotineiras, assim como, para determinações de campo.

Como último comentário, o custo do desenvolvimento do Pitot prototipo não deve ser confundido com seu custo de produção, que deverá ser muito mais baixo.

Ressaltamos também que o Pitot importado apenas consiste em 1 (uma) peça com uma metragem definida, por exemplo, 1 m; 2 m; 3 m ou de 0.5 m, pois o elaborado por nós, 1 (uma) peça poderá ser constituída de 6 Pitot's com as seguintes metragens de 0.5 m; 1 m; 1.5 m; 2 m; 2.5 m ou 3 m de Pitot.

CONCLUSÃO

De acordo com os critérios apresentados pelo Quality Assurance Manual, do EPA, todos os resultados, em toda a extensão da faixa de velocidades são aceitáveis, permitindo que o tubo de Pitot prototipo seja considerado bom para os objetivos propostos neste projeto.

RECOMENDAÇÕES

- Efetuar um levantamento das condições para o uso do Pitot prototipo, bem como das variáveis mais importantes para seu uso em campo;
- Determinar os valores das tolerâncias a serem permitidas na fabricação e na utilização, sem perda das qualidades iniciais;
- Fazer um estudo mais detalhado da correlação entre o Pitot padrão e o prototipo, visando o uso do último em amostragens, caso suas leituras de pressão estática equivalham às do Pitot padrão, como sugerem as medidas preliminares efetuadas;

Diminuir o custo do Pitot prototipo, através da utilização de funcionários menos experientes, sob supervisão, na produção e calibração do equipamento .

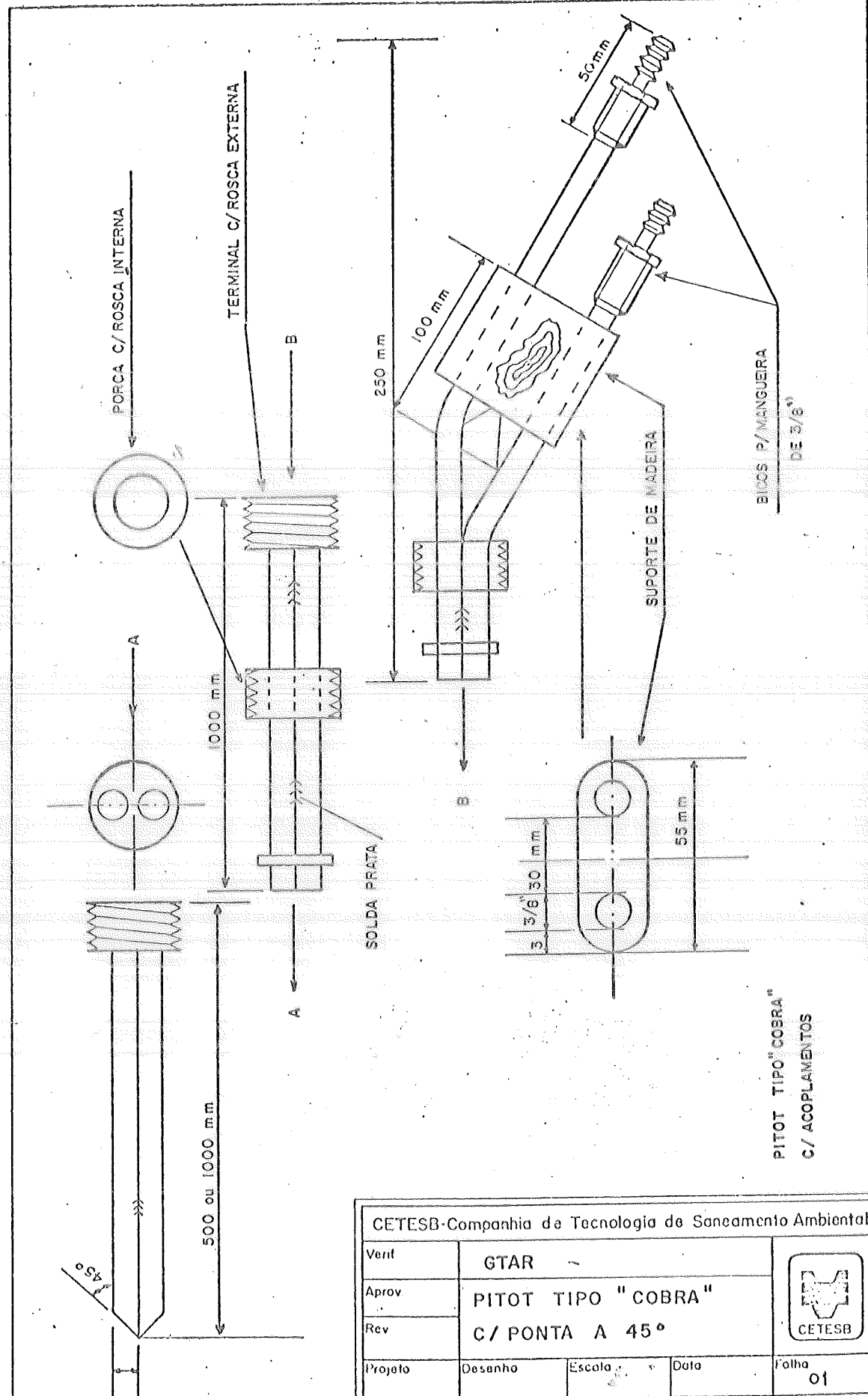
RELATÓRIO ELABORADO POR :

Engº VINCENZO RIVELLI


Gerência de Tecnologia do Ar GTAR/STA/DTQA

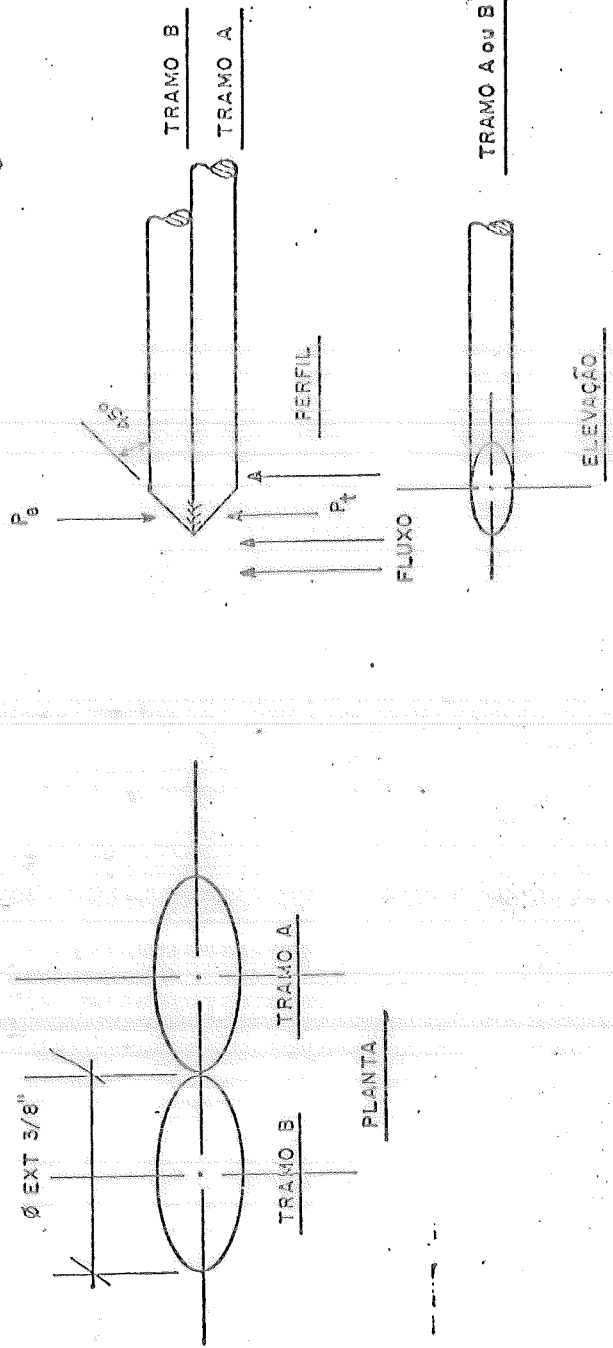
DESENHOS

Os desenhos relativo a parte construtiva do Pitot estão apresentados a seguir nos desenhos de nºs 1, 2 e 3 .




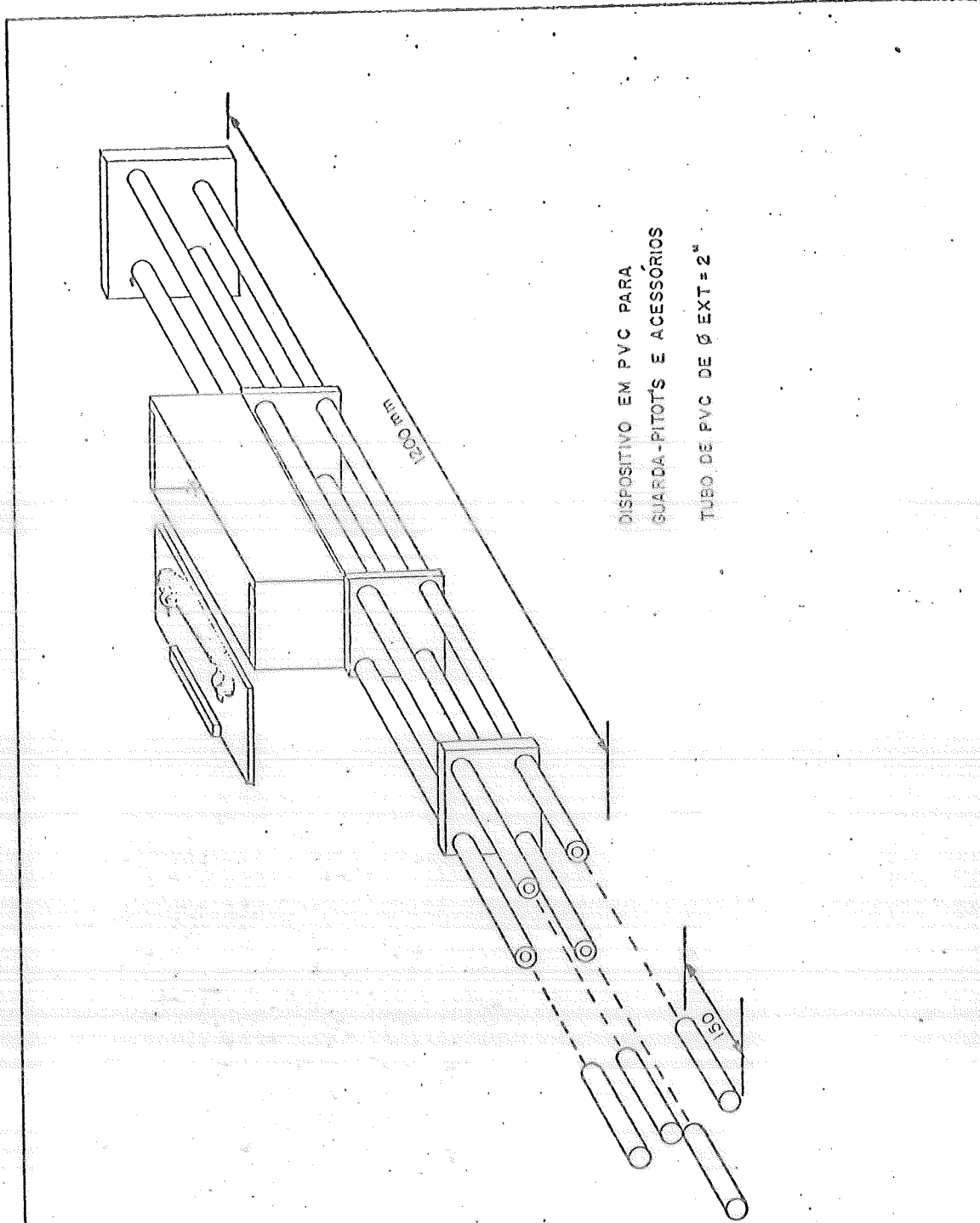
PITOT TIPO "COBRA"
C/ ACOPLAMENTOS

CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental				
Vent	GTAR			
Aprov	PITOT TIPO "COBRA"			
Rev	C/ PONTA A 45°			
Projeto	Desenho	Escala	Data	Folha 01



: DETALHES DO TERMINAL DE MEDIDA DO TUBO DE PITOT TIPO "COBRA"
 : TUBO DE AÇO INOX 316 DE Ø EXT = 3/8" COM PAREDE DE 1/16"

CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental				
Verif	GTAR			
Aprov	DETALHES DO TERMINAL DE MEDIDA DO TUBO DE PITOT TIPO "COBRA"			
Rev.				
Projeto	Desenho	Escala	Data	Folho 02



DISPOSITIVO EM PVC PARA
 GUARDA - PITOTS E ACESSÓRIOS
 TUBO DE PVC DE Ø EXT = 2"

CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental				
Verif.	GTAR			
Aprov.	CAIXA EM PVC GUARDA -			
Rev.	PITOTS E ACESSÓRIOS			
Projeto	Desenho	Escala	Data	Folha 03





ANEXO 07

CONSTRUÇÃO DO ORIFÍCIO DO VOAG

DADOS INICIAIS

Fluído: Ar limpo

Vazão : 1 cfm

Densidade: $1,2233 \text{ kg/m}^3 = 0,06822 \text{ lb/ft}^3$ (1)

Viscosidade cinemática = $1,84 \times 10^{-4} \text{ cp}$ (2)

Coefficiente de dilatação do aço inox 316 = $16 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (3)

MEDIDAS EFETUADAS NO EQUIPAMENTO DA RAC

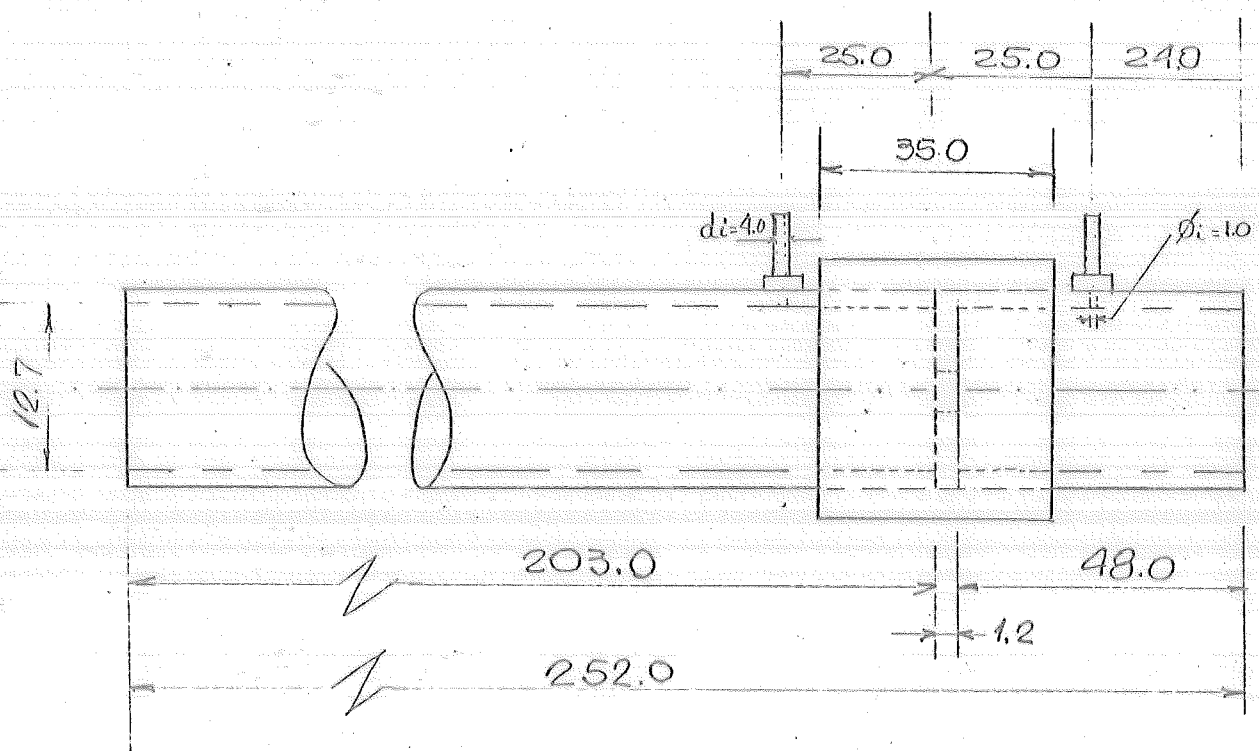


FIGURA 1 - Dimensões do Orifício do Amostrador RAC. Medidas de Vazão do Orifício do Amostrador RAC

Temperatura ambiente: 20°C.

Temperatura à entrada do orifício, no final do teste 85°F = 29,5°C.

Temperatura à saída do orifício, no final do teste 82°F = 27,7°C.

Pressão atmosférica = 708,6 mm.

TABELA 1 - Valores Medidos no Orifício do Amostrador RAC

Q acfm	ΔP "H ₂ O	\bar{Q} cfm
0,41	0,5	0,41
0,41		
0,41		
* 1,14	1,0	0,56
0,55		
0,78	2,0	0,78
0,79		
0,77		
1,09	4,0	1,11
1,11		
1,12		
1,35	6,0	1,35
1,34		
1,35		

* Valor obtido com o dobro do tempo

A regressão utilizada pelo Southern Research Institute (SRI), (4), é a potencial, que aplicada aos dados obtidos fornece os seguintes valores:

$$a = 0,5657$$

$$b = 0,4823$$

$$r^2 = 0,9995$$

A forma da equação é $y = ax^b$ e, portanto, a equação que fornece Q para um dado ΔP é:

$$Q = 0,5657 (\Delta P)^{0,4823}$$

onde:

ΔP é a diferença de pressão produzida na flange de orifício pela vazão Q ; medida em pol de água.

Q = vazão em acfm.

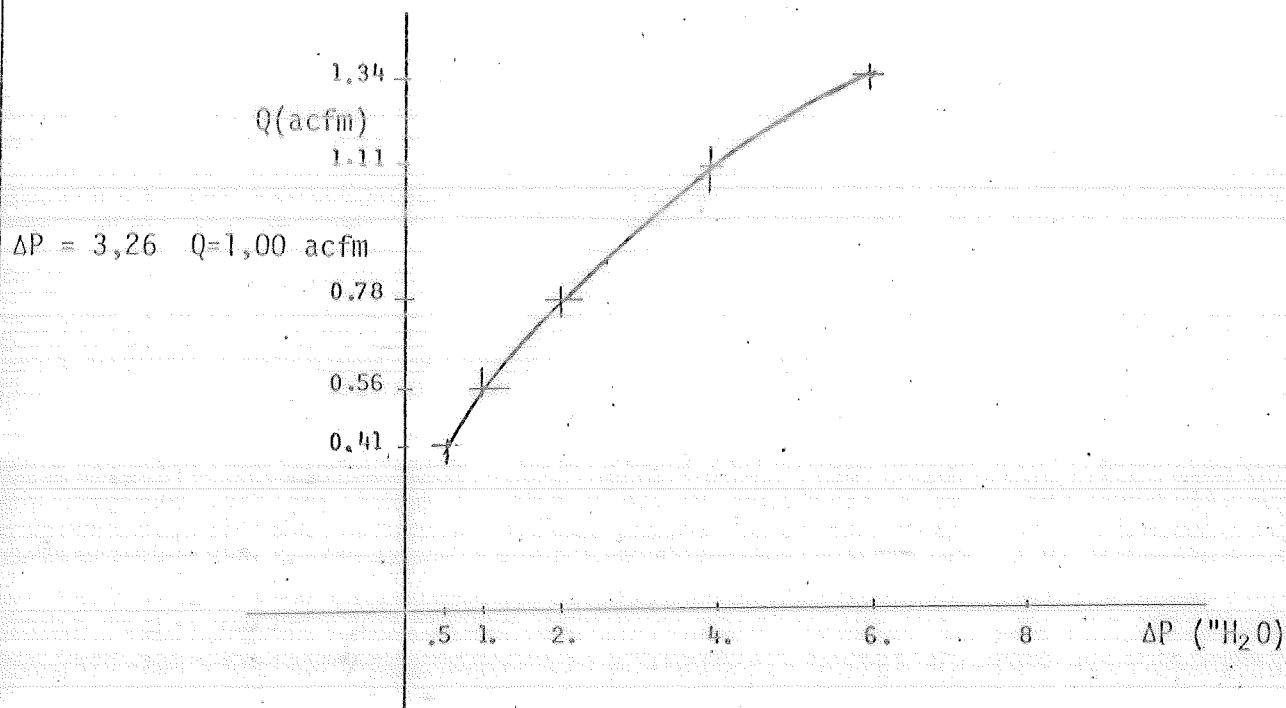


FIGURA 2 - Gráfico de Q x ΔP para o Orifício do RAC

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a construção do orifício para o VOAG, se procurou na literatura disponível as seguintes informações:

1. Espessura da placa de orifício;
2. Recomendação dos diferentes tipos de flange de orifício;

3. Procedimento de cálculo.

Como se trata de um projeto fora dos padrões comuns, pois a vazão é muito baixa e o número de Reynolds também é baixo, a bibliografia disponível não apresentou grandes resultados nos três tópicos citados.

Para suprir essa lacuna, três providências foram adotadas:

1. Medir um orifício existente;
2. Utilizar a Norma BS 1042, (2);
3. Construir um orifício e calibrá-lo.

Os dados do item 1 já foram apresentados.

Os cálculos, através das fórmulas do item 2, foram feitos nas seguintes alternativas:

1. Valores admitidos:

$$d = 3/16'' \text{ (diâmetro do orifício);}$$

$$D = 0,5'' \text{ (diâmetro do duto);}$$

$$Q = 1 \text{ cfm (vazão de ar) ;}$$

Flange do aço inox 316: calculou-se $\Delta P = 3,73'' \text{ H}_2\text{O}$

2. Impôs-se a perda de carga $\Delta P = 2'' \text{ H}_2\text{O}$, conservaram-se os demais dados e calculou-se $d = 0,2163''$ que é aproximadamente $7/32''$.

Verificou-se então qual a perda de carga para um orifício de $7/32''$ conservadas as outras variáveis e obteve-se $\Delta P = 1,91'' \text{ H}_2\text{O}$.

3. Calculou-se para os diâmetros d abaixo:

$$d_1 = 4,76 \text{ mm}$$

$$d_2 = 5,2 \text{ mm (d aproximado do RAC)}$$

O valor de ΔP ; a espessura da placa de orifício deve ser de $1,43 \text{ mm}$,

com um ângulo de bisel de 45° , portanto não é flange de orifício reta (5).

Para d_1 , obteve-se $\Delta P_1 = 4,43'' \text{ H}_2\text{O}$ e para d_2 obteve-se $\Delta P_2 = 3,03'' \text{ H}_2\text{O}$

Como se pode notar os diâmetros dos orifícios estão próximos a 4 ou 5 mm e as perdas de carga variam entre 2'' e 4,5'' H_2O .

Iversen (6) estabelece a espessura de 0,25 mm, que pode até mesmo comprometer a rigidez mecânica da placa.

Outras informações contidas em (6) não conduziram à solução, pois seu roteiro de cálculo fornece perdas de carga muito elevadas, que não se deve esperar na prática.

Optou-se, então, pela alternativa 3, construir um orifício com as medidas próximas às calculadas.

Foram utilizados como orientação valores obtidos no SRI apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 - Dados de Orifícios Existentes no SRI

d pol	Q alpm	ΔP pol H_2O
0,082	12	8,41
0,106	14	2,83
	15	3,24
	30	13,0
0,120	15	1,45
	30	6,74

Concluiu-se, então, pela construção da placa de orifício da Figura 3.

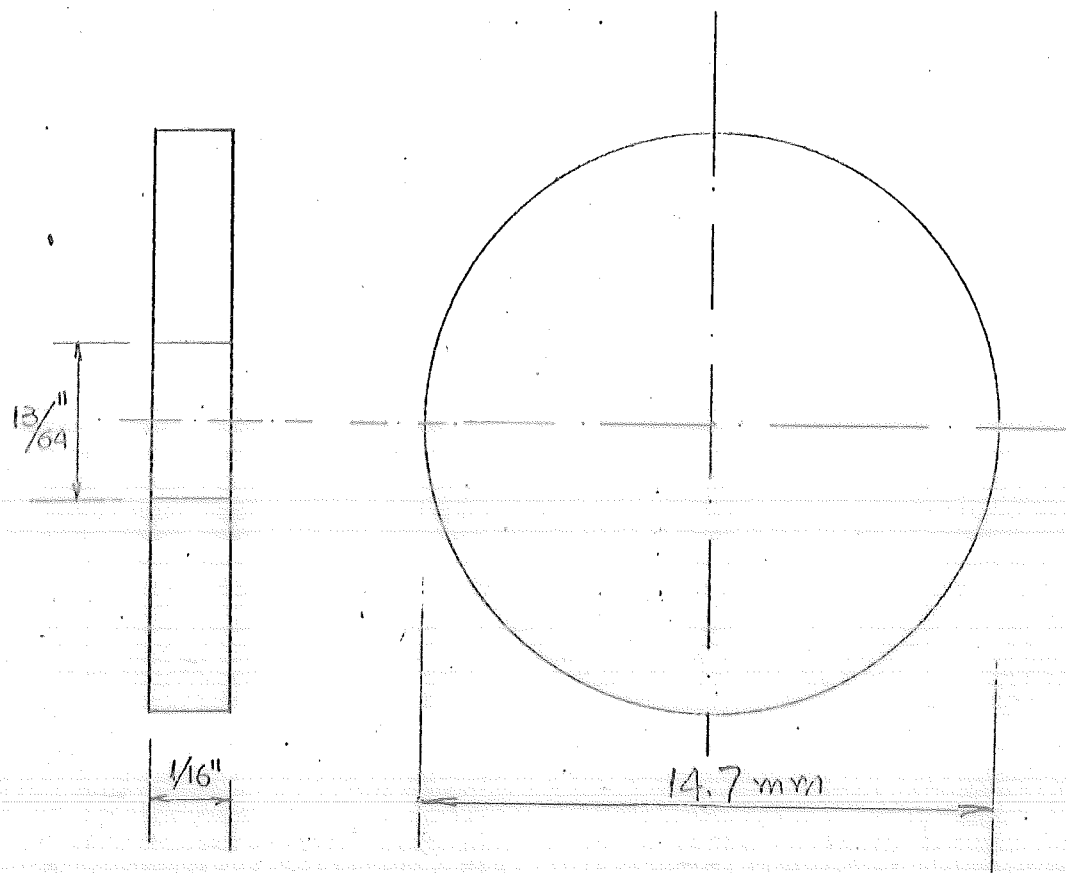


FIGURA 3 - Dimensões da Placa de Orifício do VOAG

A Figura 4 mostra a montagem da placa de orifício. As soldas indicadas devem ser sempre ã prata, evitando ao máximo possível o aquecimento excessivo da placa.

Fazer o orifício a partir do latão usado para vedar o tubo de inox.

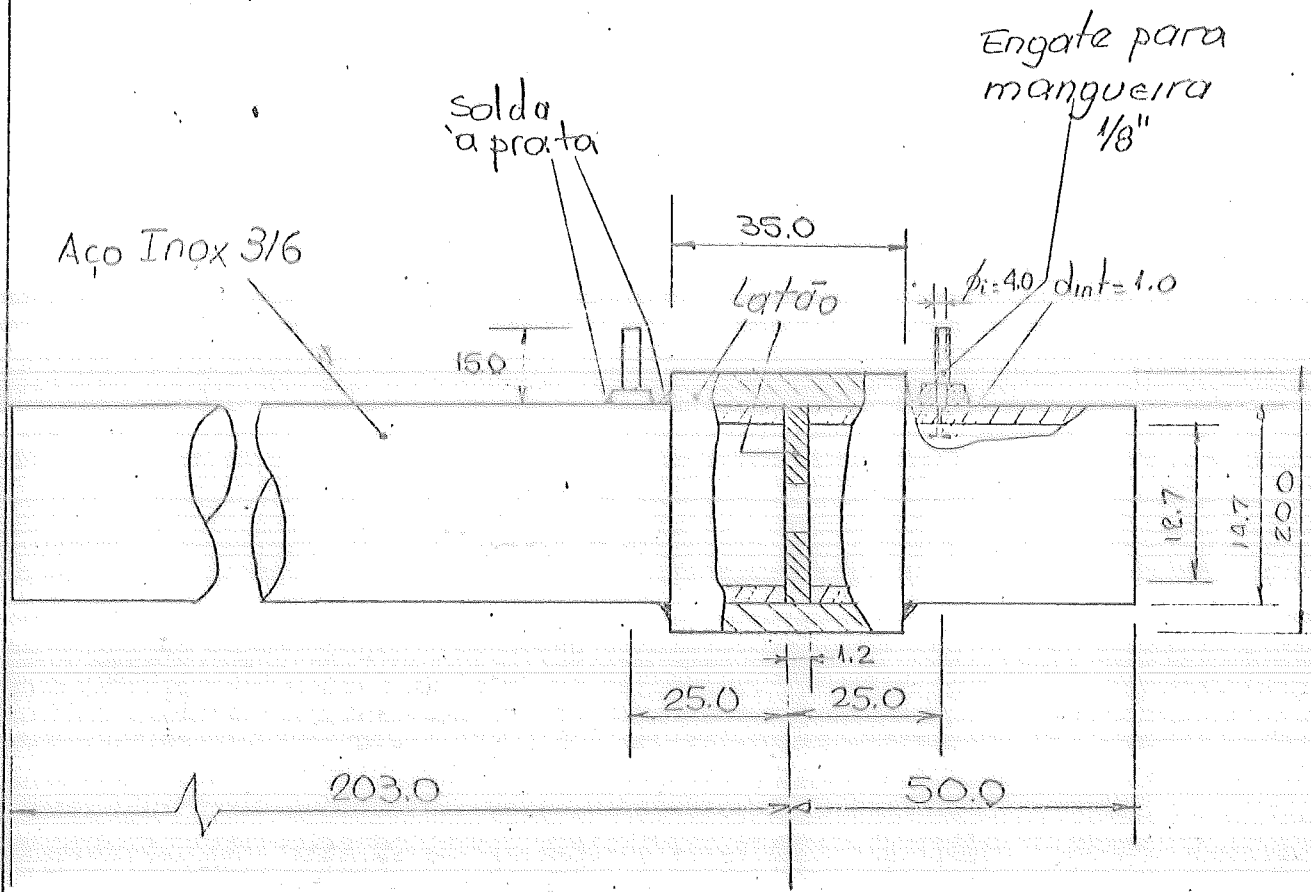


FIGURA 4 - Montagem da Placa de Orifício do VOAG

ORÇAMENTO

	Cn\$
0,26 m tubo inox 316	40.000
Latão Ø 20 x 35,0	80.000
Mão-de-obra e materiais para construir a peça.....	340.000

LISTA DE MATERIAIS

- . 26 cm - Tubo de aço inox 316, diâmetro interno 12,7 mm com espessura de parede 1 mm.
- . 40 cm - Tarugo de latão de diâmetro externo 20,0 mm.
- 02 pç - Engates para mangueira de 1/8".



ANEXO 08

ANEXO 08



ENSAIOS E MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA OXIDAÇÃO DE SULFETOS EM RESERVATÓRIO

Carlos Eduardo Tirlone

Eng.^o Químico e Sanitarista

GERÊNCIA DE TECNOLOGIA DE ÁGUA E RESÍDUOS

Antonio Carlos Rossin

Eng.^o Industrial, Químico e Sanitarista

Mestre e Doutor em Saúde Pública

SUPERINTENDÊNCIA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Luiz Antonio de Melo Awazu

Perito Naval

Marco Tadeu Seriacopi

Eng.^o Mecânico

Edson Maddad

Químico

GERÊNCIA DE OPERAÇÕES ESPECIAIS

Vicenzo Bivelli

Eng.^o Químico

GERÊNCIA DE TECNOLOGIA DO AR

INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de São Paulo é formada por 38 municípios dos quais 34, cuja população é da ordem de 14.700.000 habitantes, lançam seus esgotos em cursos d'água situados na Bacia do Alto Tietê.

Essa população gera cerca de 30.000 l/s de esgotos, dos quais somente a metade é coletada através de 10.500 km de rede coletora existente. O restante é lançado ou em fossas sépticas e outros tipos de dispositivos individuais, ou diretamente em cursos de água da bacia. (1)

Dos esgotos coletados, 4300 l/s (29%) recebem algum tipo de tratamento e 10.700 l/s (71%) não recebem tratamento algum sendo encaminhados "in natura" à Bacia do Alto Tietê.

Face a essa situação pode-se afirmar que a quase totalidade dos 30.000 l/s de esgotos gerados atualmente na RMSP são lançados sem tratamento na Bacia do Alto Tietê, o que em termos de carga de poluição, significa 680 t/dia de DBO, degradando a qualidade das águas da bacia.

Até o final de 1987 estima-se que a população dos referidos 34 municípios seja da ordem de 16.600.000 habitantes gerando uma vazão de cerca de 34.000 l/s de esgotos sanitários.

Nesse mesmo período, de acordo com a previsão de obras da SABESP e das companhias autônomas de saneamento, deverão ser executados mais de 2.200 km de redes de esgotos. Além disso, já deverá estar em operação parte da ETE Barueri o que representará acréscimo de 3.500 l/s na capacidade nominal de tratamento secundário e redução de 1900 l/s na capacidade nominal de tratamento primário face à desativação da ETE Leopoldina. (1).

Se as previsões citadas se confirmarem, mesmo com o aumento na capacidade nominal de tratamento secundário, deverá haver acréscimo da ordem de 6% na carga de DBO atualmente lançada nas águas da Bacia do Alto Tietê.

Os efeitos dessa intensa poluição extrapolam os limites da Bacia podendo atingir uma região extensa do Estado, entre a Bacia do Médio Tietê Superior e a Represa Billings - Figura 1.

O grau de degradação das águas dessas Bacias é determinado pela forma de manejo do Sistema Alto Tietê, caracterizado por três regras operacionais:

- Operação Energética - estágio de operação onde praticamente todas as águas do Alto Tietê são lançadas na Represa Billings, limitando-se o escoamento, a jusante de Pirapora a valor mínimo de $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ e com vazões turbinadas em Henry-Borden independentes de quaisquer fatores.
- Operação Balanceada - representada por estágios operacionais que conduzam a distribuição, em proporções variáveis, da carga poluidora entre a Represa Billings e o Médio Tietê Superior resultando vazões em Pirapora superiores a $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$, em Edgard de Souza maiores do que zero e vazões turbinadas em Henry Borden dependentes de fatores sanitários. A Operação Enchente (controle de cheias) é um caso particular desta operação, que prevalece por ocasião de grandes chuvas, consistindo basicamente no encaminhamento das Águas do Alto Tietê através de Pirapora, enquanto que as águas vertidas de Guarapiranga, mais as do Canal do Pinheiros, são bombeadas para a Represa Billings.
- Operação Saneamento - consiste no estágio de operação onde a vazão de bombeamento em Pedreira é nula, desviando-se todas as águas do Alto Tietê para o Médio Tietê Superior e com as vazões turbinadas em Henry Borden limitadas para garantir o máximo volume possível no Reservatório Billings. Neste caso as vazões para o Médio Tietê são controladas em Pirapora.

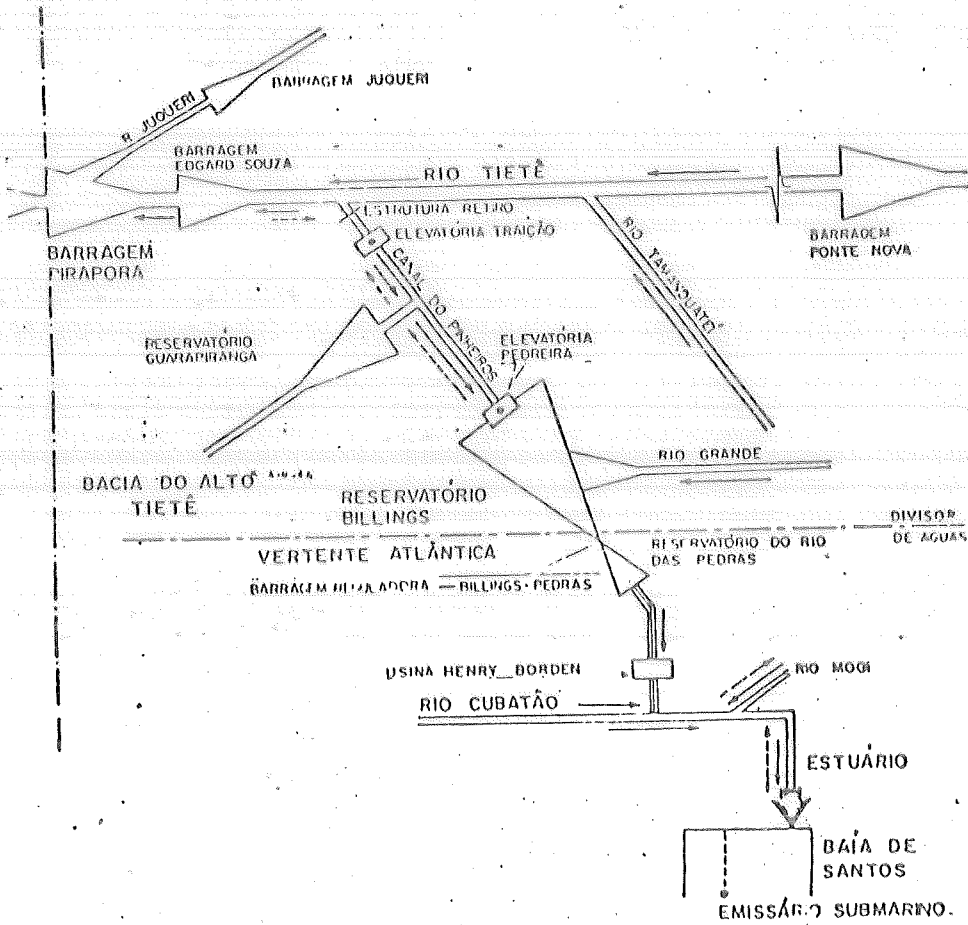


FIGURA 1 - Sistema Alto Tietê.

A solução do problema dos esgotos da Bacia do Alto Tietê, que é o seu tratamento, certamente não virá a curto prazo, conforme foi mostrado anteriormente, e qualquer que seja a Regra Operacional do Sistema do Alto Tietê, haverá consequências indesejáveis ou ao Médio Tietê Superior ou à Represa Billings.

No que tange ao Médio Tietê Superior, o encaminhamento de esgotos para a Bacia acarreta: acentuada degradação da qualidade das águas do Reservatório de Pirapora; formação de espumas logo a jusante da Barragem de Pirapora, e produção e emissão de odores em Santana de Parnaíba e Pirapora do Bom Jesus. Na falta de soluções definitivas para o problema dos esgotos, é necessário a tomada de decisões a curto prazo que possibilitem ao menos minorar esses efeitos indesejáveis.

No caso dos odores, tais decisões deverão se basear nos estudos de aeração artificial da Represa de Pirapora, que a CETESB vem desenvolvendo.

Este trabalho relata os experimentos de aeração artificial executados através da descrição da metodologia adotada para a realização dos ensaios de campo, incluindo materiais, equipamentos e procedimentos analíticos.

A análise dos resultados obtidos nos testes de campo será apresentada e discutida no trabalho: "ESTUDOS SOBRE OXIDAÇÃO DE SULFETOS EM RESERVATÓRIOS", apresentado nesse Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 139

OBJETIVO

O presente trabalho visa relatar, avaliar e discutir os equipamentos, procedimentos e métodos utilizados para o estudo de aeração das águas da Represa de Pirapora com o objetivo de minimizar os problemas de odores que afetam a população da cidade de Pirapora do Bom Jesus.

A aeração tem por fim oxidar sulfetos a montante do vertedor da Barragem evitando elevados níveis de desprendimento de H_2S quando da descarga das águas pelos vertedouros da Barragem.

METODOLOGIA

Para a realização dos testes de aeração foi montado um sistema denominado "catamarã" constituído basicamente dos seguintes materiais e equipamentos:

- 2 barcos de alumínio tipo lambari
- 2 treliças de ferro para união dos dois barcos
- plataforma
- estrutura tubular ou ferro galvanizado de $\varnothing 1/2"$, recoberta com lona plástica, nas dimensões (3 x 1 x 3)m, comprimento, largura, profundidade
- estrutura tubular de ferro galvanizado de $\varnothing 1"$, com formato em "L", nas dimensões (3 x 2,5)m
- manômetro
- compressor com vazões de ar de $5,95 \text{ m}^3/\text{min}$.
- mangotes de borracha $\varnothing 3/4"$
- cilindro de oxigênio com válvula redutora de pressão
- equipamentos de medição da vazão de ar: placa de orifício e rotâmetro
- difusores tipo "discfuser" espaçados a cada 0,60 m para difusão de ar.

Montagem

Após a fixação dos barcos de alumínio entre si por meio das treliças de ferro construiu-se uma estrutura de tubos galvanizados com diâmetro de 1/2" nas dimensões (3 x 1 x 3)m comprimento, largura, profundidade, que foi recoberta com lona plástica. O sistema assim constituído foi denominado de "coifa".

Esta coifa foi fixada sob a plataforma entre os barcos de alumínio. Na parte superior foi aberto um orifício pelo qual foi introduzido um tubo de ferro galvanizado com diâmetro de 1" com formato em "L", sendo que na parte horizontal o tubo foi perfurado com orifícios de diâmetro 1/8" com espaçamento de 5 cm para difusão de ar e na parte vertical marcações a cada 1 m para regulagem da profundidade desejada de acordo com as características do teste. Na parte superior do tubo foi conectado um mangote de borracha com diâmetro de 3/4" e a outra extremidade a um compressor que forneceu o ar para os ensaios.

Ainda na parte superior da coifa foram abertos dois orifícios sendo um para coleta de amostras e o outro para a saída de espumas quando se utilizam altas taxas de ar durante a aeração.

O sistema descrito é apresentado esquematicamente na Figura 2.

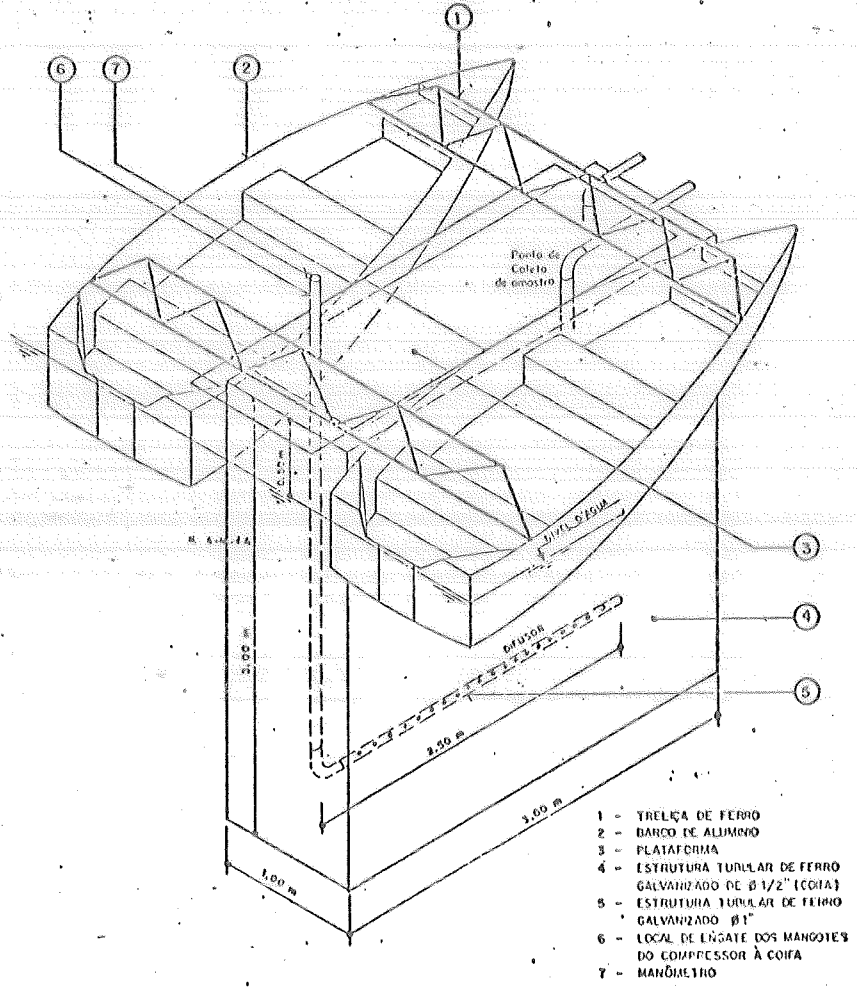


FIGURA 2 - Sistema de Aeração para Testes

Descrição dos Ensaios

Os testes foram realizados segundo dois processos diferentes a considerar:

- aeração com ar comprimido
- aeração com oxigênio puro

Aeração com Ar Comprimido

- Sistema Aberto

Inicialmente os testes foram realizados com a coifa aberta na parte inferior. Utilizou-se como difusor o tubo perfurado fixado a 1,00 m e 2,50 m de profundidade. Foram utilizadas as vazões de ar variáveis de 8 a 82 kg/h medidas através da placa de orifício. Os tempos de aeração previstos foram de 120 minutos embora tenham transcorrido entre 69 e 151 minutos em virtude de alterações e modificações nos testes face as condições operacionais, e dos resultados dos teores de oxigênio dissolvido em função da vazão de ar empregada.

Durante a realização dos testes foram registrados a cada 15 minutos aproximadamente os parâmetros pH, oxigênio dissolvido, sulfeto, temperatura do ar e da água e H_2S no ar.

Tendo em vista os resultados dos parâmetros obtidos decidiu-se pela realização de testes com menores vazões de ar e com a medição através de rotâmetros. Devido a renovação de água do sistema com o meio exterior estimada em 5 minutos, conforme testes realizados utilizando a técnica de medição de diluição com auxílio de traçadores radioativos, decidiu-se pelo fechamento da coifa.

- Sistema Fechado

Posteriormente os testes foram realizados com a coifa fechada na parte inferior utilizando-se uma lona plástica. Deste modo a cada teste realizado foi renovada a água do sistema através da abertura do fundo da coifa e deslocamento do catamarã.

Nesta fase dos trabalhos alguns testes foram realizados com o difusor tipo tubo perfurado e outros com o sistema utilizando difusores do tipo discfuser. As vazões de ar aplicadas foram de 6 a 41 kg/h medidas através de placa de orifício (41 kg/h) e rotômetros (6 e 10 kg/h). Os tempos de aeração previstos foram de 20 a 120 minutos embora tenham transcorrido em alguns casos até 160 minutos em função das condições operacionais e dos resultados dos teores de oxigênio dissolvido em função da vazão de ar empregada.

Foram coletadas durante a fase de aeração amostras a cada 5 minutos e em seguida coletas a cada 15 minutos por mais 90 a 150 minutos a fim de verificar-se a evolução dos principais parâmetros: pH, oxigênio dissolvido, sulfeto e temperatura. Quanto ao H_2S no ar o mesmo foi amostrado somente durante a fase de aeração pois, coletando-se amostras dentro e fora da coifa após o término da aeração obtiveram-se valores da mesma ordem de grandeza.

A Tabela 1 apresenta um resumo das condições em que cada teste foi realizado.

TABELA I - RESUMO DOS TESTES UTILIZANDO AR COMPRIMIDO

Teste Piloto Nº	CONDIÇÕES AMBIENTAIS					CONDIÇÕES DO TESTE						
	Sol	Chuvas	Ventos	Aguaçú	Espumas a juante da barragem	Renovação de água do sistema	Tempo de aeração previsto (min.)	Vazão de ar (kg/h)	Tipo de difusor	Prof. do difusor (m)	Coifa	Operação- ão de Comportas
1	sim com Rebolos.	não	sim	não	não	água nova	120	41	tubo perf.	1,00	aberta	fechadas
2	sim	não	sim	sim	não	não	120	82	tubo perf.	1,00	aberta	abertas - 01
3	sim com nuvens	não	não	sim	não	não	120	63	tubo perf.	1,00	aberta	abertas - 02
4	sim	não	sim	sim	sim	não	120	63	tubo perf.	2,50	aberta	abertas - 02
5	nublado	não	sim	não	não	não	60	8	tubo perf.	1,00	aberta	abertas - 02
6	sim	não	não	não	não	sim	120	41	tubo perf.	1,00	fechada	abertas - 02
7	sim	não	sim	não	-	sim	30 - 40	41	tubo perf.	1,00	fechada	-
8	sim	não	pouco	sim	sim	não	20	41	tubo perf.	1,00	fechada	abertas - 02
9	nublado	não	sim	sim	não	sim	20	41	discfuser	1,00	fechada	fechadas
10	não	sim	não	sim	não	sim	30	10	discfuser	1,00	fechada	abertas - 01
11	sim com nuvens	não	sim	sim	sim	sim	20	10	discfuser	1,00	fechada	abertas - 01
12	nublado	não	sim	sim	não	sim	30 - 40	10	discfuser	1,00	fechada	abertas - 01
13	nublado	não	sim	sim	sim	sim	30 - 40	10	discfuser	2,00	fechada	abertas - 01
14	sim	não	sim	sim	não	sim	30 - 40	6	discfuser	2,00	fechada	fechadas

Aeração com Oxigênio Puro

Tendo em vista os resultados obtidos através dos testes aplicando-se ar comprimido em função do tempo de aeração, vazão de ar e tipo de difusor foram realizados outros com a coifa fechada e com a coifa aberta.

- Sistema Aberto

Foram abertas as faces da coifa perpendiculares ao fluxo da água a partir de 1,00 m de profundidade, referente ao nível da plataforma, afim de garantir a circulação de água pelo sistema.

Utilizaram-se difusores do tipo Discfuser, onde o tubo em "L" foi fixado a 1,00 e 2,00m de profundidade e vazões de oxigênio de 2,0 kg/h medidos através de placa de orifício.

A aeração foi mantida durante o tempo de 30 minutos com coletas a cada 5 minutos e em seguida coletas a cada 15 minutos por mais 120 minutos, totalizando o tempo de testes em 150 minutos.

Foram medidos os parâmetros pH, oxigênio dissolvido, sulfeto e temperatura da água durante toda a fase dos testes enquanto que H₂S no ar somente durante a aeração.

- Sistema Fechado

Utilizaram-se difusores do tipo Discfuser, onde o tubo em "L" foi fixado a 1,00 m de profundidade e vazões de oxigênio de 2,0 kg/h medidos através da placa de orifício.

A aeração foi mantida durante o tempo de 30 a 50 minutos com coletas a cada 5 minutos e em seguida coletas a cada 15 minutos por mais 90 minutos, totalizando o tempo de ensaios de 120 a 140 minutos.

A Tabela 2 apresenta um resumo das condições em que foram desenvolvidos os testes com a utilização de oxigênio puro.

TABELA 2 - RESUMO DOS TESTES UTILIZANDO OXIGÊNIO PURO

Teste Piloto Nº	CONDIÇÕES AMBIENTAIS				CONDIÇÕES DO TESTE							
	Sol	Chover	Vento	Acúmp.	Exponer a Juntas da Estação	Renovação de água do cisterna	Tempo de aeração previsto (min)	Vazão de oxigênio (kg/h)	Tipo de difusor	Prof. do difusor (m)	Coifa	Operação - nº da Coifetas
1	sim	não	sim	sim	sim	não	30	2	discfuser	1,00	fechada	aberta-02
2	sim	não	sim	não	sim	sim	30	2	discfuser	1,00	fechada	aberta-02
3	sim	não	sim	não	sim	sim	30	2	discfuser	1,00	aberta	aberta-02
4	nublado	não	sim	não	sim	sim	30	2	discfuser	2,00	aberta	aberta-02

Procedimentos de Coleta e Métodos Analíticos Utilizados

Coleta e Análise do Sulfeto na Água

O procedimento utilizado para coleta e análise do sulfeto na água foi executado segundo a Normalização Técnica CETESB L5.127-Determinação de Sulfeto em Água. Método do Azul de Metileno.

Coleta e Análise de Oxigênio Dissolvido

O procedimento utilizado para coleta e análise de oxigênio dissolvido foi executado segundo a Normalização Técnica - CETESB L5.169 - Determinação de Oxigênio Dissolvido em Águas. Método de Winkler Modificado pela Azida Sódica.

Coleta e Análise do H₂S no Ar

Face a inexistência de métodos específicos para tal aplicação utilizou-se o método 11 do USEPA (Environmental Protection Agency) (2).

O princípio do método consta de absorção de H₂S liberado em uma solução de sulfato de

cádmio ($CdSO_4$), a qual é reduzida a sulfeto de cádmio (CdS) e posteriormente analisado por Iodometria.

As amostras foram coletadas em trens de amostragens específicos segundo esquematizado na Figura 3.^o

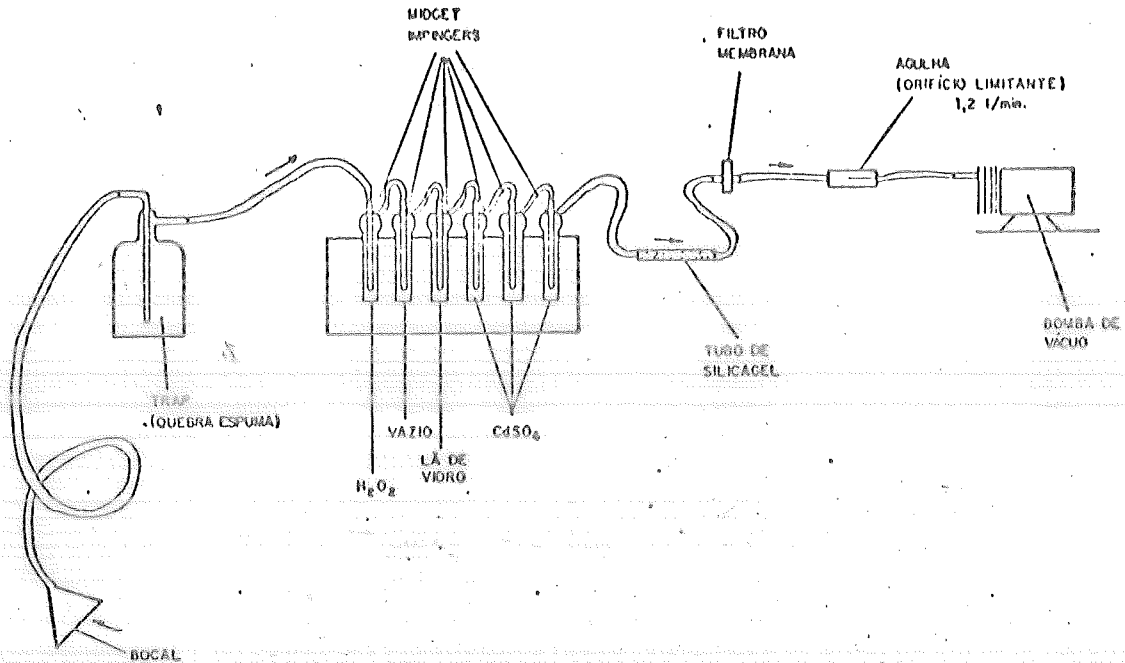


FIGURA 3 - Trem de amostragem para H_2S

Método para Controle da Vazão de Ar Insuflado

O sistema foi planejado de forma a permitir o conhecimento preciso da vazão de ar introduzida na água. Para tanto, foi dimensionada uma placa de orifício conforme Figura 4 onde a vazão de ar insuflado no sistema de aeração foi avaliada numa faixa de 36 a 220 kg ar/hora (3).

O sistema utilizado e esquematizado na Figura 5 permite a leitura do diferencial de pressão no orifício e a determinação da pressão à montante do mesmo.

Com a utilização da expressão:

$$W = 7,33314 \times \sqrt{\frac{P_{bar} + P_1 \text{ (mmHg)}}{273 + T(°C)}} \times \sqrt{h \text{ (mmCA)}}$$

onde:

h = medição da diferença de pressão entre montante e jusante à placa de orifício, com um manômetro em "U"

P_1 = medição da pressão estática

T = temperatura do fluxo

* As análises de sulfeto e H_2S foram realizadas nos laboratórios da CETESB enquanto que as análises de oxigênio dissolvido realizadas em campo, uma vez que o andamento dos testes dependia de tais resultados. Os demais parâmetros também foram medidos em campo: pH, temperatura da água e do ar.

Foi verificada a vazão mássica (W), requerida em cada teste efetuado.
 Durante a realização dos testes de campo foi verificado ser necessário o uso de vazões inferiores àquelas previstas no dimensionamento da placa de orifício.

Para tanto foi utilizado o arranjo esquematizado da Figura 6 onde a placa de orifício foi substituída por uma flange cega de tal forma a circular o fluxo através de dois rotômetros em paralelo, previamente calibrados em laboratório contra um gasômetro úmido como padrão.

Com o arranjo descrito pode-se operar na faixa de 2 à 10 kg ar/hora.

A fonte de alimentação de oxigênio de insuflamento foi primeiramente o ar comprimido suprido por um compressor, posteriormente utilizou-se oxigênio puro proveniente de cilindro pressurizado.

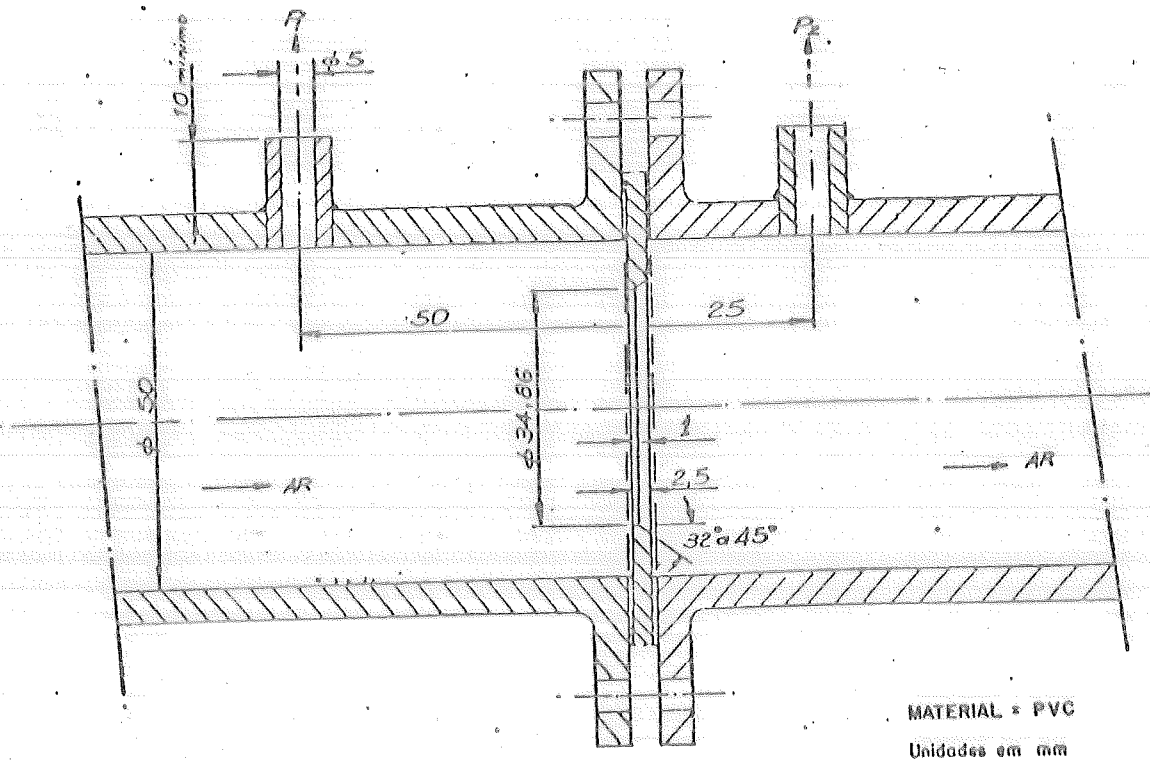


FIGURA 4 - Detalhe da Placa de Orifício

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

De acordo com os testes realizados utilizando-se Ar Comprimido e Oxigênio puro (vide Tabelas 1 e 2) observou-se que os parâmetros oxigênio dissolvido, sulfeto na água e H_2S no ar apresentam curvas características típicas para tempos de aeração e concentrações iniciais de sulfeto na água variáveis.

Os testes foram realizados com vazões de ar distintas e as demais condições foram mantidas ou seja, difusor tipo tubo perfurado, profundidade do difusor de 1,00 m e colifa fechada na parte inferior.

As Figuras 7, 8 e 9 expressam o tipo de curvas obtidas na realização dos experimentos de campo para vazões de ar variáveis porém sempre em excesso a quantidade necessária. Nestas condições observou-se que a remoção de sulfeto depende da concentração inicial do mesmo na água.

Durante a fase de aeração ocorreu elevação dos níveis de oxigênio dissolvido, redução de sulfeto na água e elevação inicial de H_2S liberado para a atmosfera. Após o término da aeração de 40 minutos, houve ainda pequena elevação no teor de oxigênio dissolvido e em seguida redução branda enquanto que para os tempos de 20 e 160 minutos constatou-se o início da redução do oxigênio dissolvido de imediato.

Para os parâmetros sulfeto na água e H_2S liberado para o ar houve a redução de forma mais lenta para os tempos de aeração de 20, 40 e 160 minutos.

Foi verificada também a influência do tipo de difusor comparando-se tubo perfurado com difusores do tipo discfuser. Os testes foram realizados nas mesmas condições quais sejam, tempo de aeração de 20 minutos, vazão de ar de 41 kg/h, profundidade do difusor de 1 m e colifa fechada na parte inferior.

Através dos resultados obtidos conforme Figuras 10 e 11, observou-se que não há diferença significativa de eficiência quanto a estes tipos de difusores em termos de redução de sulfeto e de injeção do oxigênio.

Sallenta-se ainda quanto ao oxigênio puro que apesar de terem sido realizados apenas quatro testes, aparentemente não há diferença dos pontos de vista de eficiência de remoção de sulfetos e de tempo de reação necessário, com relação ao uso de oxigênio proveniente do ar.

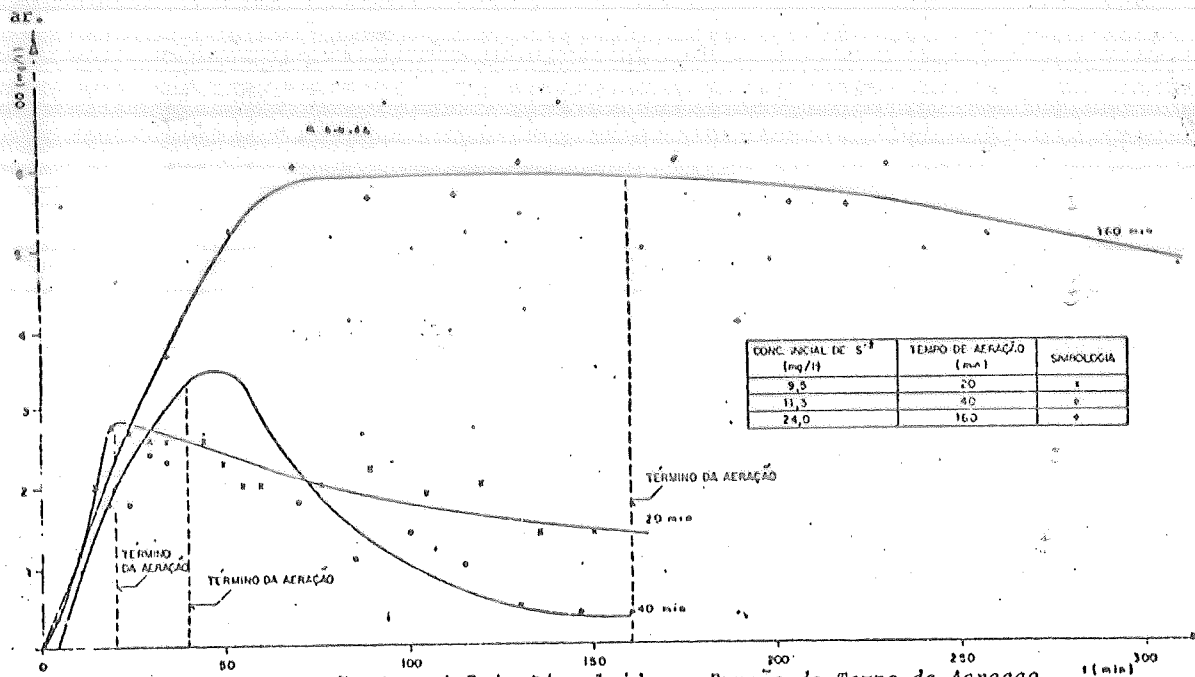


FIGURA 7 - Evolução do Oxigênio Dissolvido em Função do Tempo de Aeração

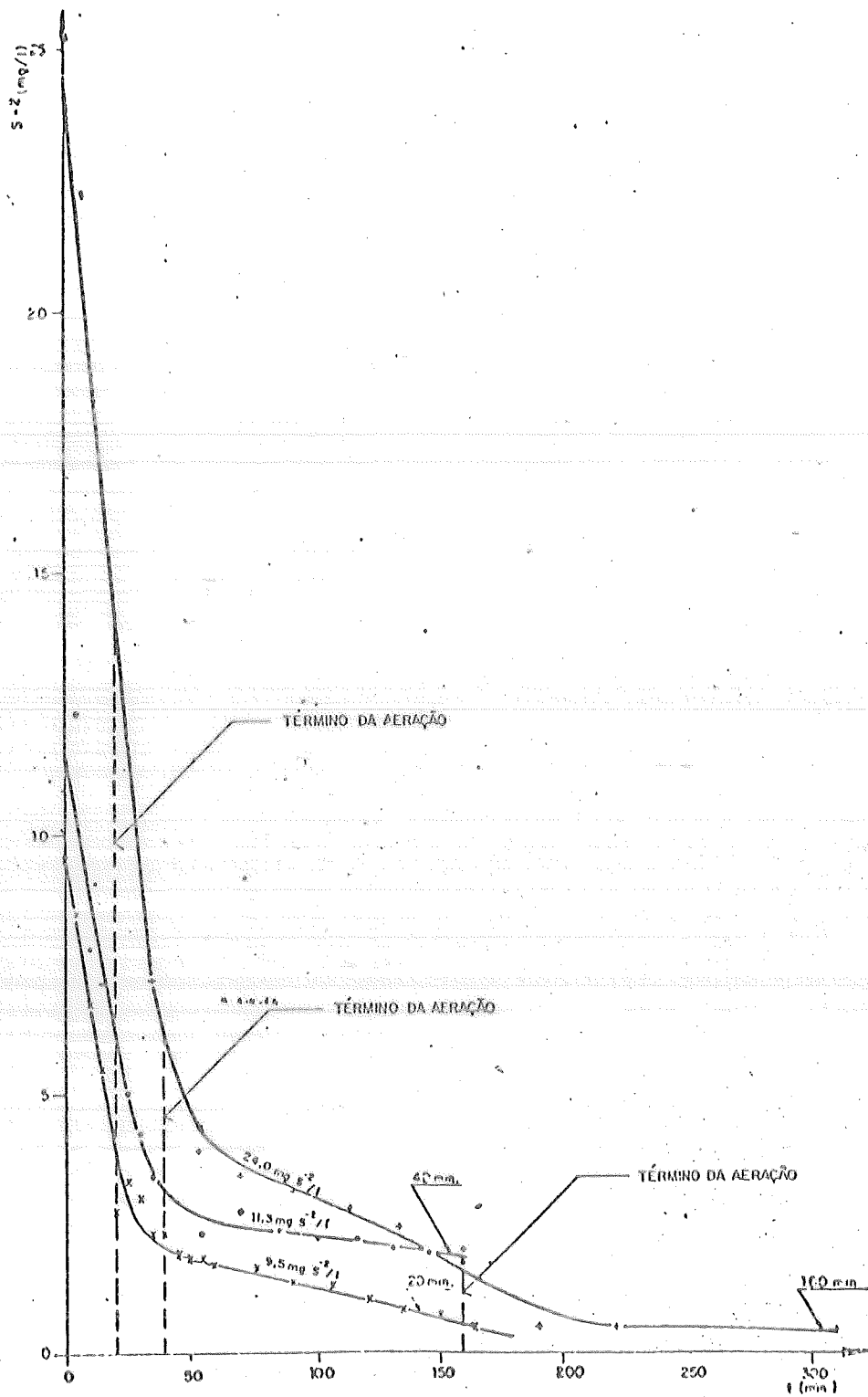


FIGURA 8 - Evolução Temporal do Sulfito na Água em Função do Tempo de Aeração.

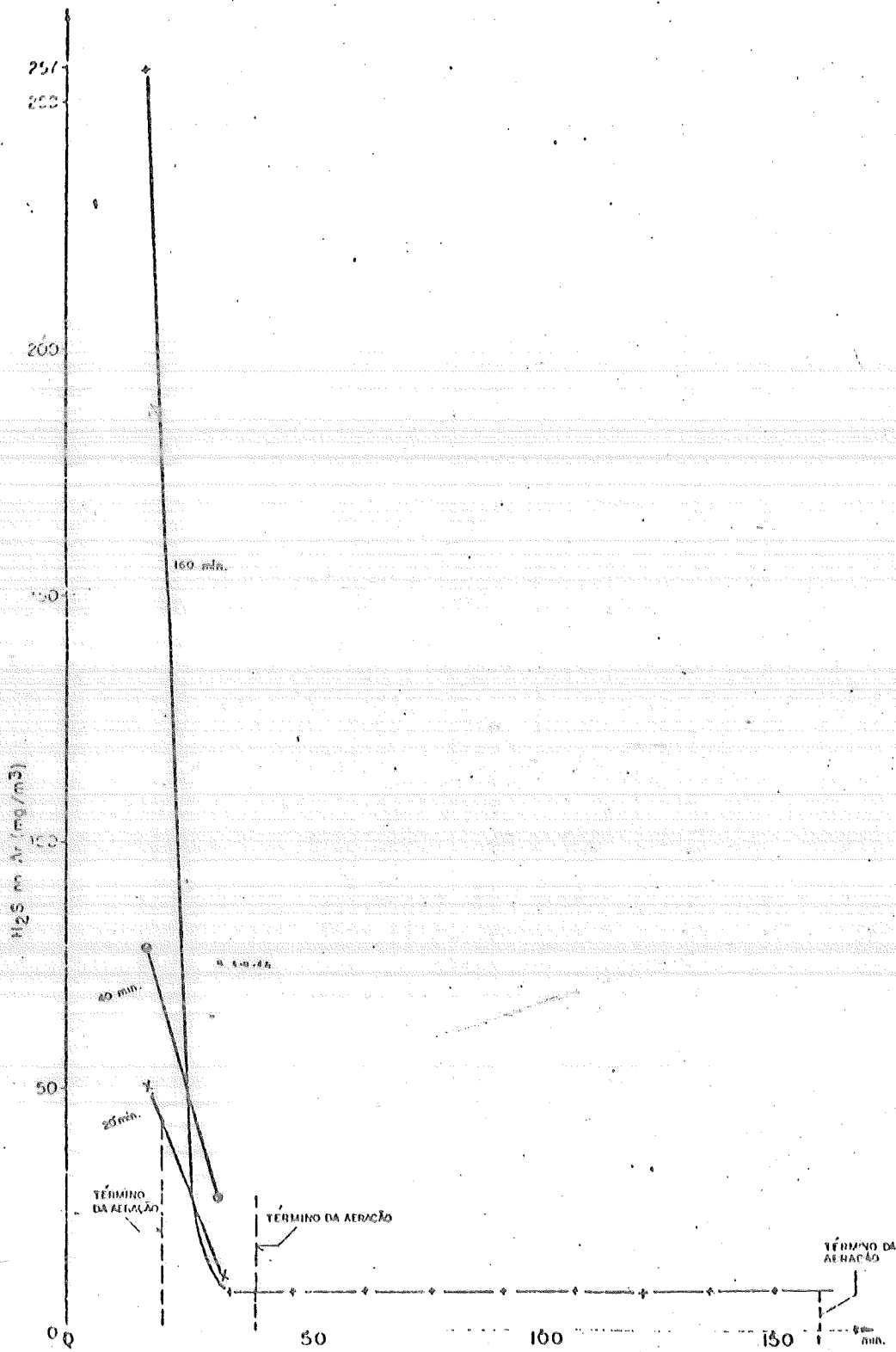


FIGURA 8 - Concentração de H_2S no ar, em função do Tempo de Aeração a uma profundidade de 1m

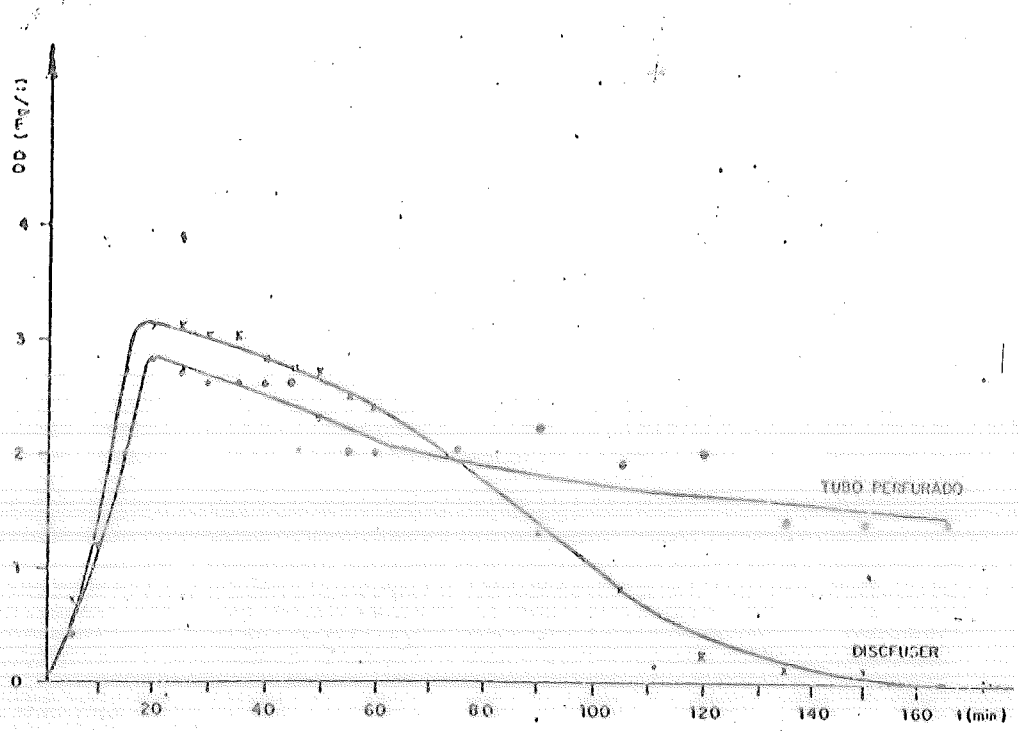


FIGURA 10 - Influência do Tipo de Difusor na Concentração de Oxigênio Dissolvido

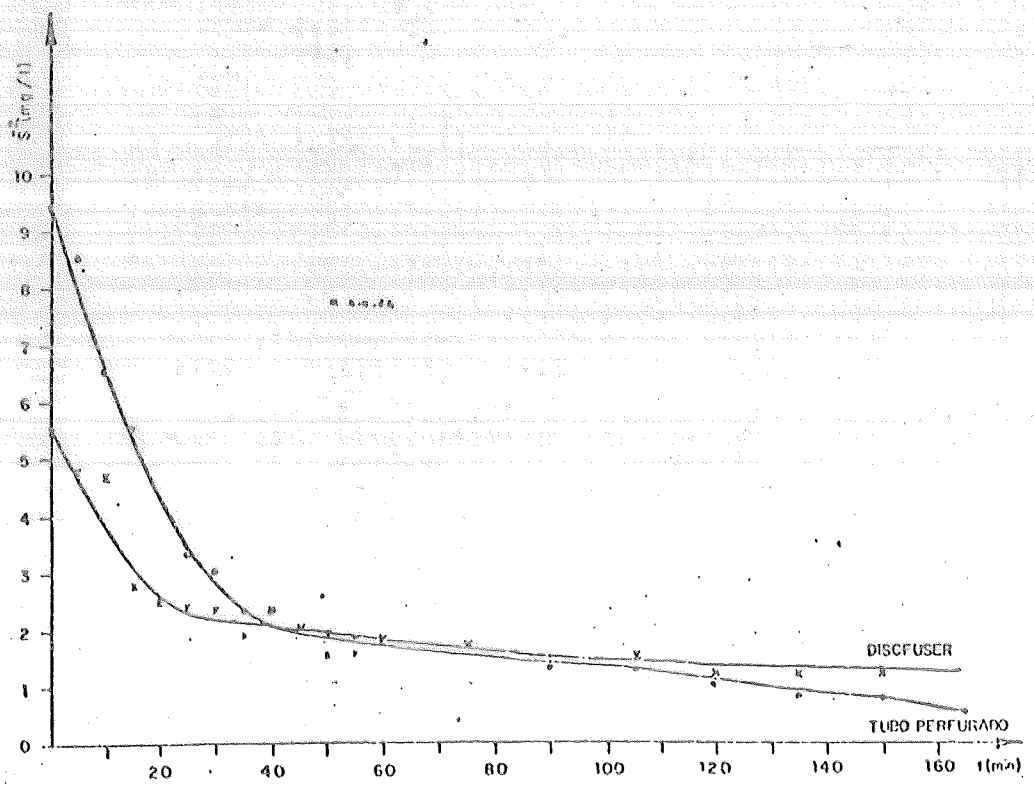


Figura 11 - Influência do Tipo de Difusor na Remoção de Sulfeto

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os ensaios de campo para oxidação de sulfeto, através da aeração utilizando-se a metodologia apresentada procurou simular a aeração ao longo de um canal. Através do estudo das reduções de sulfeto na água foi possível obter parâmetros cinéticos necessários para o dimensionamento de um sistema de aeração.

É importante notar que tais parâmetros são válidos para a água de Pirapora, na composição em que a mesma se apresentava no momento dos testes, com coifa fechada, usando-se o sistema de aeração por ar difuso, para vazões de ar e faixas de temperatura e pH observados nos experimentos.

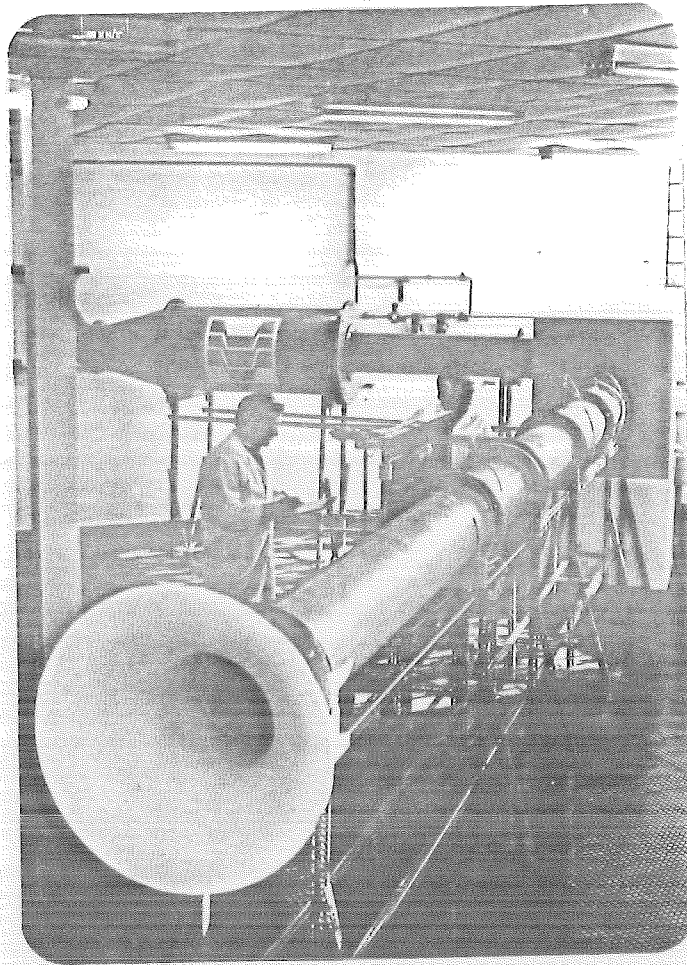
Recomenda-se para os próximos ensaios de campo que os tempos de aeração sejam mais extensos e com menores vazões de ar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - CETESB - Considerações sobre as Condições Sanitárias da Bacia do Alto Tietê - 1984
- 2 - Federal Register, Título 40, Apêndice A, pp 173 à 180
- 3 - Methods for the Measurement of Fluid Flow in Pipes Part 1. Orifice Plates, Nozzles and Venturi Tubes. B.S. 1042: Part 1: 1964. British Standards Institution.

DOCUMENTAÇÃO FOTOGRAFICA

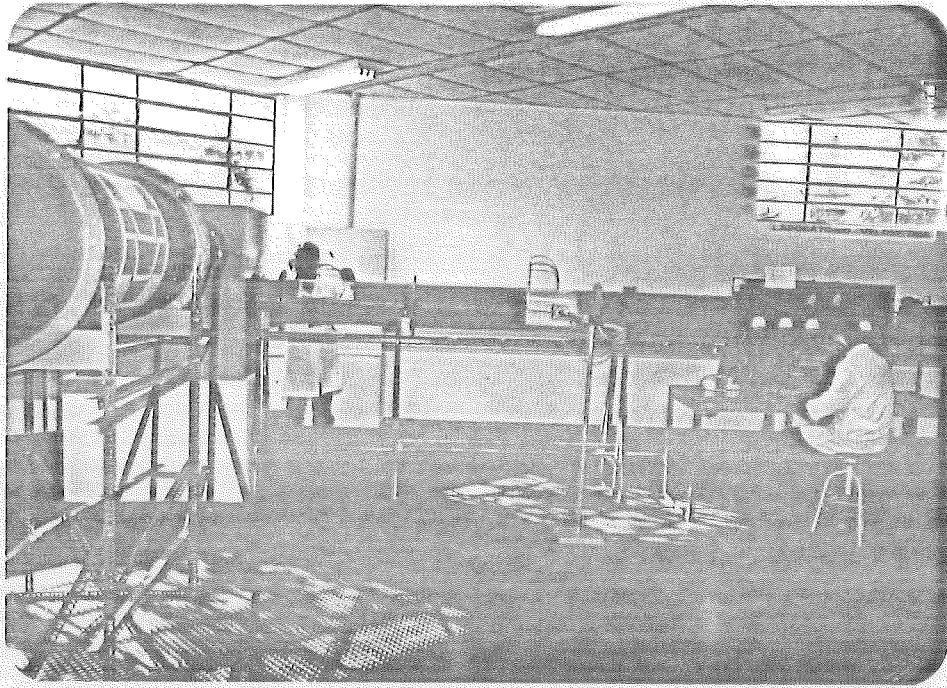
SISTEMA DE VELOCIMETRIA



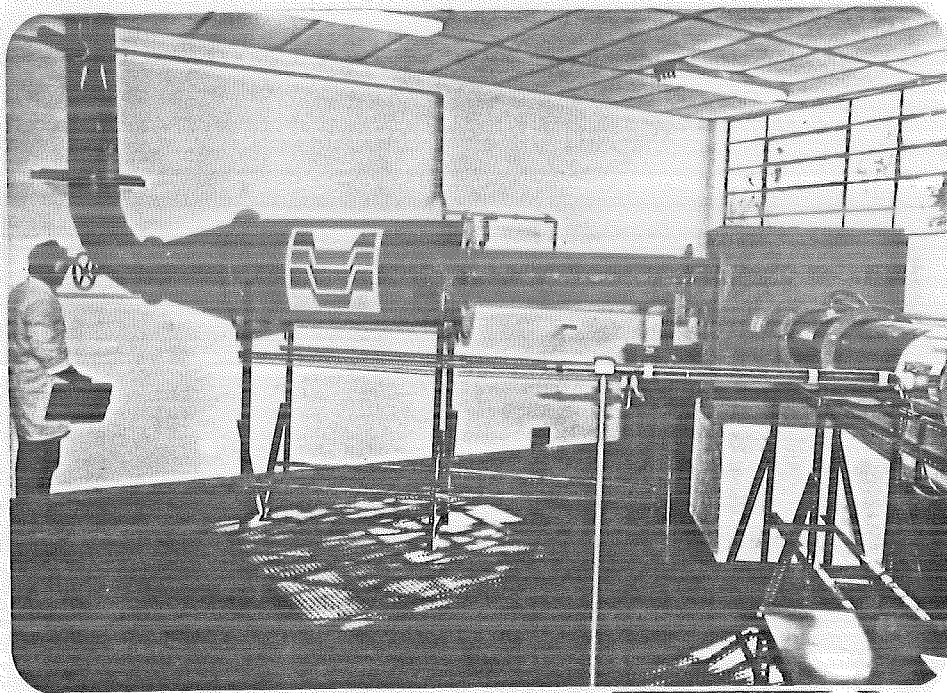
VISTA GERAL DO SISTEMA



SISTEMA EM OPERAÇÃO



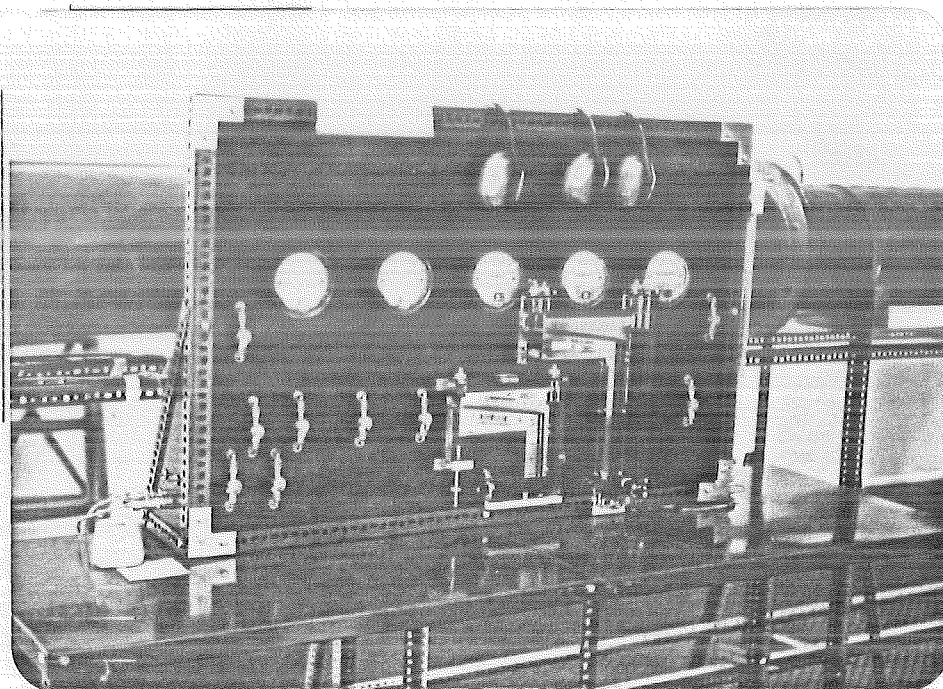
VISTA GERAL DO SISTEMA



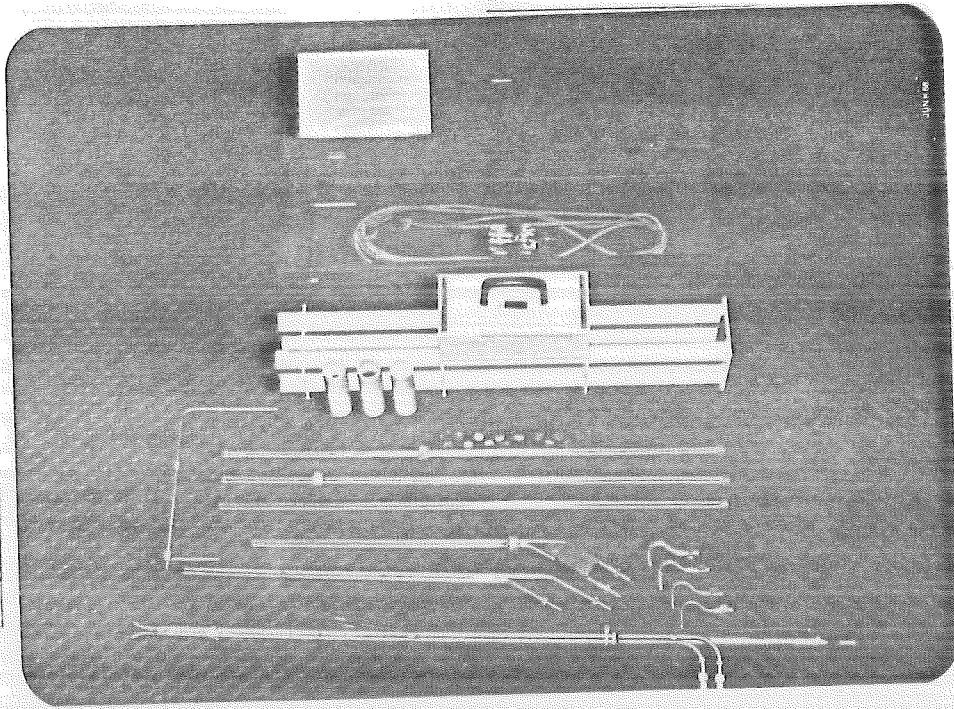
VISTA DO TORPEDO (CONTROLADOR DE VELOCIDADES)



MONITORAMENTO DO SISTEMA

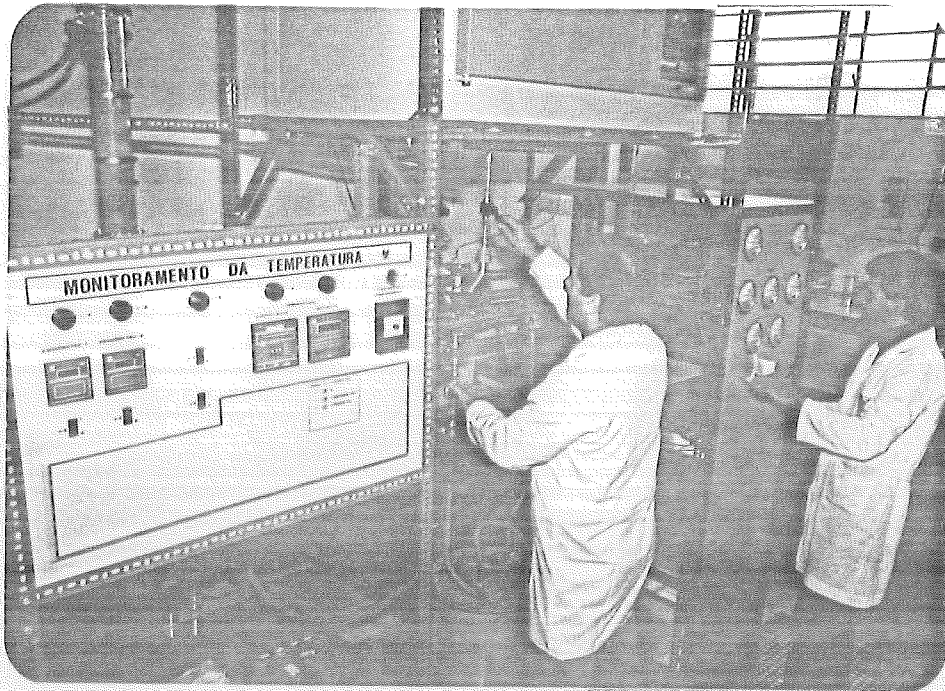


PAINEL DE MONITORAMENTO DE PRESSÕES E VELOCIDADES

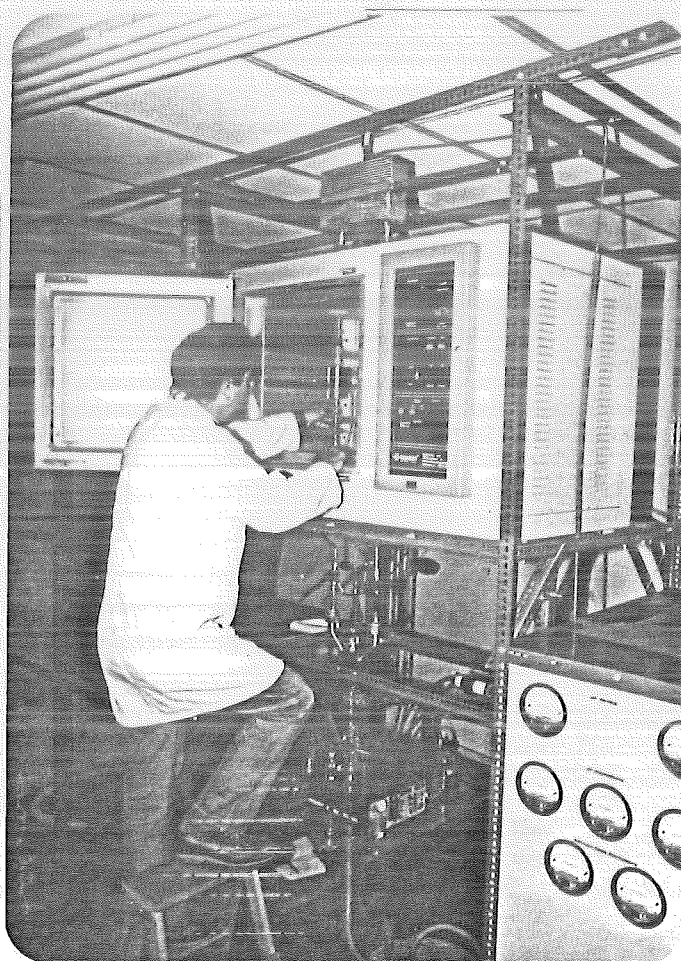


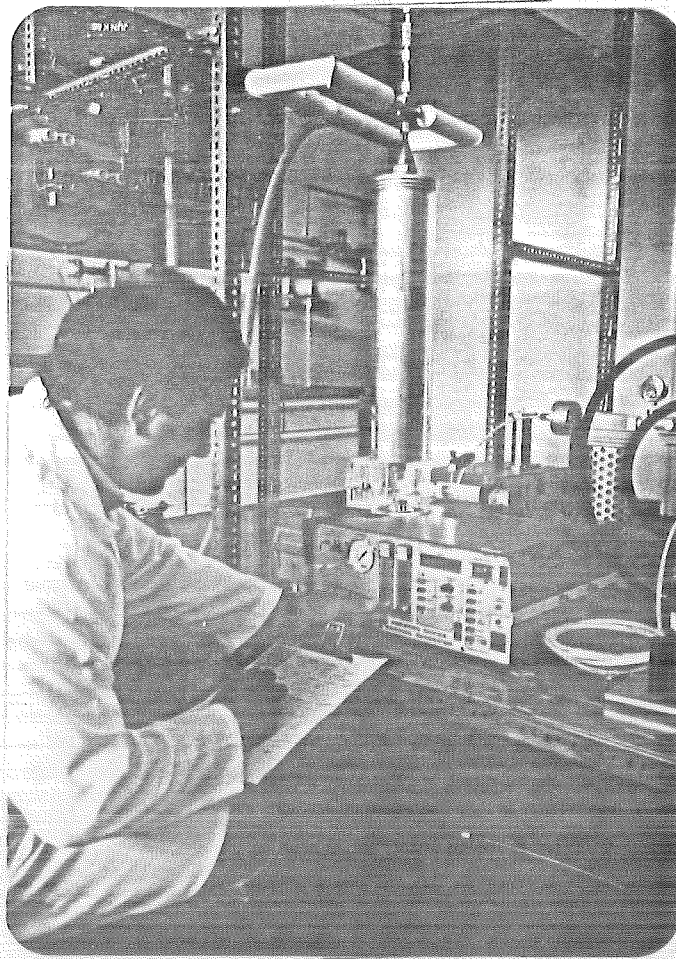
EQUIPAMENTOS CALIBRADOS PELO SISTEMA

SISTEMA DE GERAÇÃO DE AEROSSÓIS

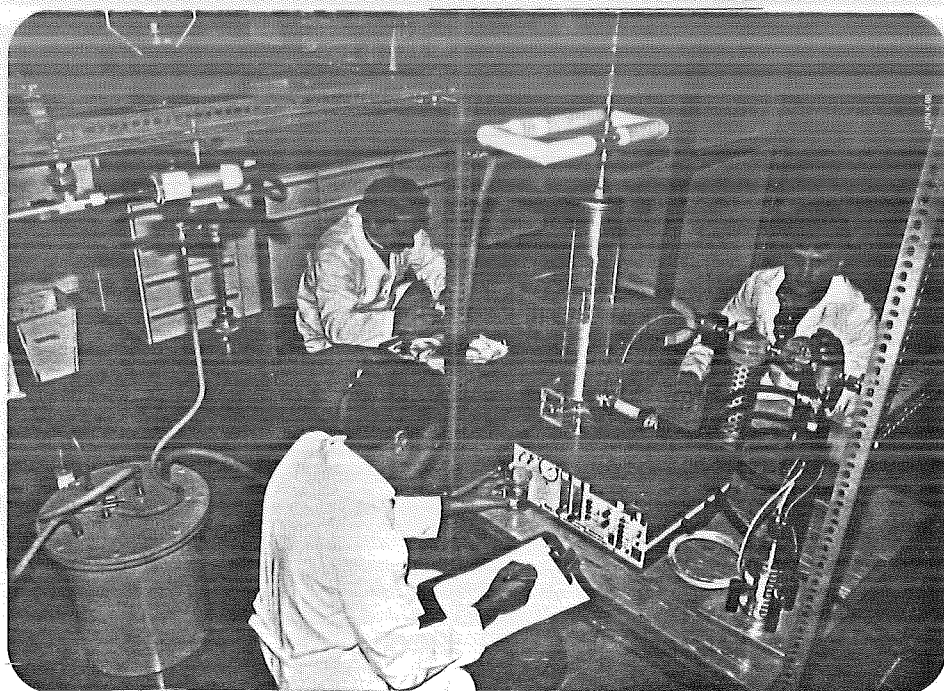


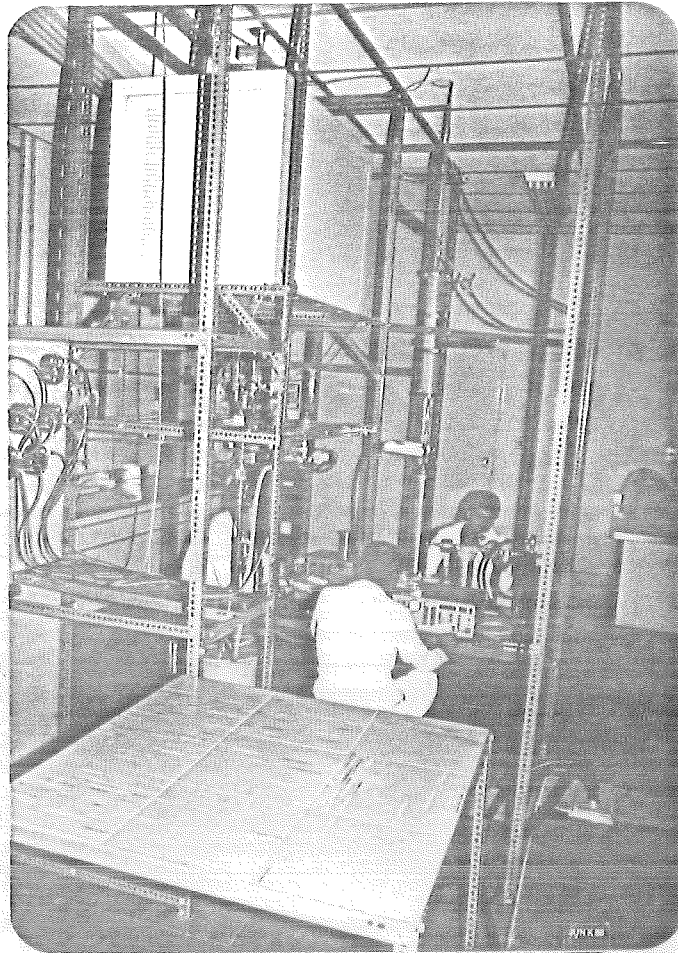
VISTA FRONTAL DO SISTEMA



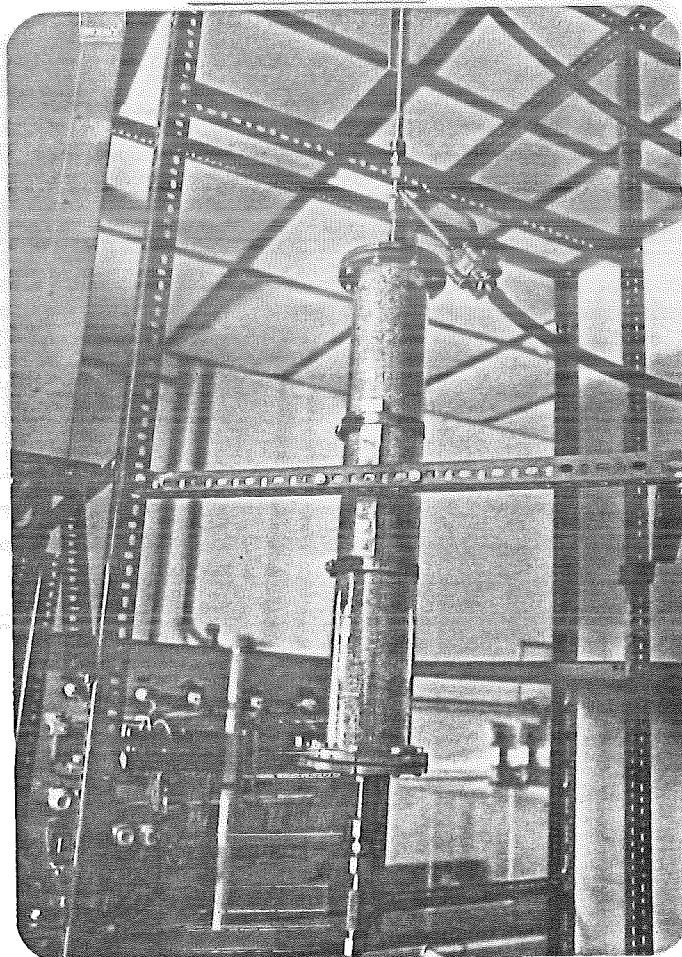


SISTEMA EM OPERAÇÃO

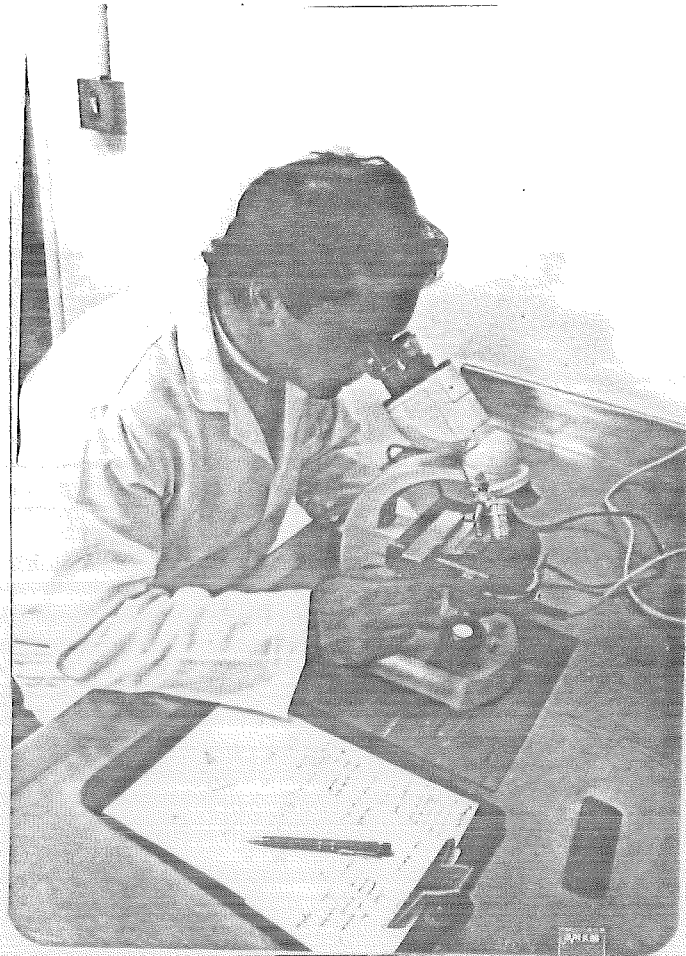




VISTA LATERAL DO SISTEMA



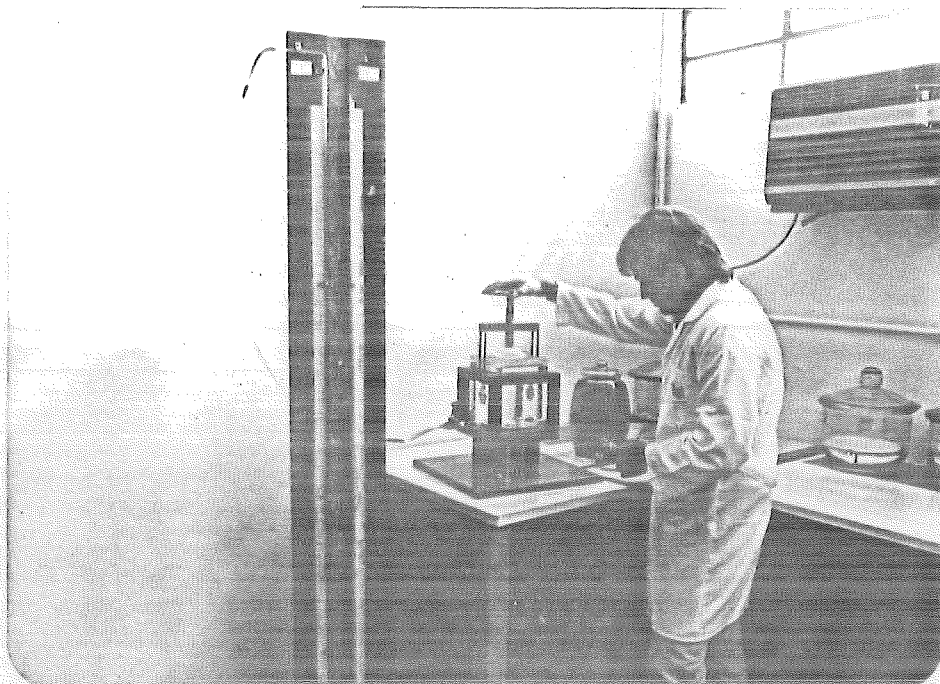
COLUNA
DE
DIFUSÃO



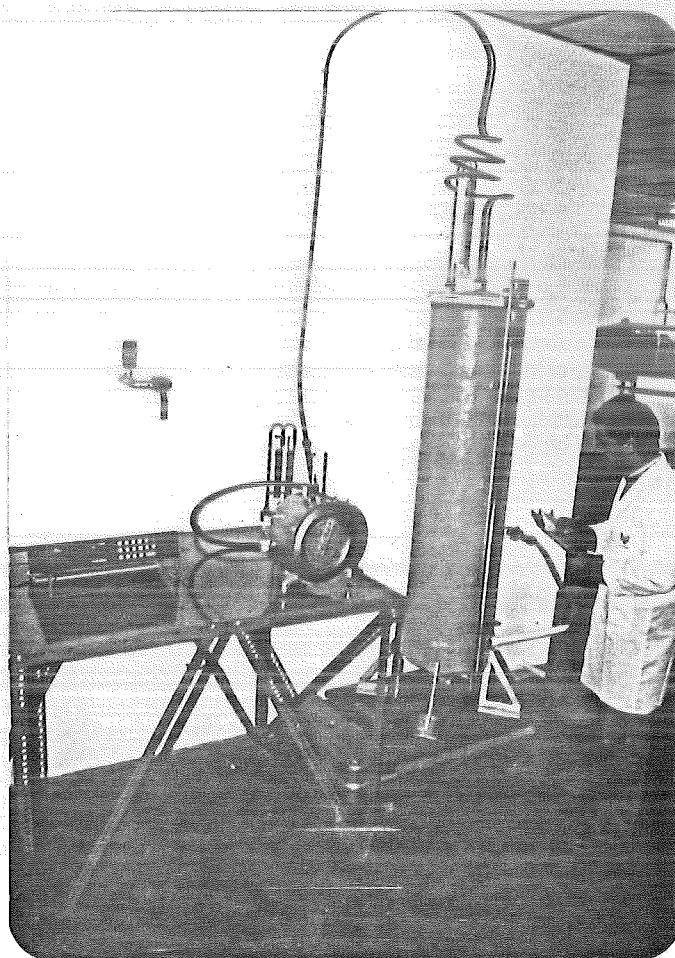
MONITORAMENTO POR MICROSCOPIA DO SISTEMA

(CONTAGEM DE PARTÍCULAS)

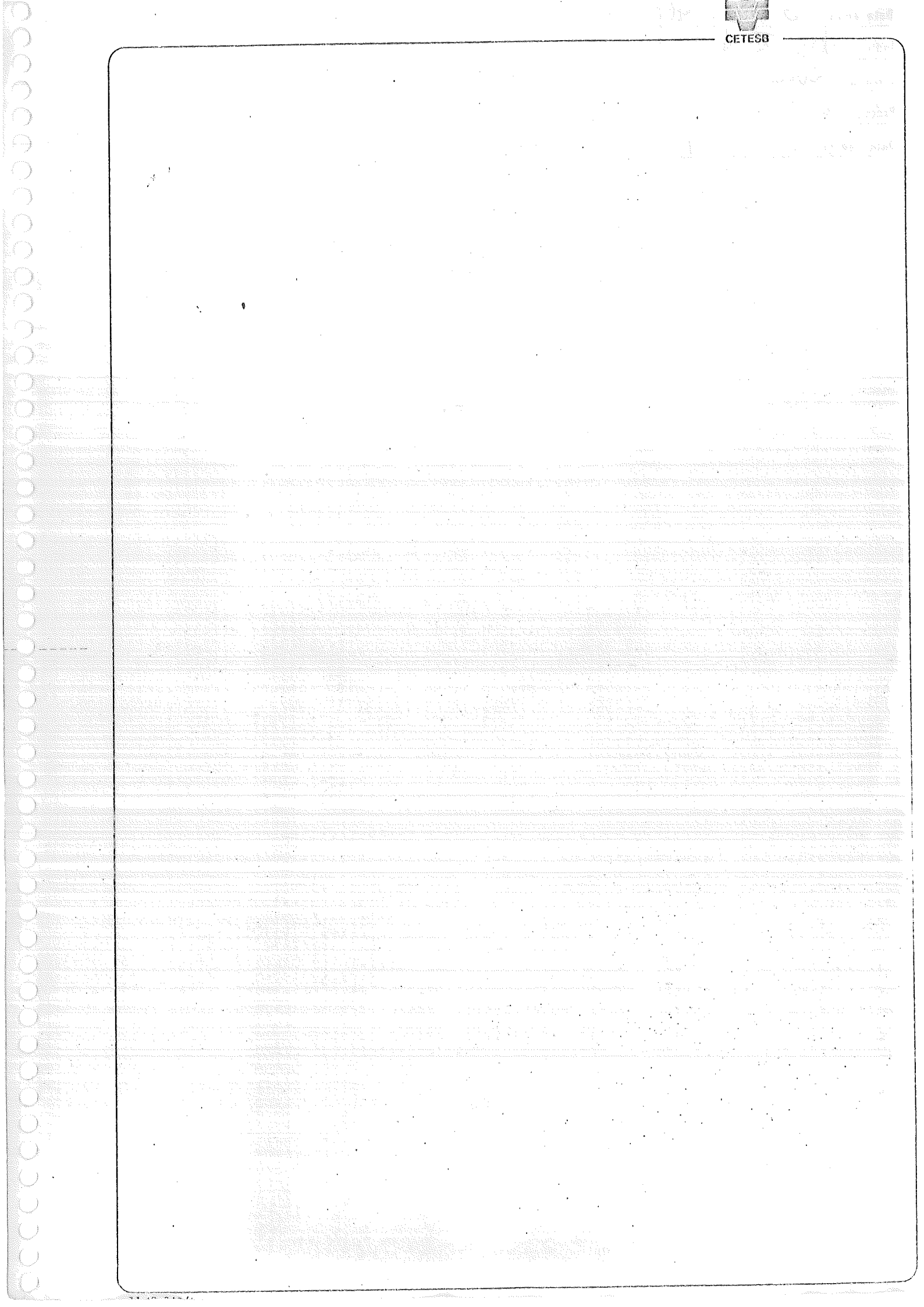
OUTRAS ATIVIDADES CORRELATAS



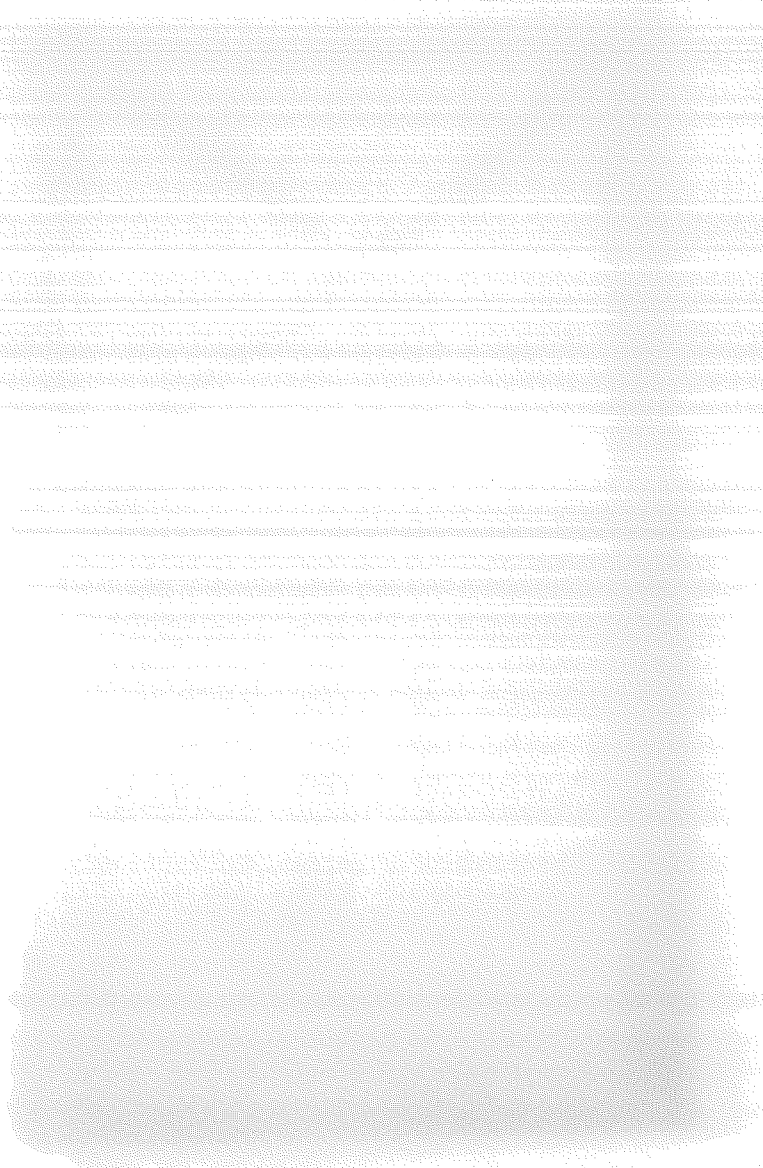
DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE UM AGREGADO DE PARTÍCULAS

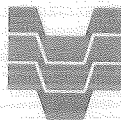


CALIBRAÇÃO DO GASOMETRO ÚMIDO, UTILIZANDO-SE O DISPOSITIVO PADRÃO POR UM ESCOAMENTO LÍQUIDO



Data Aquis.:	6/2/91
Indic.:	obac A.C.
Livraria:	ROSSIN
Preço:	Cr\$
Data Tomba:	6/2/91





CETESB

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Pinheiros
Fone: 210.1100 - Telex (011) 222-46-CTS - BR
CEP 05459 - São Paulo - SP - Brasil