



UNIVERSIDADE FEDERAL

DA PARAIBA

CAMPUS II – CAMPINA GRANDE – PB

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

ESTAGIÁRIO: CARLOS ALBERTO VIEIRA DE AZEVEDO

SUPERVISORES: PROF. FRANCISCO MONTE ALVERNE DE SALES
SAMPAIO

PROF. HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO

LOCAL DO ESTÁGIO: DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

AREA: ENGENHARIA DE ÁGUA E SOLO (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM)

TÍTULO: PROJETO DE PESQUISA "DESENVOLVIMENTO DE EQUIPA
MENTOS PARA IRRIGAÇÃO"

DATA DE INÍCIO: 02.01.80

DATA DE TÉRMINO; 02.01.82

CARGA HORÁRIA SEMANAL: 12:00 horas

CARGA HORÁRIA TOTAL: 1.152 horas

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
AVENIDA APRÍGIO VELOSO, 882 - Cx. Postal 518
TELEX: 0832211 - FONE: (083) 321.7222
58.100 - CAMPINA GRANDE – PB
BRASIL

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVIDIONADO

LOCAL DO ESTÁGIO: Depto. Engenharia Agrícola
ÁREA: Engenharia de Água e Solo (Irrig. e Drenagem)
TÍTULO: Projeto de Pesquisa "Desenvolvimento de
Equipamentos para Irrigação"
DATA DE INICIO: 02.01.1980
DATA DE TÉRMINO: 02.01.1982
CARGA HORÁRIA SEMANAL: 12 horas semanal
CARGA HORÁRIA TOTAL: 1.152 horas

SUPERVISORES: Prof. Francº Monte Alverne de Sales
Sampaio

Prof. Hamilton Medeiros de Azevedo

ESTAGIÁRIO: Carlos Alberto Vieira de Azevedo



Biblioteca Setorial do CDSA. Abril de 2021.

Sumé - PB

A Busca do Saber,
Se^o Constitui. não só uma
Missão Sacrificante,
Mas Outrossim Gloriosa!

Carlos A.V. Azevedo

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

1 - INTRODUÇÃO

O referido relatório tem como objetivo fazer ciente ao Departamento de Engenharia Agrícola - CCT - Campus II - UFPb , das atividades desenvolvidas pelo estudante de graduação em Engenharia Agrícola: Carlos Alberto Vieira de Azevedo, no Estágio Supervisionado em Engenharia de Água e Solo (Irrigação e Drenagem) realizado no Projeto de Pesquisa "Desenvolvimento de Equipamentos para Irrigação", desenvolvido no citado Departamento.

2 - RECURSOS HUMANOS

- Estagiário:

Carlos Alberto Vieira de Azevedo

- Supervisores:

Prof. Francisco Monte Alverne de Sales Sampaio

Prof. Hamilton Medeiros de Azevedo

- Colaboradores:

Antonio de Almeida Soriano Filho

(Estudante de graduação em Engenharia Agrícola)

Nilson José Araújo Barbosa

(Técnico Mecânico)

Ruth de Moraes Melo

(Secretária do Projeto)

Prof. João Batista de Mendonça Xavier

Sr. José Pereira (funcionário)

- Patrocinadores:

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico
e Tecnológico (CNPq)

CANDE - Campina Grande Industrial S.A.

3 - PLANETAMENTO, ORGANIZAÇÃO E COORDENAÇÃO DAS ATIVIDADES DE
PESQUISA.

Para tal elaborou-se um PERT/CPM, que proporcionou um desejável planejamento, organização e coordenação das atividades de pesquisa executadas.

O PERT/CPM encontra-se no anexo 1.

4. Infra-estrutura

Para os testes de laboratório e campo, dos equipamentos em concepção, instalou-se na área experimental de Engenharia de Irrigação da UFPb, uma torre de carga hidráulica; Conjunto Motor-bomba, tubulação de sucção, recalque e alimentação; Sistema elétrico e acessórios complementares de mensuração, conforme mostram as figuras 1 e 2.

5. Equipamentos Desenvolvidos

A tecnologia pretendida e idealizada nesta pesquisa tem como alvo principal a simplicidade funcional de equipamentos hidráulicos e uma razoável eficiência de aplicação d'água no solo por estes equipamentos, estimulando então, a prática de Irrigação no Nordeste.

Para tal, desenvolveu-se os seguintes equipamentos:

5.1 - Conduto janelado provido de dispersores de energia, de geométrica retangular, conforme mostra a figura 3.

Valores de Carga versus vazão apresentados por este equipamento, em ensaios de laboratório.

| <u>Carga (m)</u> | <u>Vazão média (l/s)</u> |
|------------------|--------------------------|
| 1,10 | 0,22 |
| 2,10 | 0,29 |
| 3,10 | 0,36 |
| 4,10 | 0,42 |
| 5,10 | 0,46 |
| 6,10 | 0,51 |

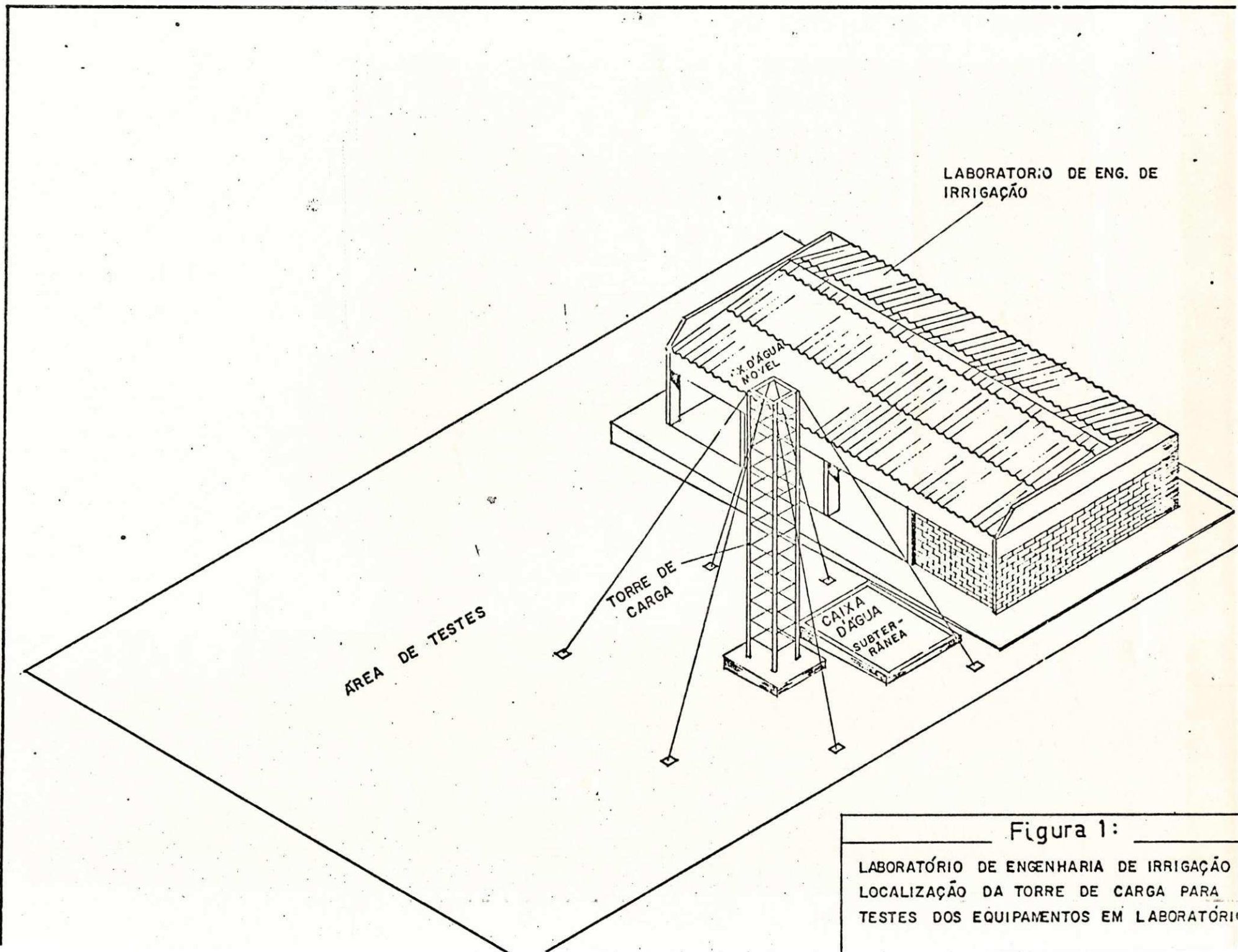


Figura 1:

LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO
LOCALIZAÇÃO DA TORRE DE CARGA PARA
TESTES DOS EQUIPAMENTOS EM LABORATÓRIO

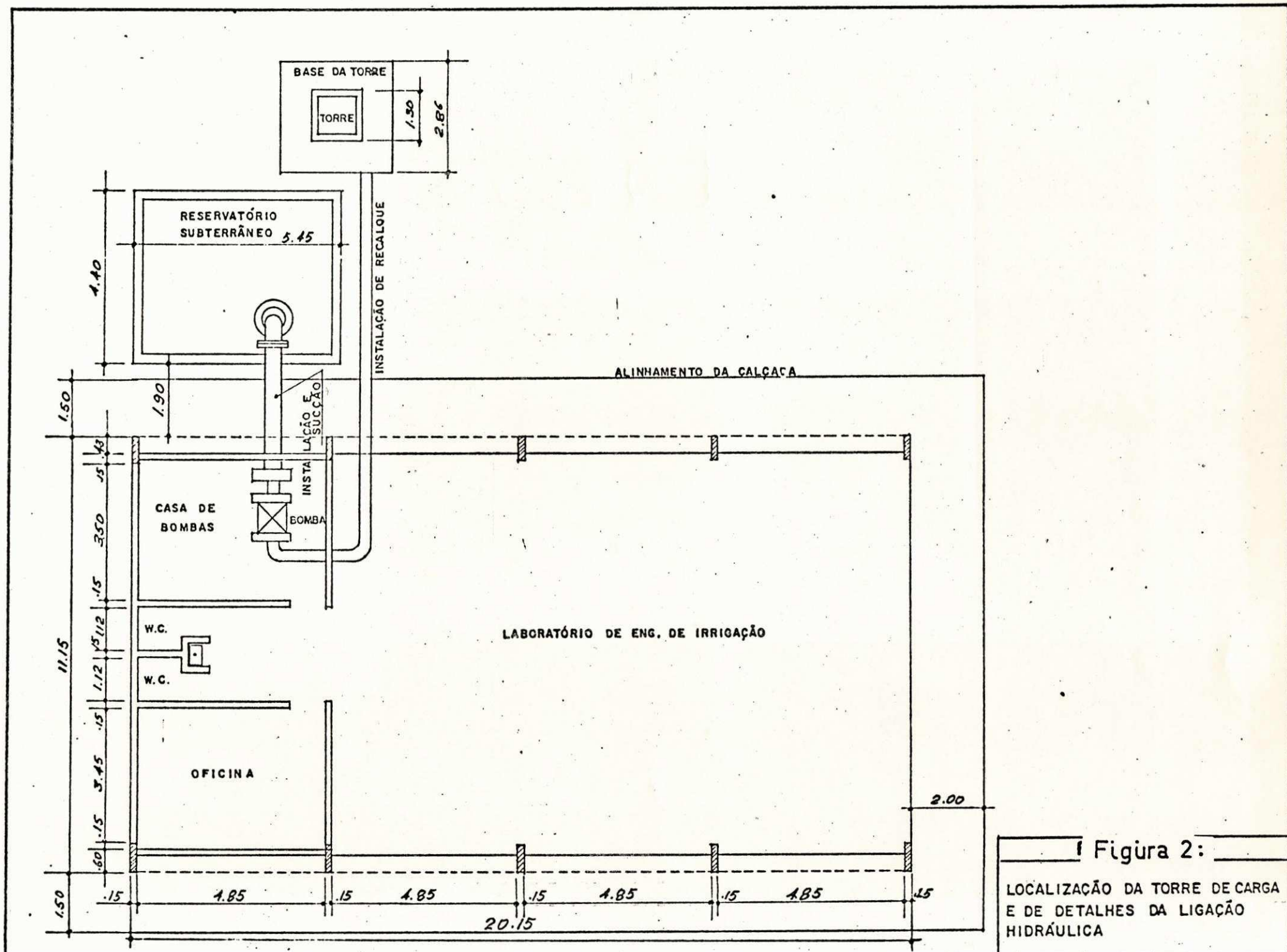


Figura 2:
 LOCALIZAÇÃO DA TORRE DE CARGA
 E DE DETALHES DA LIGAÇÃO
 HIDRÁULICA

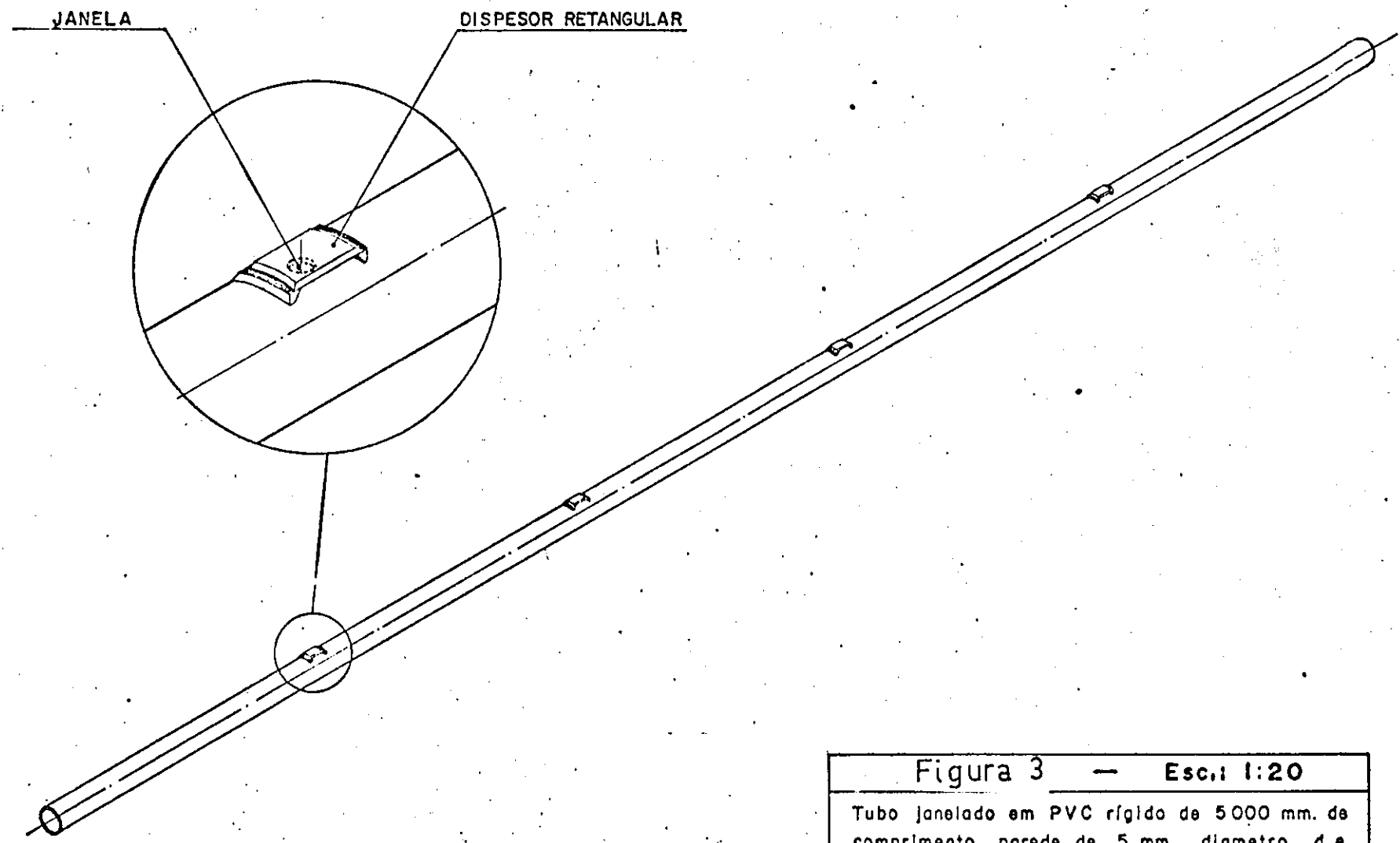


Figura 3 — Esc.: 1:20

Tubo janelado em PVC rígido de 5000 mm. de comprimento, parede de 5 mm., diâmetro $d = 80$ mm., janelas de 10 mm. de diâmetro, e espaçamento entre janelas de 1000 mm.

O dispersor de energia deste equipamento, mostrado na figura 4, apresentou um jato d'água em forma de leque, tal como mostra as representações gráficas deste jato, nas figuras 5 e 6.

As conclusões técnicas deste equipamento só serão efetivadas a partir de posteriores ensaios de campo.

5.2 - Conduto janelado provido de dispersores de energia, de geometria cilíndrica, conforme mostra a figura 7 e 8.

Valores de carga versus vazão apresentados por este equipamento, em ensaios de laboratório.

| <u>Carga(m)</u> | <u>Vazão média (l/s)</u> |
|-----------------|--------------------------|
| 1 | 0,716 |
| 2 | 0,925 |
| 3 | 1,098 |
| 4 | 1,264 |
| 5 | 1,448 |

Observou-se que a melhor posição do dispersor de energia deste equipamento com relação ao orifício do conduto, foi a disposição do rasgo do dispersor na parte superior do conduto e o orifício a um ângulo de 180° a partir da posição do rasgo. Nesta posição o fluido perde toda sua energia hidráulica, tendo acesso ao solo apenas devido à ação da gravidade.

As conclusões técnicas deste equipamento só serão completadas com os ensaios de campo futuramente executados.

5.3 - Micro-Aspersor cônico, conforme as figuras 9 e 10.

Foi feito, em laboratório, a mensuração da capacidade de vazão em função da carga hidráulica, deste equipamento, obtendo assim a curva característica de carga hidráulica versus vazão, conforme figura 10.

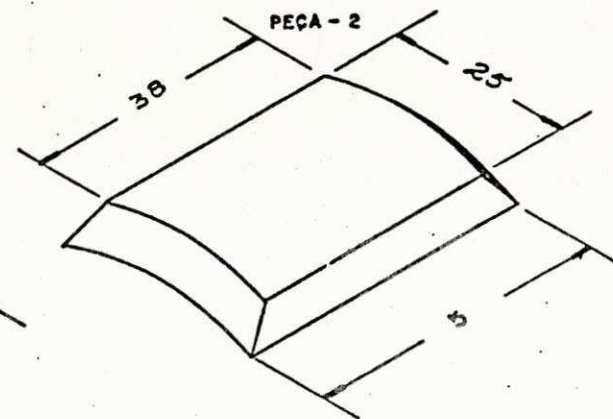
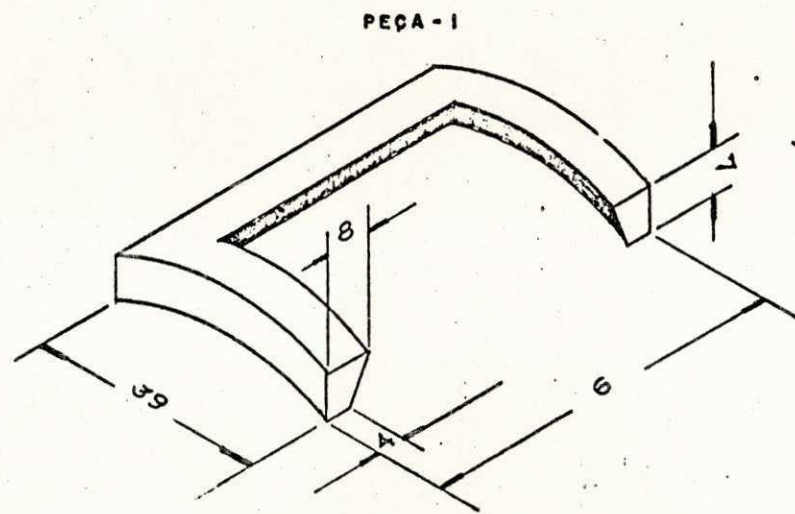
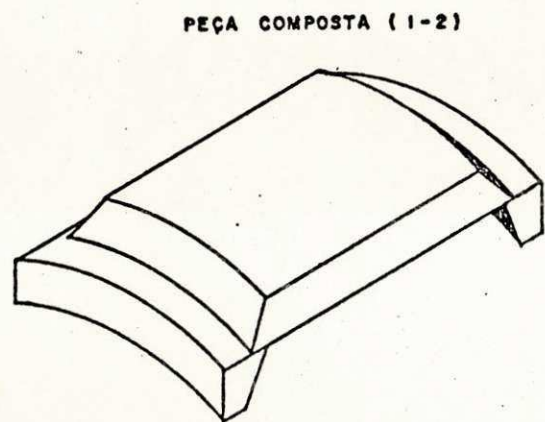


FIGURA 4 - S/Escala

DISPERSOR RETANGULAR DE ENERGIA
PARA TUBO DE PVC RÍGIDO.

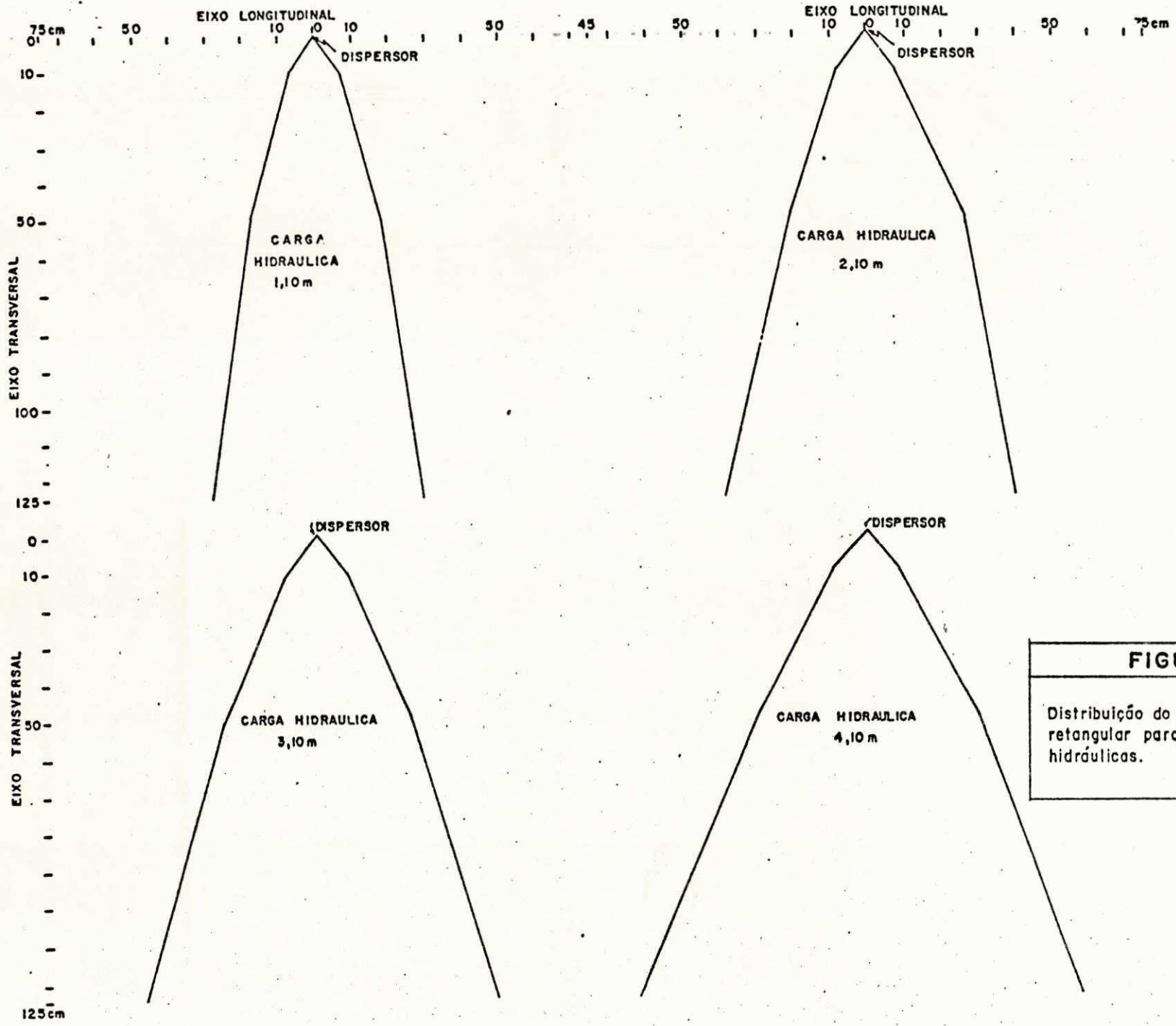


FIGURA 5
 Distribuição do jato d'água no dispersor retangular para diversas cargas hidráulicas.

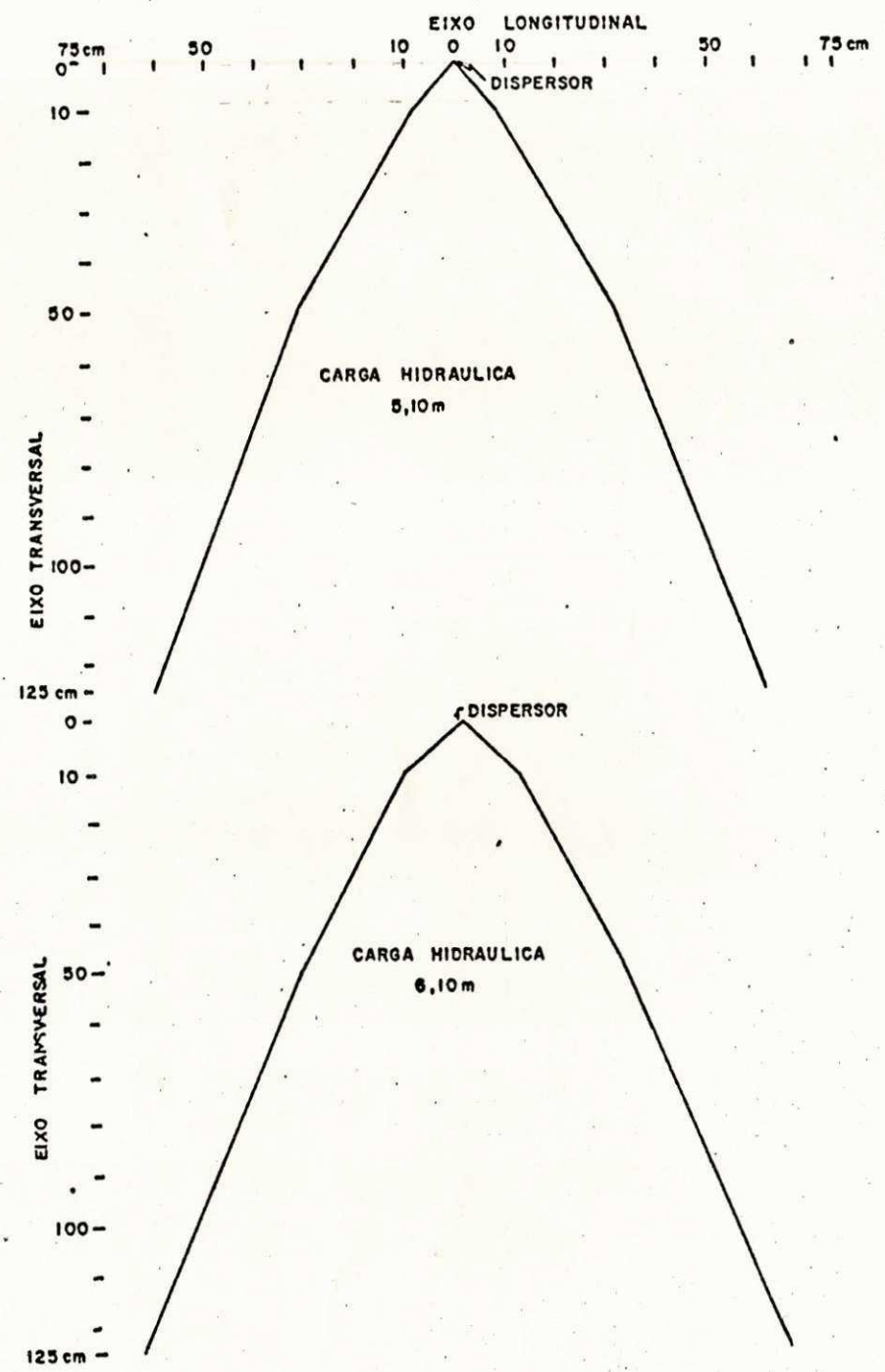
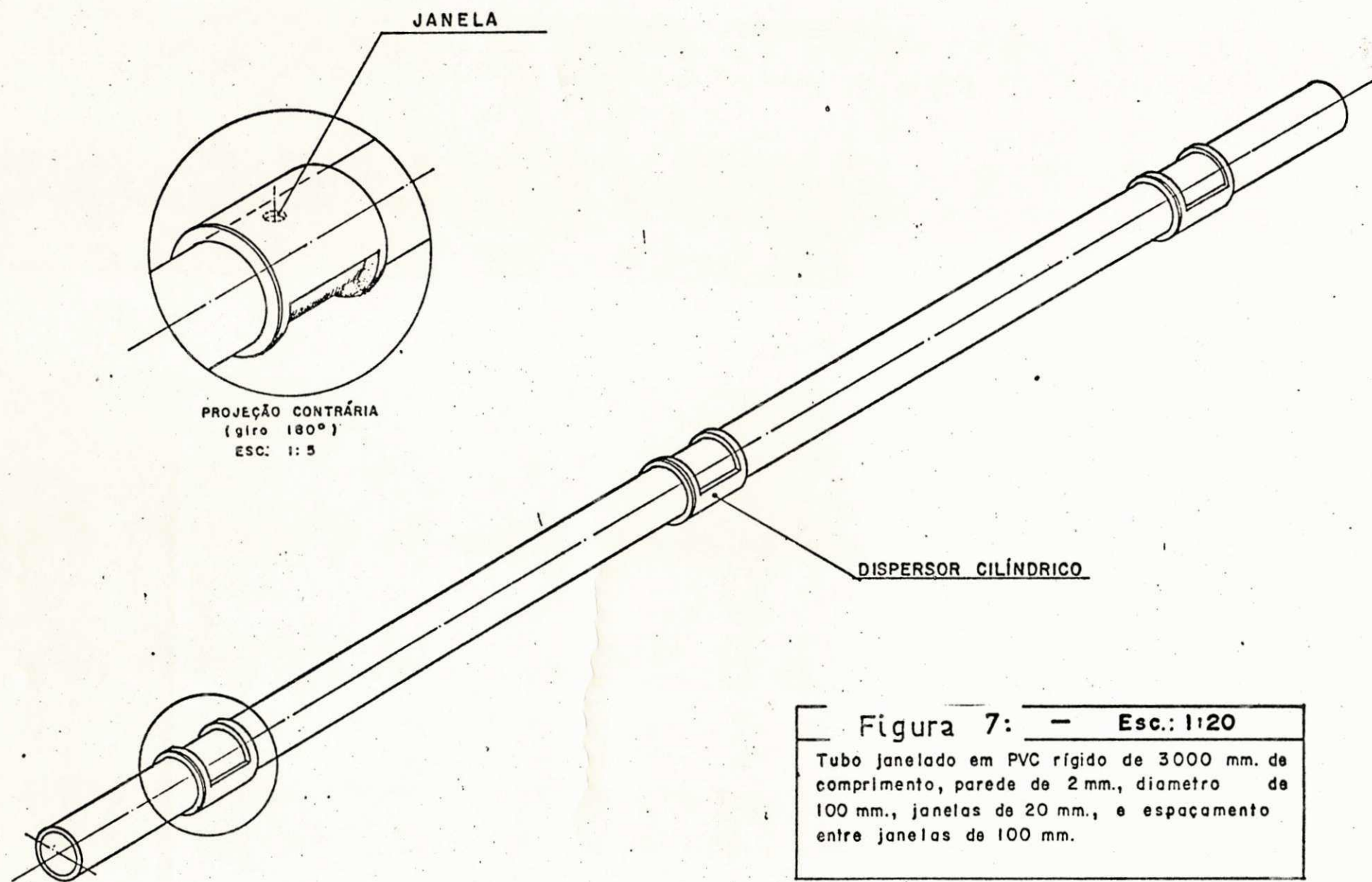


FIGURA 6

Distribuição do jato d'água no dispersor retangular para diversas cargas hidráulicas.



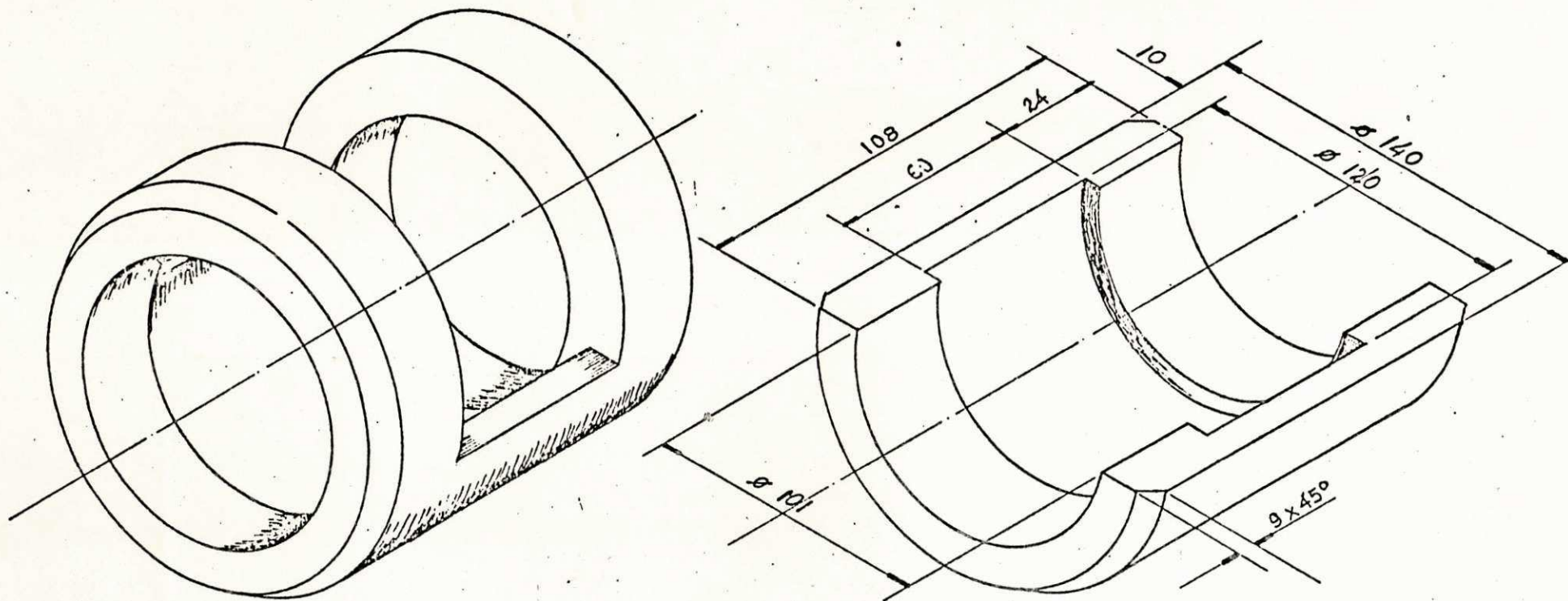


Figura 8 - Esc.: 1:2

DISPERSOR CILINDRICO PARA TUBO DE PVC
RÍGIDO

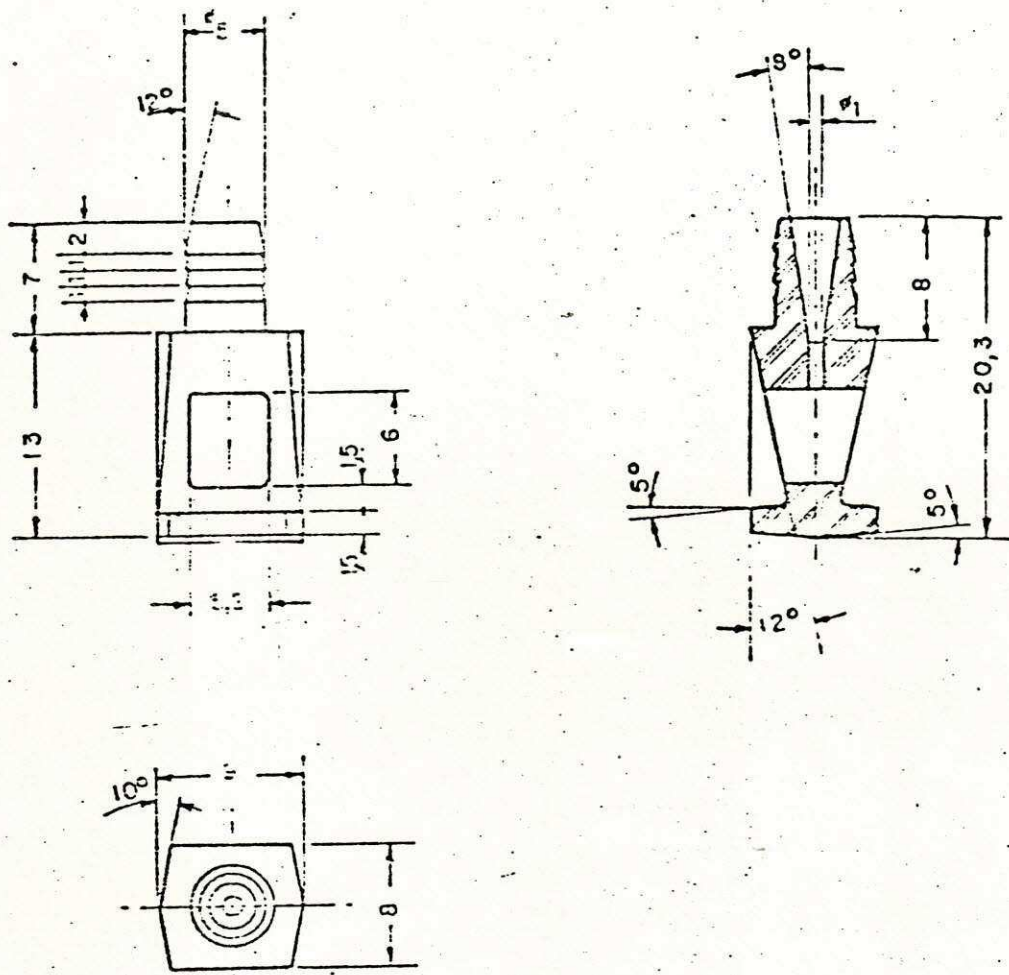


Figura 9
micro aspersor

| | | | |
|-----------------|-----------------------------|--------|---|
| DES. | FEV | AFROV. | CANDEP PESQUISA E DESENVOLVIMENTO LTDA. |
| <i>Diachino</i> | | | |
| 12.02.81 | | | |
| 2:1 | MICRO ASPERSOR IRRIGAÇÃO | | DESENHO N.º MAI-001/01 |

RETA DE COTA x VAZAO
DO MICRO-ASPERSOR
 $\phi=1\text{mm}$

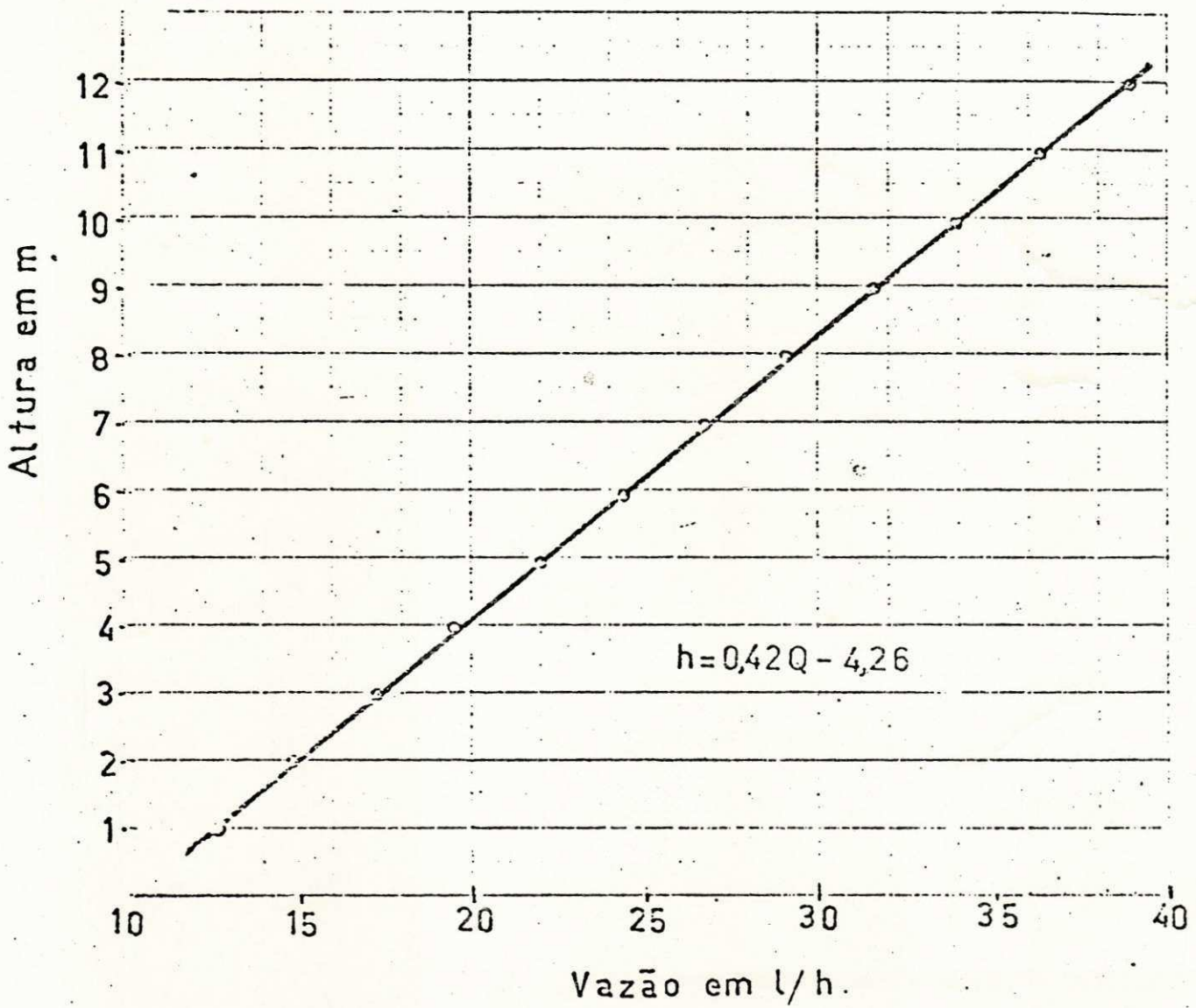


Figura- 10

Os próximos estudos deste equipamento dirão respeito ao desempenho e ao padrão de molhamento.

As figuras de 17 a 27, mostram este equipamento em diversos detalhes, desde sua fabricação à instalação e funcionamento.

Metodologia aplicada à mensuração da capacidade de vazão dos equipamentos apresentados.

Para a medição de vazão nos equipamentos, fez-se a leitura do tempo necessário para se encher um recipiente de volume conhecido em cada ponto de descarga do conduto janelado.

Este processo se repetiu para cada carga hidráulica considerada.

Portanto, como a vazão significa o volume d'água que sai num determinado intervalo de tempo, tem-se que, conhecido este intervalo de tempo e o volume d'água, obtém-se analiticamente a vazão.

5.4 - Janela de borracha, com seção de descarga regulável, conforme mostram as figuras 11, 12, 13, 14, 15 e 16.

Este equipamento, teve até o presente momento apenas sua concepção física e a aferição da lingueta, de forma que se tenha seções e descargas desejadas.

O procedimento de aferição da lingueta encontra-se no anexo II.

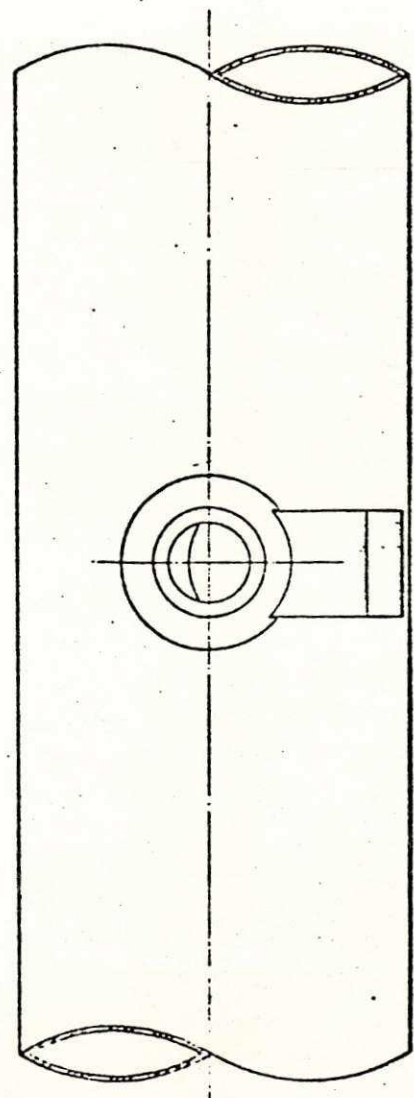
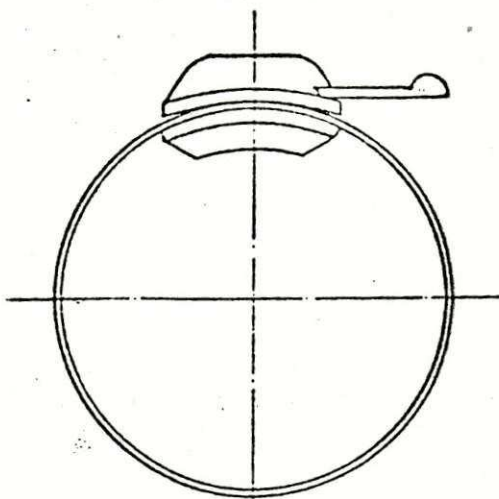


Figura 11
 JANELA COM VAZÃO REGULÁVEL -
 2ª VERSÃO.

| | | | |
|-----------------|------------------|--------|---|
| DES. | REV. | APROV. | CANDEP <small>PROJETOS E DESENVOLVIMENTO LTDA</small> |
| <i>Estevão</i> | <i>Leandro</i> | | |
| 02-4-81 03.V.81 | | | INDUSTRIAL Nº |
| 1:2 | JANELA PARA TUBO | | DESENHO Nº |
| | IRRIGAÇÃO | | DESENHO |
| | - MONTAGEM - | | Nº JTI-002/02 |

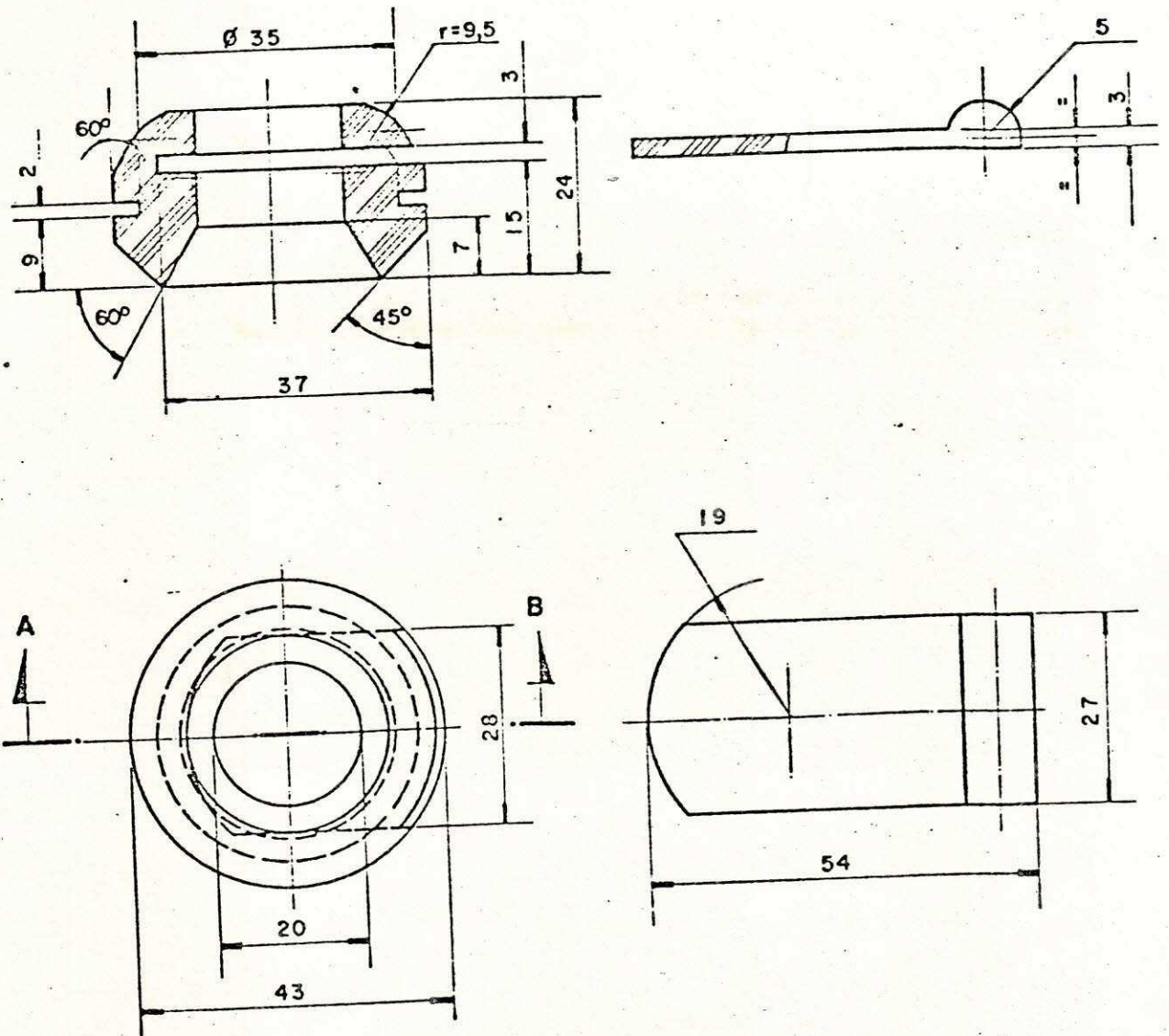


FIGURA 12 -
JANELA COM VAZÃO REGULÁVEL - 2ª VERSÃO.

| | | | |
|----------------------------|--------------------|--------------------|--|
| DES. | REV. | APROV. | CANDEP PESQUISA E DESENVOLVIMENTO LTDA |
| VISTO | <i>[Signature]</i> | <i>[Signature]</i> | |
| DATA | 102-4-81 | 3.4.81 | SUBSTITUIÇÃO |
| ESCALA | 1:1 | | DESENHO |
| JANELA P/TUBO IRRIGAÇÃO | | | Nº JTI-002/01 |



Fig. 13 - Fotografia da janela de borracha, mostrando-a aberta, fechada e a peça de encaixe e ligueta.

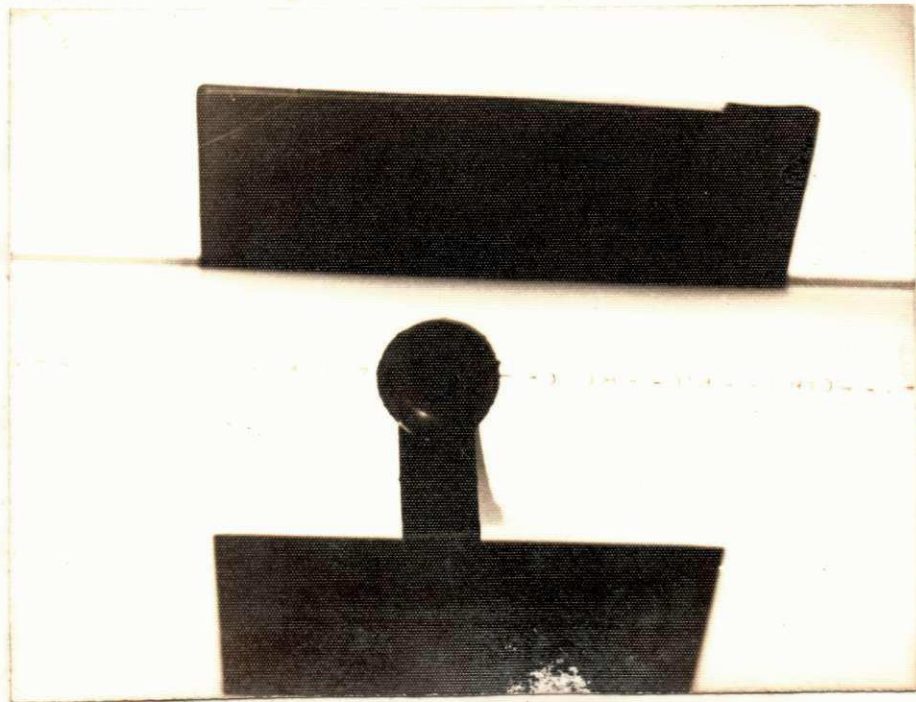


Fig. 14 - Fotografia da janela de borracha, conectada num tubo de PVC.

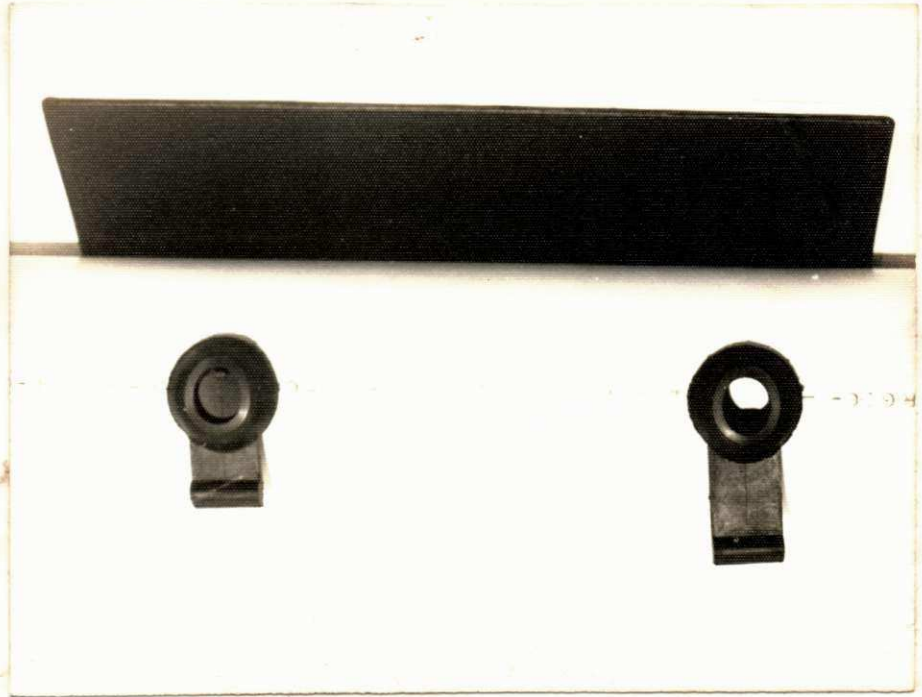


Fig. 15 - Fotografia da janela de borracha, conectada num tubo de PVC, mostrando-a aberta e fechada.

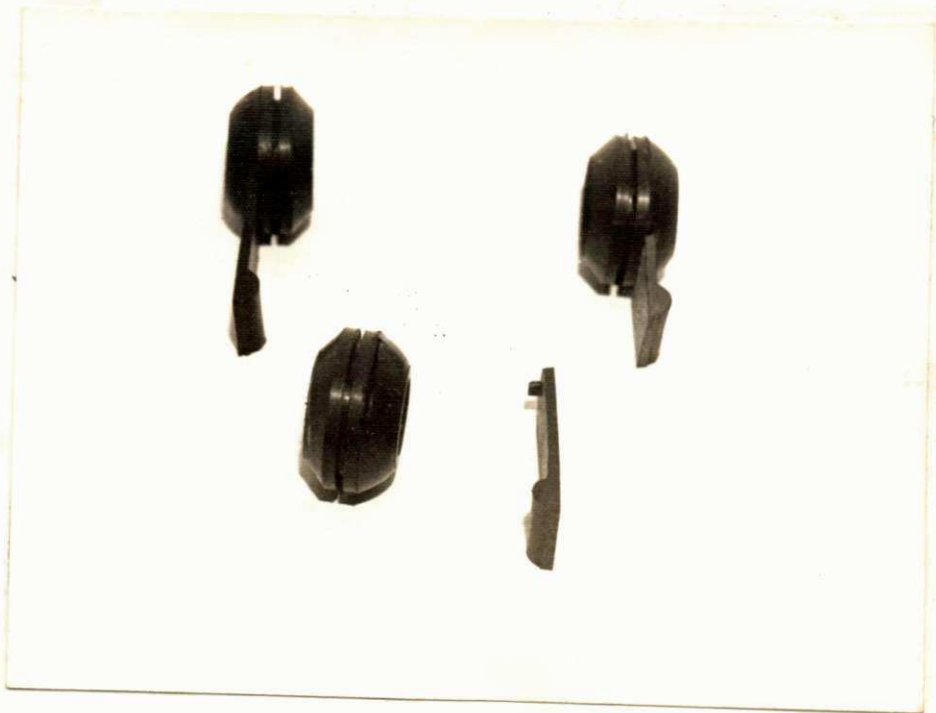


Fig. 16 - Fotografia da janela de borracha, mostrando o conjunto em vista lateral.

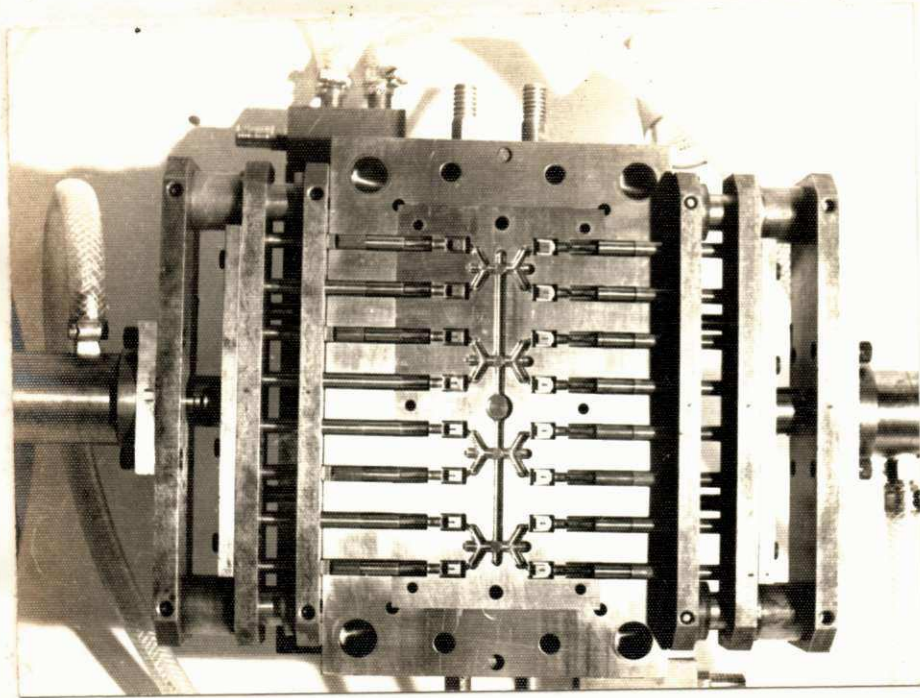


Fig. 17 - Fotografia da matriz de fabricação do micro-aspersador

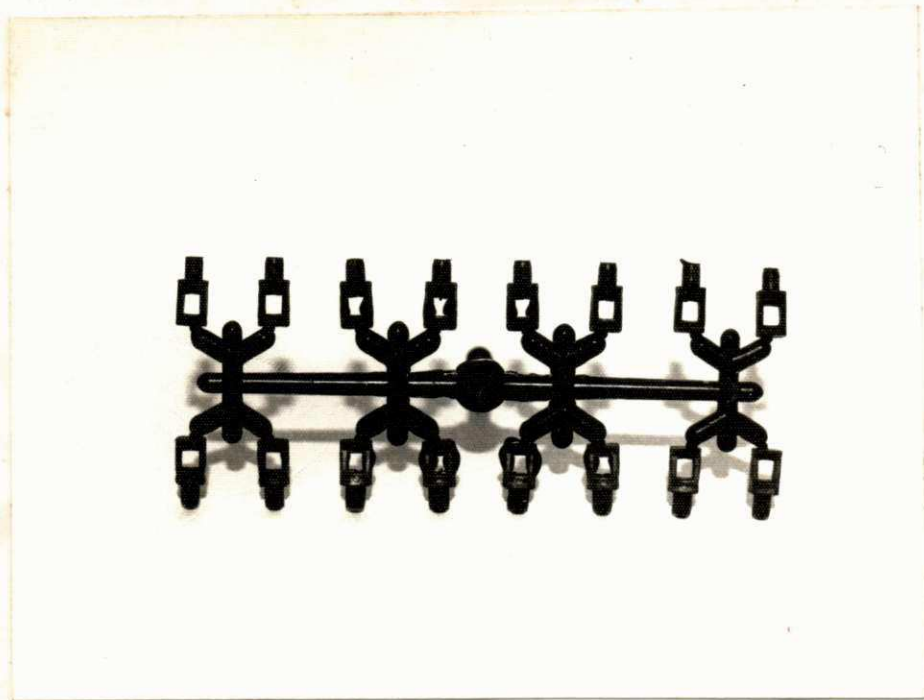


Fig. 18 - Fotografia do Micro-aspersador produzido em série

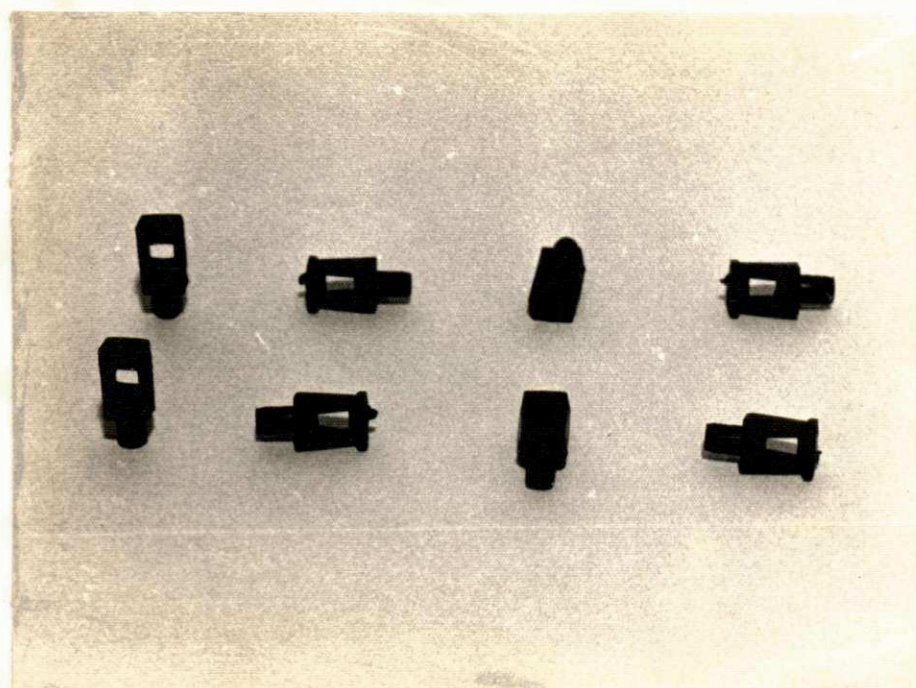


Fig. 19 - Fotografia do Micro-Aspersor de cor preta (adequado)

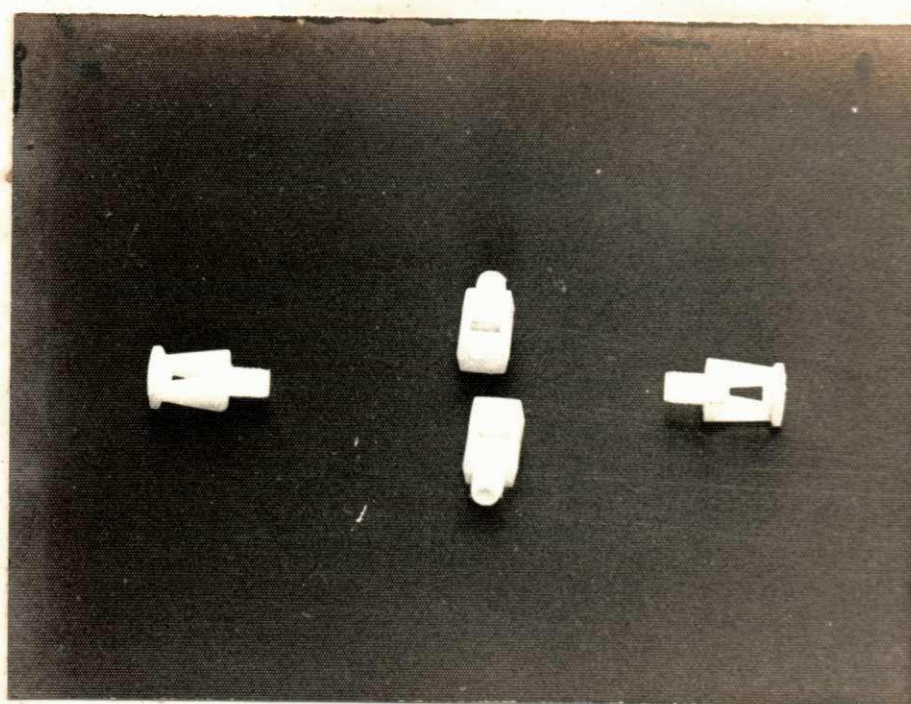


Fig. 20 - Fotografia do Micro-Aspersor de cor branca (Inadequado)

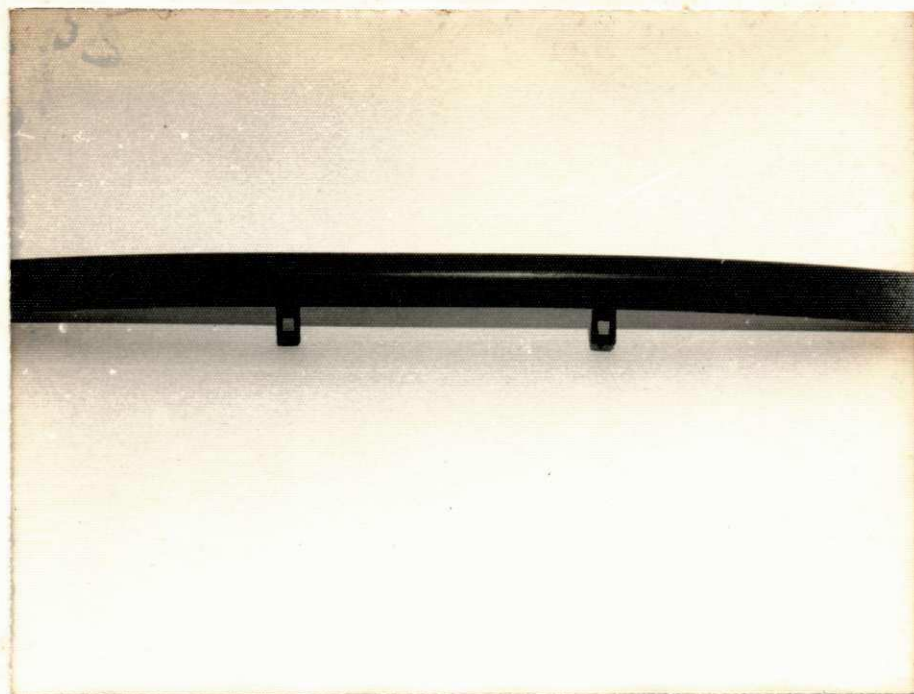


Fig. 21 - Fotografia do Micro-Aspersor conectado na tubulação de uso.



Fig. 22 - Fotografia do Micro-Aspersor conectado na tubulação de serviço.



Fig. 23 - Fotografia das linhas laterais, fixadas em barrotes de madeira na posição das mudas de bananeiras.



Fig. 24 - Fotografia das linhas laterais, fixadas nas extremidades com barroto de madeira.



Fig. 25 - Fotografia de um Micro-Aspersor aspergindo água.



Fig. 26 - Fotografia de um conjunto de microaspersores aspergindo água

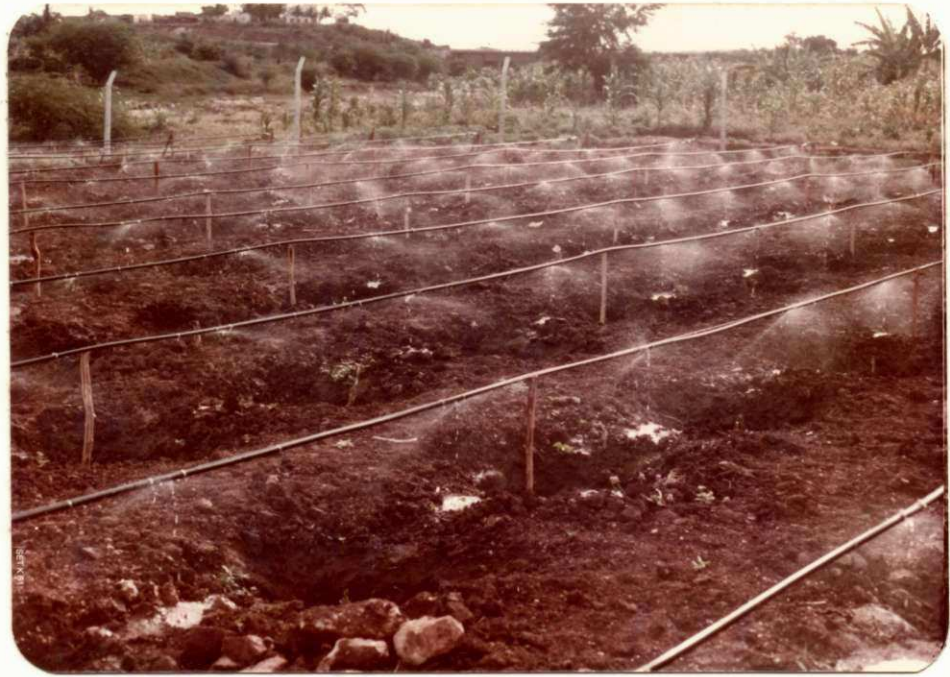


Fig. 27 - Fotografia de um conjunto de Micro-Aspersores aspergindo água.

A N E X O 1

Elaboração do PERT/CPM aplicado ao Projeto.

1. Atividades

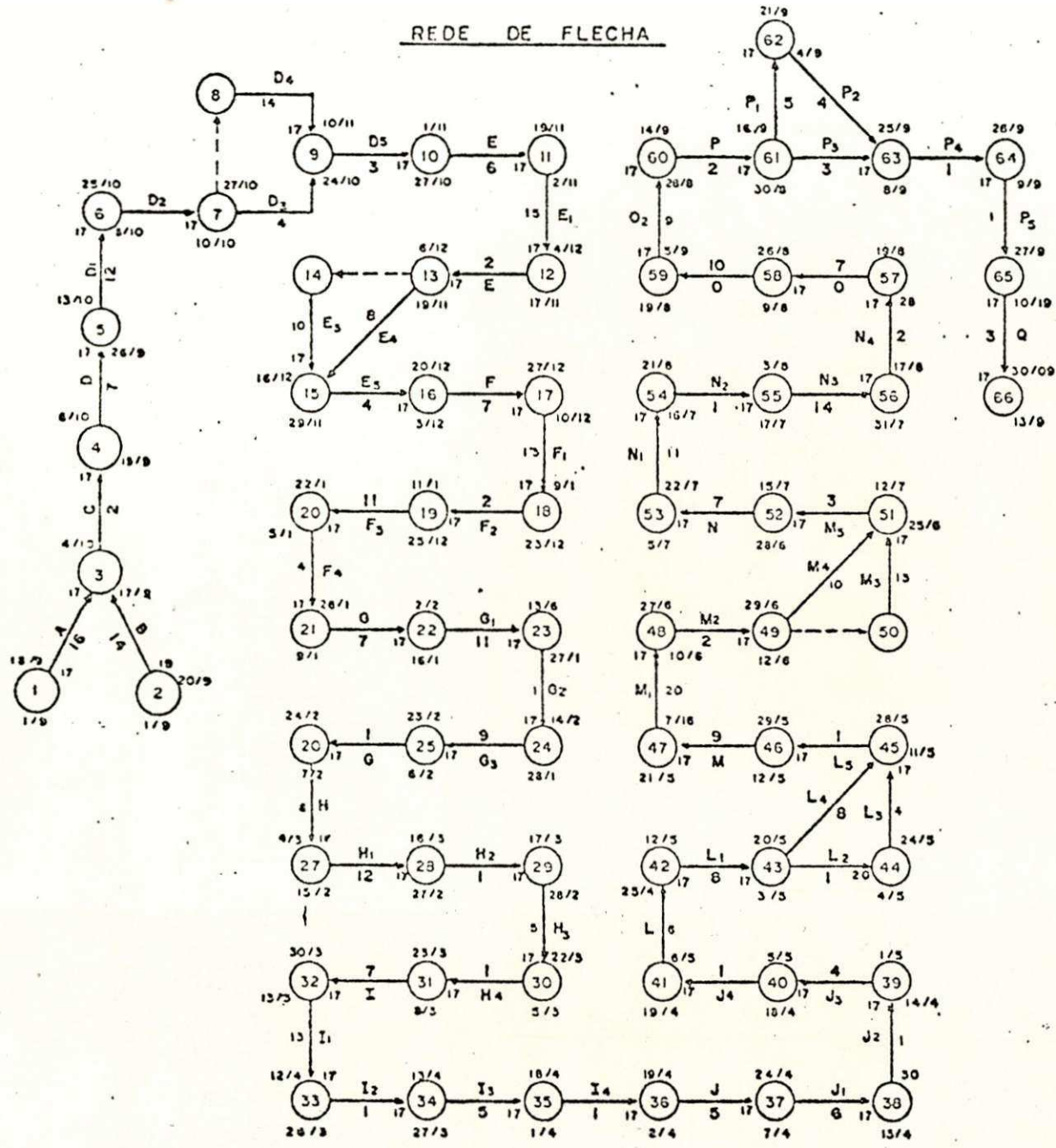
| Nome | Descrição |
|----------------|--|
| A | Revisão bibliográfica |
| B | Aquisição e instalação de infraestrutura adequada |
| C | Desenho em perspectiva e em planta das instalações de apoio. |
| D | Concepção e desenho em perspectiva do tubo janelado provido de um dispersor retangular. |
| D ₁ | Construção do Protótipo |
| D ₂ | Instalação do equipamento |
| D ₃ | Mensuração, em laboratório, de capacidade de vazão para diversas cargas. |
| D ₄ | Verificação em laboratório, da distribuição do jato d'água no dispersor retangular para diversas cargas. |
| D ₅ | Análise teórica dos resultados obtidos experimentalmente. |
| E | Concepção e desenho em perspectiva do tubo janelado provido de um dispersor cilíndrico. |
| E ₁ | Construção do Protótipo |
| E ₂ | Instalação do Equipamento |
| E ₃ | Mensuração em laboratório, da capacidade de vazão para diversas cargas |
| E ₄ | Observações do comportamento do jato d'água no dispersor, para diversas posições do mesmo. |
| E ₅ | Análise teórica dos resultados obtidos experimentalmente. |

| N o m e | D i s c r i m i n a ç ã o |
|----------------|--|
| F | Concepção e desenho em perspectiva do tubo janelado provido de um dispersor com formato em "T" |
| F ₁ | Construção do protótipo |
| F ₂ | Instalação do equipamento |
| F ₃ | Mensuração em laboratório, da capacidade de vazão para diversas cargas. |
| F ₄ | Análise teórica dos resultados obtidos em laboratório |
| G | Concepção, desenho em planta e em vista de um engate rápido, em PVC. |
| G ₁ | Construção do protótipo |
| G ₂ | Instalação do equipamento |
| G ₃ | Verificação em laboratório, de funcionalidade e capacidade operacional |
| G ₄ | Conclusões experimentais |
| H | Concepção e desenho em perspectiva de um engate rápido metálico |
| H ₁ | Construção do protótipo |
| H ₂ | Instalação do Equipamento |
| H ₃ | Verificação em laboratório, de funcionalidade e capacidade operacional |
| I | Concepção e desenho em perspectiva de um engate para tubos de PEAD. |
| I ₁ | Construção do protótipo |
| I ₂ | Instalação do equipamento |
| I ₃ | Verificação em laboratório, de funcionalidade e capacidade operacional. |
| I ₄ | Conclusões experimentais |
| J | Concepção e desenho em planta e em vista de uma conexão para tubo de polietileno. |
| J ₁ | Construção do protótipo |
| J ₂ | Instalação do Equipamento |
| J ₃ | Verificação em laboratório, de funcionalidade e capacidade operacional |

| Nome | D i s c r i m i n a ç ã o |
|----------------|---|
| J ₄ | Conclusões experimentais |
| L | Concepção de um engate misto |
| L ₁ | Construção do protótipo |
| L ₂ | Instalação do equipamento |
| L ₃ | Verificação em laboratório, de funcionalidade e capacidade operacional. |
| L ₄ | Obtenção de fotografias |
| L ₅ | Conclusões experimentais |
| M | Concepção e desenho em perspectiva e em planta de um Micro-Aspersor |
| M ₁ | Construção do protótipo |
| M ₂ | Instalação do equipamento |
| M ₃ | Mensuração em laboratório, da capacidade de vazão para diversas cargas. |
| M ₄ | Obtenção de fotografias |
| M ₅ | Análise teórica dos resultados obtidos experimentalmente. |
| N | Concepção e desenho em planta e em vista de um Gotejador |
| N ₁ | Construção do protótipo |
| N ₂ | Instalação do equipamento |
| N ₃ | Mensuração em laboratório, da capacidade de vazão para diversas cargas |
| N ₄ | Análise teórica dos resultados obtidos experimentalmente. |
| O | Concepção e desenho em planta e em vista de uma janela com vazão regulável. |
| O ₁ | Construção do protótipo |
| O ₂ | Obtenção de fotografias |
| P | Confecção do Relatório ao CNPq |
| P ₁ | Preparo do texto |
| P ₂ | Datilografia |
| P ₃ | Confecção dos desenhos |

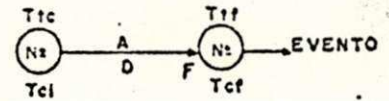
| Nome | D i s c r i m i n a ç ã o |
|----------------|----------------------------|
| P ₄ | Obtenção de cópias |
| P ₅ | Montagem |
| Q | Envio do Relatório ao CNPq |

REDE DE FLECHA



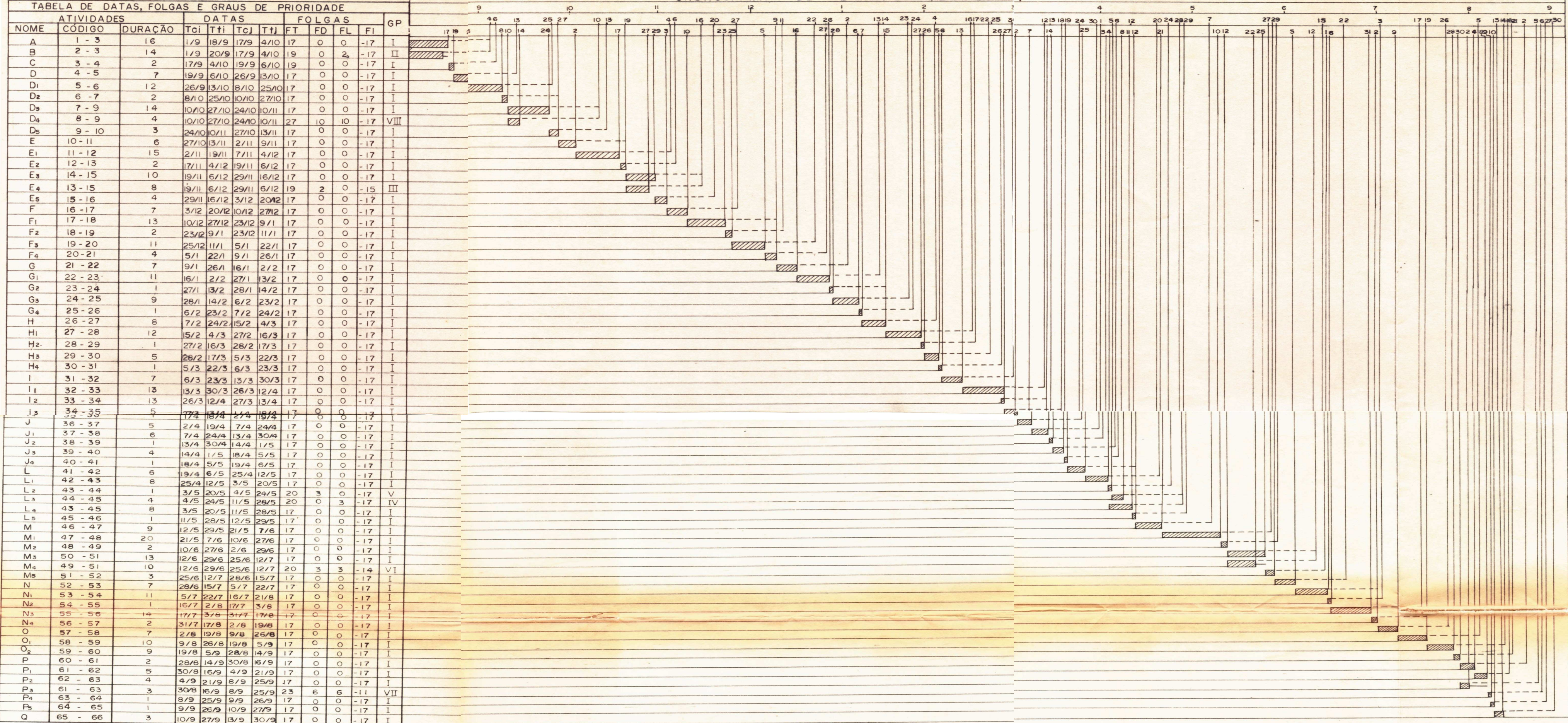
CONVENÇÃO:

- A - ATIVIDADE
- D - DURAÇÃO
- Tci- DATA MAIS CEDO DO EVENTO INICIO
- Tef- DATA MAIS CEDO DO EVENTO FIM
- Tti- DATA MAIS TARDE DO EVENTO INICIO
- Ttf- DATA MAIS TARDE DO EVENTO FIM
- F - FOLGA DO EVENTO
- CAMINHO CRITICO



MODELO PERT/CPM

CRONOGRAMA DE BARRAS (EM DIAS)



CONVENÇÃO:

FOLGA TOTAL - - - - -
FOLGA LIVRE - - - - -

A N E X O I I

5.4.1 - Aferição da Janela de borracha de vazão regulável

A seguir apresenta-se o processo analítico e de computação utilizado para aferição da janela de vazão regulável.

INDICE ANALITICO

Descrição

Título e Figuras

Objetivo, Metodologia Aplicada e Desenvolvimento Matemático

Determinação de $F_1(x)$ e $F_2(x)$

Determinação Analítica de Y 01

Determinação de $G(b)$

Análise dos Resultados e Determinação

Analítica de Y 02

Determinação de $G(a)$

Análise dos Resultados

Determinação Analítica de Y 03

Determinação de $G(a)^*$

Análise dos Resultados

Apêndice A

Determinação de $G(b)$ e $G_1(b)$

Determinação de $G_2(b)$

Determinação de $G_3(b)$

Determinação de $G(a)$

Determinação de $G_1(a)$, $G_2(a)$ e $G_3(a)$

Determinação de $G_4(a)$

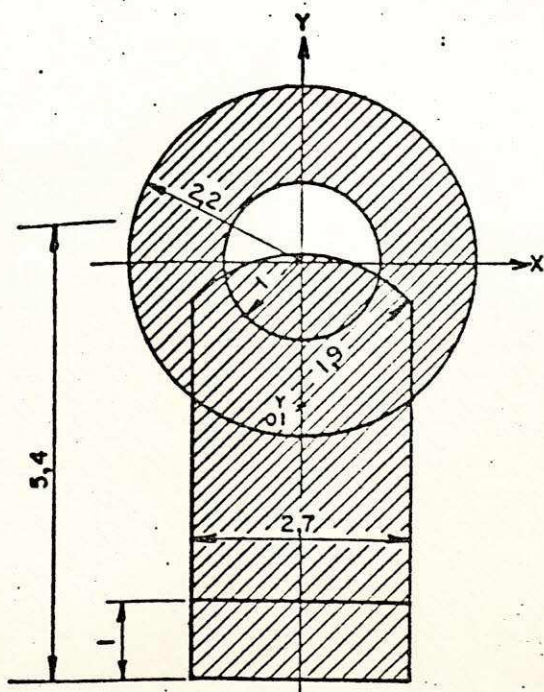
Determinação de $G(a)^*$, $G_2(a)^*$ e $G_3(a)^*$

Determinação de $G_4(a)^*$

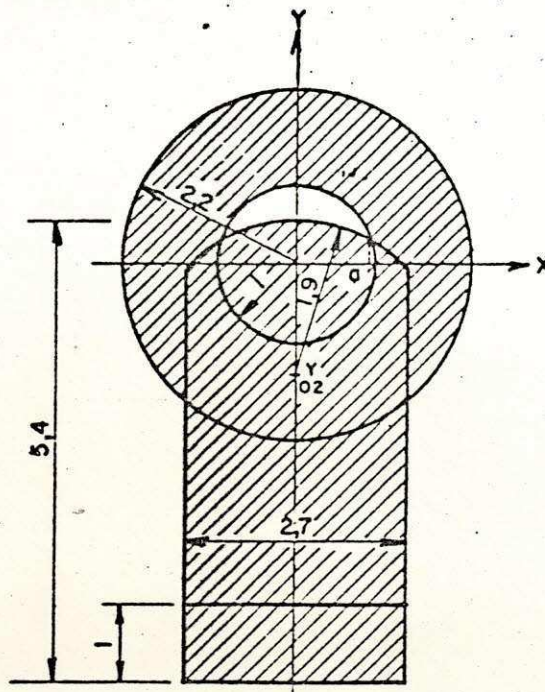
Apêndice B

Figuras 2,3,4, 4A, 4B e 4C

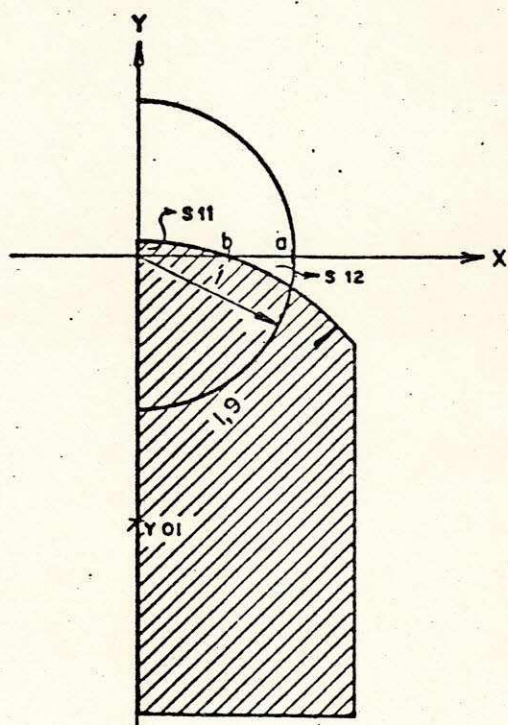
1 - Título: Determinação analítica das posições do centro de circunfe-
rência de raio 1,9 em, tal como mostram as figuras 1.A ,
1.B e 1.C



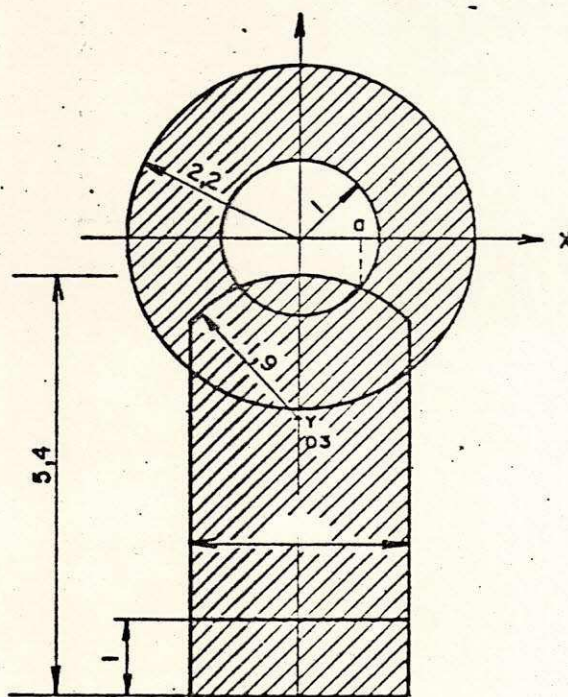
ESCALA: 1:1
FIG. 1.A



ESCALA: 1:1
FIG. 1.B



ESCALA: 2:1
FIG. 1.A.B



ESCALA: 1:1
FIG. 1.C

2 - OBJETIVO

Este trabalho objetiva essencialmente determinar as posições do centro do arco da circunferência de raio 1,9cm no eixo dos Y, de maneira que se obtenha as áreas em branco correspondentes a $\pi/2$, $\pi/4$ e $3\pi/4$ representadas respectivamente nas figuras 1.A, 1.B, e 1.C

3 - METODOLOGIA APLICADA

Para a efetivação deste trabalho usou-se artifícios matemáticos de integração e processamento de dados.

4 - DESENVOLVIMENTO MATEMÁTICO

A equação genérica da circunferência de centro (X_0, Y_0) e raio r é dada pela seguinte expressão:

$$(X-X_0)^2 + (Y-Y_0)^2 = r^2$$

Onde: (X_0, Y_0) e r são respectivamente o centro e o raio da circunferência.

Para a circunferência de centro $(0,0)$ e raio 1 cm, tem-se a seguinte equação:

$$x^2 + y^2 = 1 \quad (1)$$

Portanto as funções cujos os gráficos são os semi-arcos superior e inferior da circunferencia, são dadas por:

$$F_1(x) \pm \sqrt{1 - x^2}$$

Onde: $F_1(x) = \sqrt{1 - x^2}$ e $F_1(x) = -\sqrt{1 - x^2}$ representam respectivamente os semi-arcos superior e inferior da circunferencia de centro (0,0) e raio 1cm.

Para o arco da circunferencia de centro(0, Y_0) e raio 1,9cm, tem-se a seguinte equação:

$$x^2 + (Y - Y_0)^2 = 3,61 \quad (2)$$

Portanto a função cujo o gráfico é o semi- arco superior da circunferencia, é dada por:

$$F_2(x) = Y_0 + \sqrt{3,61 - x^2}$$

Sejam S_1 , S_2 e S_3 as áreas em branco das figuras 1.A, 1.B. e 1.C, respectivamente.

Na determinação da ordenada do centro arco da circunferencia de raio 1,9 cm nas três figuras, usou-se o cálculo de área por integração.

Devido a simetria de área nas três figuras em relação ao eixo Y, considerou-se apenas o cálculo da metade da área desejada.

Determinação da ordenada Y_{01} do centro do arco da circunferência de raio 1,9 na figura 1.A, de maneira que a área em branco S_1 seja $\pi/2 \text{ cm}^2$, isto é 1,57 cm^2 aproximadamente.

Verifica-se na figura 1.A.B que para S_1 aproximadamente 1,57 cm^2 , necessariamente as áreas S_{11} e S_{12} terão que ser iguais.

$$\text{Mas: } S_{11} = \int_0^b F_2(x) dx \text{ e}$$

$$S_{12} = S_{121} + S_{122}$$

$$\text{Onde: } S_{121} = - \int_b^a F_2(x) dx \text{ e}$$

$$S_{122} = - \int_a^1 F_1(x) dx$$

Daí tem-se que:

$$S_{12} = - \int_b^a F_2(x) dx - \int_a^1 F_1(x) dx$$

Como $S_{11} = S_{12}$ vem que:

$$\int_0^b F_2(x) dx = - \int_b^a F_2(x) dx - \int_a^1 F_1(x) dx$$

$$\text{Ou seja: } \int_0^b F_2(x)dx + \int_b^a F_2(x)dx + \int_a^1 F_1(x)dx = 0$$

$$\text{Ou ainda: } \int_0^a F_2(x)dx + \int_a^1 F_1(x)dx = 0 \quad \dots (3)$$

$$\text{Mas } F_2(x) = Y_{01} + \sqrt{3,61 - x^2}$$

$$\text{e } F_1(x) = -\sqrt{1 - x^2}$$

Verifica-se em $F_2(x)$ que além da variável x , existe a incôgnita Y_{01} . Entretanto, pode-se equacionar a relação existente entre Y_{01} e o ponto b de interseção entre as funções

$$F_2(x) = Y_{01} + \sqrt{3,61 - x^2} \quad \text{e } F_3(x) = 0$$

Portanto tem-se que para $x = b$, $F_2(b) = F_3(b)$,

ou seja:

$$Y_{01} + \sqrt{3,61 - b^2} = 0$$

$$\text{Donde: } Y_{01} = -\sqrt{3,61 - b^2} \quad \dots (4)$$

Substituindo Y_{01} em $F_2(x)$ tem-se:

$$F_2(x) = -\sqrt{3,61 - b^2} + \sqrt{3,61 - x^2}$$

O ponto a de interseção às funções $F_1(x)$ e $F_2(x)$ se relaciona com o ponto de interseção b anteriormente mencionado.

Equacionando esta relação, pode-se isolar a deixando-o em função de b para que na resolução da equação 3 seja determinada uma função G, que tenha como variável b.

Portanto tem-se para $X = a$, $F_1(a) = F_2(a)$, ou seja:

$$-\sqrt{1 - a^2} = -\sqrt{3,61 - b^2} + \sqrt{3,61 - a^2}$$

Isolando a na equação acima, tem-se:

$$a = \pm \sqrt{\frac{14,44 - (1 + b^2)^2}{14,44 - 4b^2}}$$

Onde somente serve $a \geq 0$

$$\text{Portanto: } a = \sqrt{\frac{14,44 - (1 + b^2)^2}{14,44 - 4b^2}}$$

Seja a equação 3

$$\int_0^a F_2(x) dx + \int_a^1 F_1(x) dx = 0$$

Substituindo a, $F_2(x)$ e $F_1(x)$ na equação(3)

tem-se:

$$\int_0^1 \frac{14,44 - (1 + b^2)^2}{14,44 - 4b^2} (-\sqrt{3,61 - b^2} + \sqrt{3,61 - x^2}) dx + \int_0^1 \frac{-\sqrt{1 - x^2}}{\sqrt{\frac{14,44 - (1+b^2)^2}{14,44 - 4b^2}}} dx = 0$$

Agora a equação 3 torna-se possível de ser resolvida, uma vez que possui como variáveis, apenas x e b.

Portanto, tem-se que:

$$G(b) = \int_0^1 \frac{\sqrt{14,44 - (1 + b^2)^2}}{14,44 - 4b^2} (-\sqrt{3,61 - b^2} + \sqrt{3,61 - x^2}) dx - \int_0^1 \frac{\sqrt{1 - x^2}}{\sqrt{\frac{14,44 - (1+b^2)^2}{14,44 - 4b^2}}} dx$$

A resolução da integral acima encontra-se no Apêndice A em anexo.

Tem-se então, que:

$$G(b) = -\sqrt{3,61 - b^2} \sqrt{\frac{14,44 - (1 + b^2)^2}{14,44 - 4b^2}} + 1,805 \operatorname{arcsen} \left(\sqrt{\frac{14,44 - (1+b^2)^2}{14,44 - 4b^2}} / 1,9 \right) + 0,5 \sqrt{\frac{14,44 - (1+b^2)^2}{14,44 - 4b^2}}$$

$$\sqrt{3,61 - \frac{14,44 - (1+b^2)^2}{14,44 - 4b^2}} - 0,785 + 0,5 \operatorname{arc} \operatorname{sen} \sqrt{\frac{14,44 - (1+b^2)^2}{14,44 - 4b^2}} +$$

$$+ 05 \sqrt{\frac{14,44 - (1 + b^2)^2}{14,44 - 4b^2}} \cdot \sqrt{1 - \frac{14,44 - (1 + b^2)^2}{14,44 - 4b^2}}$$

Determina-se agora o valor de b para o qual na função $G(b)$ se anula. Este valor pode ser encontrado pelo método iterativo de aproximações sucessivas, ou seja, como se sabe, b encontra-se no intervalo de 0 (zero) a 1, portanto substituindo-se os valores intermediários a este intervalo na função e, b será o valor onde $G(b) = 0$.

Encontrado o valor de b , o substitui na equação (4) determinando assim a posição desejada na figura 1A do centro do arco da circunferencia de raio 1,9 cm.

- Análise dos Resultados

Para a determinação de b e Y_{01} , elaborou-se um programa de processamento de dados, que forneceu os seguintes resultados:

$$b = 0,6 \text{ cm}, G(b) = 0,11 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ e}$$

$$Y_{01} = - 1,8 \text{ cm.}$$

Verifica-se para $b = 0,6$ que o valor da função G se aproximou bastante de zero, satisfazendo assim a condição desejada de $G(b) = 0$

Tem-se portanto na figura 2 a verificação gráfica da área S_1 em branco.

Determinação da ordenada Y_{o2} , do centro do arco da circunferência de raio 1,9 cm, de maneira que a área S_2 em branco na figura 1.B seja $\sqrt{1/4} \text{ cm}^2$, ou seja $0,785 \text{ cm}^2$ aproximadamente.

$$\text{Seja } S_{21} = S_2/2$$

$$S_{21} = \int_0^a F_1(x) - F_2(x) dx$$

$$S_{21} = \int_0^a F_1(x) dx - \int_0^a F_2(x) dx, \text{ onde}$$

$$F_1(x) = \sqrt{1 - x^2} \text{ e } F_2(x) = Y_{o2} + \sqrt{3,61 - x^2}$$

Como o ponto de interseção às funções $F_1(x)$ e $F_2(x)$, tem como abscissa o limite de integração a , pode-se equacionar a variação de Y_{o2} com relação a a .

Portanto para $x = a$, $F_1(a) = F_2(a)$, ou seja:

$$\sqrt{1 - a^2} = Y_{o2} + \sqrt{3,61 - a^2}$$

$$\text{Donde: } Y_{o2} = \sqrt{1 - a^2} - \sqrt{3,61 - a^2} \quad \dots \quad (5)$$

Substituindo Y_{o2} em $F_2(x)$, fica:

$$F_2(x) = \sqrt{1 - a^2} - \sqrt{3,61 - a^2} + \sqrt{3,61 - x^2}$$

Seja a integral S_{21}

$$S_{21} = \int_0^a (F_1(x) - F_2(x)) dx$$

A integral acima fornecerá a metade da área S_2 em branco na figura 1.B, conforme seja o valor de a que varia de 0 (zero) a 1.

Portanto a resolução da referida integral consiste na determinação de uma função G que tenha como variável o limite de integração a .

Como a metade da área S_2 em branco é numericamente conhecida, ou seja, $0,785\text{cm}^2$ aproximadamente, faz-se a função $G(a)$ igual a este valor e, determina-se a de forma que satisfaça a igualdade. Encontrado a o substitui na equação (5), determinando assim a posição do centro do arco da circunferência de raio 1,9cm.

Tem-se então:

$$G(a) = S_{21}$$

$$G(a) = \int_0^a (F_1(x) - F_2(x)) dx$$

$$G(a) = \int_0^a F_1(x) dx - \int_0^a F_2(x) dx$$

$$G(a) = \int_0^a \sqrt{1-x^2} dx - \int_0^a (\sqrt{1-a^2} - \sqrt{3,61-a^2} + \sqrt{3,61-x^2}) dx$$

$$G(a) = \int_0^a \sqrt{1-x^2} dx - \int_0^a \sqrt{1-a^2} dx + \int_0^a \sqrt{3,61-a^2} dx - \int_0^a \sqrt{3,61-x^2} dx$$

As integrais da função $G(a)$ acham-se resolvidas no Apêndice A em anexo.

Tem-se então, que:

$$G(a) = 0,5 \text{ arc sen } a - 0,5 a \sqrt{1 - a^2} + \\ 0,5 a \sqrt{3,61 - a^2} - 1,905 \text{ arc sen } a/1,9$$

Agora determina-se o valor de a para o qual a função $G(a)$ assume o valor $0,3925 \text{ cm}^2$ aproximadamente.

Este valor é encontrado pelo método iterativo de aproximações sucessivas.

Encontrado o valor de a , o substitui na equação (5), determinando então a posição desejada na figura 2, do centro do arco da circunferencia de raio $1,9 \text{ cm}$.

Para a determinação de a e Y_02 elaborou-se um programa de processamento de dados, que forneceu os seguintes resultados.

$$a = 0,976, G(0,976) = 0,3949 \text{ e } Y_02 = -1,4$$

Análise dos Resultados

Verifica-se que o valor de a impresso não satisfaz exatamente a identidade desejada, ou seja :
 $G(a) = 0,3925$.

Entretanto tem-se um erro percentual de apenas:

$$EP (\%) = \frac{Vt - Vo}{Vt} \times 100$$

Onde: EP = erro percentual

Vt = Valor teórico

Vo = valor obtido

$$EP (\%) = \frac{0,3925 - 0,3949}{0,3925} \times 100$$

$$EP = 0,61\%$$

Tem-se portanto na figura 3 a verificação gráfica da área S_2 em branco.

Determinação da ordenada Yo_3 , do centro do arco da circunferência de raio 1,9 cm, de modo que a área S_3 em branco na figura 1C seja $3\pi/4 \text{ cm}^2$, ou seja, $2,355 \text{ cm}^2$ aproximadamente.

Seja a seguinte função integral:

$$- \int_0^a F_1(x) - F_2(x) dx$$

$$\text{Onde: } F_1(x) = - \sqrt{1 - x^2}$$

$$F_2(x) = Yo_2 + \sqrt{3,61 - x^2}$$

O ponto de interseção às funções $F_1(x)$ e $F_2(x)$ tem como abscissa o limite de integração a . Com isto pode-se equacionar a variação de Yo_3 com a , igualando as duas funções.

Portanto para $x = a$, $F_1(a) = F_2(a)$, ou seja:

$$-\sqrt{1 - a^2} = Y_{o2} + \sqrt{3,61 - a^2}$$

$$\text{D\~{o}nde: } Y_{o3} = -\sqrt{1 - a^2} - \sqrt{3,61 - a^2} \quad (6)$$

Substituindo Y_{o3} em $F_2(x)$, tem-se:

$$F_2(x) = -\sqrt{1 - a^2} - \sqrt{3,61 - a^2} + \sqrt{3,61 - x^2}$$

Seja ent\~{a}o:

$$-\int_0^a (-\sqrt{1 - x^2} + \sqrt{1 - a^2} + \sqrt{3,61 - x^2} - \sqrt{3,61 - a^2}) dx$$

A integral acima fornece a \~{a}rea achuriada da circunferencia de raio 1 cm na figura 1.C a qual varia de acordo com o a , que assume valores de 0 (zero a 1).

Se se determina a ordenada Y_{o3} para uma \~{a}rea achuriada de $\pi/4 \text{ cm}^2$, tem-se ent\~{a}o para esta mesma posi\~{c}o, uma \~{a}rea S_3 em branco com $3\pi/4 \text{ cm}^2$.

Verifica-se que na resolu\~{c}o da referida integral determina-se-\~{a} uma fun\~{c}o $G(a)$

Tem - se portanto, que:

$$G(a)_* = \int_0^a (\sqrt{1 - x^2} - \sqrt{1 - a^2} - \sqrt{3,61 - a^2} + \sqrt{3,61 - x^2}) dx$$

Ou ainda:

$$G(a)_* = \int_0^a \sqrt{1-x^2} dx - \int_0^a \sqrt{1-a^2} dx - \int_0^a \sqrt{3,61-a^2} dx + \int_0^a \sqrt{3,61-x^2} dx$$

As integrais da função $G(a)_*$ encontram-se resolvidas no Apendice A.

Entao tem-se:

$$G(a)_* = 0,5 \text{ arc (sen } a) - 0,5 a \sqrt{1-a^2} - 0,5 a \sqrt{3,61-a^2} + 1,805 \text{ arc sen } a/1,9$$

Determinada a função $G(a)_*$ sua resolução consiste em se achar um valor de a que faça a referida função igual a $0,3925 \text{ cm}^2$. Este valor é determinado pelo método iterativo de aproximações sucessivas. Encontrado a o substitui na equação (6), determinando então o Y_{03} .

Para a determinação de a e Y_{03} foi elaborado um programa de processamento de dados, o qual fornecem os seguintes resultados:

$$a = 0,8469 \text{ cm}, G(0,8469)_* = 0,3937 \text{ cm}^2 \text{ e}$$

$$Y_{03} = - 2,2 \text{ cm}$$

Análise dos Resultados

Verifica-se que o valor de a impresso não satisfaz exatamente a identidade desejada, ou seja:

$$G(a)^* = 0,3925 \text{ cm}^2$$

Entretanto tem-se um erro percentual perfeitamente admissível de:

$$EP (\%) = \frac{0,3925 - 0,3957}{0,3925}$$

$$EP = 0,3\%$$

Tem-se na figura 4 a verificação gráfica da área S_3 em branco.

5 - CONCLUSÃO

Nas Figuras 4A, 4B e 4C do apêndice B estão indicadas as posições relativas das linguetas de regulagem da janela.

Na Figura 4A tem-se a posição relativa da lingueta (2,35cm) para seção de escoamento igual a $\pi/2 = 1,57 \text{ cm}^2$.

Na Figura 4B tem-se a posição relativa da lingueta (2,7cm) para seção de escoamento igual a $\pi/4 = 0,785 \text{ cm}^2$.

Na Figura 4C tem-se a posição relativa da lingueta (1,9cm) para seção de escoamento igual a $3\pi/4 = 2,355 \text{ cm}^2$.

APENDICE A

Apêndice A

1 - Determinação de $G(b)$

$$G(b) = \int_0^a (-\sqrt{3,61 - b^2} + \sqrt{3,61 - x^2}) dx + \int_0^a -\sqrt{1-x^2} dx$$

$$G(b) = \int_0^a -\sqrt{3,61 - b^2} dx + \int_0^a \sqrt{3,61 - x^2} dx +$$

$$\int_a^1 -\sqrt{1 - x^2} dx$$

$$\text{Sejam: } G_1(b) = \int_0^a -\sqrt{3,61 - b^2} dx$$

$$G_2(b) = \int_0^a \sqrt{3,61 - x^2} dx$$

$$G_3(b) = \int_a^1 -\sqrt{1 - x^2} dx$$

Tem-se então, que:

$$G(b) = G_1(b) + G_2(b) + G_3(b)$$

1.1 - Determinação de $G_1(b)$

$$G_1(b) = \int_0^a -\sqrt{3,61 - b^2} dx$$

$$G_1(b) = -\sqrt{3,61 - b^2} a$$

Substituindo a em $G_1(b)$, fica-se com:

$$G_1(b) = -\sqrt{3,61 - b^2} \sqrt{\frac{14,44 - (1+b^2)^2}{14,44 - 4b^2}}$$

1.2 - Determinação de $G_2(b)$

$$G_2(b) = \int_0^a \sqrt{3,61 - x^2} dx$$

Seja a integral indefinida:

$$I = \int \sqrt{t^2 - x^2} dx$$

A integral I é resolvida por substituição.

Seja $x = t \operatorname{sen} \theta$

A derivada de x com relação a θ é:

$$\frac{dx}{d\theta} = t \cos \theta \quad dx = t \cos \theta d\theta$$

$$I = \int \sqrt{t^2 - (t \operatorname{sen} \theta)^2} t \cos \theta \, d\theta$$

$$I = \int \sqrt{t^2 (1 - \operatorname{sen}^2 \theta)} t \cos \theta \, d\theta$$

$$I = \int t^2 \sqrt{1 - \operatorname{sen}^2 \theta} t \cos \theta \, d\theta$$

$$I = t^2 \int \sqrt{1 - \operatorname{sen}^2 \theta} \cos \theta \, d\theta$$

Mas $\cos^2 \theta = 1 - \operatorname{sen}^2 \theta$

$$I = t^2 \int \sqrt{\cos^2 \theta} \cos \theta \, d\theta$$

$$I = t^2 \int \cos^2 \theta \, d\theta$$

Tem-se que: $\cos \theta = \frac{1 + \cos 2\theta}{2}$

$$I = t^2 \int \frac{1 + \cos 2\theta}{2} \, d\theta$$

$$I = t^2 \left(\int \frac{1}{2} \, d\theta + \int \frac{\cos 2\theta}{2} \, d\theta \right)$$

$$I = t^2 \left(\frac{\theta}{2} + c_1 + \frac{\operatorname{sen} 2\theta}{4} + c_2 \right)$$

$$I = t^2 \left(\frac{\theta}{2} + \frac{\operatorname{sen} 2\theta}{4} + c \right)$$

Como $\operatorname{sen} 2\theta = 2 \cos \theta \operatorname{sen} \theta$, tem-se então:

$$I = t^2 \left(\frac{\theta}{2} + \frac{2 \cos \theta \operatorname{sen} \theta}{4} + c \right)$$

Como $x = t \operatorname{sen} \theta$, tem-se que:

$$\operatorname{sen} \theta = x/t, \quad \theta = \operatorname{arc} \operatorname{sen} x/t \quad \text{e} \quad \cos \theta = \sqrt{t^2 - x^2}/t$$

Substituindo θ , $\operatorname{sen} \theta$ e $\cos \theta$ em I, tem-se:

$$I = t^2 \left(1/2 \operatorname{arc} \operatorname{sen} x/t + 1/2 \frac{x \sqrt{t^2 - x^2} + c}{t^2} \right)$$

$$I = 1/2 \cdot (t^2 \operatorname{arc} \operatorname{sen} x/t + x \sqrt{t^2 - x^2} + c) \quad (1)$$

Retomando a integral $G_2(b)$, tem-se:

$$G_2(b) = \int_0^a \sqrt{3,61 - x^2} dx$$

Como $I = \int \sqrt{t^2 - x^2} dx$, verifica-se que t em $G_2(b)$ é igual a 1,9.

Portanto substituindo $t = 1,9$ e a variação de x , que é de 0 (zero) a a na equação (1), tem-se:

$$G_2(b) = 1/2 (3,61 \operatorname{arc} \operatorname{sen} x/1,9 + x \sqrt{3,61 - x^2}) \Big|_0^a$$

$$G_2(b) = 1/2 (3,61 \operatorname{arc} \operatorname{sen} a/1,9 + a \sqrt{3,61 - a^2})$$

Como $a = \sqrt{\frac{14,44 - (1 + b^2)^2}{14,44 - 4b^2}}$, $G_2(b)$ fica:

$$G_2(b) = 1/2 (3,61 \operatorname{arc} \operatorname{sen} \left(\sqrt{\frac{14,44 - (1 + b^2)^2}{14,44 - 4b^2}} / 1,9 \right) +$$

$$+ \sqrt{\frac{14,44 - (1 + b^2)^2}{14,44 - 4b^2}} \cdot \sqrt{3,61 - \frac{44,44 - (1 + b^2)^2}{44,44 - 4b^2}})$$

$$G_2(b) \cong 1,805 \operatorname{arc} \operatorname{sen} \left(\sqrt{\frac{14,44 - (1+b^2)}{14,44 - 4b^2}} \right) / 1,9 +$$

$$0,5 \sqrt{\frac{14,44 - (1+b^2)^2}{14,44 - 4b^2}} \sqrt{3,61 - \frac{14,44 - (1+b^2)^2}{14,44 - 4b^2}}$$

1.3 - Determinação de $G_3(b) = - \int_a^1 \sqrt{1-x^2} dx$

Sendo $I = \int \sqrt{t^2 - x^2} dx$, verifica-se que t em $G_3(b)$ é igual a 1.

Portanto substituindo $t = 1$ e a variação de x , que é de a a 1, na equação (1), tem-se:

$$G_3(b) = - 1/2 (\operatorname{arc} \operatorname{sen} x + x \sqrt{1-x^2}) \Big|_a^1$$

$$G_3(b) = - 1/2 (\pi/2 - \operatorname{arc} \operatorname{sen} a - a \sqrt{1-a^2})$$

$$G_3(b) \cong - 0,785 + 0,5 \operatorname{arc} \operatorname{sen} a + 0,5 a \sqrt{1-a^2}$$

Substituindo a em $G_3(b)$, tem-se:

$$G_3(b) \cong - 0,785 + 0,5 \operatorname{arc} \operatorname{sen} \left(\sqrt{\frac{14,44 - (1+b^2)^2}{14,44 - 4b^2}} \right)$$

$$+ 0,5 \sqrt{\frac{14,44 - (1+b^2)^2}{14,44 - 4b^2}} \sqrt{1 - \frac{14,44 - (1+b^2)^2}{14,44 - 4b^2}}$$

Como $G(b) = G_1(b) + G_2(b) + G_3(b)$ tem-se que:

$$G(b) \cong - \sqrt{3,61 - b^2} \sqrt{\frac{14,44 - (1+b^2)^2}{14,44 - 4b^2}} +$$

$$1,805 \text{ arc sen } \left(\sqrt{\frac{14,44 - (1 + b^2)^2}{14,44 - 4b^2}} / 1,9 \right) +$$

$$0,5 \sqrt{\frac{14,44 - (1 + b^2)^2}{14,44 - 4b^2}} \quad \sqrt{3,61 - \frac{14,44 - (1 + b^2)^2}{14,44 - 4b^2}}$$

$$- 0,785 + 0,5 \text{ arc sen } \left(\sqrt{\frac{14,44 - (1 + b^2)^2}{14,44 - 4b^2}} \right) +$$

$$0,5 \sqrt{\frac{14,44 - (1 + b^2)^2}{14,44 - 4b^2}} \quad \sqrt{1 - \frac{14,44 - (1 + b^2)^2}{14,44 - 4b^2}}$$

2 - Determinação de G(a)

$$G(a) = \int_0^a \sqrt{1 - x^2} dx - \int_0^a \sqrt{1 - a^2} dx + \int_0^a \sqrt{3,61 - a^2} dx \\ - \int_0^a \sqrt{3,61 - x^2} dx$$

Sejam:

$$G_1(a) = \int_0^a \sqrt{1 - x^2} dx$$

$$G_2(a) = - \int_0^a \sqrt{1 - a^2} dx$$

$$G_3(a) = \int_0^a \sqrt{3,61 - a^2} dx$$

$$G_4(a) = - \int_0^a \sqrt{3,61 - x^2} dx$$

Tem-se então, que:

$$G(a) = G_1(a) + G_2(a) + G_3(a) + G_4(a)$$

2.1 - Determinação de $G_1(a)$

$$G_1(a) = \int_0^a \sqrt{1-x^2} dx$$

Conforme resolução anterior, substitui-se $t = 1$ e a variação de x , que é de 0 (zero) a a , na equação (1)

$$G_1(a) = 1/2 (\text{Arc sen } x + x \sqrt{1-x^2}) \Big|_0^a$$

$$G_1(a) = 1/2 (\text{arc sen } a + a \sqrt{1-a^2})$$

$$G_1(a) \cong 0,5 \text{ arc sen } a + 0,5 a \sqrt{1-a^2}$$

2.2 - Determinação de $G_2(a)$

$$G_2(a) = - \int_0^a \sqrt{1-a^2} dx$$

$$G_2(a) \cong - \sqrt{1-a^2} a$$

2.3 - Determinação de $G_3(a)$

$$G_3(a) = \int_0^a \sqrt{3,61 - a^2} dx$$

$$G_3(a) \cong \sqrt{3,61 - a^2} a$$

2.4 - Determinação de $G_4(a)$

$$G_4(a) = - \int_0^a \sqrt{3,61 - x^2} dx$$

Conforme resolução anterior, substitui-se $t = 1,9$ e a variação de x , que é de 0 (zero) a a , na equação (1)

$$G_4(a) = - 1/2 (3,61 \text{ arc sen } x/1,9 + x \sqrt{3,61 - x^2}) \Big|_0^a$$

$$G_4(a) = - 1/2 (3,61 \text{ arc sen } a/1,9 + a \sqrt{3,61 - a^2})$$

$$G_4(a) \cong - 1,805 \text{ arc sen } a/1,9 - 0,5 a \sqrt{3,61 - a^2}$$

Portanto, tem-se

$$G(a) = 0,5 \text{ arc sen } a + 0,5 a \sqrt{1 - a^2} - a \sqrt{1 - a^2}$$

$$+ a \sqrt{3,61 - a^2} - 1,805 \text{ arc sen } a/1,9 - 0,5 a \sqrt{3,61 - a^2}$$

$$G(a) \cong 0,5 \text{ arc sen } a - 0,5 a \sqrt{1 - a^2} +$$

$$0,5 a \sqrt{3,61 - a^2} - 1,805 \text{ arc sen } a/1,9$$

3 - Determinação de $G(a)^*$

$$G(a)^* = \int_0^a \sqrt{1 - x^2} dx - \int_0^a \sqrt{1 - a^2} dx - \int_0^a \sqrt{3,61 - a^2} dx$$

$$\int_0^a \sqrt{3,61 - x^2} dx$$

Sejam:

$$G_1(a)^* = \int_0^a \sqrt{1-x^2} dx$$

$$G_2(a)^* = - \int_0^a \sqrt{1-a^2} dx$$

$$G_3(a)^* = - \int_0^a \sqrt{3,61-a^2} dx$$

$$G_4(a)^* = \int_0^a \sqrt{3,61-x^2} dx$$

Tem-se então, que:

$$G(a)^* = G_1(a)^* + G_2(a)^* + G_3(a)^* + G_4(a)^*$$

3.1 - Determinação de $G_1(a)^*$

$$G_1(a)^* = \int_0^a \sqrt{1-x^2} dx$$

Conforme resolução anterior, tem-se:

$$G_1(a)^* \cong 0,5 \text{ arc sena} + 0,5 a \sqrt{1-a^2}$$

3.2 - Determinação de $G_2(a)^*$

$$G_2(a)^* = - \int_0^a \sqrt{1-a^2} dx$$

Conforme resolução anterior, tem-se:

$$G_2(a)^* \cong - a \sqrt{1-a^2}$$

3.3 - Determinação de $G_3(a)_*$

$$G_3(a)_* = - \int_0^a \sqrt{3,61 - a^2} \, dx$$

Conforme resolução anterior, tem-se:

$$G_3(a)_* \cong - a \sqrt{3,61 - a^2}$$

3.4 - Determinação de $G_4(a)_*$

$$G_4(a)_* = \int_0^a \sqrt{3,61 - x^2} \, dx$$

Conforme resolução anterior, tem-se:

$$G_4(a)_* \cong 1,805 \operatorname{arc} \operatorname{sen} a/1,9 + 0,5 a \sqrt{3,61 - a^2}$$

Portanto, tem-se:

$$G(a)_* = 0,5 \operatorname{arc} \operatorname{sen} a + 0,5 a \sqrt{1 - a^2}$$

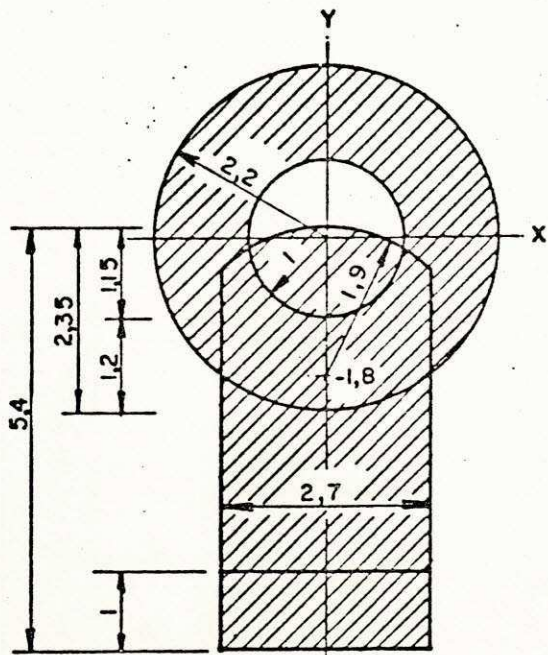
$$- a \sqrt{1 - a^2} - a a \sqrt{3,61 - a^2} + 1,805 \operatorname{arc} \operatorname{sen} a/1,9$$

$$+ 0,5 a \sqrt{3,61 - a^2}$$

$$G(a)_* \cong 0,5 \operatorname{arc} \operatorname{sen} a - 0,5 a \sqrt{1 - a^2}$$

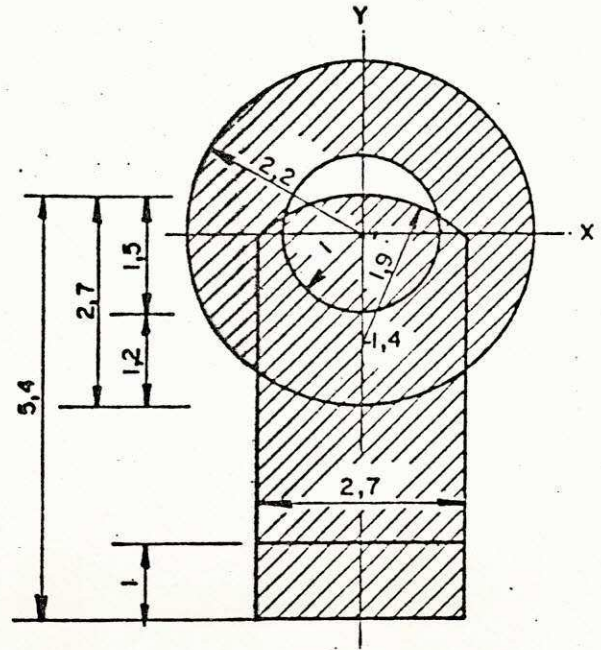
$$- 0,5 a \sqrt{3,61 - a^2} + 1,805 \operatorname{arc} \operatorname{sen} a/1,9$$

A P E N D I C E B



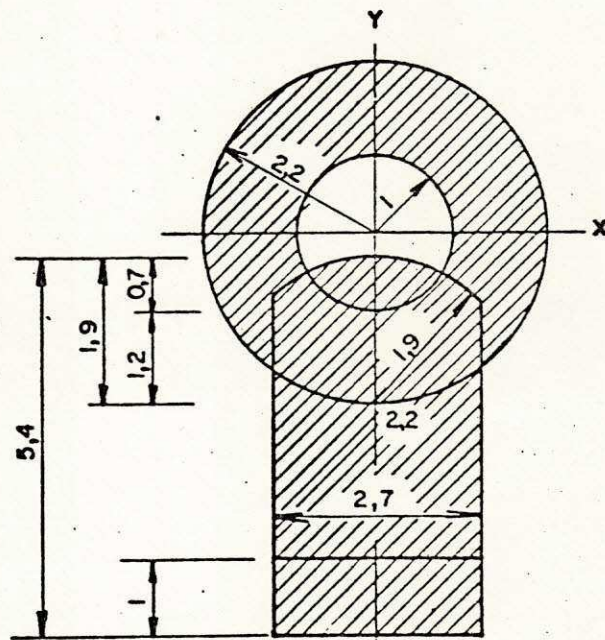
ESCALA: 1:1

FIG. 2 - Verificação gráfica de S-1



ESCALA: 1:1

FIG. 3 - Verificação gráfica de S-2



ESCALA: 1:1

FIG. 4 - Verificação gráfica de S-3

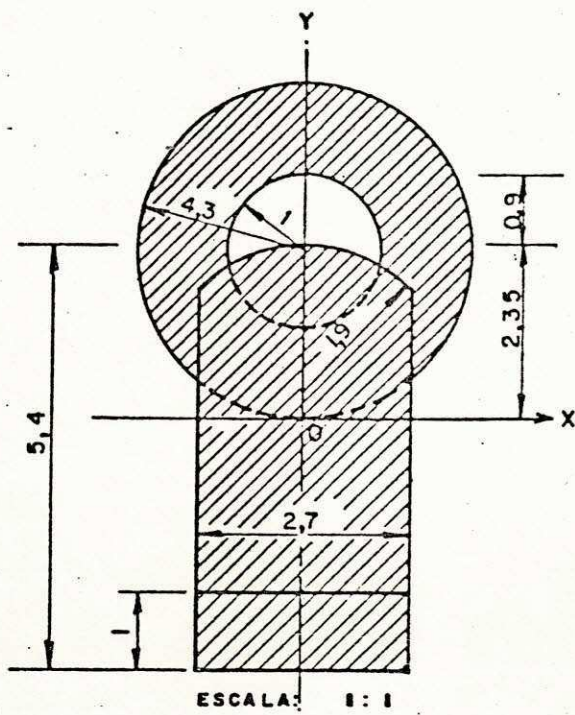


FIG. 4.A - Posição relativa da
lingueta para seção
de escoamento igual a $\pi/2 = 1,57 \text{ cm}^2$

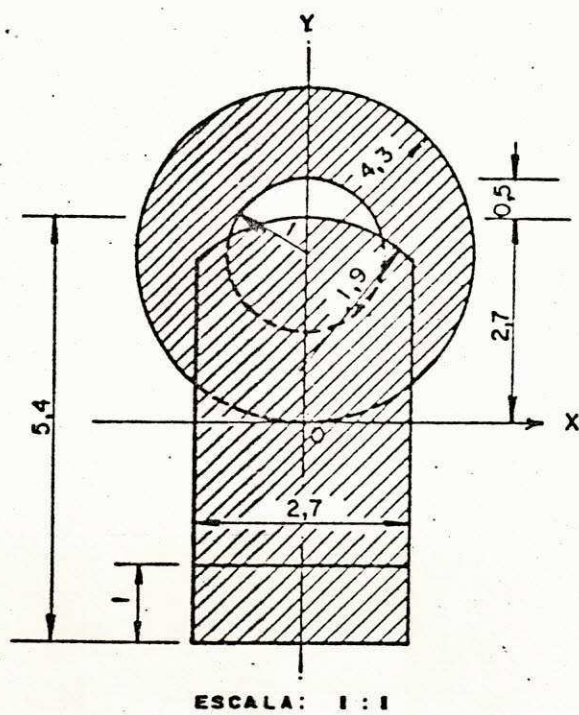


FIG. 4.B - Posição relativa da
lingueta para seção
de escoamento igual a $\pi/4 = 0,785 \text{ cm}^2$

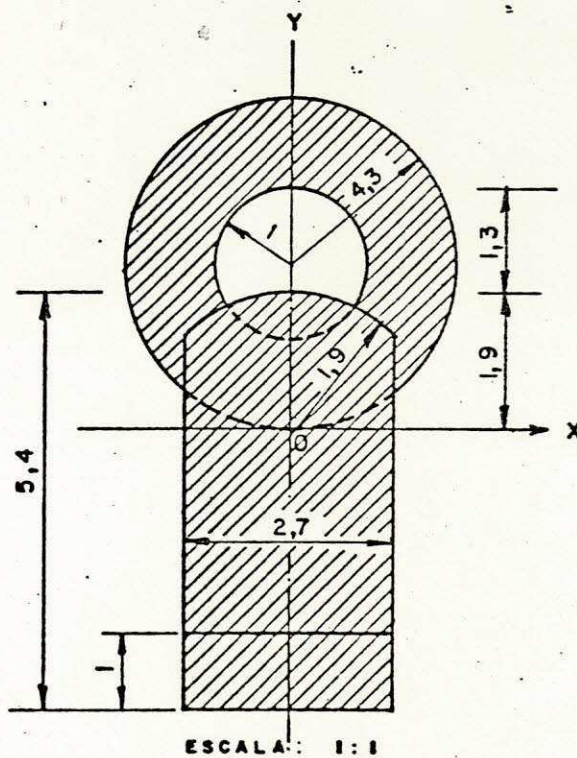


FIG. 4.C - Posição relativa da
lingueta para seção de
escoamento igual a $3\pi/4 = 2,355 \text{ cm}^2$

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
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63

CORE USAGE OBJECT CODE= 2280 BYTES,ARRAY AREA= 0 BYTES,TOTAL AREA AVAILABLE= 165640 BYTES

DIAGNOSTICS NUMBER OF ERRORS= 0, NUMBER OF WARNINGS= 0, NUMBER OF EXTENSIONS= 1

COMPILE TIME= 0.43 SEC,EXECUTION TIME= 7.26 SEC, WATFIV - JUL 1973 VIL4 15.43.34 WEDNESDAY 13 JAN 82

4JOB CARLOS, TIME=1, PAGES=30

4NDEXT

C*****ESTE PROGRAMA OBJETIVA DETERMINAR A POSICAO DO CENTRO DA CIRCUNFER
C*****ENCIA DE RAIO 1.9 NO EIXO DOS Y, CONFORME A FIGURA 1.A

```
1 REAL*8 B, FUNC, DARSIN, DSQRT, CAR
2 PRINT 1
3 B=0.
4 WHILE(B.LE..99) DO
5 B=B+.001
6 FUNC=- (DSQRT(3.61-B**2))*(DSQRT((14.44-(1+B**2)**2)/(14.44-4*B**2)
*)+1.805*DARSIN((DSQRT((14.44-(1+B**2)**2)/14.44-4*B**2)))/1.9)+0
*.5*(DSQRT(3.61-(14.44-(1+B**2)**2)/(14.44-4*B**2)))*(DSQRT((14.44-
*(1+B**2)**2)/(14.44-4*B**2)))-0.785+0.5*DARSIN(DSQRT((14.44-(1+B**
*2)**2)/14.44-4*B**2)))+0.5*(DSQRT((14.44-(1+B**2)**2)/(14.44-4*B*
**2)))*(DSQRT(1-(14.44-(1+B**2)**2)/(14.44-4*B**2)))
7 CAR=-DSQRT(3.61-B**2)
8 IF(FUNC.GE.0) GO TO 12
9 END WHILE
10 12 PRINT, 'B=', B, 'FUNC=', FUNC, 'CAR=', CAR
11 PRINT 1
12 1 FORMAT('11')
13 STOP
14 END
```

4ENTRY

B= 0.5789999600965530D 00 FUNC= 0.1125529616194665D-03 CAR=

-0.18096294380025530 01

\$JOB CARLOS,TIME=1,PAGES=30

\$NOEXT

C*****ESTE PROGRAMA OBJETIVA DETERMINAR A POSICAO DO CENTRO DA CIRCUNFER
C*****ENCIA DE RAI0 1.9 NO EIXO DOS Y, CONFORME A FIGURA 1.B

```
1      REAL*8 A,FUNC,CARSIN,DSQRT,DSIN,CAR
2      PRINT 1
3      A=0.
4      WHILE(A,LE.,.99) DO
5      A=A+.001
6      FUNC=0.5*DARSIN(A)+0.25*DSIN(2*DARSIN(A))-DSQRT(1-A**2)*A+DSQRT(3.
7      *61-A**2)*A-3.61*(0.5*DARSIN(A/1.9)+0.25*DSIN(2*DARSIN(A/1.9)))
8      CAR=DSQRT(1-A**2)-DSQRT(3.61-A**2)
9      IF(FUNC.GE.0.3925) GO TO 100
9      END WHILE
10     100 PRINT,'A=',A,'FUNC=',FUNC,'CAR=',CAR
11     PRINT 1
12     1  FORMAT,'1')
13     STOP
14     END
```

\$ENTRY

A= 0.6769999326672405D 00 FUNC= 0.3949695668619859D 00 CAR=

-0.1416321921820487D 01

CORE USAGE OBJECT CODE= 2240 BYTES, ARRAY AREA= 0 BYTES, TOTL AREA AVAILABLE= 165640 BYTES
DIAGNOSTICS NUMBER OF ERRORS= 0, NUMBER OF WARNINGS= 0 NUMBER OF EXTENSIONS= 1
COMPILE TIME= 0.35 SEC, EXECUTION TIME= 7.98 SEC, WATFIV - JUL 193 VIL4 15.43.44 WEDNESDAY 13 JAN 82

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
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63

```
$JOB CARLOS, TIME=1, PAGES=30
```

```
$NOEXT
```

```
C*****ESTE PROGRAMA OBJETIVA DETERMINAR A POSICAO DO CENTRO DA CIRCUNFER  
C*****ENCIA DE RAIO 1.9 NO EIXO DOS Y, CONFORME A FIGURA 1.C
```

```
1 REAL*8 A, FUNC, DARSIN, DSQRT, DSIN, CAR  
2 PRINT 1  
3 A=0.  
4 WHILE(A.LE..99) DO  
5 A=A+.001  
6 FUNC=-A*DSQRT(1-A**2)-A*DSQRT(3.61-A**2)+1.805*DARSIN(A/1.9)+0.902  
*5*DSIN(2*DARSIN(A/1.9))+0.5*DARSIN(A)+0.25*DSIN(2*DARSIN(A))  
7 CAR=-DSQRT(1-A**2)-DSQRT(3.61-A**2)  
8 IF(FUNC.GE.0.3925) GO TO 100  
9 END WHILE  
10 100 PRINT, 'A=', A, 'FUNC=', FUNC, 'CAR=', CAR  
11 PRINT 1  
12 1 FORMAT('1')  
13 STOP  
14 END
```

```
$ENTRY
```

A= 0.8469999416265635D 00 FUNC= 0.3937673902754375D 00 CAR=

-0.2232354798585448D 01

CODE USAGE OBJECT CODE= 2264 BYTES,ARRAY AREA= 0 BYTES,TOTAL AREA AVAILABLE= 165640 BYTES
DIAGNOSTICS NUMBER OF ERRORS= 0, NUMBER OF WARNINGS= 0, NUMBER OF EXTENSIONS= 1
COMPILE TIME= 0.32 SEC,EXECUTION TIME= 6.87 SEC, WATFIV - JUL 1973 VIL4 15.43.53 WEDNESDAY 13 JAN 82

01
02
03
04
05
06
07
08
09
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

01
02
03
04
05
06
07
08
09
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

01
02
03
04
05
06
07
08
09
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

5.5 - Janela Regulável em PVC

- Introdução

Os equipamentos desenvolvidos, são adaptações dos modelos apresentados pela EMBRAPA no XI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, conforme mostram as figuras 1 e 2. Os referidos equipamentos consistem em duas janelas tipo rosca, de vazão regulável e com seções de saídas de diâmetros de 3/4" e 1" respectivamente, fabricados artesanalmente em PVC. Ambas janelas possuem seções internas de escoamento retangulares, que foram aferidas em função do número de voltas atribuídas à seção de saída, tendo-se então uma seção de escoamento correspondente.

- Metodologia Aplicada

Para a determinação da capacidade de vazão dos dois tipos de janelas especificadas (3/4" e 1"), utilizou-se um tubo de PVC rígido de 4" de diâmetro e 6 metros de comprimento, no qual foram acopladas 5 janelas espaçadas entre si de um metro. Foram consideradas 5 e 6 seções de escoamentos diferentes, nas janelas de 3/4" e 1", respectivamente, para as quais foram feitas as medições de vazões, pré-estabelecendo cargas hidráulicas de um em um metro, até a carga de 10 metros.

Determinou-se através de regressão linear, a relação exponencial existente entre a vazão e a carga hidráulica, para cada seção de escoamento considerada, nos dois tipos de janelas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As curvas características de carga versus vazão, das janelas de 3/4" e 1", determinadas em laboratório, estão apresentadas respectivamente nas figuras 3 e 4, nas quais se tem uma família de retas representando as seções de escoamento con

sideradas.

Para as cargas de 1 a 10 metros as vazões máximas fornecidas, foram de 2,4 l/s a 5 l/s para as janelas de 3/4" e 1" respectivamente.

A janela de 1" é mais recomendada para fabricação em série, em virtude de fornecer maiores vazões para menores cargas, atendendo assim à irrigação de solos arenosos que necessitam de vazões de entrada em torno de 2,5 l/s com carga de apenas 3 mca. No caso de sulcos curtos, em solos de infiltração básica igual ou menor que 85 mm/h a vazão de entrada é menor ou igual a 1 l/s e a carga necessária é de no máximo 0,4 mca.

C O N C L U S Ã O

Os equipamentos desenvolvidos apresentam grande versatilidade e aplicabilidade, uma vez que, pode-se obter diferentes vazões, variando a seção de escoamento simplesmente em função do número de voltas atribuídas à seção de saída. E as vazões fornecidas são compatíveis às recomendadas em sulcos de irrigação.

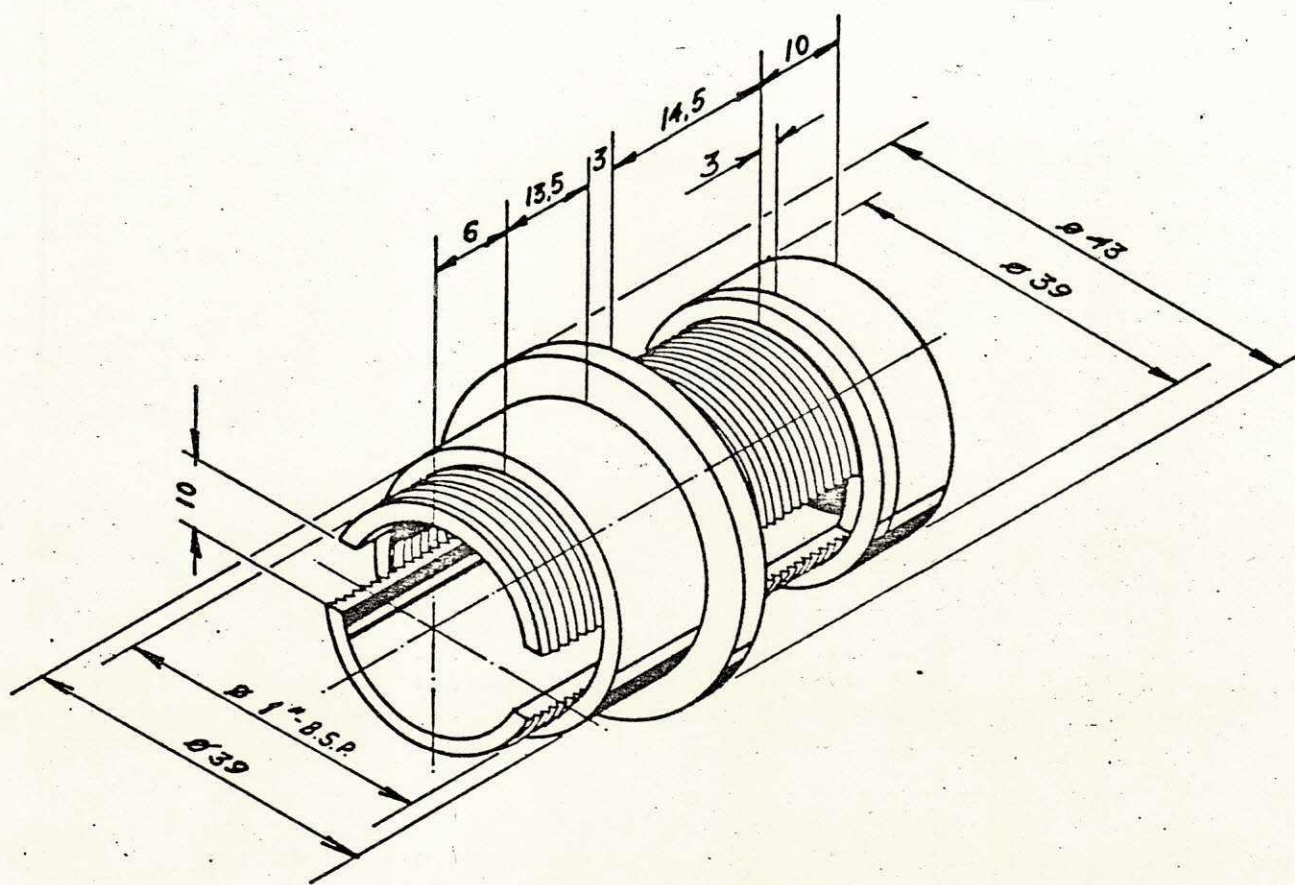


FIG. 1 - JANELA DE VAZÃO REGULÁVEL em PVC

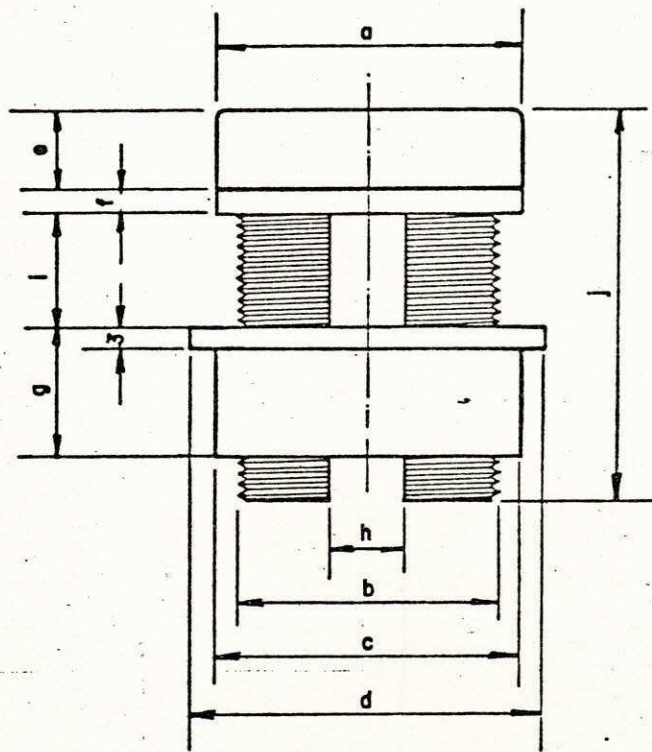


FIG. 2 - Vista da janela regulável em PVC.

— TABELA DE DIMENSIONAMENTO —

| D I M E N S Õ E S (mm.) | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------|------|-------|----|----|---|------|----|------|----|
| | a | b | c | d | e | f | g | h | i | j |
| SEÇÃO DE 3/4" | 31,29 | 3/4" | 31,29 | 33 | 7 | 3 | 13 | 8 | 10 | 39 |
| SEÇÃO DE 1" | 39 | 1" | 39 | 43 | 10 | 3 | 16,5 | 10 | 14,5 | 50 |

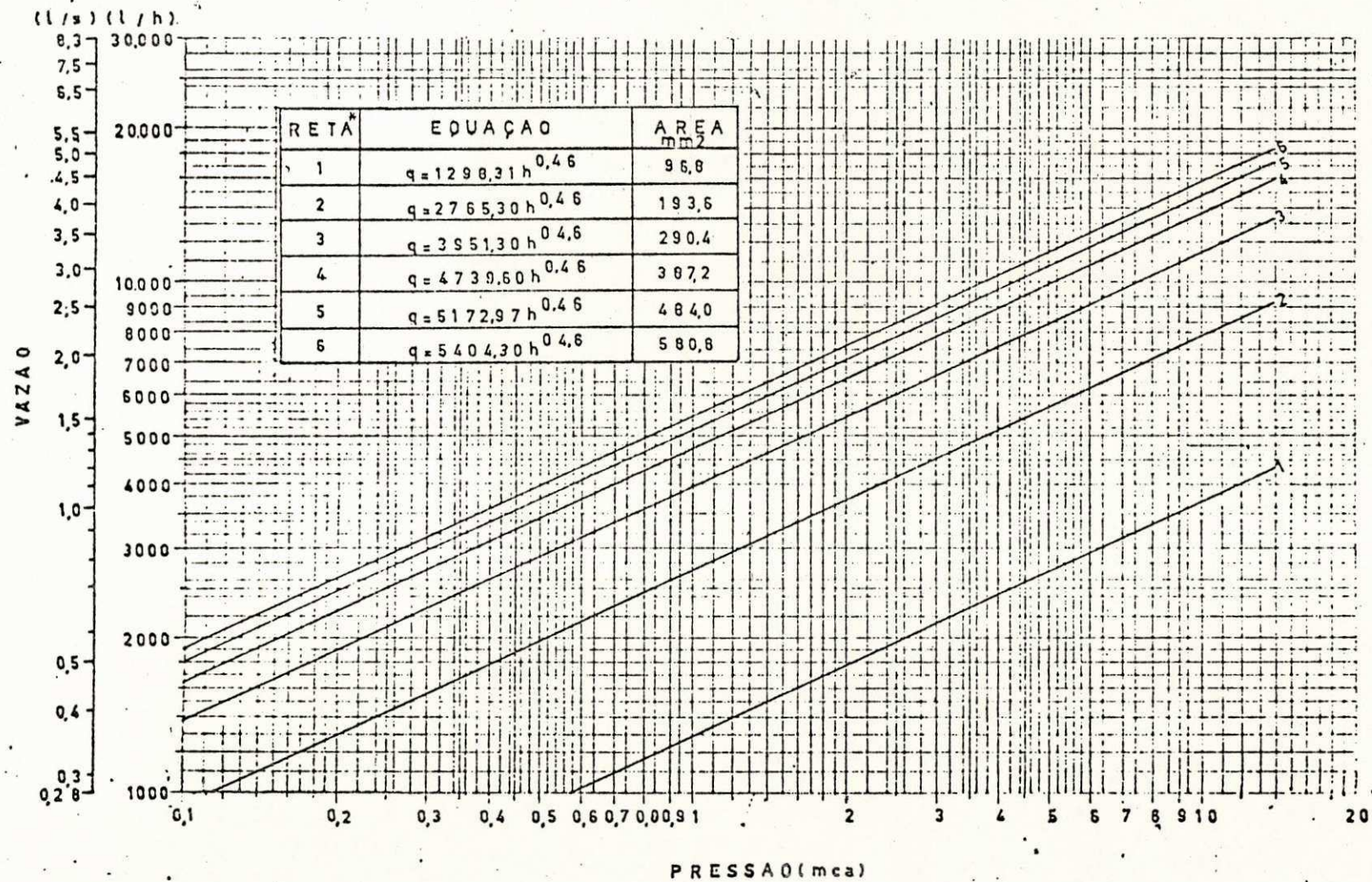


Figura 4- Relação Carga X Vazão para janela de PVC, Regulável, de 1".

*-A Numeração das Retas Representa o Número de Vol-
tas Correspondente à Area da Seção de Escoamento.

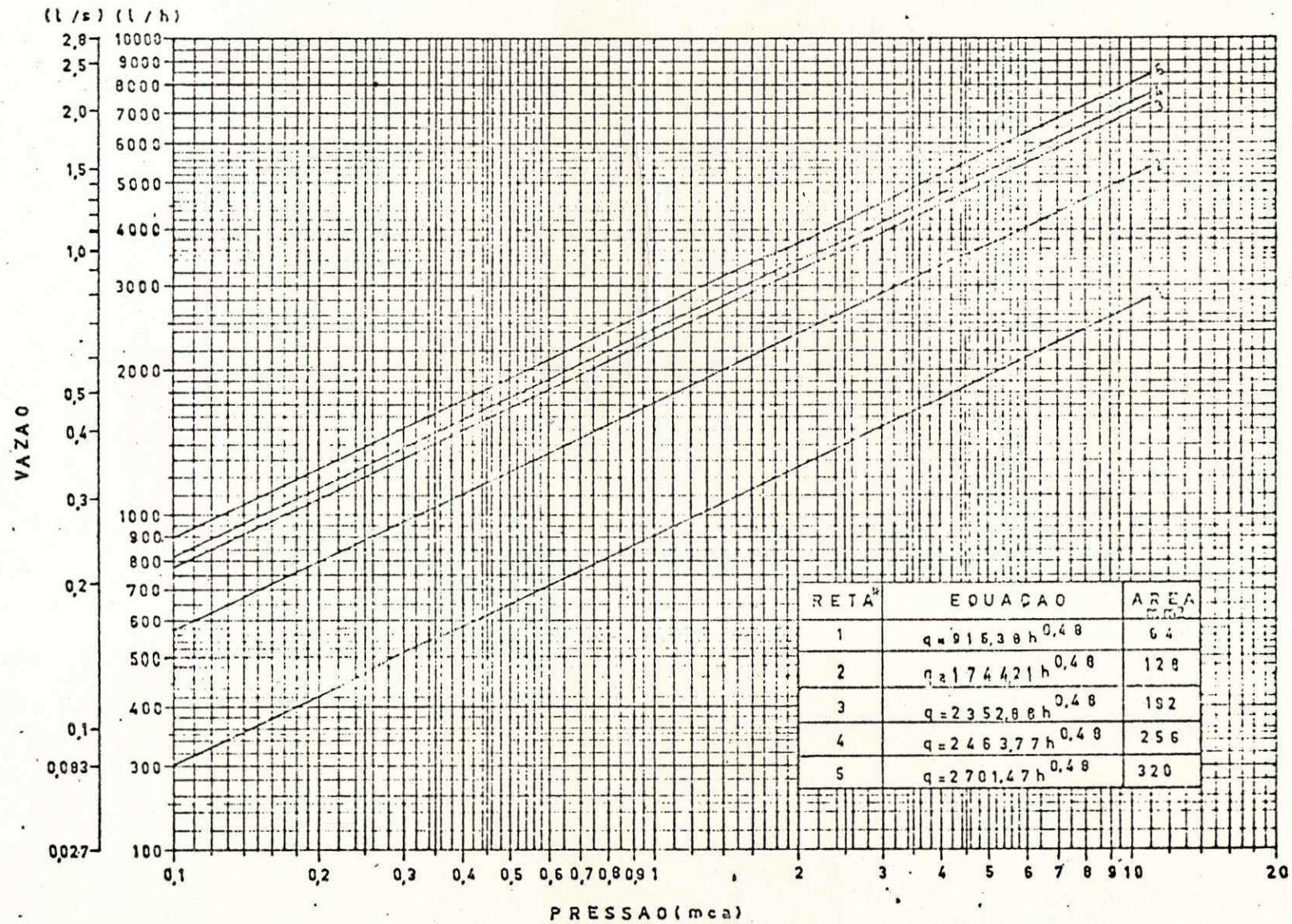


Figura 3- Relação Carga X Vazão para janela de PVC, Regulável, de 3/4".
 n- A Numeração das Retas Representa o Número de Voltas
 Correspondente à Area da Seção de Escoamento.

6 - ATRIBUIÇÕES

As atividades desenvolvidas por mim no estágio, consistiram em:

- Revisão Bibliográfica;
- Elaboração de um PERT/CPM aplicado ao Projeto;
- Aquisição no comércio, de materiais e equipamentos necessários ao projeto;
- Desenho em perspectiva, planta, corte e vista de instalações e equipamentos;
- Instalação e manutenção de equipamentos;
- Mensuração em laboratório, da capacidade de vazão do equipamento concebido e desenvolvido;
- Análise teórica de resultados obtidos em laboratório;
- Confeccção de gráficos.

7 - CONSIDERAÇÕES DIDÁTICAS

Devo enfatizar que este estágio supervisionado, teve para mim um grande significado na aplicação e ampliação de meus conhecimentos de graduação em Engenharia Agrícola.

Além do mais o referido estágio favoreceu-me uma marcante experiência, no tão incantado e encantado campo da investigação científica em trabalhos de iniciação científica. Experiência esta, que se constitui um elemento essencialmente de terminante na minha formação de Investigador da ciência.

8 - AGRADECIMENTOS

Quero consignar os meus agradecimentos aos Professores Francisco Monte Alverne de Sales Sampaio e Hamilton Medeiros de Azevedo, pelos relevantes ensinamentos a mim ministrados, na realização deste estágio, completando sobremaneiramente a minha formação acadêmica de Engenheiro Agrícola.

As pessoas de:

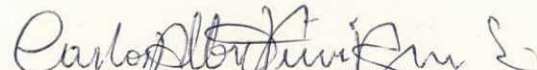
Ruth de Moraes Melo

Nilson José Araújo Barbosa e

José Pereira que muito contribuíram-me a um perfulgente desempenho das atividades por mim desenvolvidas no referido estágio. Com estas pessoas fico de forma indelével muitíssimo grato.

Ao CNPq e à canDE agradeço-os pelos trabalhos de pesquisa a que me foram confiados, na convicção de os ter desenvolvidos à luz da ciência e na compreensão de que os mesmos propiciem um bem estar social ao homem.

Campina Grande, 13 de janeiro de 1982


CARLOS ALBERTO VIEIRA DE AZEVEDO

Estagiário

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

- 1 - AZEVEDO, H.M.; Sampaio, F.M.A.S. & Azevedo N.C. 1981 - Sistema combinado de Irrigação Localizada e Sulco. Trabalho apresentado no XI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - Brasília-DF.
- 2 - AZEVEDO, H.M; Carvalho, H.O; Millar A.A. 1975 - Características da Infiltração em sulcos abertos e fechados. Trabalho apresentado no III Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem - Fortaleza-Ce.
- 3 - AZEVEDO, H.M; Millar, A.A; Carvalho, C.O. 1975 - Implicações Agronômicas do efeito da Umidade inicial sobre a capacidade de infiltração do solo. Trabalho apresentado no III Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem.
- 4 - SILVA, E.M; Azevedo, J.A. & Resende, M. 1981 - Desenvolvimento e teste de tubo janelado para irrigação por sulco. Trabalho apresentado no XI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Brasília-DF.
- 5 - BRAZ, G.M. 1981. Desenvolvimento de tubos perfurados para irrigação por sulcos. Tese de Mestrado. Departamento de Engenharia Agrícola/ CCT-UFPb. Campina Grande-Pb.
- 6 - LANG, Serg. Cálculo
- 7 - NEVES, E.T. Curso de Hidráulica
- 8 - STREETER, V. L. Mecânica dos Fluidos
- 9 - HUDSON, R.G. Manual do Engenheiro
- 10 - DAKER, A. Irrigação e Drenagem

11 - AZEVEDO Neto, I.M. Manual de Hidráulica

12 - CUKIERMAN, Z. S. O Modelo PERT/CPM aplicado a Projetos