

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

ALUNO: Eduardo Enéas de Figueiredo
Matrícula Nº 7811041-5

TÍTULO: "Estudo em Modelo Reduzido
da Barragem da Pedra"

SUPERVISOR: Prof. Manoel Gilberto de Barros

CAMPINA GRANDE - Pb

Abril de 1982



Biblioteca Setorial do CDSA. Setembro de 2021.

Sumé - PB

A G R A D E C I M E N T O S

À Universidade Federal da Paraíba, através do Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia pelo apoio acadêmico;

À Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF e Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior - ATECEL -, pela oportunidade de realização deste estágio, através do Convênio ATECEL-CHESF-CT-E - 226.330;

Ao professor Supervisor Manoel Gilberto de Barros, pela orientação e incentivos no decorrer do estágio;

Àqueles que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste estágio.

A P R E S E N T A Ç Ã O

O relatório aqui apresentado, descreve os trabalhos executados no "Estudo em Modelo Reduzido da Barragem da Pedra - Jequié - Bahia", em caráter de Estágio Supervisionado.

O estudo está sendo desenvolvido pelo pessoal técnico especializado do Laboratório de Hidráulica do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, através do Convênio ATECEL-CHESE-CT-E-226.330 e conta com uma infra-estrutura de apoio já montada, do CCT/UFPb, constando de: oficina mecânica, carpintaria, etc

O estágio acima referido, foi realizado no período de Agosto de 1981 a Fevereiro de 1982, sob um regime de 20 horas semanais.

No Laboratório de Modelos Reduzidos do CCT/UFPb que conta com uma área de 400 m², estão montados os modelos reduzidos que serão descritos posteriormente.

S U M Á R I O

	Página
1.0 - INTRODUÇÃO	01
1.1 - O Rio das Contas	01
1.2 - A Barragem da Pedra	02
2.0 - OBJETIVOS DO ESTUDO	04
3.0 - OS MODELOS REDUZIDOS DA BARRAGEM DA PEDRA	06
3.1 - O Modelo Bidimensional	06
3.2 - O Modelo Tridimensional	08
4.0 - ATIVIDADES DO ESTÁGIO	12
5.0 - CONCLUSÃO	16
6.0 - BIBLIOGRAFIA	17
DOCUMENTÁRIO FOTOGRÁFICO	18
ANEXOS	27
Anexo I - Modelos Bidimensional e Tridimensional - Lay Out	28
Anexo II - Modelo Bidimensional	29
Anexo III - Modelo Bidimensional	30
Anexo IV - Modelo Tridimensional	31

1.0 - INTRODUÇÃO

1.1 - O Rio das Contas

Incluído entre os cinco principais rios do Estado da Bahia, o Rio das Contas tem a sua nascente a leste da Serra das Almas na chapada Diamantina. Sua Bacia Hidrográfica é da ordem de 53.000 Km^2 , dos quais $3/4$ encontram-se situados no "Polígono das Secas". A parte restante atravessa zona de matas da região cacauzeira.

O Rio das Contas conta com uma extensão de 500 Km aproximadamente e apresenta uma queda de 615 metros.

Classificado como um rio intermitente, apresenta um regime torrencial com grandes variações de descargas. Em épocas de enchentes já registrou-se uma descarga superior a $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Conta basicamente com dois reservatórios: Funil e Pedra.

Em decorrência da existência da Usina do Funil e da necessidade de um maior aproveitamento energético, foi projetada e construída a Barragem da Pedra.

1.2 - A Barragem da Pedra

Construída com a finalidade de gerar energia hidroelétrica, a Barragem da Pedra está localizada a 16 Km da cidade de Jequié no Estado da Bahia. O reservatório conta com uma capacidade de $1700 \times 10^6 \text{ m}^3$ correspondente à cota 228,30 m e tem 72 Km de extensão, abrangendo uma área de 10 milhões de metros quadrados.

A barragem é do tipo de peso aliviado, constituída por monolitos de cabeça de martelo com cavidade interna. É composta de 24 blocos, dos quais, os sete blocos centrais são vertentes com crista na cota 219, dotados de sete comportas de setor de 9,0 metros de largura por 12,5 metros de vão. O coroamento da barragem é na cota 232,0 m.

Cada bloco tem 17 metros de comprimento, tendo o paramento de montante inclinação de 1:0,03 e o de jusante inclinação de 1:0,70.

À jusante da barragem está localizada a bacia de dissipação com soleira dentada e limitada lateralmente por muros de contenção. O muro da margem esquerda

é do tipo misto de alvenaria de pedra seca, reforçado por concreto levemente argamassado; o da margem direita é de concreto e separa o dissipador de energia do conjunto des carregador de fundo e da usina hidroelétrica.

2.0 - OBJETIVOS DO ESTUDO

A Barragem da Pedra foi construída pelo DNOCS, passando para a COELBA e finalmente para a CHESF, que implantou a Usina Hidroelétrica. Esta mudança entre órgãos e empresas proporcionou um desconhecimento total das condições ótimas de operação da Barragem. Por outro lado, a ocorrência em 1981 de uma cheia de $2.600 \text{ m}^3/\text{s}$ provocou erosão acentuada nas margens do rio à jusante da barragem.

A Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF -, como órgão controlador da Barragem da Pedra e necessitando de subsídios técnicos para solucionar os problemas, recorreu a equipe técnica especializada do Laboratório de Modelos Reduzidos do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, através da ATECEL, em contrato firmado por ambas as entidades.

Estão sendo executados no Laboratório de Hidráulica do CCT/UFPb, estudos hidráulicos em modelos re

duzidos, para a obtenção de elementos necessários à operação daquela barragem.

Os estudos que estão previstos para desenvolvimento no Laboratório de Modelos Reduzidos, envolvem a determinação dos seguintes tópicos:

- curvas de cota/abertura/vazão para os descarregadores de superfície;
- idem, idem para o descarregador de fundo;
- elaboração de uma "lei de manobra" de comportas do extravasor de superfície em condições normais e em contingência de cheias;
- estudo do comportamento da lâmina d'água no extravasor de superfície quanto a:
 - . aproximação
 - . pressões negativas
 - . descolamentos
 - . erosão
 - . salto

Tendo em vista a necessidade de uma maior precisão em alguns parâmetros do estudo, estão sendo construídos no Laboratório de Modelos Reduzidos dois modelos: um Bidimensional na escala 1:50 e outro Tridimensional na escala 1:100.

3.0 - OS MODELOS REDUZIDOS DA BARRAGEM DA PEDRA

3.1 - O Modelo Bidimensional

Tendo como principal objetivo estudar os parâmetros que exigem maior escala para que se obtenha medidas mais precisas, foi construído o modelo Bidimensional na escala 1:50, envolvendo a reprodução de um vão completo e duas metades do extravasor de superfície.

O modelo bidimensional foi construído em um canal de alvenaria, com 12 m de comprimento, 0,68 m de largura e 1,90 m de altura.

No trecho do canal em que está situado o modelo será colocada lateralmente uma lâmina de vidro de 1,0 cm de espessura com a finalidade de visualização do fluxo. Foi construído na entrada do canal uma bacia de tranquilização com a finalidade de se evitar turbulência no fluxo ao longo do canal.

A alimentação do modelo é feita por um sis

tema de recirculação composto de um reservatório inferior, sistema de bombeamento, reservatório superior de nível cons tante e canais de recirculação. Esta alimentação é feita através de uma tubulação de ferro fundido, de 350 mm de diâmetro, com flanges, dotada de registro de gaveta para controle da vazão.

A medição de vazão será feita através de um vertedor retangular sem contração, previamente calibra do, instalado em uma cuba vertedoura, que descarregará na bacia de tranquilização.

A vazão máxima a ser escoada pelo modelo, em condições de enchente Máxima Excepcional será de 161,62 litros por segundo.

Fazem parte do conjunto, três comportas de setor. Duas localizadas entre as faces e as paredes e uma entre os pilares. As comportas são apoiadas diretamen te nos pilares e paredes.

Ao longo do vão central do vertedor, estão localizadas as tomadas de pressão, em cobre, as quais se rão ligadas através de mangueiras a um multimanômetro, ins talado lateralmente.

No vertedor estão instaladas calhas, com comprimento igual a largura do canal, feitas em PVC rígi do e colocadas diretamente na superfície do vertedor.

A jusante do vertedor está localizada a bacia de dissipação com soleira dentada e uma soleira li

sa, em toda a largura do canal. O conjunto em si forma o sistema dissipador de energia.

Neste modelo serão estudados os seguintes tópicos:

- Determinação das curvas cota/abertura/vasão do sistema extravasor de superfície;
- Comportamento da lâmina d'água no extravasor de superfície quanto a:
 - . pressões negativas
 - . descolamentos
 - . salto
 - . padrão de erosão no leito do rio, após o dissipador de energia

Os equipamentos que serão utilizados nos ensaios a serem feitos no modelo são:

- Micromolinete (medição de velocidade)
- Multimanômetro (medição de pressões)
- Ponta Linimétrica (leitura de nível de água)

3.2 - O Modelo Tridimensional

O Modelo Tridimensional está sendo construído na escala 1:100 para se estudar os demais parâmetros

tros solicitados pela CHESF, ocupando uma área de aproximadamente 130 m^2 .

O modelo está sendo construído no piso do Laboratório de Modelos Reduzidos de acordo com as coordenadas fornecidas pela CHESF.

Em toda a área abrangida pelo modelo, construiu-se uma laje de concreto simples com 5 cm de espessura, bem como, uma laje de concreto armado com 7 cm de espessura para evitar possíveis recalques com consequência de fugas d'água. O contorno do modelo foi feito em alvenaria de tijolos de 1/2 vez.

Para a reprodução da topografia foram tomados perfis normais ao eixo do rio com uma distância de 50 m, aproximadamente, entre eles. Os perfis foram cortados em folhas de compensado de 4 mm e montados depois de nivelados. Preencheu-se o espaço entre eles com metralha devidamente compactada, sendo que, a camada de acabamento foi feita com argamassa de cimento e areia.

Na entrada do modelo foi construída uma bacia de tranquilização dotada de uma soleira espessa, com a finalidade de se obter uma distribuição uniforme da lâmina d'água na seção inicial.

A alimentação do modelo se fará pelo reservatório de nível constante, através de uma tubulação de ferro fundido, de 300 mm de diâmetros, com flanges, independente daquela que alimentará o modelo bidimensional, pa

ra evitar oscilações nas vazões durante a operação simul
tânea dos modelos.

O controle da vazão se fará por um regis
tro de gaveta e será medida em um vertedor retangular sem
contração, previamente aferido e instalado em uma cuba
vertedoura.

O modelo é composto de 8 pilares, molda
dos em argamassa de cimento e areia e apoiados diretamen
te no bloco vertedor. Entre eles estão apoiadas 7 compor
tas de setor. O conjunto forma o sistema extravasor de
superfície.

O bloco vertedor foi construído em concre
to simples, com inclinação de 1:0,03 e 1:0,70 nos paramen
tos de montante e jusante, respectivamente.

Na crista do vertedor estão instaladas ca
lhas, do stop-log e das comportas de setor, em todo com
primento do mesmo, confeccionadas em PVC rígido.

Na parte montante da barragem serão locali
zadas duas tomadas d'água, uma para a descarga de fundo e
outra para a turbina.

À jusante do vertedor encontra-se locali
zada a bacia de dissipação com soleira dentada, ao longo
de toda a barragem.

Na operação deste modelo serão pesquisados
os seguintes tópicos:

- Determinação das curvas de cota/abertura/va

- zão para o descarregador de fundo;
- Determinação da "Lei de Manobra" das comportas do extravasor de superfície em condições normais de operação e em contingência de cheias Máx.Máx ($5000 \text{ m}^3/\text{s}$) e Máx.Excepcional ($10.000 \text{ m}^3/\text{s}$);
 - Estudo do comportamento da lâmina d'água no extravasor de superfície quanto a:
 - . aproximação
 - . descolamentos
 - . salto

Os equipamentos a serem utilizados nos ensaios do modelo serão:

- micromolinetes (velocidade)
- pontas linimétricas (nível d'água)
- vertedor (vazão)

Ainda foram utilizados equipamentos topográficos na locação do modelo e instalação dos perfis.

4.0 - ATIVIDADES DO ESTÁGIO

De acordo com o Plano de Estágio Supervisionado, o estagiário deveria cumprir o seguinte programa de trabalho:

- Operação dos modelos Bidimensional e Tridimensional;
- Análise dos Resultados

mas, tendo em vista a fenômenos excepcionais que impediram a conclusão da construção de etapas do modelo, tais como, topografia à jusante da barragem (totalmente modificada devido a erosão das margens) e sistema de alimentação, não foi possível atingir as metas descritas no programa de trabalho.

Face ao exposto, o estágio resumiu-se apenas a parte construtiva dos modelos descritas a seguir.

O acabamento nos pilares dos modelos Bi e Tridimensional foi feito através de um revestimento com massa Iberê, nos pontos onde a dimensão ainda não haviam

sido atingida. Inicialmente verificou-se todas as dimen
sões e colocou-se massa nos pontos acima referidos; dei
xou-se a massa secar completamente e posteriormente fez-
-se uma lixagem até ser atingida a dimensão real;

O acabamento nos dentes da soleira da ba
cia de dissipação dos modelos Bi e Tridimensional foi feito
através de lixagem ou emassamento, nos pontos onde se
verificava uma maior ou menor dimensão, até a dimensão cor
reta ser atingida;

Na construção do piso, à jusante, do canal
do modelo Bidimensional, utilizou-se a princípio um ní
vel topográfico para se determinar a cota exata do piso,
com relação a uma cota qualquer do modelo, já conhecida..
Depois do nivelamento o piso foi construído a nível, em
argamassa de cimento e areia.

Na montagem do conjunto dissipador de energi
gia dos modelos, utilizou-se o nível topográfico. Com o
auxílio do nível determinou-se a cota exata com relação a
uma já conhecida e a partir daí fez-se a montagem do con
junto utilizando-se massa Iberê para uma maior fixação;

Na montagem da comporta do canal, identi
ficou-se os pontos onde a comporta seria assentada, atra
vés do nível topográfico. Em seguida fez-se a furação nos
locais predeterminados e posteriormente a colocação da com
porta;

O acabamento nos blocos vertedor dos mode

los Bi e Tridimensional foi feito através de revestimento com massa Iberê. Com o auxílio de um gabarito de cada modelo foi verificado alguns pontos onde ocorria irregularidade e, nesses pontos colocou-se massa deixando secar. Depois de secar completamente a massa, fez-se uma lixagem até atingir o ponto desejado;

Na construção das formas dos pilares de extremidade do modelo Tridimensional, fez-se uso das plantas dos mesmos. Através das plantas, desenhou-se o perfil dos pilares em madeira e compensado, depois cortado e montado;

Construiu-se as duas tomadas d'água em madeira e PVC rígido de acordo com as plantas fornecidas. As tomadas foram construídas em etapas, ou seja, foram moldados os elementos constituintes tais como, viga, pilares paredes, etc., e posteriormente fez-se a montagem de todos os elementos;

Foram montados dois perfis à montante do modelo tridimensional. Com auxílio do nível topográfico fez-se a locação correta de cada perfil e posteriormente, encheu-se os mesmos com metralha, compactando-se uniformemente. A camada superficial foi executada em argamassa de cimento e areia;

As calhas do modelo Tridimensional foram construídas em PVC rígido e com auxílio do nível topográfico fez-se a montagem das mesmas em suas cotas correspon

dentes.

Além das atividades desenvolvidas, descri
tas acima, foi verificado o funcionamento das tomadas
de pressão do modelo Bidimensional, bem como o acompanha
mento da montagem do sistema de alimentação dos modelos.

5.0 - CONCLUSÃO

Tendo em vista que ainda não foram iniciados os trabalhos de operação dos modelos Bidimensional e Tridimensional, não é possível se ter nenhuma conclusão quanto aos tópicos que só serão determinados na operação dos mesmos.

Portanto, tem-se apenas a concluir que em bora não se tenha dados suficientes para uma análise, o estágio foi de grande valia no que diz respeito a aprendizagem de técnicas da engenharia, aplicadas nos modelos, bem como, aplicar conhecimentos adquiridos nas disciplinas: Topografia, Hidráulica, Hidrologia, etc.

6.0 - BIBLIOGRAFIA

NETO, J. M. de AZEVEDO. Manual de Hidráulica. 6 ed.
São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda, V.I, 1977

NEVES, EURICO TRINDADE. Curso de Hidráulica. 6 ed.
Porto Alegre, Editora Globo S.A., 1979

LAJOS, IVICSICS. Hydraulic Models. Research Institute
for Water Resources Development, Budapest, 1975

CHOW, VEN TE. Open Channel Hydraulics. Editora McGraw-
Hill Kogakusha, Ltd

ROLLINS, A. P. Jr. Spillways and Stilling Basins ,
Jackson Dam, Tombigbee River, Alabama: Hydraulic Mo
del Investigation. Army Engineer Waterways Expe
riment Station Vicksburg, Mississippi, 1960

CORPS OF ENGINEERS - U.S. Army Engineer Waterways Sta
tion. Everett Dam Spillway and Discharge Channel,
Piscataquog River, New Hampshire. Mississippi, 1960

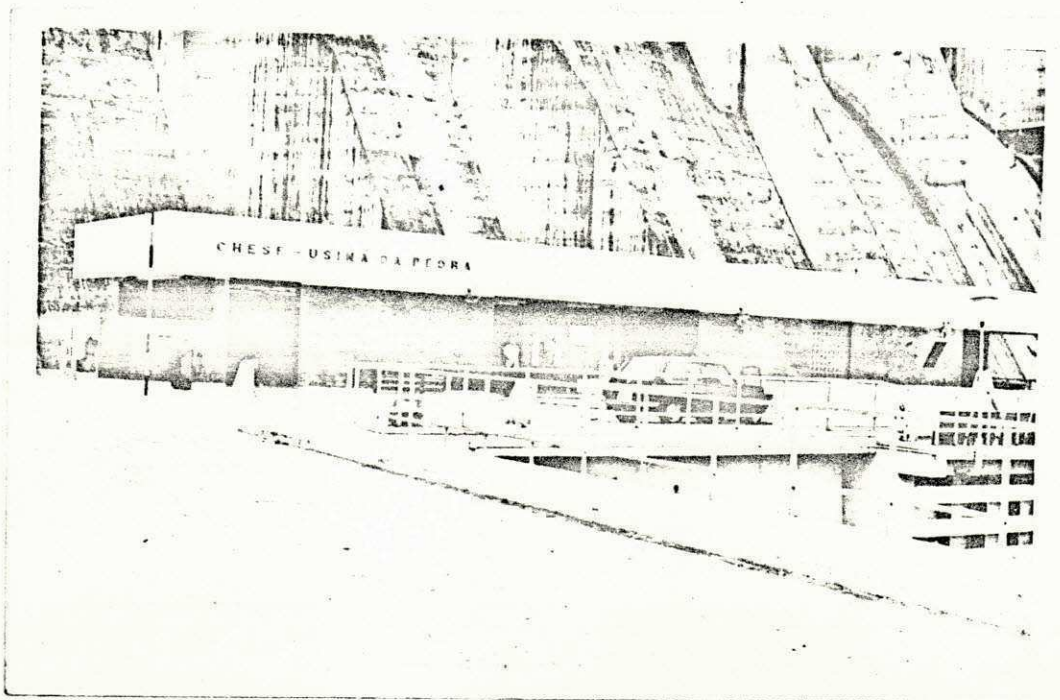


Foto 01 - Usina da Pedra

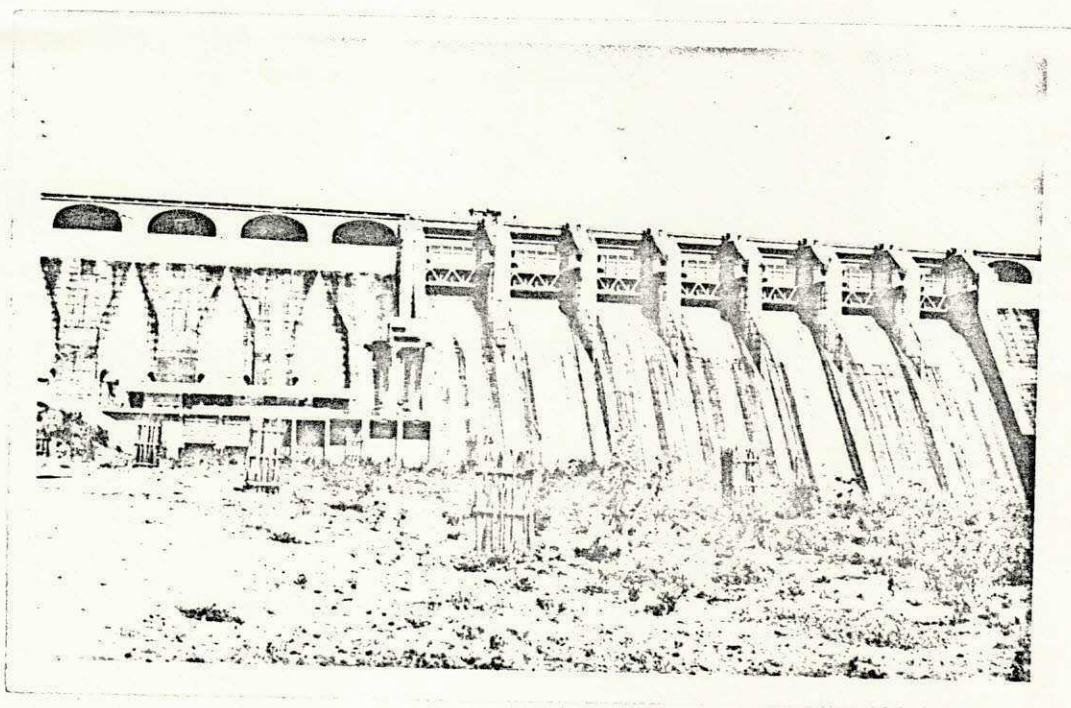


Foto 02 - Barragem da Pedra

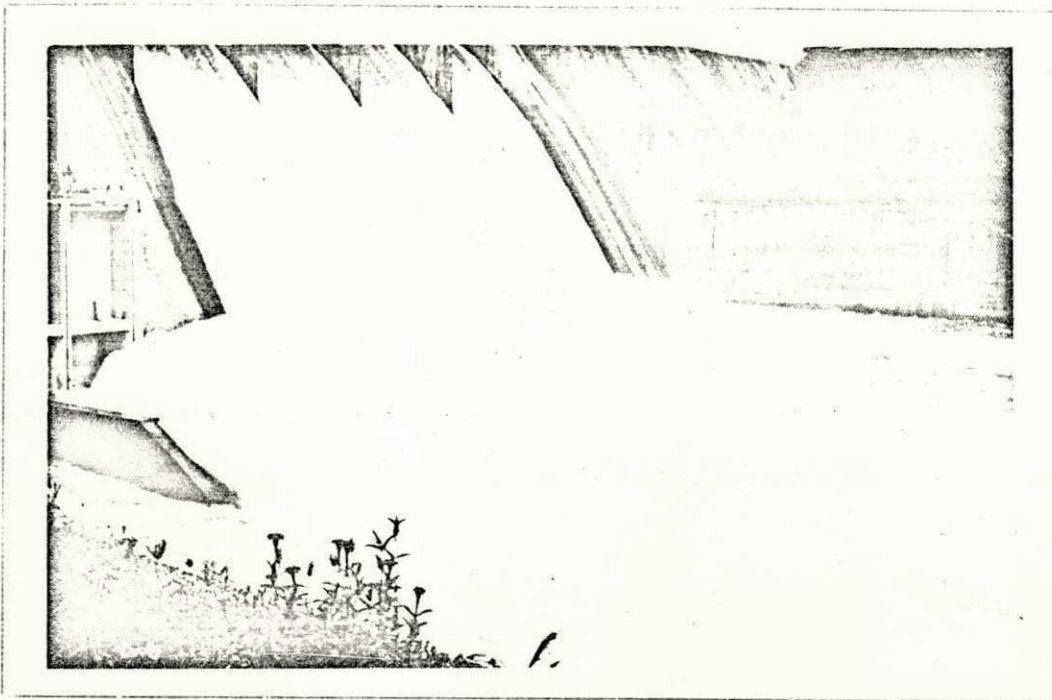


Foto 03 - Barragem da Pedra - Descarregador de Fundo e Vertedores em Operação.

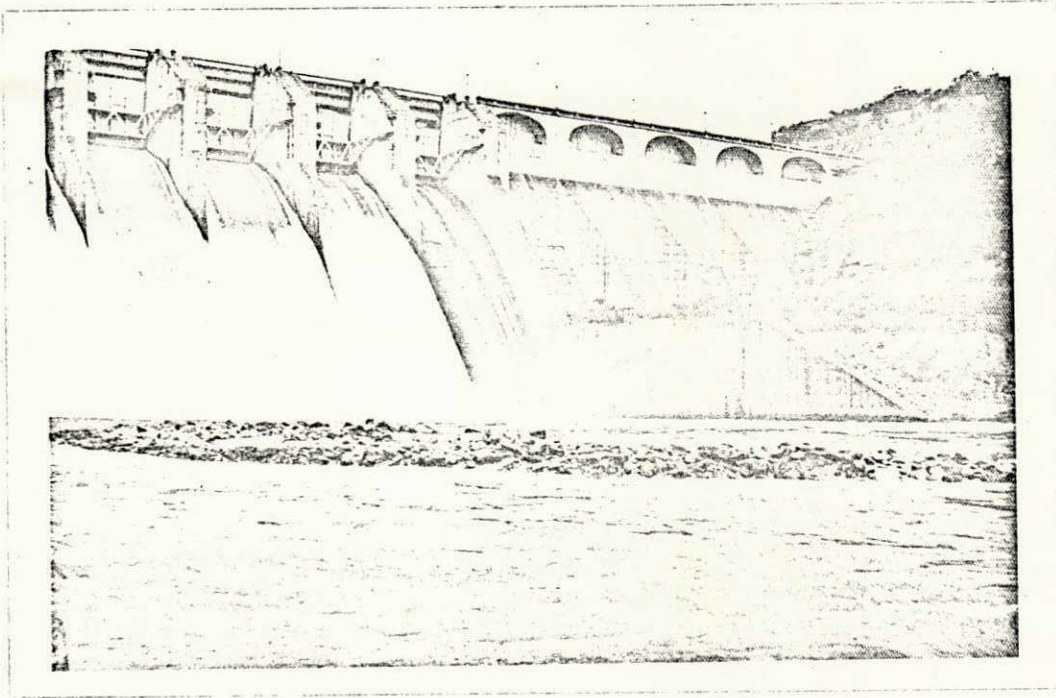


Foto 04 - Barragem da Pedra - Visto do Escoamento à Jusante.

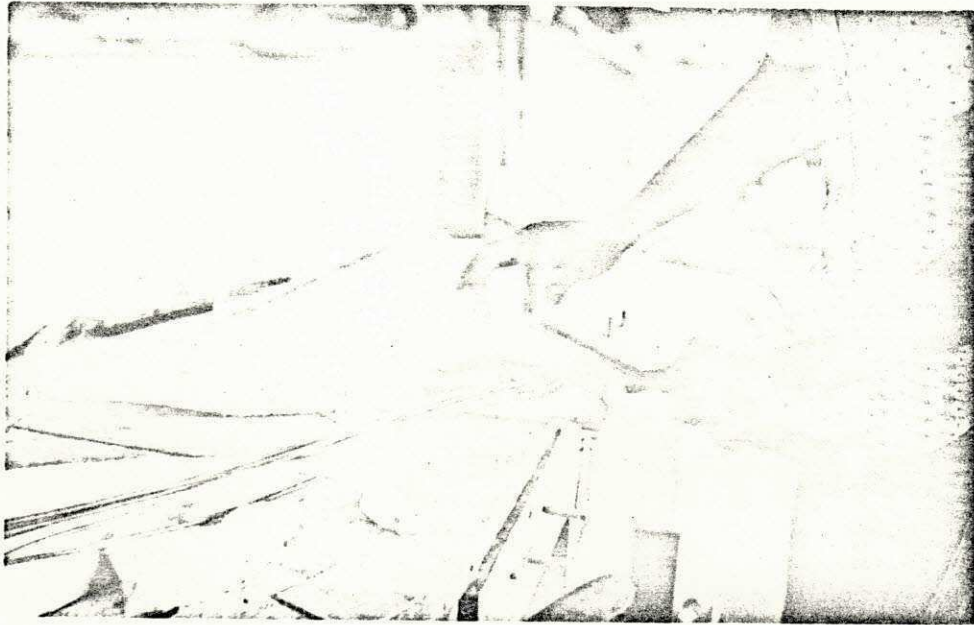


Foto 05 - Modelo Bidimensional - Moldagem dos Pilares.

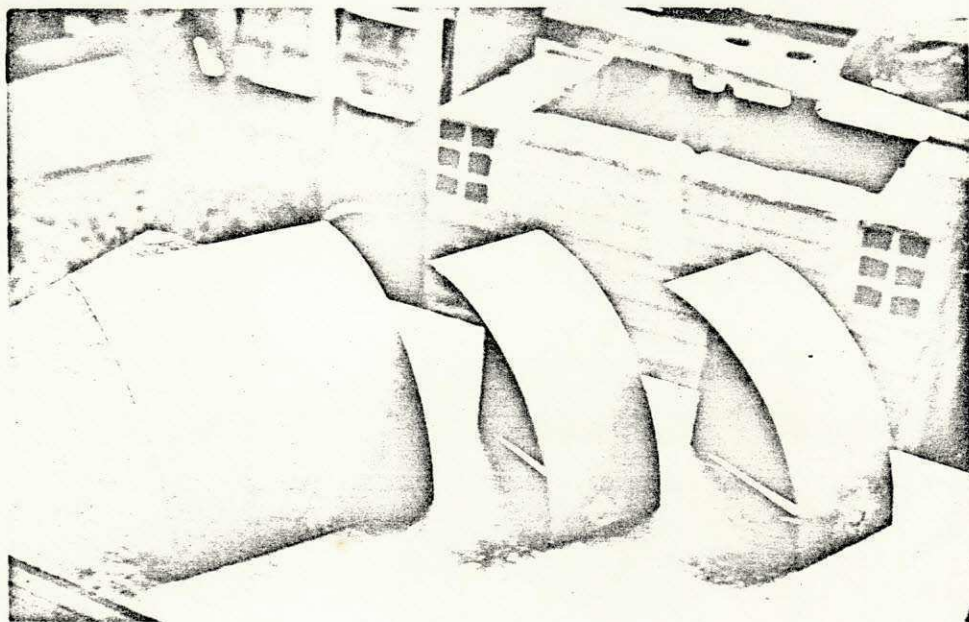


Foto 06 - Modelo Bidimensional - Comportas de Setor.

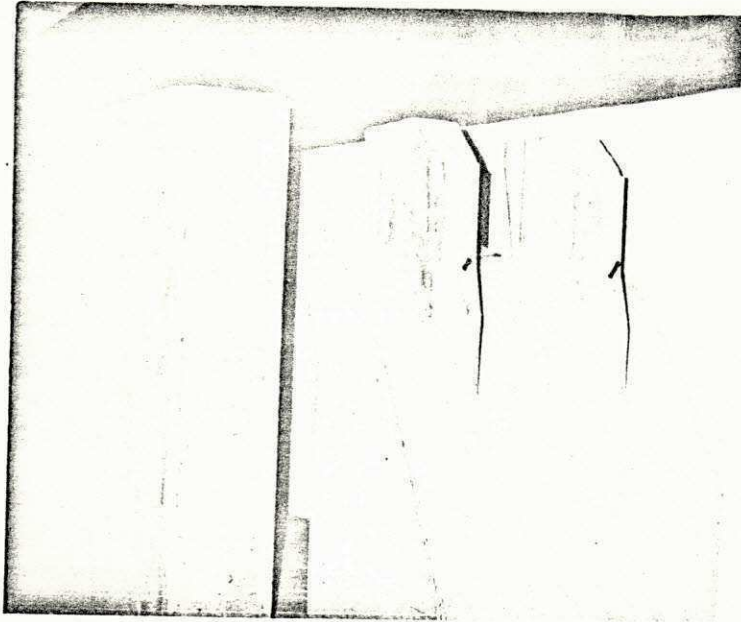


Foto 07 - Modelo Bidimensional - Vista Lateral.

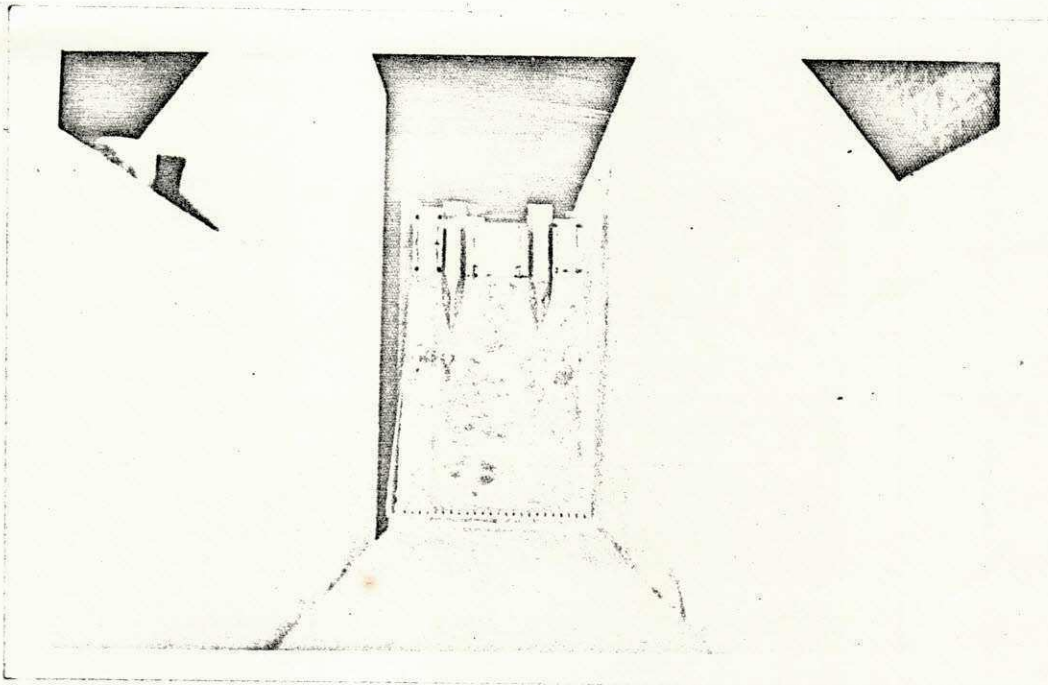


Foto 08 - Modelo Bidimensional - Vista de Jusante.

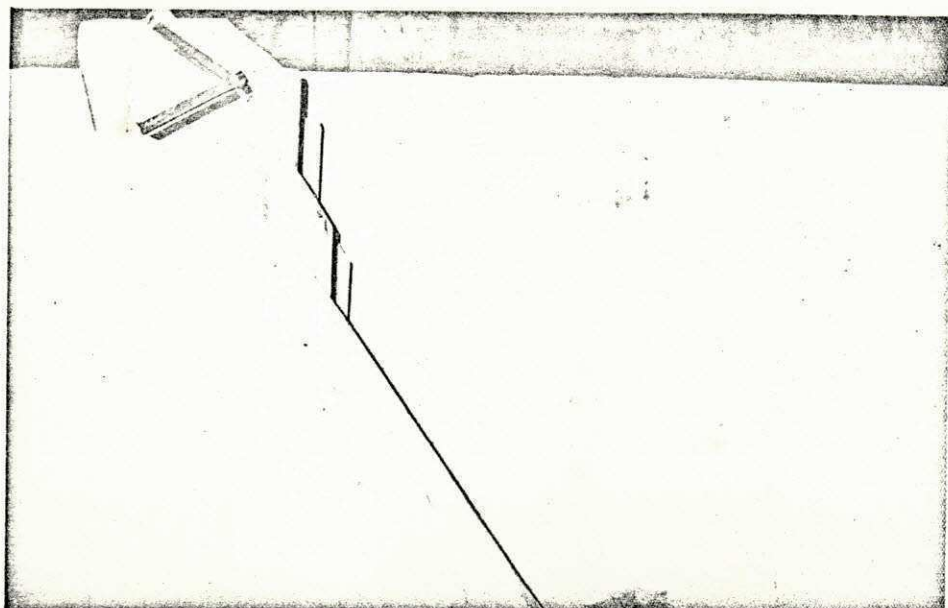


Foto 09 - Modelo Bidimensional - Detalhes de Comportas.

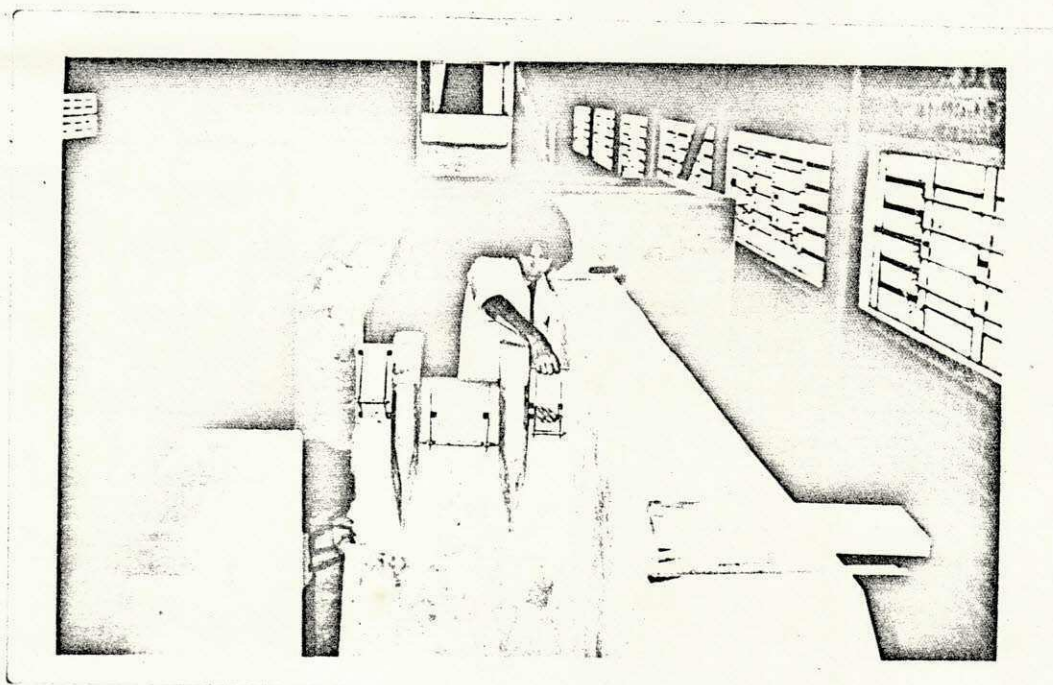


Foto 10 - Modelo Bidimensional - Instalação das Comportas.

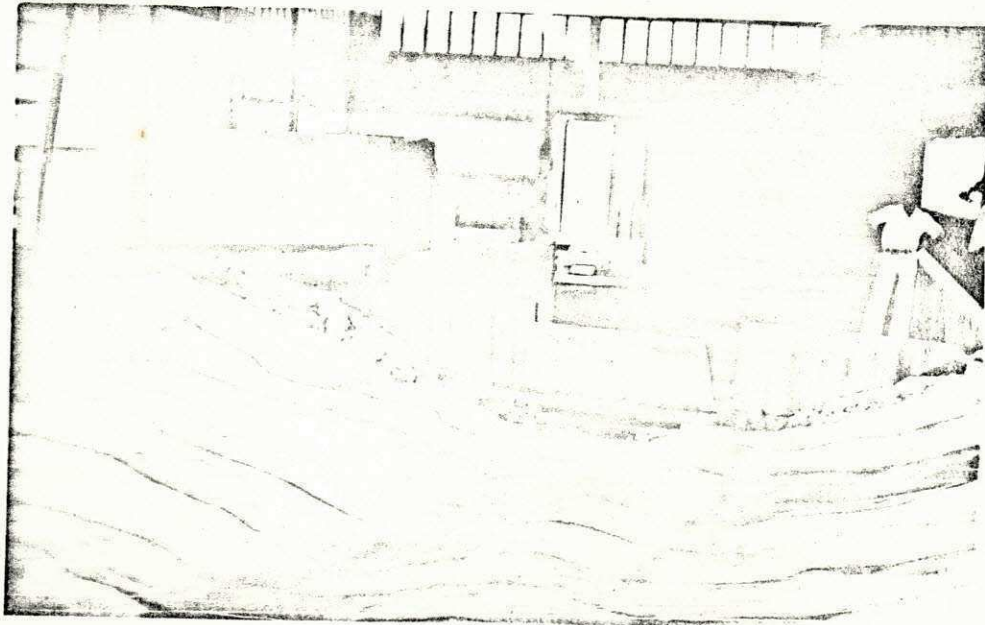


Foto 11 - Vista Geral do Modelo Tridimensional.

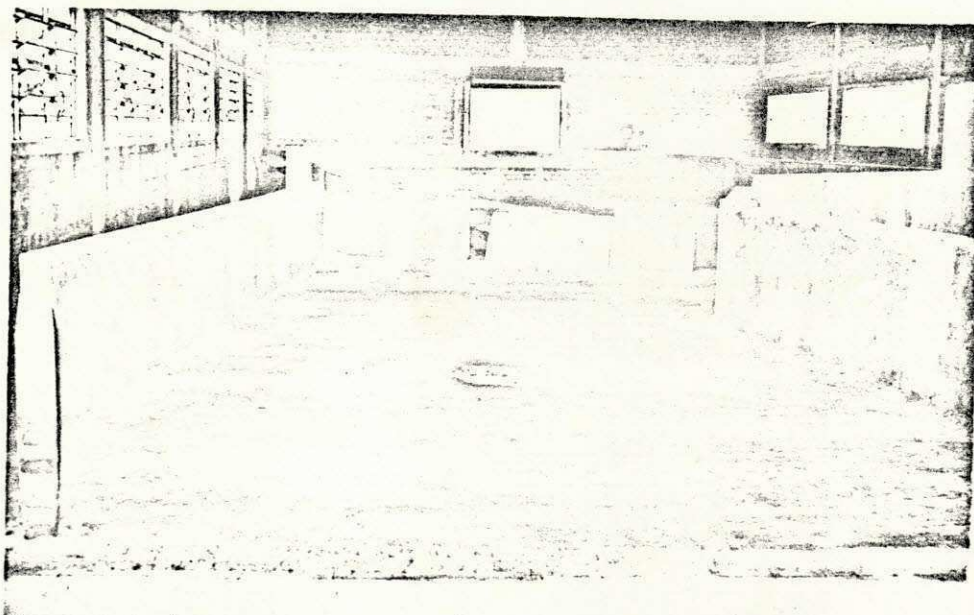


Foto 12 - Modelo Tridimensional - Vista de Jusante.

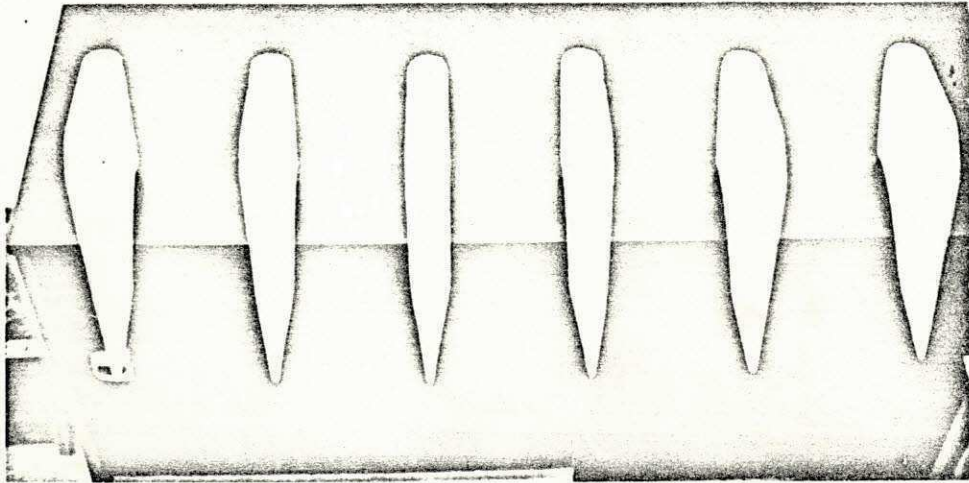


Foto 13 - Pilares do Modelo Tridimensional.

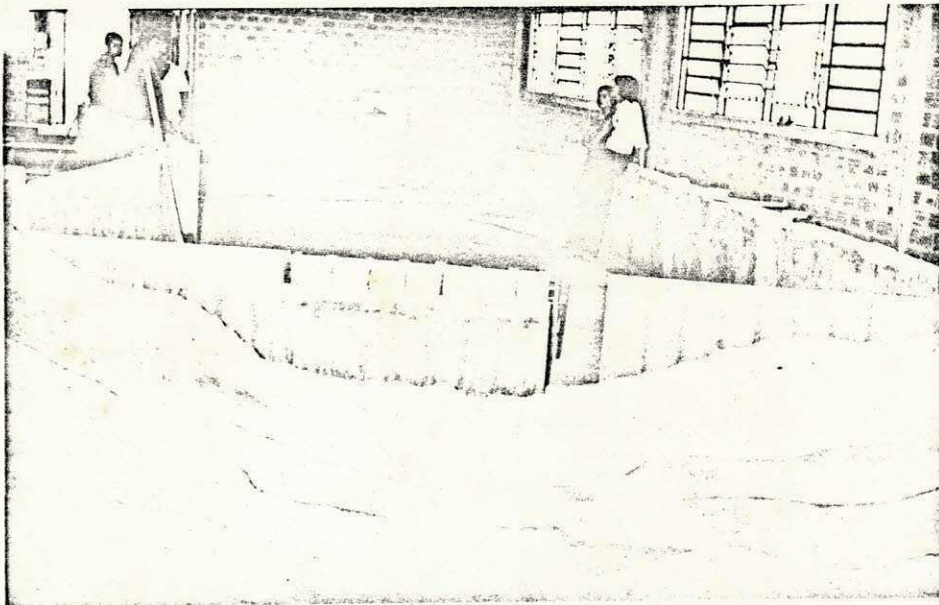


Foto 14 - Modelo Tridimensional - Vista de Montante.

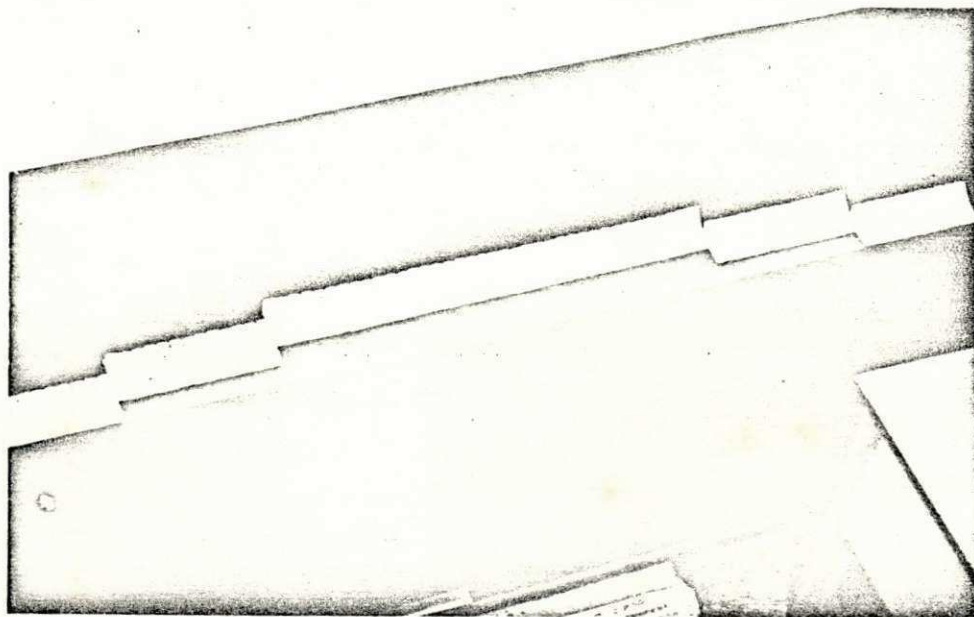


Foto 15 - Dentes da Soleira do Modelo Tridimensional.

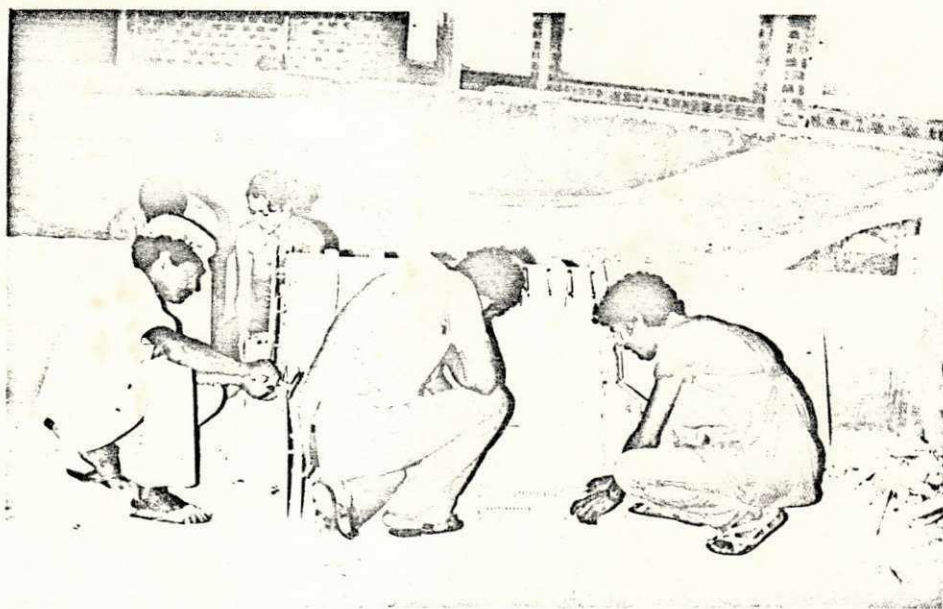


Foto 16 - Modelo Tridimensional - Instalação da Soleira de Dissipação e Tomadas d'água.