

Alguns casos de aplicação de resinas epóxicas na conservação e construção de barragens em Portugal

J. M. OLIVEIRA NUNES

Engenheiro Civil
Companhia Portuguesa de Electricidade (CPE)

1 — INTRODUÇÃO

Neste trabalho, preparado para apresentação na reunião do Comité de materiais do XI Congresso das Grandes Barragens (Madrid, 1973.), citam-se alguns exemplos de aplicação de produtos à base de resinas epóxicas na conservação de algumas barragens em Portugal (arranjo de algumas zonas deterioradas de barragens por causas várias, colmatagem de fendas, etc.) e na construção de uma barragem. Referem-se também alguns tipos de trabalhos em que se preconiza a aplicação desses produtos.

2 — BARRAGEM DE VILAR

2.1 — A Barragem de Vilar situa-se no Rio Távora, afluente da margem esquerda do Rio Douro. O corpo da barragem é constituído por enrocamento lançado a granel e submetido, quando do seu lançamento a forte jacto de água. A cortina estanque a montante, de betão armado, assenta sobre uma camada de enrocamento arrumado. O volume de enrocamento é de cerca de 300 000 m³.

A barragem tem a altura máxima de 55 m; a largura do seu coroamento é 7 m e o seu desenvolvimento 240 m. Os jorramentos dos paramentos são a jusante 1,3/1 e a montante vão de 1,1/1 a 1/1. A capacidade da albufeira criada pela barragem tem o volume total de 100 milhões

de m³, a energia armazenável é de 92 GWh e a produção média anual do aproveitamento é de 170 GWh.

2.2 — Quando do seu primeiro esvaziamento da albufeira, em 1966, verificou-se, como seria de prever, a existência de muitas fissuras na cortina de betão, embora na maioria capilares, (Fig. 1), algumas fendas, e betão esmagado nalguns blocos da base do chamado corta-águas, em virtude de esforços transmitidos pelas lajes perimetrais.

2.3 — Tratamentos

2.3.1 — Zonas com fissuras capilares

Procedeu-se à pintura generalizada das zonas danificadas com produtos à base de resinas epóxicas Icosit R. 9130 (Ver cap. 9 — 1).

A pintura foi precedida pela limpeza do betão, isto é, pela eliminação de quaisquer poeiras, empregando-se escovas de arame e lavagem com água.

Aplicaram-se 5 demãos do produto referido, com um intervalo de 4 horas entre elas. Nas últimas 3 demãos aplicou-se o produto mais concentrado.

2.3.2 — Fendas

As fendas foram preenchidas com Icosit K-250 E. 006 (Ver cap. 9 — 2). O produto entrou bem injectado sem pressão.

Em fendas mais largas aplicou-se Icosit K-250.002 (Ver cap. 9 — 2) e, em certos locais, onde as dimensões o permitiam, introduziram-se pedras que ficaram envolvidas por esse produto.

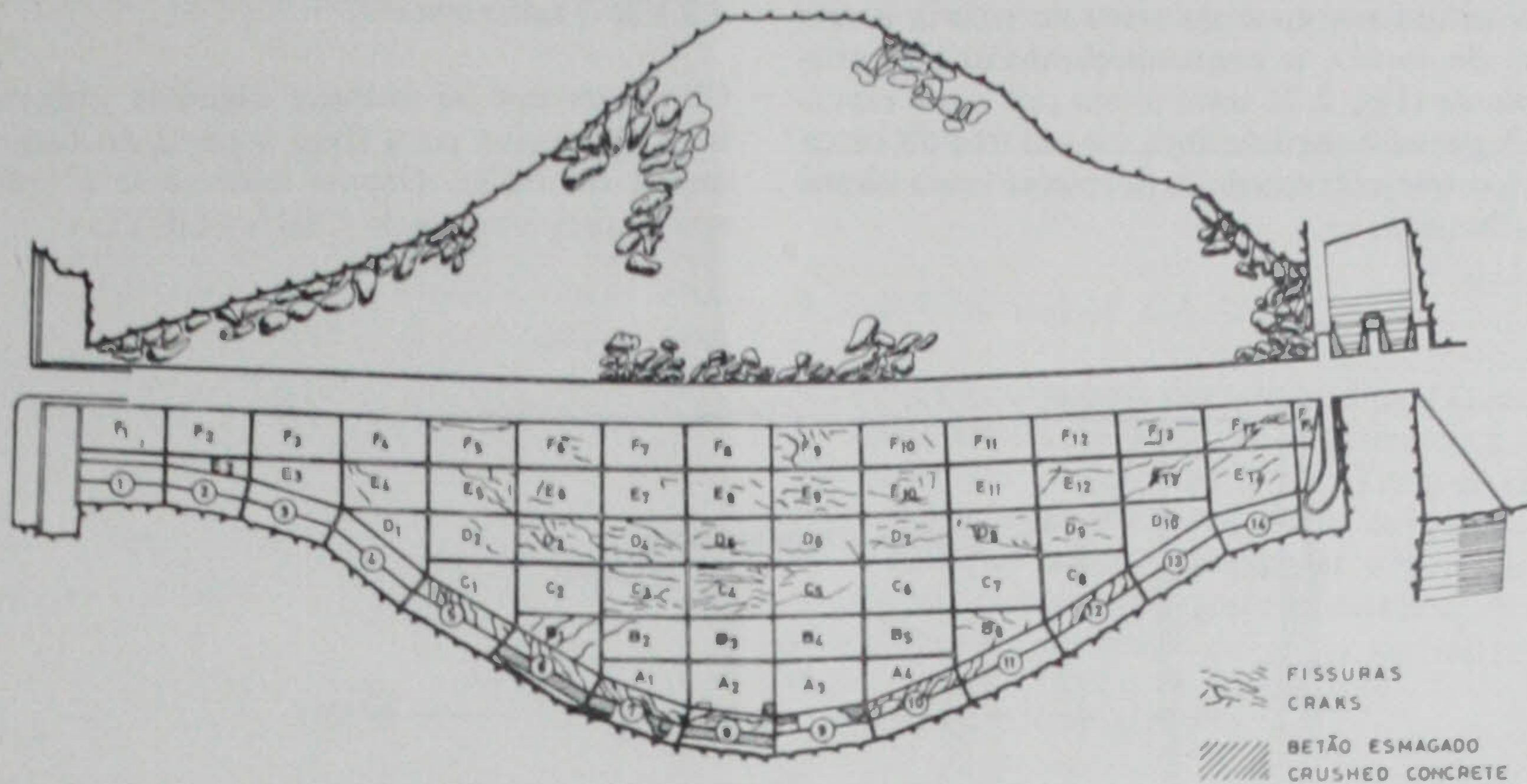


Fig. 1 — Planta da Barragem de Vilar — Rio Távora (Douro)

2.3.3 — Zona de betão esmagado

Demoliu-se a parte esmagada do betão. A superfície de fractura do betão antigo, isto é, do betão que se deixou permanecer, recobriu-se com película de Icosit K. 250.001 (Ver cap. 9 — 2) para se criarem condições de boa aderência ao novo betão que veio substituir o betão demolido. Como na altura da execução deste trabalho chovia, houve que cobrir-se a zona do trabalho, pois o produto referido tem de ficar perfeitamente isolado de água para não perder a eficácia.

3 — BARRAGEM DE CASTELO DO BODE

3.1 — Esta barragem situa-se no Rio Zêzere, afluente da margem direita do Rio Tejo. Trata-se duma barragem de

betão do tipo arco gravidade com cerca de 115 m de altura máxima e o volume de 400 000 m³.

O volume útil da respectiva albufeira é de cerca de 870×10^6 m³ e a energia armazenada 165 GWh. Foi construída (escavações e betões) entre princípios de 1947 e meados de 1950 (Fig. 2.1).

A central de pé de barragem é equipada com três grupos de 70 000 CV cada e a energia produzível em ano médio é de cerca de 470 GWh.

A barragem apresenta duas descargas de fundo, que a atravessam, bem como a central (situada à frente da barragem), com o diâmetro de 3 m, que permitem a evacuação de 300 m³/s de água para a carga máxima. Essas descargas são munidas a montante de comportas de segurança tipo lagarta.

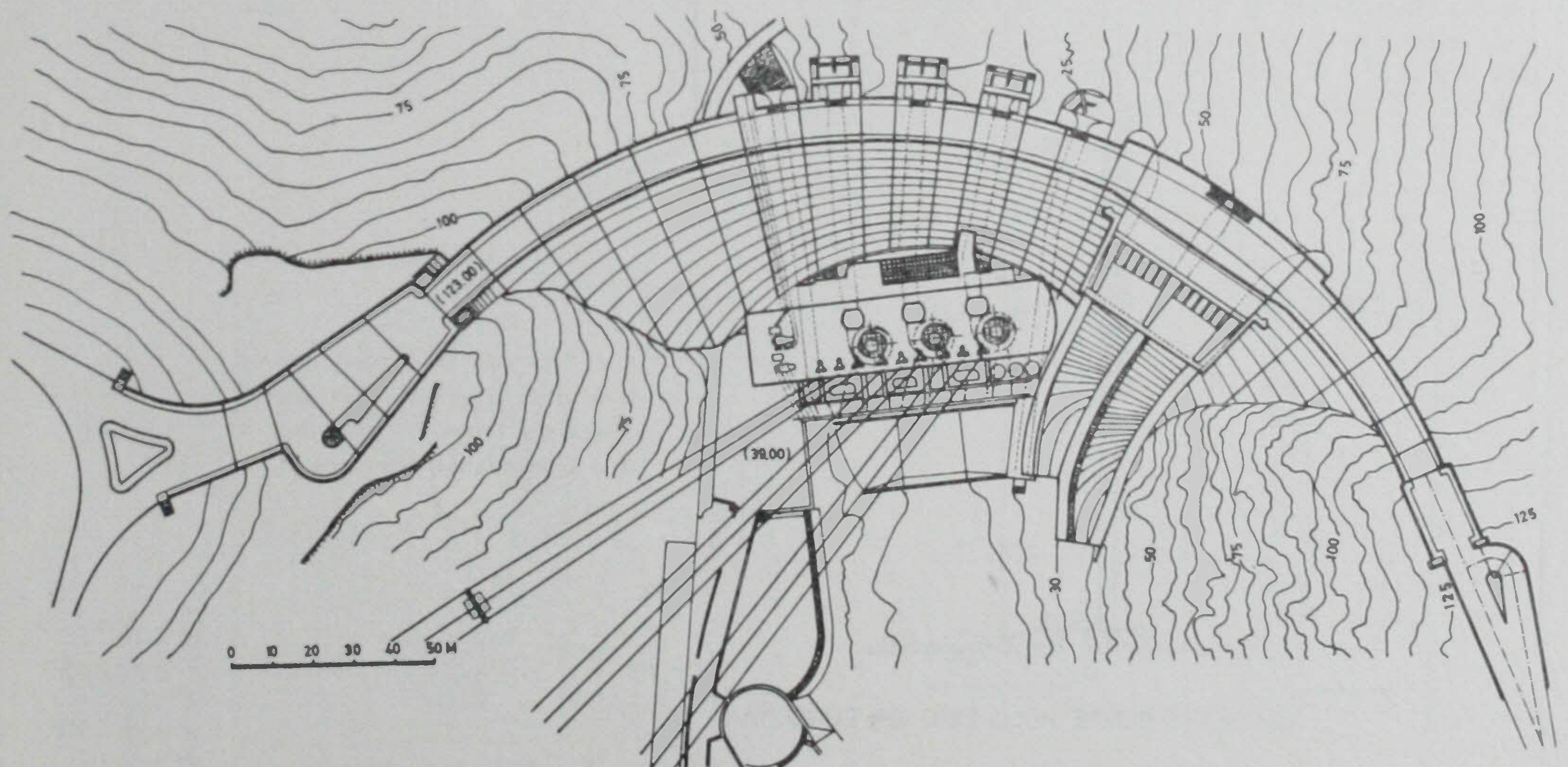
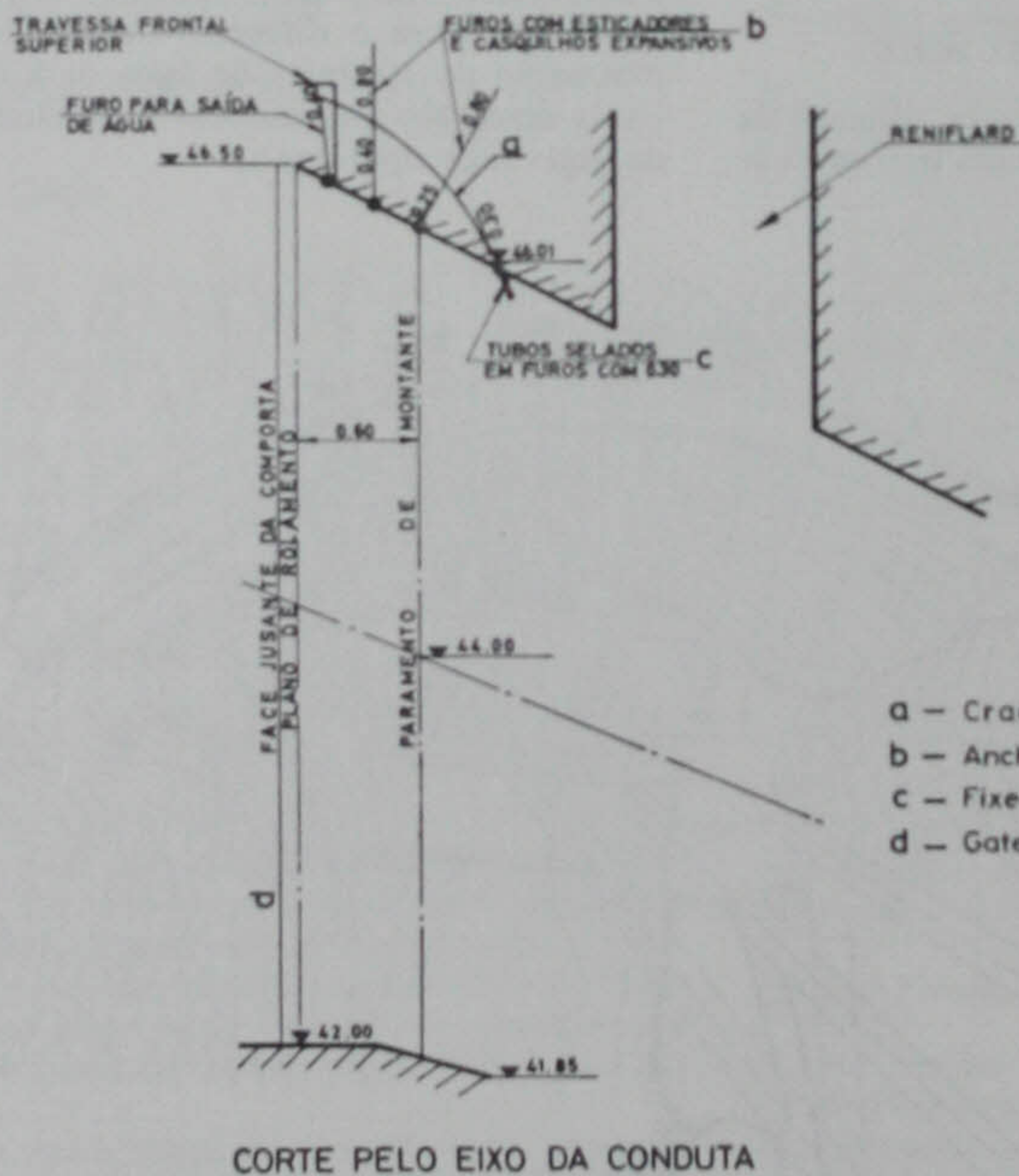
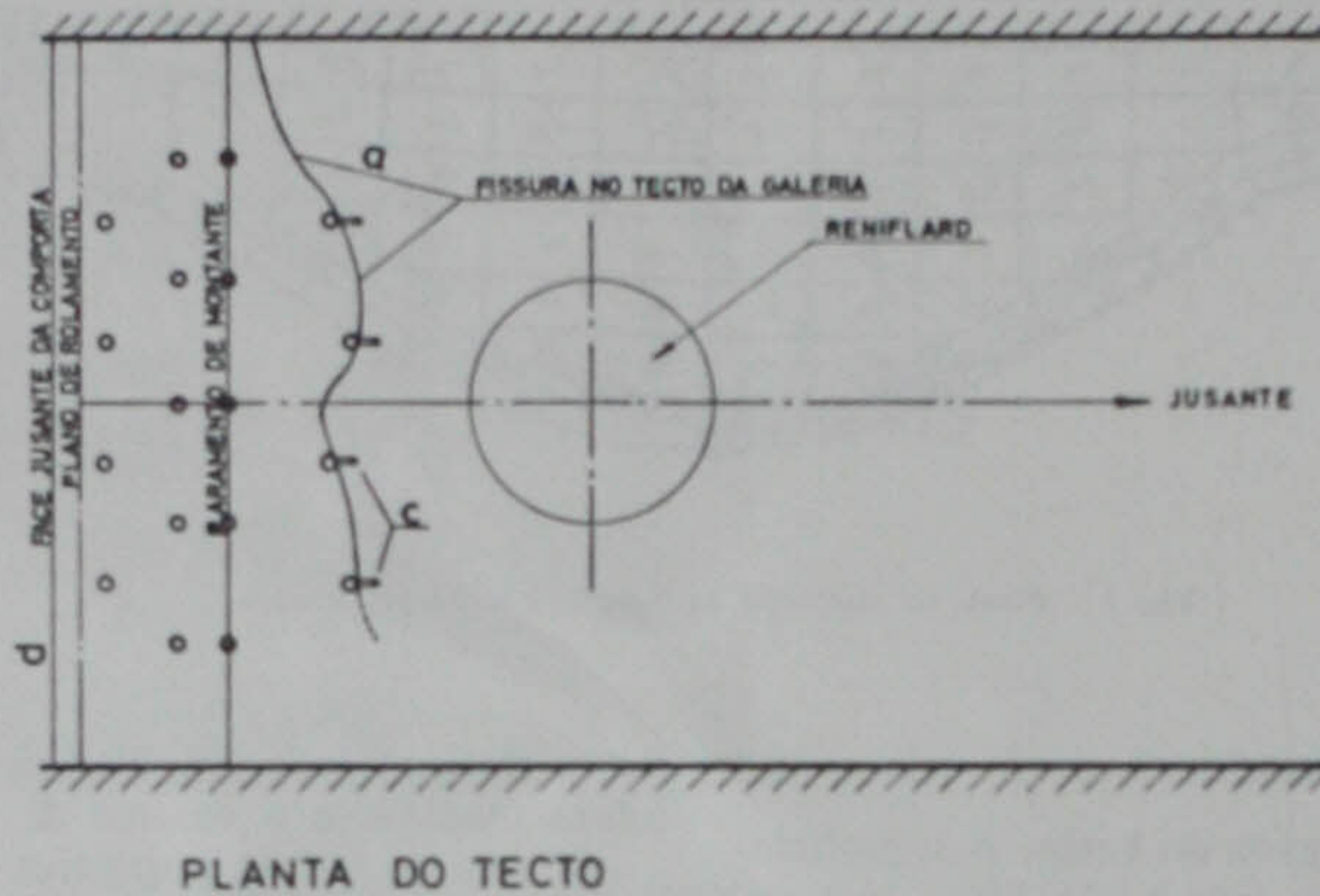


Fig. 2.1 — Barragem e Central de Castelo do Bode — Rio Zêzere (Tejo)

3.2 — A certa altura notou-se no tecto da galeria duma das descargas de fundo, a pequena distância da comporta de montante (Fig. 2.2), uma fenda por onde esgui-chava água. A pressão medida indicou valores de cerca de $7,5 \text{ kg/cm}^2$, o que correspondia precisamente à altura da água na albufeira.

3.2.1 — Tratamento

Começou por se colocar algumas ancoragens de cabeça expansiva para fixar a parte do betão desligada à massa do betão. Depois injectou-se a fenda com uma resina preparada pela CIBA—GEYGY.



- a — Crack in the gallery ceiling
- b — Anchorages with rawl bolts
- c — Fixed tubes for grouting
- d — Gate downstream face

Fig. 2.2 — Tratamento do betão de uma das descargas de fundo da Barragem de Castelo do Bode (Zêzere)

A composição do produto injectado foi a seguinte:

- Araldite tipo GY 257 1 parte
- Endurecedor tipo HY 837 0,37 partes

Com estes componentes e na proporção indicada obtém-se um produto viscoso que penetra muito bem por injeção em fendas, mesmo microscópicas, sem grande pressão. O produto penetra lenta mas continuamente. A infiltração foi completamente dominada (trabalhos executados pela firma Tecnasol — Lisboa).

3.3 — Injecções de vazios entre a blindagem metálica de condutas forçadas e o revestimento de betão

Aplicou-se a composição referida em 3.2.1 por injeção, em zonas onde a blindagem se encontrava desligada do betão, e com muito bons resultados, devido ao seu grande poder de difusibilidade e à sua incompressibilidade.

3.4 — Protecção dos tectos dos evacuadores de cheias

No tecto do evacuador de cheias começaram a aparecer manchas de ferrugem que se explicam por as armaduras terem ficado com um recobrimento de betão (ou argamassa) reduzido.

Aplicou-se para protecção composições à base de resinas epóxicas com as designações de Icosit K 100/101 (Ver cap. 9 — 3), Icosit 100/102 (Ver cap. 9 — 4), Hidrobarra (Ver cap. 9 — 5), e Icosit A 2030 (Ver cap. 9 — 6).

Ainda não decorreu tempo suficiente para se ter experiência directa da eficácia dos produtos.

3.5 — Impermeabilização de juntas e fissuras no tecto da central

Empregou-se como argamassa de regularização dos bordos das juntas a composição Icosit K 100/103/3 — 1510 (Ver cap. 9 — 7). Para impermeabilização empregou-se o produto PALESIT 020 (Ver cap. 9 — 8).

3.6 — Tratamento de algumas fendas no betão da descarga de fundo

Colmataram-se algumas fendas nas descargas de fundo com injeções de Icosit K (Ver cap. 9 — 9).

4 — BARRAGEM DA BOUÇÃ

4.1 — Esta barragem situa-se no Rio Zêzere, afluente da margem direita do Tejo, imediatamente a montante da barragem de Castelo do Bode. Trata-se de uma abóbada delgada, de betão, de dupla curvatura, em cúpula, com 63 m de altura máxima e 175 m de desenvolvimento no coroamento entre encontros. A descarga de cheias faz-se por cima da crista da barragem, caindo a água numa soleira de betão (Fig. 3).

A central correspondente está equipada com dois grupos de 34 000 CV e a produção de energia em ano médio é de 190 GWh. A barragem em si (escavações e betões) foi construída entre meados de 1954 e meados de 1955.

4.2 — Impermeabilização das juntas da plataforma da central (cota 140,00)

Neste trabalho empregou-se uma resina denominada BARRA EMULSÃO 57 (Ver cap. 9 — 10) e também PALESIT 020 (Ver cap. 9 — 8).

4.3 — Tratamento de fendas no betão do quadro da comporta ensecadeira da descarga de fundo

Tratou-se o betão com injeções de resina epóxida Icosit K (Ver cap. 9 — 9).

5 — BARRAGEM DO CABRIL

5.1 — A barragem do Cabril, do tipo cúpula, situa-se também no Rio Zêzere, afluente da margem direita do Tejo, e a montante das barragens da Bouçã e de Castelo do Bode. Tem a altura máxima de 132 m e a sua albufeira armazena um volume útil $600 \times 10^6 \text{ m}^3$.

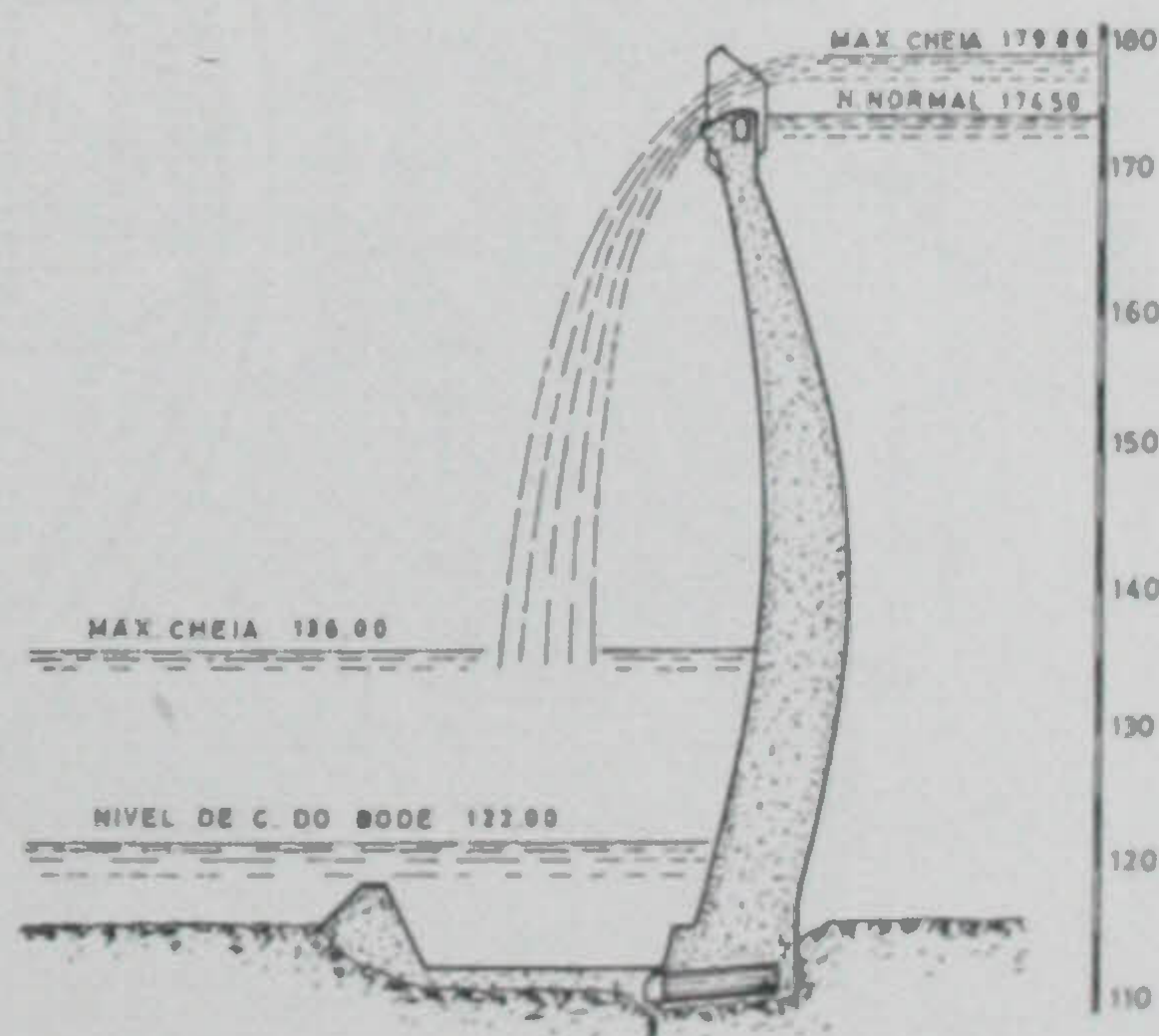
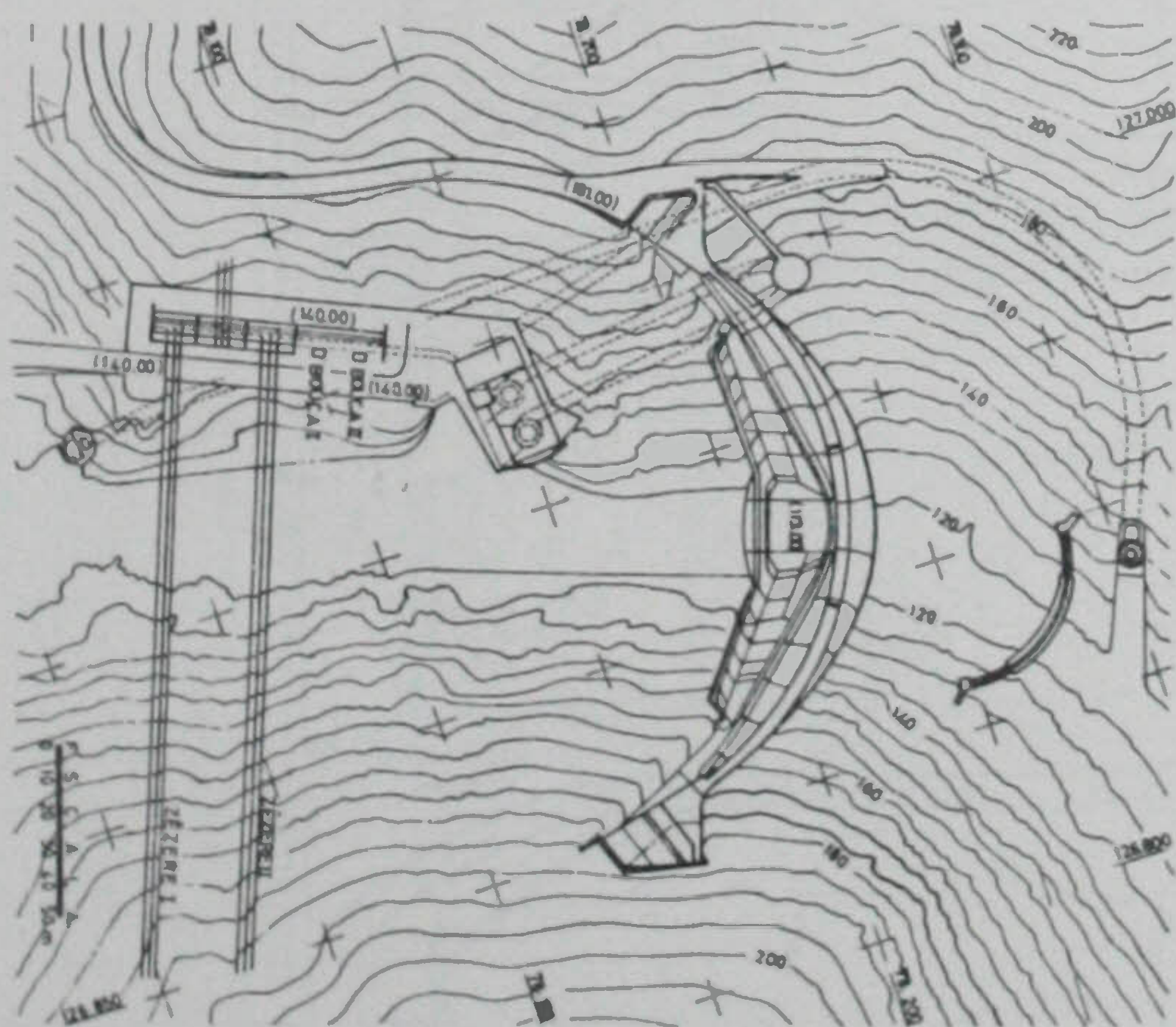


Fig. 3 — Aproveitamento Hidroeléctrico da Bouçã (Rio Zêzere) Corte da Barragem

A central de pé de barragem está equipada com 2 grupos de 70 000 CV, cada. A energia média anual produzida é de cerca de 335 GWh. A barragem propriamente dita (escavações e betão) foi construída entre fins de 1951 e fins de 1953. É munida de dois descarregadores de superfícies (fig. 4) em galeria e de uma descarga de fundo.

5.2 — Recentemente procedeu-se a um revestimento com argamassa em zonas das soleiras dos evacuadores de cheias onde se notaram algumas irregularidades.

As argamassas foram do tipo normal, empregando-se como ligante o cimento. Mas para melhor aderência da argamassa ao betão velho empregou-se BARRA EMULSÃO 57 (Ver cap. 9 — 10).

5.3 — Ainda para protecção das soleiras dos evacuadores de cheias empregaram-se para ensaios os produtos: Hidrobarra (Ver cap. 9 — 5) e Icosit K 102 «PANZER» (Ver cap. 9 — 4).

Por enquanto ainda não se podem avaliar os resultados.

6 — BARRAGEM DE FRATEL

6.1 — Esta barragem de betão, em fase de conclusão de construção, faz parte do aproveitamento hidroeléctrico do mesmo nome, situado no Rio Tejo.

Trata-se de uma barragem descarregador de comportas (6 (Fig. 5.1) com a altura máxima de 48 m e o desenvolvimento no coroamento de 106 m. A central,

construída em continuidade com a barragem, será equipada com três grupos (turbinas Kaplan) de 50 MVA, cada. A produção média anual será de 430 GWh.

6.2 — *Tratamento para aumento da resistência da soleira do descarregador e dos pilares da barragem a acção erosiva das águas e dos materiais sólidos por elas carreados.*

Para o aumento da resistência, como se refere, foi decidido aplicar um revestimento à base de resinas epóxicas nas partes da soleira do descarregador e dos pilares considerados susceptíveis de serem atacados pela água e pela sua carga sólida.

A aplicação foi precedida de ensaio, comparando-se o ataque de jactos de areia e de jactos de água (Ver cap. 9 — 11) sobre placas de betão, de betão com diversos revestimentos, de betão revestido de chapa de aço e ainda sobre uma placa de granito são.

Nos ensaios verificou-se que o betão revestido com resinas epóxicas se comportou sensivelmente melhor que o betão simples, e mesmo que o granito.

6.2.1 — *Fases dos trabalhos — Materiais empregados*

Começou por proceder-se a uma decapagem com jacto de areia das superfícies, com o fim de as limpar, e dar-lhes uma certa rugosidade para facilitar a aderência do produto de revestimento.

Em locais onde se verificavam grandes irregularidades na superfície do betão (tipo I, Fig. 5.2) proce-

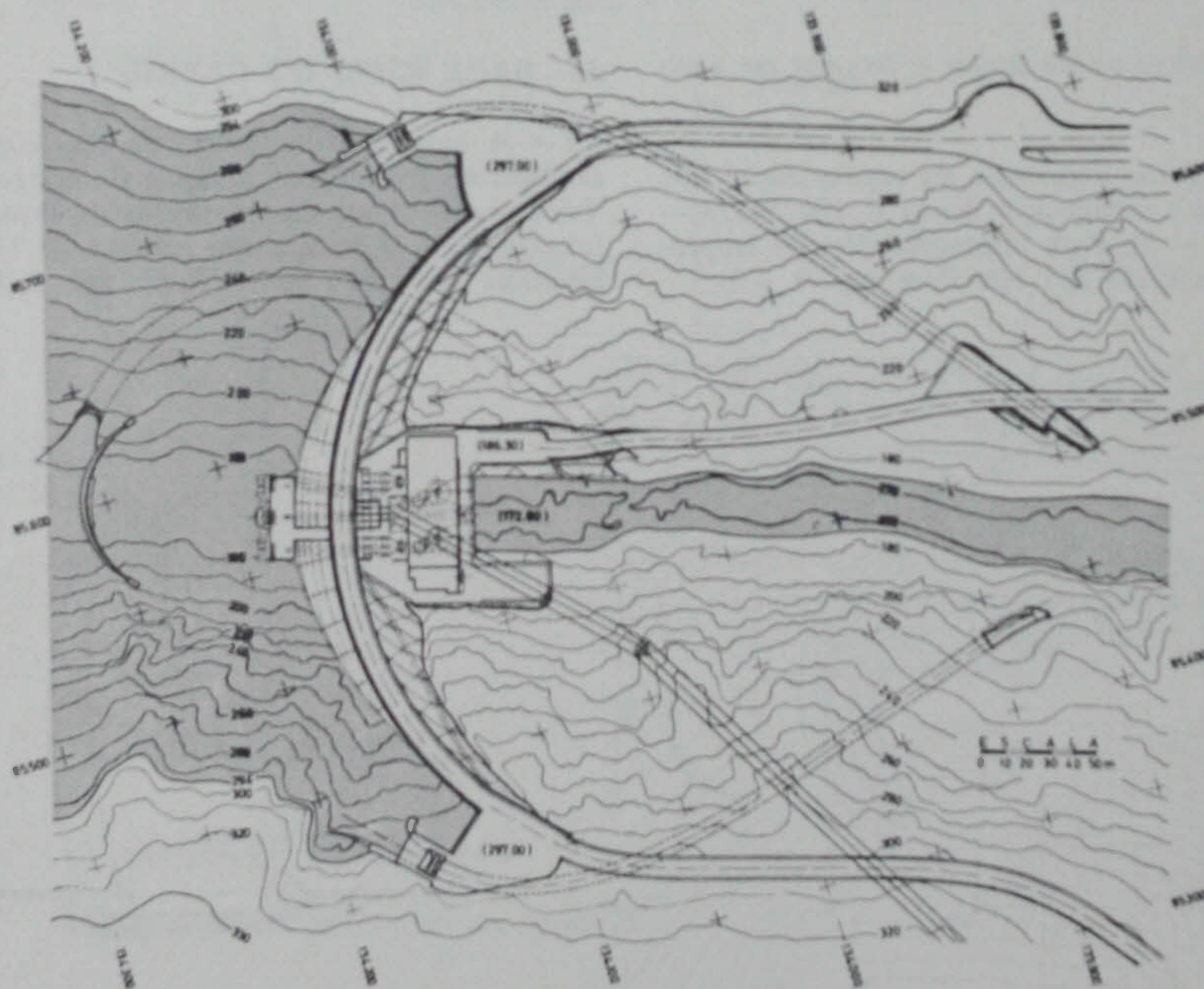


Fig. 4 — Aproveitamento Hidroeléctrico do Cabril

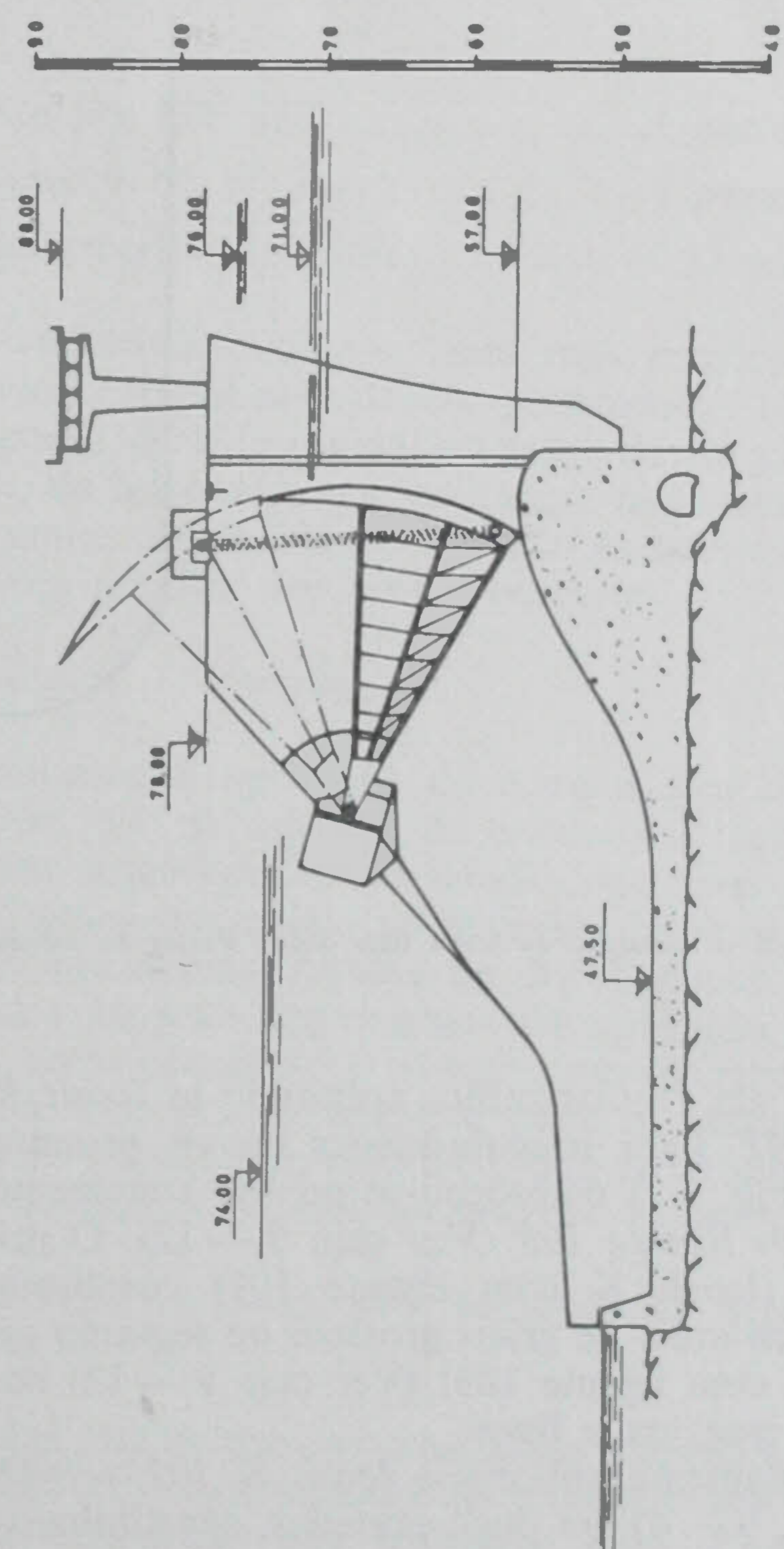
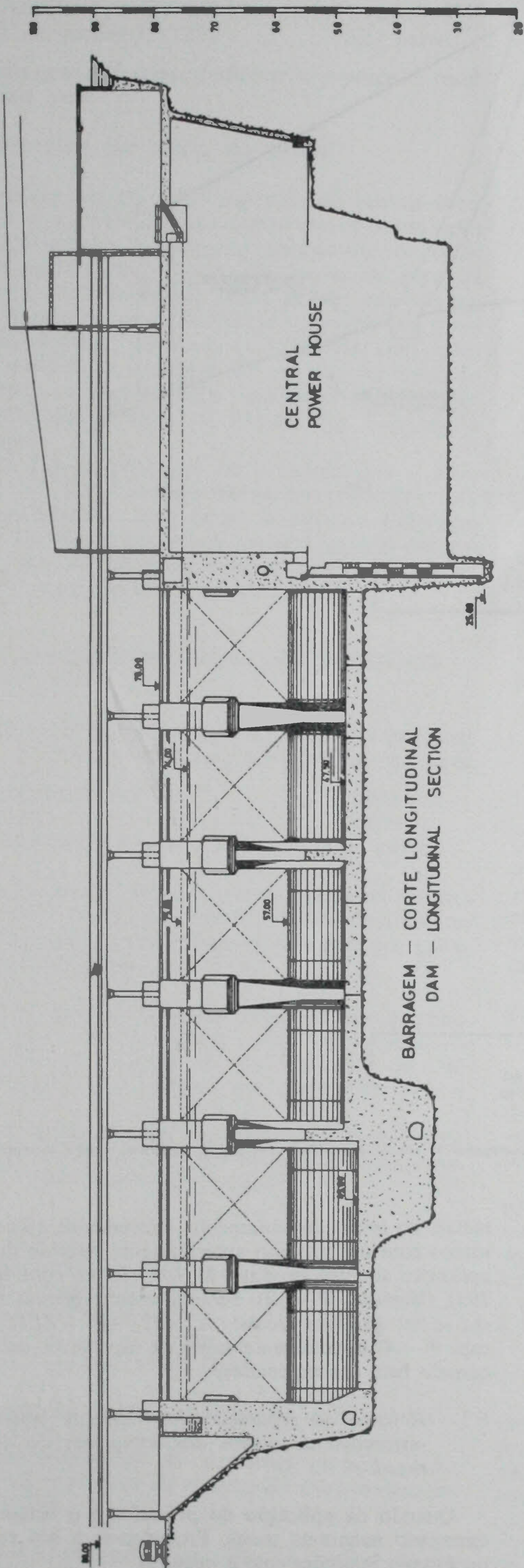


Fig. 5.1. — Aproveitamento Hidroeléctrico de Fratel — (Barragem • Central)

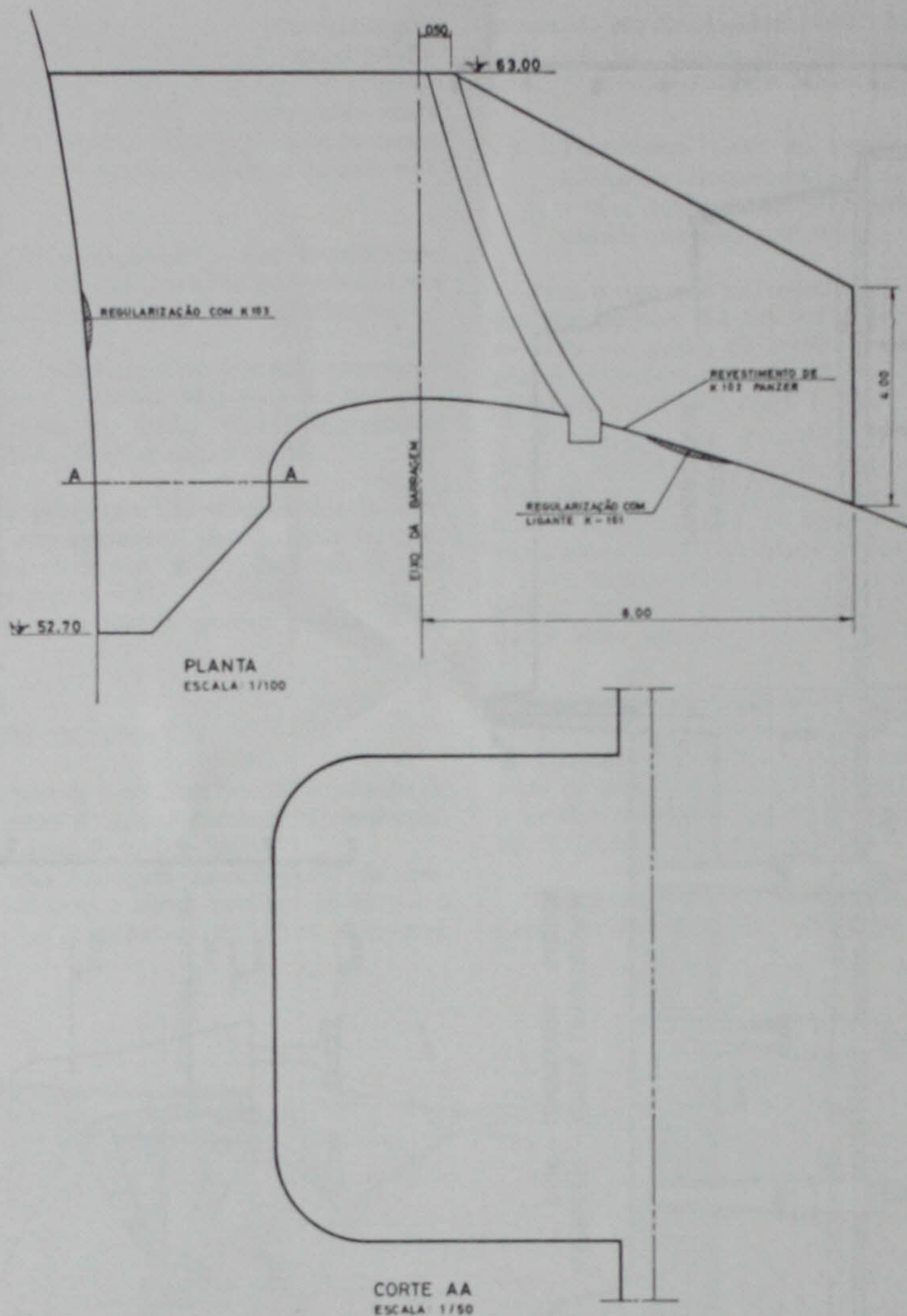


Fig. 5.2. — Barragem de fratel (Rio Tejo). Partes da soleira do descarregador e pilares protegidas com resinas epóxicas, contra a erosão

deu-se à sua regularização, aplicando-se *Icosit K com ligante 101*. Para irregularidades menos pronunciadas (tipo 2, Fig. 5.2) empregou-se no seu tratamento *Icosit K com ligante 103* (Ver cap. 9 — 12). O primeiro produto (*Icosit K com ligante 101*) constituía uma massa com areia de grãos grossos; no segundo produto (*Icosit K com ligante 103*) (Ver cap. 9 — 12) os grãos da areia eram mais finos.

Seguidamente aplicou-se *Icosit K 102 — PANZER* (Ver cap. 9 — 4) em duas camadas, constituindo-se assim um revestimento com uma espessura aproximada de 2 mm. A carga deste produto é constituída por elementos muito finos de modo a conseguir-se superfícies bastante lisas.

Nos locais onde as superfícies estavam desempe-

nadas, no início do tratamento, procedeu-se ao revestimento com um produto anteriormente referido de uma aplicação co mo produto *K 103 (Icosit com ligante 103)*. (Ver cap. 9 — 12). Posteriormente, passou a aplicar-se o produto *Icosit K 102 — PANZER* (Ver cap. 9 — 4) directamente sobre as superfícies de betão quando bem desempenadas.

6.3 — Reforço ou reparação das vigas de betão pré-esforçado de apoios das comportas do descarregador

Quando da aplicação do pré-esforço o betão ficou esmagado nalgumas zonas. Procedeu-se à sua regeneração com injecções com a mistura:

- Araldite tipo GY 257 1 parte
- Endurecedor HY 837 0,37 partes

Tanto quanto é possível afirmar-se o processo resultou muito bem.

6.4 — Injecções das juntas da central

O maciço do encontro esquerdo da central apresentou alguma instabilidade, aspecto que se tratou pelos meios apropriados (ancoragens contrafortes de betão em continuidade ou incluídos nos betões da estrutura da central, revestimento do betão armado em galerias, drenos, injecções, etc.). No entanto prevendo-se eventualmente algumas deformações do terreno que transmitam pressões à estrutura da central, foi decidido monolitizar as suas paredes, injectando as juntas de contracção que dividem os blocos (Fig. 5.3) que a constituem.

O produto a empregar em princípio será o referido em 6.3. Se a abertura das juntas o permitir será de tentar juntar-lhe uma carga de cimento. Com este produto garante-se um preenchimento perfeito dos vazios, o que não acontece com as caldas à base de cimento e água, devido à sua contracção.

7 — APLICAÇÕES DE RESINAS EM LOCAIS VÁRIOS (1)

7.1 — Em muitos casos considera-se útil, até por uma questão económica, empregar composições do tipo:

- Araldite tipo GY 257 1 parte
- Carga 1 parte
- Endurecedor tipo HY 837 0,37 partes

A carga poderá ser um cimento portland normal ou uma areia muito fina, melhor, farinha de areia, de natureza siliciosa, constituída especialmente por grãos com dimensões abaixo de 0,15 mm.

7.2 — Com estas composições obtém-se um produto praticamente sem retracção, com resistências à compressão (em prismas de 4×4×16 cm) de 700 a 1000 kg/cm² e à tracção por flexão de 300 a 700 kg/cm².

7.3 — O emprego de menores proporções de endurecedor do que o indicado conduz a produto plástico, eventualmente, próprio para juntas elásticas.

Com a composição seguinte:

- Araldite tipo GY 257 1 parte
- Endurecedor HY 830 0,45 partes
- Endurecedor HY 850 0,15 partes

obtém-se um produto muito fluído.

7.4 — Aplicações destes produtos em casos vários

7.4.1 — Estabelecimento de contactos perfeitos entre vigas metálicas de reforço de lajes antigas de edifícios

Injectou-se primeiramente calda de cimento, tendo em vista a economia, e depois preencheram-se os vazios

entre a calda de cimento endurecido e o betão devidos à contracção da calda (Ver cap. 9 — 13), com a composição indicada em 7.1 (carga-cimento).

7.4.2 — Regeneração de vigas de betão fendidas

Envolveram-se primeiro as vigas com uma cofragem metálica. Injectou-se uma mistura de resinas com carga de cimento. A cofragem permaneceu ligada pela resina ao betão passando a constituir como que uma armadura adicional.

8 — POSSÍVEIS APLICAÇÕES DAS RESINAS EM TRABALHOS FUTUROS

8.1 — Aplicação de resinas no betão de selagens de peças fixas das comportas, onde com muita frequência com os betões correntes se verificam infiltrações, por vezes em grau tal que obrigam a um tratamento do betão.

Segundo a nossa opinião, e especialmente em tempo quente, em que as misturas tipo Araldite anteriormente indicadas endurecem muito rapidamente, esse betão deverá até ser do tipo «prepackt». Nesse sentido, fizemos no laboratório do estaleiro (2) ensaios de enchimento de cubos de 20 cm. preenchidos com brita de granito de dimensões 10-19 mm, com a composição:

- Araldite GY 257 1 parte
- Cimento P. N. Liz 1 parte
- Endurecedor HY 837 0,37 partes

A composição penetrou lenta mas continuamente nos vazios, preenchendo-os completamente. Tem um grande poder de difusibilidade apesar da carga de cimento, e, de tal modo, que se escapa facilmente através das juntas dos moldes, o que não sucede, evidentemente, com a calda dos betões correntes.

8.2 — Selagem de ancoragens

Preconiza-se a aplicação de composições do tipo referido em 8.1 na selagem de ancoragens pré-esforçadas para estabilização de taludes rochosos. Nesse sentido fizemos um ensaio na pedreira de Fratel (granito) com ancoragens Diwidag de $\varnothing = 32,6$ mm.

Um dos aspectos importantes da aplicação destes produtos neste campo será o muito menor espaço de tempo que é necessário decorrer entre a selagem e a aplicação do pré-esforço, o que é muito importante, ou até vital, quando se trata de ancoragens de emergência.

8.3 — Injecções de juntas de contracção de barragens arco

Também será de encarar o emprego generalizado de composições do tipo referido no preenchimento das juntas de contracção das barragens arco. Como se refere na nota da Pág. 10 a contracção das caldas de cimento correntemente usadas é enorme.

(1) Informações da TECNASOL — Lisboa 1.

(2) Dirigido pela CFGAHE - MOP.

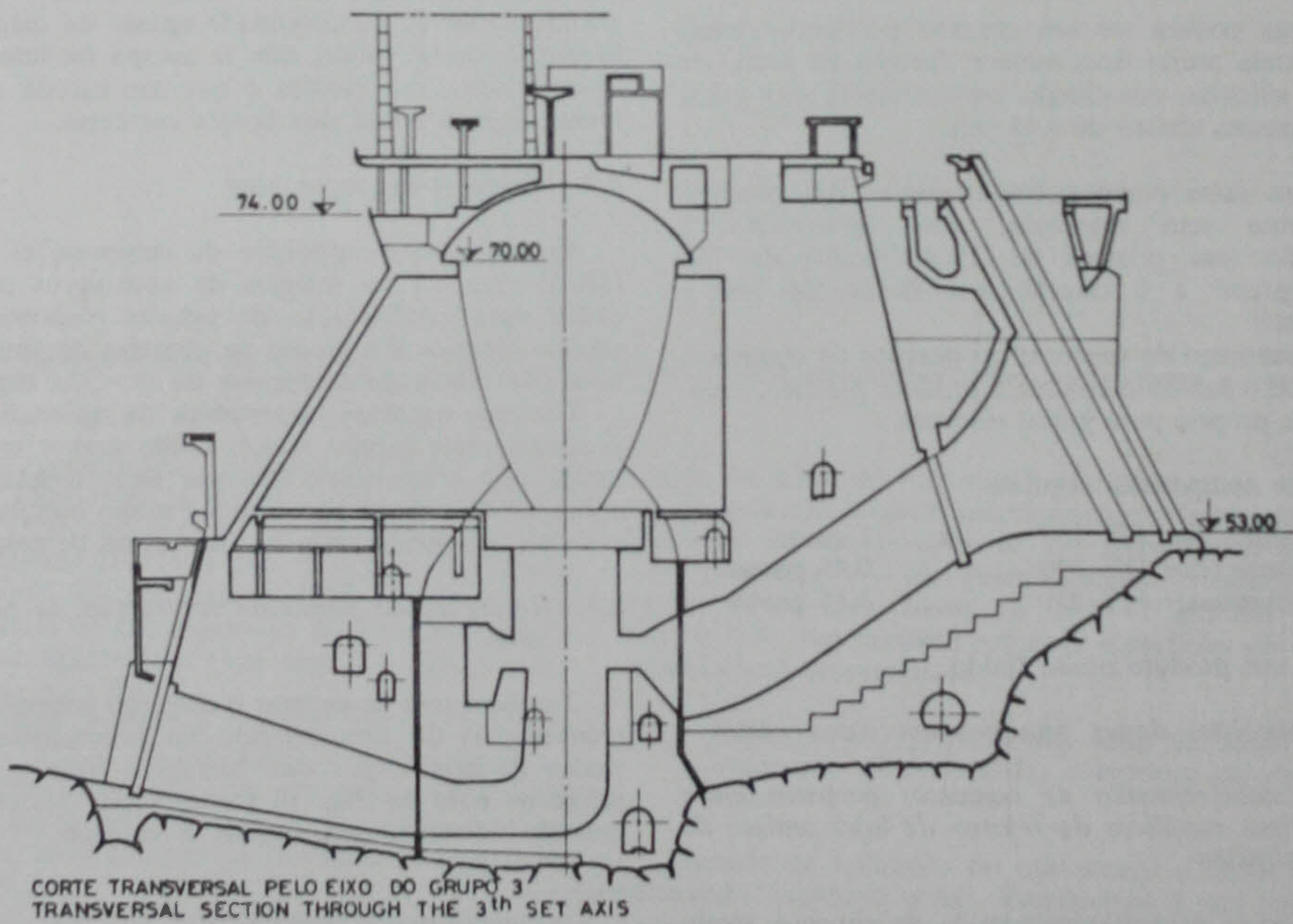
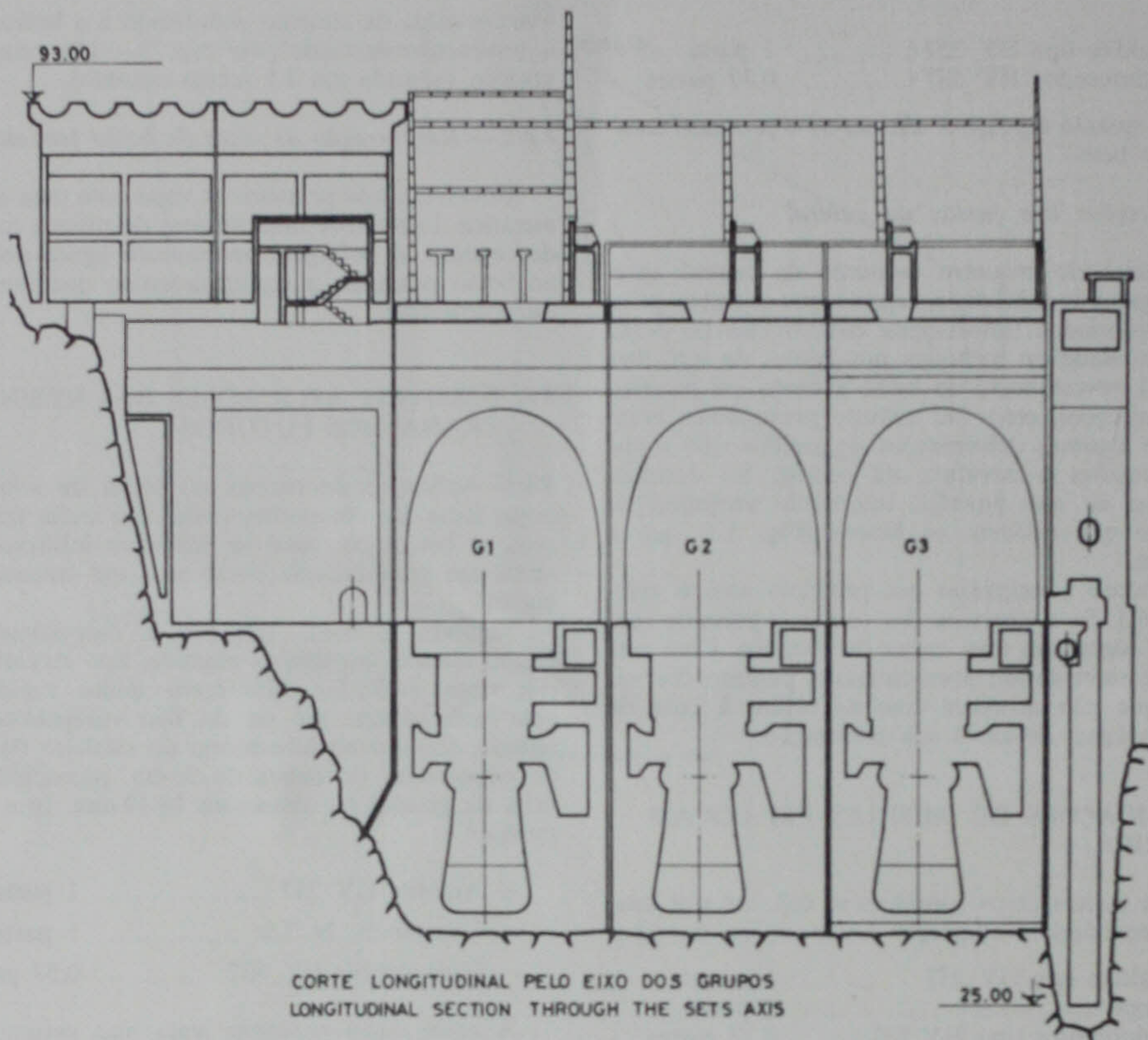


Fig. 5.3 — Central de Fratel

9 — ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS DOS DIVERSOS PRODUTOS. OBSERVAÇÕES

1 — Segundo informação técnica 76 10 19 — H6F da Sital (Soc. Ind. de Tintas e anticorrosivos, Lda.) a Icosit R. 9130 é uma tinta (vulcanizadora a frio) preparada na base de Hypalon. Tem 3 componentes: solução base para Icosit R.9130 87 partes; vulcanizador — 8,7 partes; diluente C — 4, 3 partes. O «Pot-Life» varia entre 1,5 e 2,5 horas.

2 — Icosit K.250.E.006 e Icosit K.250.002. Informação 72 02 00 — 72 03 00 B6F da Sital. Trata-se de argamassas plásticas que têm como ligante resinas epóxicas A 001 (Ver 2.3.3) é constituída por 88 partes da solução base e 12 partes do endurecedor. Apresenta um «Pot-Life» de cerca de 2 horas. As resistências (N. DIN 1164) são: à flexão 450 kg/cm² e à compressão — 800 a 900 kg/cm². O seu módulo de elasticidade é aproximadamente de 40 000 kg/cm². A 002 é constituída por — 53 partes da solução base, 40 partes de carga e — 7 do endurecedor. As resistências são: à flexão cerca de 360 kg/cm² e à compressão vão de 800 a 1000 kg/cm². Módulo de elasticidade — cerca de 88 000 kg/cm². A 006 corresponde ao tipo 002 mas com uma carga especial (6) para um aumento de trabalhabilidade.

3 — Icosit K 100/101. Resinas tipo epóxicas. Mistura: solução base — 88, endurecedor — 12. Peso específico \approx 1,9 kg/l. «Pot-Life» a 20°C \approx 2 h. Temperatura de aplicação a partir de + 5°C. Endurecimento a 20°C \approx 24 h. Resistência à flexão (N. DIN 1164) \approx 450 kg/cm². Resistência à compressão (N. DIN 1164) 800 a 900 kg/cm². Fricção (N. DIN 52 108) — 8 a 10 cm³/50 cm². Módulo de elasticidade 40 000 kg/cm².

4 — Icosit K 100/102. Mistura: solução base — 53, endurecedor — 7 e cargas — 40 partes (areia de quartzo 0,8 a 1,7 mm). Peso específico aparente 2 kg/l. «Pot-Life» a 20°C — 2 a 3 h. Temperatura de aplicação a partir de + 5°C. Tempo de endurecimento a 20°C \approx 24 h. Resistência (N. DIN 1164): flexão \approx 360 kg/cm², compressão 800 a 1000 kg/cm². Fricção (N. DIN 52 100) — 8 cm³/50 cm². Módulo de elasticidade \approx 88 000 kg/cm².

5 — Hidrobarra — Argamassa hidrófuga especial pronta a aplicar. Ligante — resina P. V. C. Densidade aparente — 1,1 kg/l. Resistente a temperaturas entre — 50°C e + 80°C. Ligeiramente higroscópica. Temperatura de aplicação a partir de 5°C. Acção fisiológica igual à do cimento.

6 — Icosit A 2030. Tinta à base de resinas epóxicas (borracha colorada). É anticorrosiva, resistente a ácidos e bases até uma concentração de 20 % à temperatura de 15°C, bem como a sais em solução e água com cloro.

7 — O ligante desta argamassa é uma resina epóxida. A composição da mistura foi a seguinte:

solução base — 26,5, cargas — 70 e endurecedor — 3,5. Peso específico — 2,5 kg/l. «Pot-Life» a 20°C — 2 a 3 h. Temperaturas de aplicação a partir de + 5°C. Endurecimento a 20°C — 14 h. Resistência (N. DIN 1164), flexão 250 a 300 kg/cm², compressão 800 a 900 kg/cm². Fricção (N. DIN 52 108) — 9 cm³/50 cm². Módulo de elasticidade \approx 180 000 kg/cm².

8 — PALESIT 020. Borracha siliconizada. Peso específico 1,4 kg/l. Resistente a temperaturas entre — 50 e 180°C. Tensão de tracção \approx 3kg/cm² a 50 % de dilatação. Alongamento de rotura \approx 150 %.

9 — Icosit K (resina tipo epóxida). Era constituída por uma solução base, endurecedor e acelerador. Peso específico a 20°C, \approx 2 kg/l.

10 — BARRA EMULSÃO 57. Resina, constituída por um proprianato, obtido por dispersão de matérias sintéticas altamente activas. Destina-se a aumentar a aderência das argamassas de regularização dos bordos das juntas. Peso específico — 1,07 kg/l. Viscosidade (DIN 4 mm, 20°C) 60 seg. pH cerca de 5. Sensível ao gelo. Aplicável entre 5 e 35°C.

11 — O ângulo de jacto de areia (natural do Rio Tejo) com o plano das placas era de 20°. O ângulo de jacto de água 90° e a pressão da água 2 kg/cm². Não tenho ideia pessoal da semelhança entre o comportamento dos materiais nos ensaios e, depois, nas condições naturais.

12 — Icosit K 100/103/1. O ligante é uma resina epóxida com características idênticas às referidas em 2, 3 e 4. A dosagem da mistura é porém diferente: solução base — 30 partes, cargas — 66 partes, endurecedor — 4 partes.

13 — 10 cm de espessura de calda de cimento preparada em misturador de alta turbulência dão um assentamento com 1 cm de espessura; com uma calda preparada em misturador manual o assentamento é de cerca de 6 cm (Inf. da TECNASOL).

10 — AGRADECIMENTOS

Forneceram informações para este trabalho: a Sital (Soc. Industrial de Tintas e Anticorrosivos Lda), a CIBA GEYGY Portuguesa Lda., a TECNASOL Lda. — LISBOA, por intermédio dos Eng.^{os} Guerra e Pinto Cardoso e Ag. T. E. Carlos Veloso, o Eng.^o Fausto Costa (CPE) e o encarregado Manuel Guerreiro (CPE), Cooperou em ensaios por nós realizados o Eng.^o Martins da CFOGAHE (Comissão de Fiscalização das Obras dos Aproveitamentos Hidro-Eléctricos).

A todos, os nossos agradecimentos e em não menor grau aos Eng.^{os} Carvalho Xerês (CPE) e Licínio Vaz (CPE) que, de iniciativa própria, puseram à nossa disposição diversos elementos, e ao Dr. César Gonçalves (CPE) que reviu este trabalho.