



ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS



ABES ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

7

I SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

TEMA 1 - SISTEMAS DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

A Estação Elevatória de Castelo do Bode

EDUARDO CARY

Eng^o Civil (IST)

Director do Departamento de Hidráulica Urbana da HIDROPROJECTO,
Consultores de Hidráulica e Salubridade, SARL, Lisboa, Portugal

RESUMO

As grandes obras de reforço do sistema de abastecimento de água à Região de Lisboa prevêm a captação de 500 000 m³/dia de água na albufeira de Castelo do Bode, que terão de sofrer uma elevação inicial para a futura estação de tratamento de águas da Asseiceira, implantada a 9 km a sudoeste da referida albufeira.

Na definição da concepção geral da respectiva estação elevatória, houve que encarar vários problemas, nomeadamente:

- optar entre captar as águas directamente da albufeira de Castelo do Bode ou as águas turbinadas a jusante da barragem;
- garantir um caudal constante à chegada à estação de tratamento da Asseiceira, quando as altura de elevação podem variar entre um mínimo de 15 m e um máximo de 111,5 m;
- implantar a estação elevatória no reduzido espaço disponível.

Depois de se localizar a obra no sistema geral de reforço do abastecimento de água à região de Lisboa, os problemas referidos serão enunciados em pormenor, apresentando-se as alternativas encaradas e justificadas as soluções adoptadas.

A Estação Elevatória de Castelo do Bode

1. SUA INTEGRAÇÃO NO SISTEMA DE REFORÇO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA A REGIÃO DE LISBOA

As grandes obras de reforço do abastecimento de água à Região de Lisboa prevêem a captação de significativos caudais na Albufeira de Castelo do Bode. Em 1ª fase o seu valor será de 375 000 m³/dia, atingindo-se os 500 000 m³/dia em posterior ampliação.

Aquelas obras incluem (ver Figura 1):

- tomada de água na albufeira de Castelo do Bode;
- túnel inicial com 1 km de comprimento estabelecendo a ligação da tomada à estação elevatória de Castelo do Bode;
- estação elevatória de Castelo do Bode;
- conduta elevatória até à Estação de Tratamento da Asseiceira, com 8 km de comprimento e DN 1,80 m;
- estação de tratamento de Asseiceira, com 3 módulos de 125 000 m³/dia cada um, construídos na 1ª fase e preparada para uma fácil ampliação de mais um módulo igual;
- adutor de DN 1,80 m e comprimento da ordem dos 80 km dirigido à zona de Lisboa (Vila Franca de Xira), com capacidade de vazão, em regime gravítico de 375 000 m³/dia, mas permitindo a adução do caudal de 500 000 m³/dia, com a entrada em funcionamento de 2 sobreelevações intermédias.

A jusante de Vila Franca de Xira o sistema encontra-se já em exploração.

Os regimes de funcionamento da estação elevatória de Castelo do Bode tem que garantir a afluência à estação de tratamento da Asseiceira dum caudal de valor constante. Numa primeira fase o valor desse caudal será de 375 000 m³/dia, podendo em determinados períodos de fraca probabilidade de ocorrência, tal valor ser reduzido para 250 000 m³/dia. No futuro, para além destes regimes, haverá ainda que garantir, em período de consumos críticos (meses de estio), a elevação dum caudal de 500 000 m³/dia.

Os caudais em causa podem ser elevados da albufeira de Castelo do Bode ou, em caso de esvaziamento desta, directamente do rio Zêzere, imediatamente a jusante da barragem. Os níveis de água na aspiração poderão ter, assim, variações tão significativas, como:

- quando bombando da albufeira - entre os 80 m (nível mínimo de exploração) e os 121 m (nível máximo de exploração);
- quando bombando do rio Zêzere - níveis da ordem dos 25 m, para o que irá ser construído um pequeno açude móvel (as cotas do fundo do rio rondam os 22 m).

2. PRINCIPAIS PROBLEMAS ANALISADOS NA SUA CONCEPÇÃO

2.1 - Enumeração dos problemas

Importa referir os seguintes problemas:

- a opção entre bombagem de água da albufeira de Castelo do Bode ou de água turbinada;
- o modo de garantir a chegada de um caudal constante à estação de tratamento da Asseiceira, com níveis de água na aspiração variando tão significativamente;
- o limitado espaço disponível para implantação da obra.

Dos mesmos se dá um breve apanhado nas alíneas seguintes.

2.2 - Opção entre bombagem de água da albufeira de Castelo do Bode ou de água turbinada

As obras correspondentes às hipóteses de solução em jogo apresentam-se em esquema, na Fig. 2. Conforme se pode constatar na solução variante (água turbinada) conseguiram-se reduções significativas nos encargos com a adução, não só pela eliminação de 1 km de túnel, mas ainda porque a tomada de água no rio era susceptível de implantar-se em local mais próximo da ETA Asseiceira. Em contrapartida, o facto de se captar águas turbinadas retiradas da albufeira de Castelo do Bode a níveis menos adequados para a finalidade do abastecimento de água (aumentos do teor de ferro, manganês, matéria orgânica, matéria em suspensão e abaixamento do pH), associado a uma maior turvação resultante das águas pluviais directamente afluentes à pequena albufeira que se criaria a jusante da barragem de Castelo do Bode, iria acarretar agravamento nos custos respeitantes ao tratamento de água (construção de decantadores, não necessários na estação de tratamento da solução base, e ampliação das instalações de tratamento de lamas prevista, obras com custos rondando os 200 000 contos).

Tendo presente que a tomada de água na albufeira de Castelo do Bode já se encontrava construída e considerando pouco significativas as diferenças de investimentos inerentes ao conjunto açude-estação elevatória para as duas soluções em comparação, ter-se-iam investimentos superiores para a solução base, que em números redondos, se poderiam computar em:

- túnel (1 km)	400 000 contos
- conduta DN 1,80 m (2,5 km)	200 000 contos
- ETA Asseiceira (a deduzir)	<u>200 000 contos</u>
TOTAL ..	400 000 contos

Em contrapartida, no que se refere aos encargos de exploração, as diferenças significativas entre as duas hipóteses de soluções cifravam-se em:

- Solução Base:

- . custo da água retirada da albufeira sem ser turbinada;

- Solução Variante

- . elevação adicional média da ordem dos 90 m;
- . encargos adicionais no tratamento das águas, respeitantes à necessidade de novos reagentes como seja o sulfato de alumínio, carvão activado e aumento das doses de ozono.

Considerando um volume anual elevado de $375\ 000 \times 365\ m^3$, os encargos anuais da solução variante ultrapassariam os da solução base em valor superior a 50% da diferença de investimentos registada.

Se algumas dúvidas subsistissem na escolha da solução base, elas seriam totalmente ultrapassadas se se tivesse em atenção os graves inconvenientes da solução variante, que se enumeram:

- à muito provável redução do valor da queda disponível em Castelo do Bode, em face da albufeira a criar a jusante;
- os fortes condicionamentos que uma solução deste tipo iriam implicar no regime de exploração da central eléctrica de Castelo do Bode, pela impossibilidade de se poderem constituir reservas de água suficientes na albufeira a criar.

2.3 - Modo de garantir a afluência do caudal constante à estação de tratamento da Asseiceira

Este foi o aspecto que maior atenção mereceu durante o desenrolar dos estudos, tendo obrigado à elaboração de vários documentos técnicos que foram objecto de profunda discussão.

Para atender ao problema em causa, duas vias se podem encarar:

- soluções com reservatório intermédio - o qual regularizando os caudais elevados, permite a utilização de grupos elevatórios correntes;
- soluções sem reservatório intermédio - exigindo a utilização de grupos elevatórios especiais que elevem caudal constante para diferentes alturas de elevação^(*).

Dentro das soluções com reservatório intermédio, tentando-se tirar o maior proveito da possibilidade de regularização oferecida pelo mesmo, ensaiaram-se duas hipóteses distintas:

- definição de grupos elevatórios com regime de funcionamento contínuo;
- concentração do regime de funcionamento dos grupos no período de 8 horas de vazio nocturno do diagrama de carga da rede eléctrica nacional (a EDP garante um mínimo diário de 8 horas e de 70 horas semanais).

Mais do que enumerar os custos próprios de cada solução encarada, importa alertar para alguns pormenores inerentes à definição das obras a prever em cada hipótese de solução.

Para qualquer das hipóteses em discussão, um dos primeiros problemas a resolver, no que se refere aos grupos elevatórios, consistiu na grande variação dos valores apurados para as alturas de elevação, oscilando entre mínimos pouco superiores à dezena de metros, até máximos rondando os 120 m. Este facto implicou a definição de dois conjuntos distintos de grupos elevatórios que poderiam funcionar isoladamente ou em série, conforme os níveis de água na aspiração.

Quanto ao número de grupos a definir em cada conjunto, ter-se-ia:

(*) - Dentro da hipótese de solução sem reservatório intermédio, foi imediatamente abandonada, por razões económicas, qualquer tentativa de resolução do problema com grupos elevatórios correntes, à custa de introdução de perdas de carga localizadas, que garantissem sempre o mesmo nível na aspiração.

a) Hipótese de solução sem reservatório intermédio a modulação a adoptar deveria permitir o estabelecimento dos regimes de adução referidos de 250 000, 375 000 e 500 000 m³/dia.

Não se descortinando qualquer interesse em definir grupos de caudais nominais diferentes, restava como alternativa estabelecer modulação igual à da estação de tratamento de Asseiceira (125 000 m³/dia) ou submúltiplos. A alternativa de caudais nominais submúltiplos de 125 000 m³/dia, não mereceu ser retida por se afigurar de maior custo e ainda por não ser compatível com a falta de espaço disponível para implantação da obra em causa;

b) Hipótese de solução com reservatório intermédio - a necessidade de procurar cobrir as diferentes alturas de elevação, à custa de variar o número de grupos em funcionamento não permitiu definir número de grupos menor do que o da solução anterior.

O volume a definir para o reservatório intermédio, seria função dos objectivos que o mesmo deveria satisfazer. Assim, para a hipótese de solução prevendo regime de funcionamento contínuo dos grupos elevatórios, a sua finalidade seria limitar o número de arranques e paragens dos grupos elevatórios a valores adequados.

Estabelecendo-se um intervalo mínimo de 10 horas entre 2 arranques sucessivos, apurou-se volumes rondando os 20 000 m³ e 25 000 m³, respectivamente, para os regimes de funcionamento de 375 000 m³/dia e de 500 000 m³/dia. Pelo facto deste último regime só se verificar dentro de alguns anos, e por períodos curtos de tempo, verificou-se ser mais económico definir duas reservas distintas, a cotas que permitissem o escoamento para jusante daqueles caudais. A topografia do local seleccionado (a 3 km da estação elevatória) levou à definição das duas reservas num único reservatório, a construir de imediato, com um volume total rondando os 65 000 m³, conforme resultou do estudo económico realizado para a sua definição geométrica.

Para a hipótese de funcionamento dos grupos num período de 8 horas, os volumes exigidos seriam necessariamente superiores. Por simplificação e favorecendo esta hipótese, considerou-se simplesmente o regime de 375 000 m³/dia, definindo-se um volume de 260 000 m³/dia.

Para as condutas elevatórias, consideraram-se diâmetros iguais para todas as soluções (DN = 1,80 m), tendo-se, necessariamente, para a hipótese de elevação em 8 horas, duplicado a conduta, no seu troço inicial até ao reservatório de regularização.

Pela aplicação da conhecida técnica de actualização, calcularam-se os custos totais actualizados das diferentes soluções, para valores da taxa de actualização variando entre 12% e 16% e para taxas de agravamento de custo da energia variando entre 0% e 4% (apesar do estudo ser feito a "preços constantes", aceitou-se uma hipótese de agravamento histórico do preço de energia), tendo-se obtido:

- solução sem reservatório intermédio mais económica para todos os ensaios de sensibilidade

- solução com reservatório intermédio e bombagem contínua custos superiores em cerca de 15%
- solução com reservatório intermédio e bombagem em 8 horas diárias custos superiores em cerca de 30%, apesar da introdução de algumas hipóteses simplificadoras favorecendo esta solução.

2.4 - Implantação da obra

Não houve grande possibilidade de escolha de locais para implantação desta obra, dadas as limitações existentes no que se referia a cotas possíveis de implantação da obra, (havia que permitir a bombagem directa do rio Zêzere) e o facto de se tratar de zona muito acidentada.

Foi-se, assim, levado a um local, onde tinha funcionado um dos estaleiros da barragem, situado na confluência de 2 pequenas linhas de água, a menos de 0,5 km a jusante da albufeira, e constituído por uma pequena plataforma de 40 m por 45 m, à cota 50 m, ladeada por encostas muito abruptas (100%).

Desenvolveram-se diferentes hipóteses de solução caracterizadas, essencialmente, por:

- Hipótese 1:

- . 1º Conjunto elevatório - grupos de eixo vertical, montados sobre laje de betão à cota 38 m, construída na continuação da plataforma de terreno disponível, na reentrância existente na confluência das 2 referidas linhas de água;
- . 2º conjunto elevatório - grupos de eixo horizontal instalados na referida plataforma à cota 50 m;
- . sub-estação exterior - a implantar em 3 pequenas plataformas (53 m, 57 m, 61 m), a escavar na encosta mais suave, no enfiamento das linhas de água;
- . outros (sala de comando, sala de monobloco, grupos de socorro, etc) - a implantar na plataforma disponível;

- Hipóteses 2 e 3(*):

- . 1º conjunto - grupos de eixo vertical, a montar sobre laje de betão à cota 36 m (o nível de máximo cheia é de 34,55 m);
- . 2º conjunto - grupos de eixo horizontal apoiados em laje de betão à cota 43 m;
- . sub-estação exterior e outros - implantados na plataforma existente a escavar até à cota 44 m;

- Hipótese 4:

- . 1º conjunto - grupos de eixo horizontal a instalar no fundo dum cilindro a construir na referida reentrância (cota 22,75 m);
- . 2º conjunto - grupos de eixo horizontal a montar sobre laje de betão à cota 40 m;

(*) - As diferenças entre estas duas hipóteses residiam, no modo diferente de implantação das condutas e dos sistemas de elevação do equipamento.

- . sub-estação exterior - implantada na actual plataforma a escavar até cotas de 42 - 44 m;
- . outros - a implantar já na zona da actual plataforma.

As respectivas estimativas de custo levaram à selecção da hipótese 4.

3. SOLUÇÃO ADOPTADA

Nas Fig. 3 e 4 apresenta-se uma definição do edifício da estação elevatória.

As 2 linhas que se podem ver no corte longitudinal da Fig. 4 representam, respectivamente, a linha do terreno existente e a linha onde se poderá fundar (rocha).

A sub-estação será exterior e irá ser implantada na plataforma existente que, para tal efeito, foi escavado até cotas entre os 42 e os 44 m.

Nesta data já se encontram adjudicados os grupos a instalar, tendo-se optado no 2º conjunto, por grupos de velocidade variável equipados com motor de corrente contínua, obtida a partir de armários rectificadores.

Para a definição dos regimes de exploração dos conjuntos a instalar teve-se em atenção que, embora os níveis na albufeira de Castelo do Bode possam variar entre os 80 e os 121 m, só por razões muito excepcionais os níveis descem abaixo da cota 100 m. Em consequência, a Empresa Pública das Águas Livres aceitou que nos casos de ocorrência muito rara, como seja bombar de níveis muito baixos na albufeira de Castelo do Bode ou directamente do rio Zêzere, os caudais máximo a elevar se poderiam reduzir para 75% do caudal nominal da estação, ou seja, para 375 000 m³/dia, sem necessidade de se garantir qualquer grupo de reserva.

Daí que só se tenham previsto 3 grupos para o conjunto a instalar no poço.

As possibilidades de funcionamento da estação incluem, assim:

- para níveis de água na albufeira de Castelo do Bode acima da cota 89 m, funcionará só o conjunto de grupos de características especiais a instalar na plataforma à cota 40 m. O caudal nominal de cada grupo é de 125 000 m³/dia, trabalhando para uma altura de elevação que pode variar entre os 15 e os 48 metros;
- para níveis de água, inferiores na albufeira, fecha-se a válvula de DN 1800 mm, que se pode ver na Figura 3 na secção de montante da conduta de aspiração dos grupos de cima. A água será aduzida por uma segunda conduta, que alimentará os grupos instalados no poço, definidos para um caudal unitário de 125 000 m³/dia e uma altura de elevação de 63,5 m. Só funcionará este conjunto e haverá que seccionar parcialmente algumas válvulas, de modo a introduzir perdas de carga localizadas (de 6 a 15 m), variáveis com os níveis de água na albufeira;
- pretendendo-se bombar directamente do rio Zêzere, o conjunto inferior alimentará a conduta de aspiração do conjunto superior, de modo a funcionarem em série.

Em face do exposto, constata-se que a possibilidade de funcionamento dos grupos instalados no poço, se apresenta com uma probabilidade muito reduzida.

Consequentemente, foi necessário definir circuito próprio, que permita o fun-

cionamento daqueles, sem perturbar o regime normal de exploração da instalação. Como a restituição das águas elevadas, nestes períodos de manutenção, se faz directamente para o rio Zêzere, através de tubagem com saída no piso à cota 36,20, foi necessário introduzir significativas perdas de carga localizadas no referido circuito.

Um último reparo para justificar o piso técnico à cota 36,20. De acordo com as boas regras de exploração, a EPAL exigiu a montagem de medidores de caudais em todos os grupos elevatórios. Sob pena de se chegarem a vãos de valores proibitivos para o edifício, ou a soluções menos correctas de nem todo o equipamento ser dominado por sistemas de elevação, ou a ser-se obrigado a proliferar o número destes últimos, foi-se levado à definição do referido piso técnico, de modo a permitir os necessários cumprimentos para as condutas de compressão inerentes a cada grupo.

A sua existência, foi aproveitada para outras finalidades, nomeadamente para a instalação dum pequeno grupo que permita encher a conduta elevatória com velocidades adequadas, no arranque da instalação ou após operações de manutenção que impliquem o esvaziamento daquela.

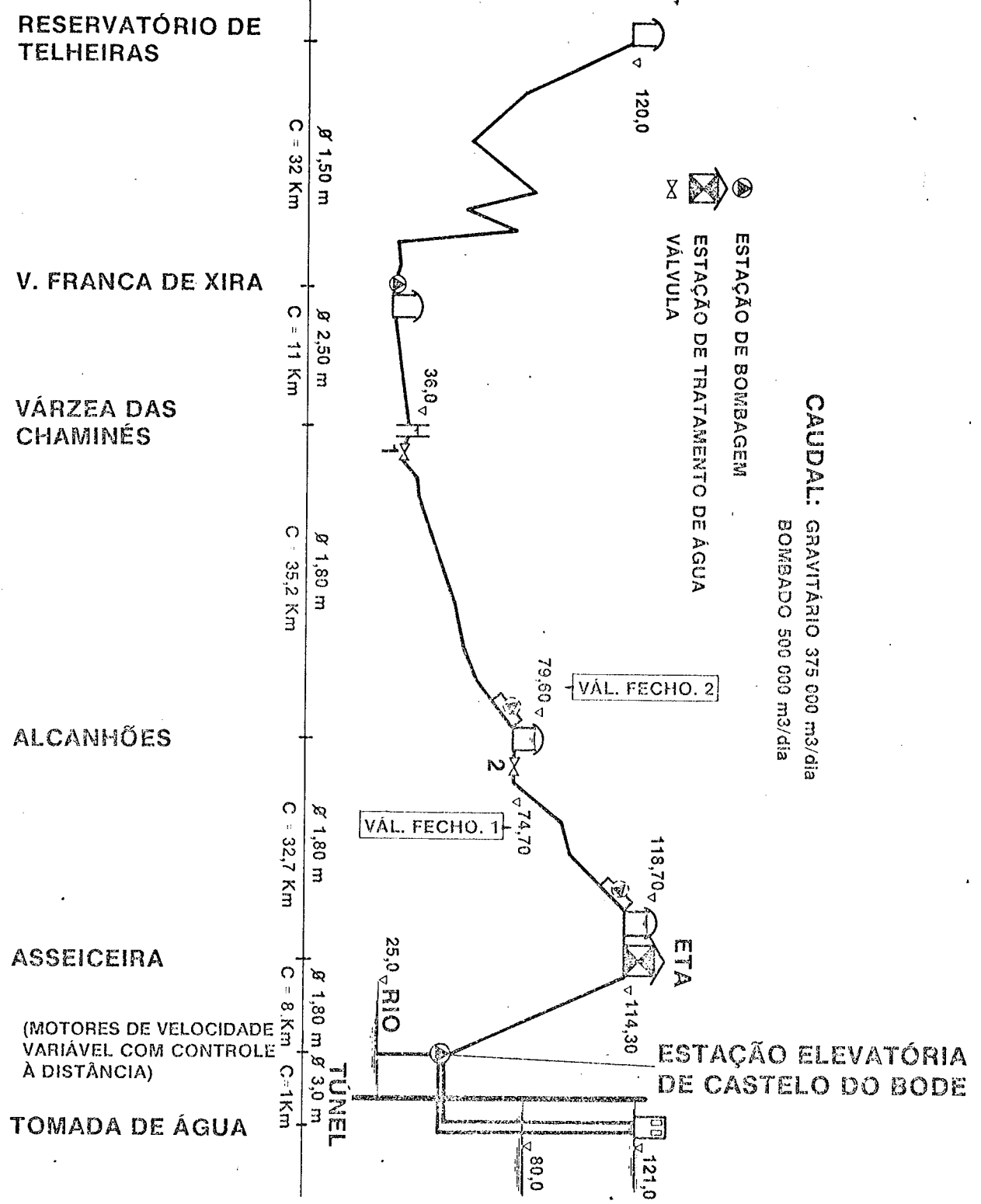
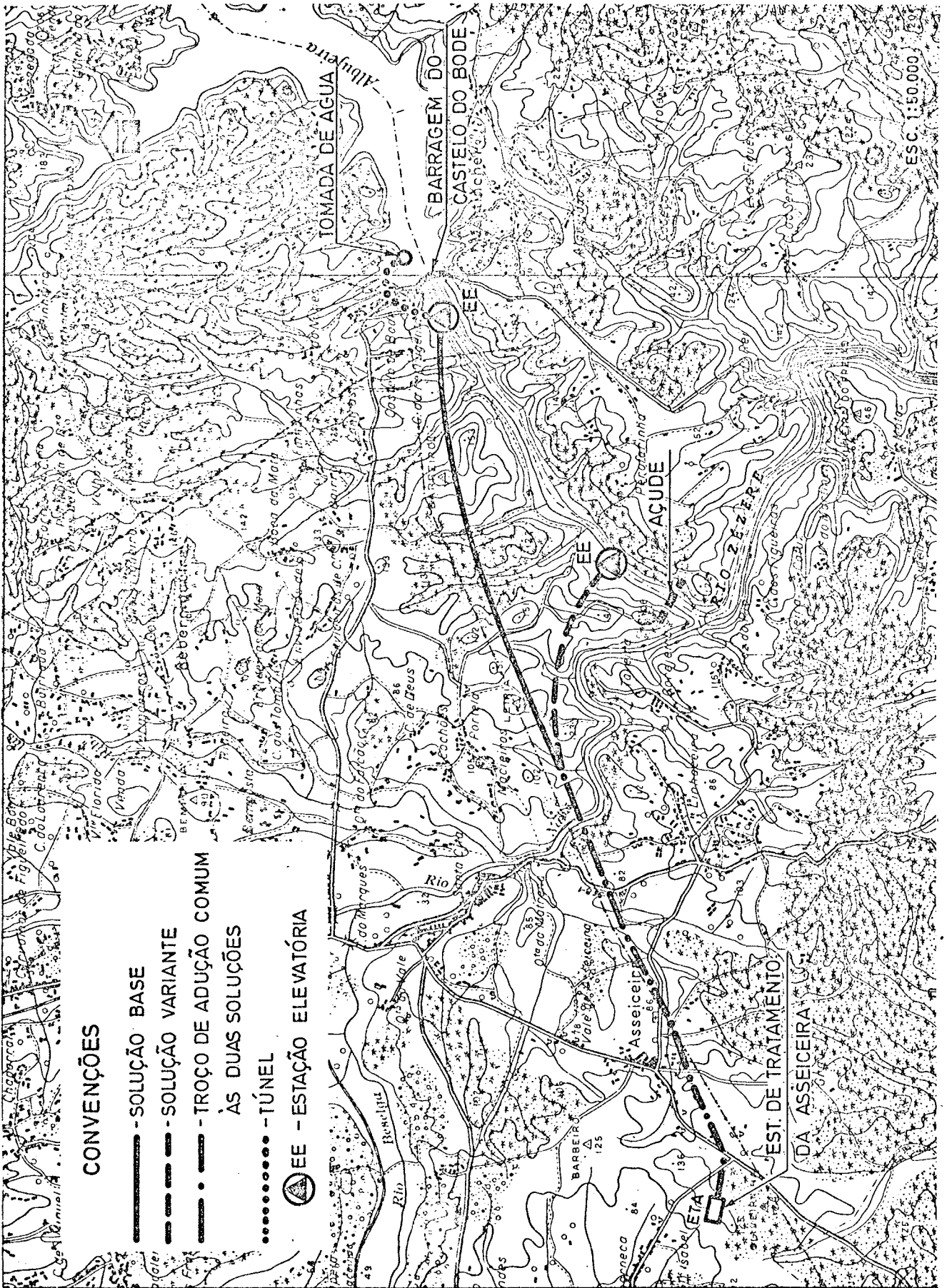


FIG 1 - SISTEMA ADUTOR DE CASTELO DO BODE



OPÇÃO ENTRE BOMBAGEM DE ÁGUA DA ALBUFEIRA DE CASTELO DO BODE OU DE ÁGUA TURBINADA

FIG. 2

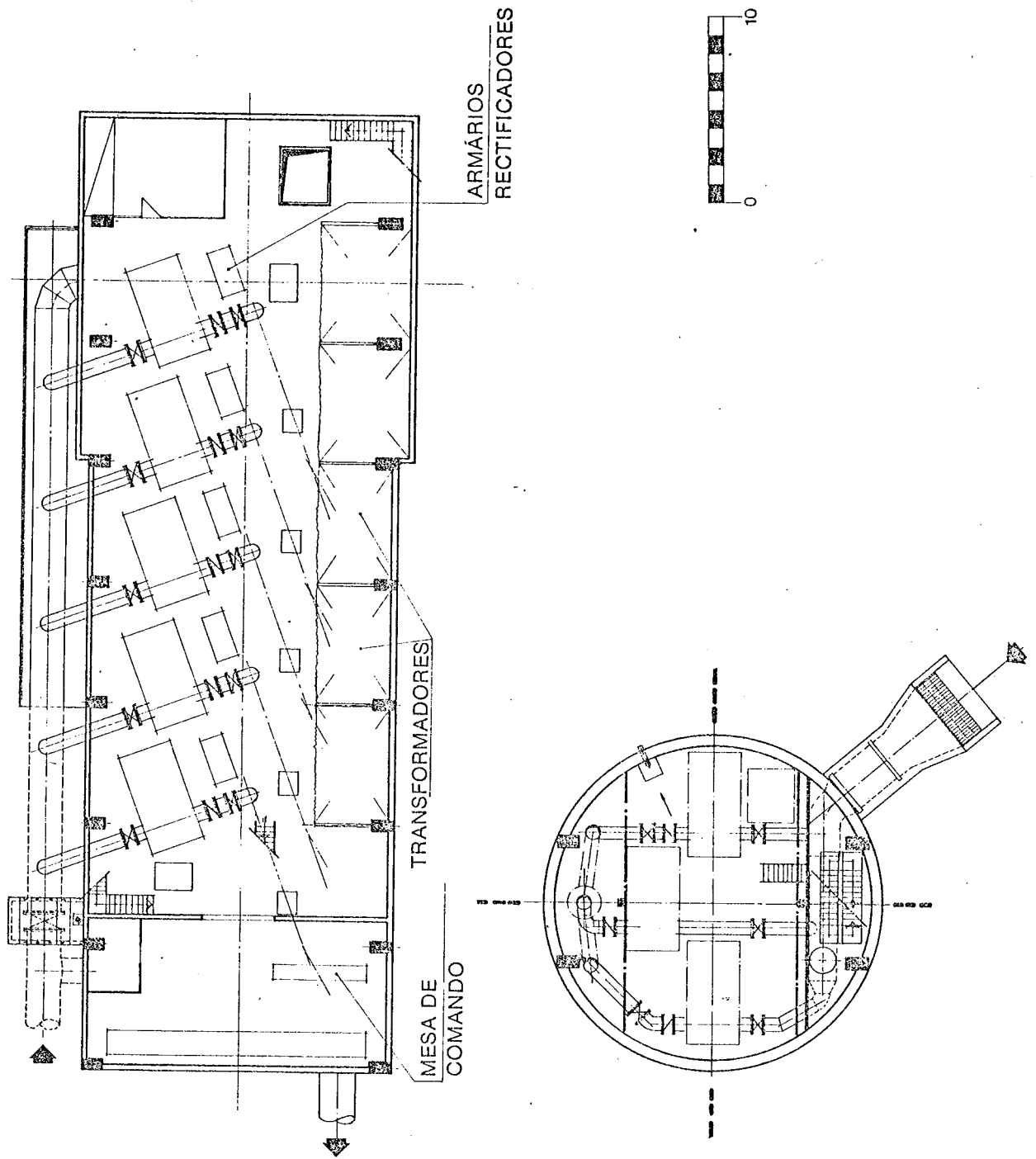


FIG. 3 - ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE CASTELO DO BODE
PLANTAS

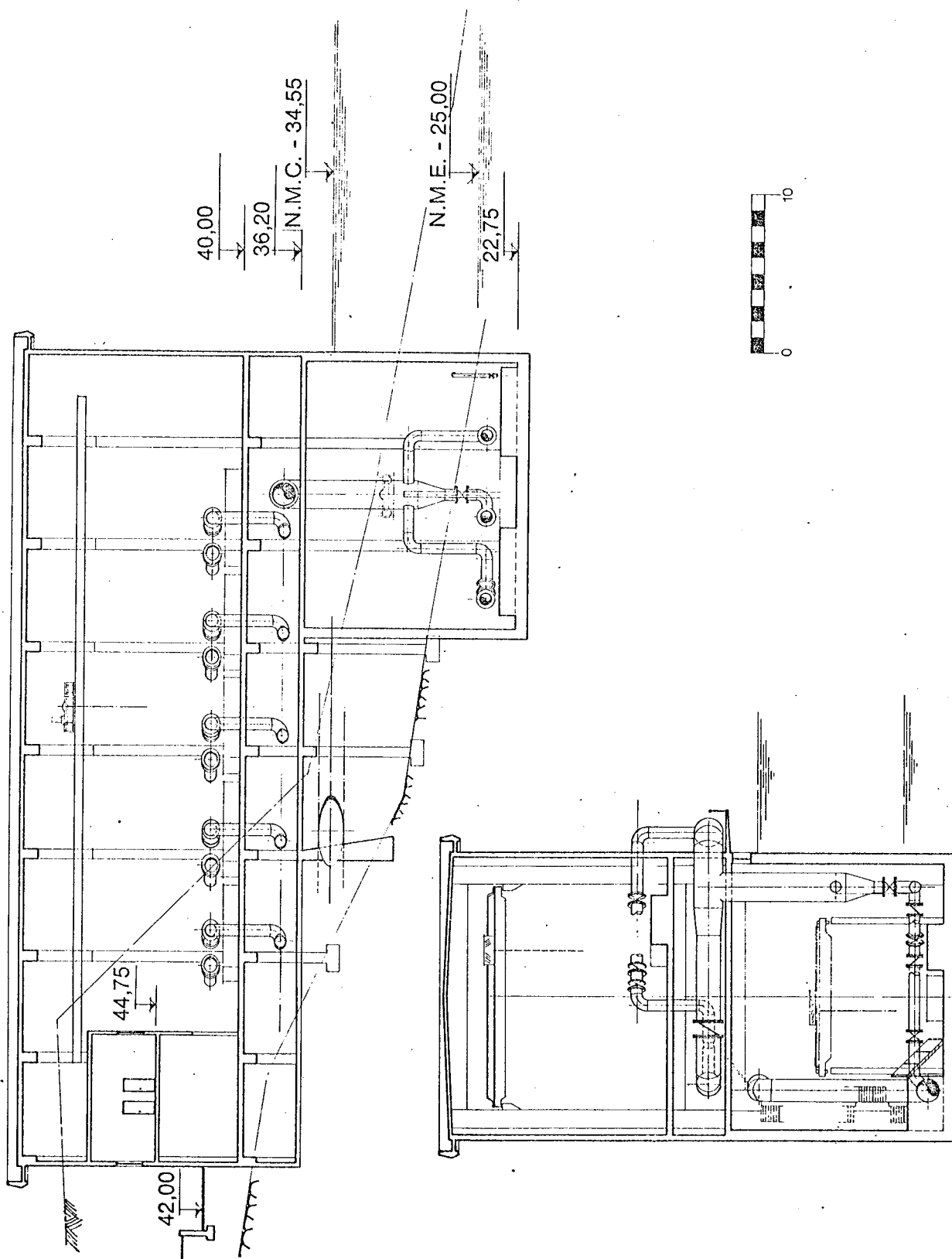


FIG. 4 - ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE CASTELO DO BODE
CORTES