



ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

6 6/11  
1. B

I SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE  
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

TEMA 1 - SISTEMAS DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

APROVEITAMENTO DOS CAUDAIS EXCEDENTES DOS OLHOS DE ÁGUA  
DO ALVIELA PARA O ABASTECIMENTO DA REGIÃO DE LISBOA

MANUEL RAMOS MOTTA

Engenheiro Civil (UP) e Sanitarista (Dip.S.E.Delft)

EPAL - Empresa Pública das Águas Livres, LISBOA - PORTUGAL

RESUMO

Estando em fase adiantada de execução o Sub-Sistema do Castelo do Bode para reforço do abastecimento de água à região de Lisboa, é possível prever com maior aproximação o custo de água tratada que alimentará o respectivo adutor; por outro lado, a Electricidade de Portugal forneceu, em Março último, indicações mais seguras sobre o valor da compensação por cada m<sup>3</sup> de água a desviar do respectivo sistema produtor, na albufeira do Castelo do Bode.

Dada a relativa proximidade dos Olhos de Água do Alviela ao Adutor do Castelo do Bode, considerou-se conveniente e oportuno elaborar um estudo comparativo da viabilidade técnico-económica do aproveitamento dessas nascentes através de uma obra de ligação que permita reduzir futuros encargos de exploração da EPAL pela substituição, em determinados períodos do ano, de caudais provenientes do Zêzere por excedentes da citada origem, potencialmente mais económica e com água de boa qualidade.

Após avaliação prévia dos elementos de base, com recurso a dados recentes relativos à exploração do Sistema da EPAL e a custos unitários previstos, efectuou-se uma análise comparativa, tendo-se inferido, como síntese final das conclusões, que se justifica o prosseguimento a nível mais pormenorizado dos estudos relativos ao aproveitamento em referência.

APROVEITAMENTO DOS CAUDAIS EXCEDENTES DOS OLHOS DE ÁGUA  
DO ALVIELA PARA O ABASTECIMENTO DA REGIÃO DE LISBOA

1. INTRODUÇÃO

A viabilidade económica do aproveitamento dos Olhos de Água do Alviela para reforço do abastecimento de água a Lisboa e respectiva região, para além do máximo de 70 000 m<sup>3</sup>/dia que é, presentemente, captado e aduzido para a mesma área, tem sido analisada em vários estudos e planos gerais, sendo o mais recente o Plano Geral de Águas da Região de Saneamento Básico de Lisboa (RESBAL), de 1980.

Não sendo possível a regularização dos caudais da nascente, semprejuízo considerável da qualidade, tem-se encarado o aproveitamento dessas águas, em determinados períodos do ano, para substituir as de outras origens com maiores encargos de exploração, designadamente do Rio Zêzere.

As conclusões dos estudos referidos são que o citado aproveitamento não apresenta interesse económico. No Plano Geral da RESBAL sugere-se, no entanto, que o problema deverá ser reanalisado se o custo da água do Castelo do Bode for significativamente superior ao considerado.

Havendo, actualmente, indicações mais seguras da EDP - Electricidade de Portugal para o valor da compensação pelo desvio da cada m<sup>3</sup> de água do Sistema Zêzere e sendo muito superior ao que se vinha admitindo o custo previsível do tratamento dessa água, foi considerado oportuno reequacionar o problema no âmbito da EPAL com vistas a possibilitar ulterior decisão quanto ao prosseguimento desses estudos a nível mais elevado.

Assim, e uma vez que se encontram em fase adiantada de execução as obras do Sub-Sistema do Castelo do Bode(1) para reforço do abastecimento de água à região de Lisboa, elaborou-se um estudo comparativo da viabilidade técnico-económica do aproveitamento dos Olhos de Água, através de uma obra de ligação ao adutor do Castelo do Bode no troço Asseiceira - Várzea das Chaminés, visto tratar-se de uma água potencialmente mais económica, a par da boa qualidade que se lhe reconhece.

Como elementos de partida para o estudo pretendido apresentam-se, a seguir, os aspectos hidráulicos de interesse relativamente ao Adutor do Castelo do Bode - Vila Franca de Xira e os resultados dos cálculos elaborados indispensáveis à caracterização do ramal de ligação a partir dos Olhos de Água.

2. ELEMENTOS HIDRÁULICOS

2.1. REGIMES DE FUNCIONAMENTO DO ADUTOR DO CASTELO DO BODE

Os principais regimes previstos para o adutor do Castelo do Bode são, na fase imediata, os gravíticos para os caudais de 375 000 m<sup>3</sup>/dia e de 250 000 m<sup>3</sup>/dia, com perdas de carga introduzidas nas válvulas de seccionamento, e ainda

---

(1) Composto, essencialmente, por um adutor com cerca de 90 Km, uma estação de tratamento em Asseiceira e uma estação elevatória no Castelo do Bode

o de 500 000 m<sup>3</sup>/dia, na fase futura, com duas estações de sobrelevação quando o acréscimo dos consumos o justificar.

De acordo com os estudos hidráulicos relativos ao adutor em referência, as características e cotas extremas da linha de energia são os representados na Figura 1, considerando-se para efeitos dos estudos a linha de energia superior, o que nos coloca do lado da segurança no cálculo das alturas de elevação.

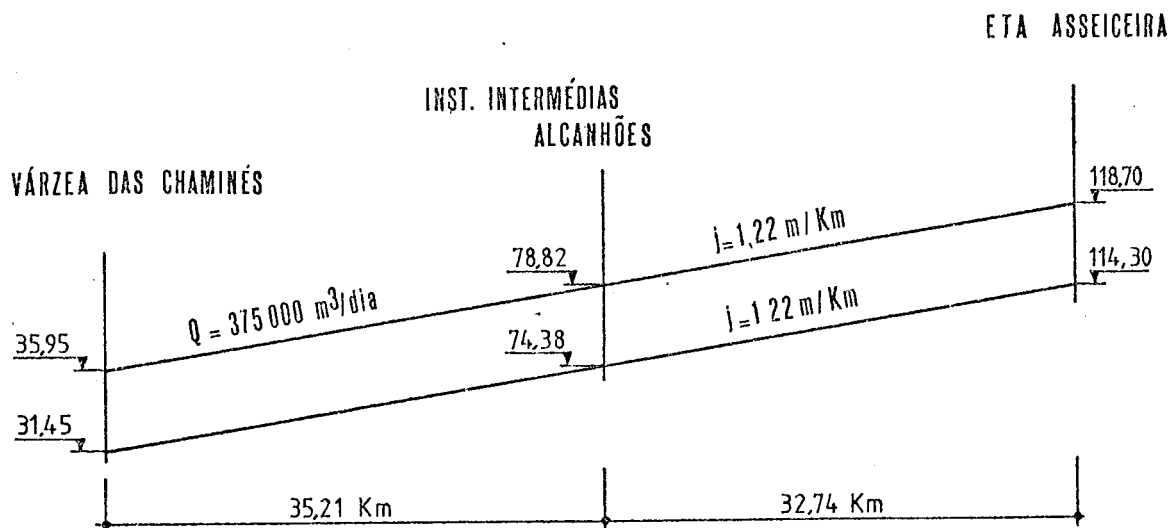


FIG. 1

## 2.2. RAMAL DE LIGAÇÃO OLHOS DE ÁGUA — ADUTOR DO CASTELO DO BODE. CAUDAIS DISPONÍVEIS

A caracterização dos excedentes disponíveis nos Olhos de Água do Alviela resultou da análise dos dados obtidos ao longo de 63 anos, tendo-se utilizado, inicialmente, a curva média de duração de caudais do período 1920-1948 do "Estudo Prévio para Ampliação do Abastecimento de Águas à cidade de Lisboa". Após tratamento dos caudais registados diariamente de 1949 a 1983, com recurso a cálculo automático, obteve-se a correspondente curva média de caudais classificados, que foi comparada com a primeira, confirmando-se, desse modo, os elementos de partida (ver Fig.2).

A integração da curva representativa do ano médio entre os caudais 220 000/195 000 e 70 000 m<sup>3</sup>/dia permitiu concluir da disponibilidade de volumes anuais próximos de 29 e 25 milhões de metros cúbicos, respectivamente.

Para o transporte dos caudais médios diários correspondentes a tais volumes o diâmetro comercial mais económico é o de 1200 mm, pelo que se admite a possibilidade de adução de 150 000 m<sup>3</sup>/dia a partir dos Olhos de Água, no período de Novembro a Maio.

No caso de a exploração do adutor do Castelo do Bode não vir a aconselhar a utilização de caudais diferentes do valor modular de 125 000 m<sup>3</sup>/dia, poderão diferencial resultante ser utilizado para abastecimentos locais a montante da ligação.

### 3. ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÓMICA

#### 3.1. CÁLCULO DOS ELEMENTOS BÁSICOS

3.1.1. A viabilidade económica das obras de ligação dependerá, em última análise, da comparação do respectivo custo com o do capital actualizado correspondente à redução de encargos de exploração anual resultante do aproveitamento de caudais excedentes dos Olhos de Água em substituição dos provenientes do Castelo do Bode.

Os elementos de base necessários a esse estudo são os seguintes:

- Custo de 1 m<sup>3</sup> de água do Castelo do Bode, elevada e tratada, à saída da ETA de Asseiceira;
- Custo de 1 m<sup>3</sup> de água do Alviela, tratada e elevada à altura necessária para a ligação ao adutor do Castelo do Bode;
- Custo das obras de ligação;
- Balanço energético relativo à substituição temporária de água proveniente do sistema produtor do Castelo do Bode pela do Alviela.

3.1.2. No cálculo do custo de 1 m<sup>3</sup> de água do Castelo do Bode, à saída da ETA de Asseiceira, foram consideradas as despesas de energia, de reagentes e outros encargos de exploração relativos à elevação e ao tratamento e, ainda, o custo da água bruta traduzida numa compensação à EDP pelo desvio de água do seu sistema produtor.

Sendo a altura de elevação dependente do nível de exploração da albufeira, que será variável em função das necessidades da EDP, adoptou-se o valor médio de 20 metros considerado como de elevada probabilidade de ocorrência.

As despesas correspondentes foram calculadas a partir de dados estatísticos relativos à Estação Elevatória do Vale da Pedra em que os parâmetros em jogo se podem considerar semelhantes. A tarifa média ponderada de energia verificada na exploração dessa instalação no primeiro trimestre de 1984 foi de 6\$51/kWh, sendo de 35% o acréscimo dessa componente, relativamente ao valor médio do ano anterior.

Com base naquele valor, e nas restantes despesas de exploração, foi obtido o custo total médio de \$03,12 por m<sup>3</sup> elevado e por metro de altura, com referência ao mesmo período de 1984.

No que respeita ao tratamento, o custo unitário previsível para os reagentes, obtido junto dos Serviços Técnicos da EPAL, é de 2\$50/m<sup>3</sup>, devendo referir-se ter sido a componente que maior agravamento sofreu relativamente às previsões feitas anteriormente à adjudicação da ETA de Asseiceira ocorrida em 1983, enquanto que a componente energética do tratamento corresponderá a 13,7 Watt x hora por m<sup>3</sup>.

Quanto ao custo da água bruta a desviar da albufeira do Castelo do Bode, a EDP indicou, em Março de 1984, o valor médio ponderado de 1\$25 por cada m<sup>3</sup> como resultado da análise efectuada com recurso a simulação de exploração com base em diagramas de vários anos e em valores históricos médios e do cálculo como equivalente energético do sistema produtor.

Da consideração das componentes referidas resultou o custo médio da ordem de 4\$50 para o m<sup>3</sup> de água tratada, à saída da ETA de Asseiceira, variando entre cerca de 4\$30 nos meses de Inverno e 4\$70 no período de Verão (Maio e Outubro).

3.1.3. No computo do custo de 1 m<sup>3</sup> de água do Alviela, tratada e elevada de 1 metro, embora se preveja uma altura total de elevação da ordem dos 50 metros, tomou-se como base de cálculo do custo unitário da componente energética a expressão  $C=0,0038 p$ , actualmente verificada para a E.Elevatória do Vale da Pedra por ser mais desfavorável que a geralmente adoptada  $C=0,0034 p$  - em que  $p$  é o custo médio ponderado do kWh.

Considerou-se, portanto, nesta fase dos estudos, o mesmo custo unitário total adoptado para a elevação de água do Castelo do Bode para a ETA de Asseiceira.

Sendo pouco significativos os encargos relativos ao tratamento, estimam-se \$04/m<sup>3</sup> para a cloragem (cloro+energia), o que só poderá pecar por excesso.

Não se referem os encargos com a conservação e exploração da canalização de ligação, por serem relativamente insignificantes.

## 3.2. DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS OBRAS DE LIGAÇÃO

### 3.2.1. Alternativas A1 e A2

Conforme os resultados dos cálculos hidráulicos e da análise dos elementos hidrológicos, as obras de ligação compor-se-ão, essencialmente, de uma canalização de 1,20 m de diâmetro e de uma estação elevatória equipada para que a elevação e adução dos caudais dos Olhos de Água se faça em boas condições até ao ponto de ligação no Adutor do Castelo do Bode.

As alternativas seleccionadas, como resultado da análise na carta 1/25 000, conduziram às duas opções seguintes para o traçado:

- A1 - Ligação nos reservatórios de Alcanhões (Instalações intermédias do adutor), situados a cerca de 20,5 Km dos Olhos de Água;
- A2 - Ligação ao adutor próximo de Alqueidão, 11 Km a montante de Alcanhões, numa extensão total de 12,3 Km.

As principais características de uma e outra são resumidas no Quadro 1.

A designada "Alternativa A2" é apresentada em planta, à escala 1/50 000, desenvolvendo-se, na sua maior extensão, entre as cotas 60 e 100 de modo a reduzir a gama das pressões na canalização, conforme assinalado na Fig.3.

A "Alternativa A1", desejável do ponto de vista de exploração, terá um custo elevado devido à extensão do ramal, o que a torna economicamente desfavorável.

### 3.2.2. Estimativas de custo. Bases de preço

No respeitante às canalizações, as estimativas efectuadas baseiam-se nos preços actuais de tubos de betão pré-esforçados indicados por um fabricante e nos restantes custos directos e indirectos, de acordo com a metodologia das "Bases para Estudos Económicos" relativas aos Estudos da Região de Saneamento Básico de Lisboa (1).

Para a Estação Elevatória dos Olhos de Água actualizaram-se os valores propostos no citado trabalho para "Estações grandes", face aos valores em jogo dos caudais a elevar e da potência instalada requerida. Em estudos subsequentes, tais

---

(1) Hidroprojecto/Drena, 1979

instalações deverão ser pormenorizadas a um nível que permita avaliar o respectivo custo com menor margem de erro.

Com base nas premissas referidas, apuraram-se para as obras de ligação, incluindo o reforço da captação, os custos totais de 940 000 e 620 000 contos para as Alternativas A1 e A2, respectivamente.

### 3.3. REDUÇÃO DE ENCARGOS DE EXPLORAÇÃO COM O APROVEITAMENTO DE EXCEDENTES DOS OLHOS DE ÁGUA

Da curva média dos caudais classificados conclui-se ser possível utilizar cerca de 150 000 m<sup>3</sup> diários do Alviela para substituir parcialmente, no período de Novembro a Maio, a água proveniente do Castelo do Bode, ou seja, em ano médio, cerca de 29 milhões de metros cúbicos.

A partir dos custos unitários totais referidos em 3.1.2. obtem-se o encargo total ponderado de 126 milhares de contos para o volume referido de água tratada em Assiceira.

O custo unitário previsto para o m<sup>3</sup> de água tratada e elevada junto à nascente dos Olhos de Água é de 1\$80, donde o custo anual de exploração de 53 milhares de contos correspondente a idêntico volume de substituição.

A redução de encargos de exploração anual resultante será, pois, da ordem dos 73 milhares de contos, a preços de Março de 1984.

### 3.4. COMPARAÇÃO ECONÓMICA DE SOLUÇÕES

O Valor actualizado do capital correspondente à economia de encargos de exploração dependerá do período de observação considerado e, sobretudo, da taxa de actualização a adoptar.

Julga-se oportuno referir as dificuldades quanto à definição do valor adequado para o segundo parâmetro, parecendo-nos oportuno citar uma recente publicação(1) em que o assunto é analisado na óptica de projectos de engenharia, apontando-se no final para valores de taxa de actualização da ordem dos 10%.

Fez-se o cálculo dos valores actualizados - VA - para taxas de actualização, Ta, variando de 10 a 18% e períodos de observação de 30, 40 e 50 anos.

Comparando os resultados obtidos com as estimativas do investimento previsível para as obras correspondentes às duas alternativas consideradas conclui-se que:

- O custo das obras de ligação em Alcanhões (Alternativa A1) é superior a VA para todos os valores dos parâmetros considerados;
- O investimento com as obras referentes à Alternativa A2 será superior ao valor actualizado das economias de exploração para  $T_a > 14\%$ ; para  $T_a < 14\%$  o custo das citadas obras resulta inferior a VA, pelo que poderá vir a compensar a respectiva realização.

---

(1) Análise Económica dos Projectos das Empresas Públicas e seu Enquadramento, BFN/DSEE, A. Proença VARÃO, 1983

Em termos de balanço energético considerou-se desejável comparar a energia correspondente ao desvio e elevação de caudais da albufeira do Castelo do Bode, por um lado, com o que seria necessário utilizar na Elevatória dos Olhos de Água, por outro lado, nos períodos de uma eventual substituição da primeira origem pela segunda.

Considerando numa e noutra as alturas médias de elevação de 20 m e 50 m, respectivamente, e que 5 m<sup>3</sup> de água do Sistema do Castelo do Bode equivalem, do ponto de vista energético, a 1 kwatt hora, obteve-se o seguinte balanço energético:

	<u>Castelo do Bode</u>	<u>Olhos de Água</u>
- Energia a consumir na elevação (kWh/m <sup>3</sup> )	0,064	0,176
- Energia não produzida pela EDP (kWh/m <sup>3</sup> )	0,200	---
	W1=0,264	W2=0,176

Sendo  $W1 > W2$ , o balanço é, do ponto de vista energético, favorável à utilização de caudais dos Olhos de Água.

#### 4. CONCLUSÕES

Não se pretendeu efectuar nesta fase uma análise exaustiva do aproveitamento de excedentes dos Olhos de Água do Alviela mas verificar, a partir de dados mais recentes, se haverá, actualmente, viabilidade económica que recomende a elaboração de um estudo mais aprofundado das obras de ligação das citadas nascentes ao adutor do Castelo do Bode.

Relativamente às alternativas consideradas, é de salientar, desde já, que só poderá ter viabilidade económica um ramal de ligação ao adutor existente com uma extensão da ordem dos 12 Km, devendo ainda ser definidos com mais detalhe a canalização, a estação elevatória e os trabalhos de reforço de captação existente, de modo a reduzir a margem de erro das estimativas.

Verifica-se que o valor da taxa de actualização é um parâmetro de importância relevante para as conclusões do estudo pelo que deverá ser criteriosamente definido o respectivo valor central à volta do qual se poderão efectuar ensaios de sensibilidade, revestindo menor importância o período de observação a adoptar, como seria de esperar no caso em apreço.

Com base nos dados fornecidos pela EDP em Março último e nos pressupostos admitidos, concluiu-se, também, que em termos de balanço energético a utilização de excedentes dos Olhos de Água é favorável relativamente à derivação de água do Sistema produtor do Zêzere para abastecer o adutor do Castelo do Bode, o que reveste interesse do ponto de vista energético nacional.

Como síntese final das principais conclusões expostas, julga-se de referir que há justificação para o prosseguimento a um nível mais elevado e, portanto, mais pormenorizado dos estudos relativos ao aproveitamento dos caudais dos Olhos de Água tendo em vista a alimentação do Adutor Castelo do Bode - Vila Franca de Xira.

QUADRO I

CARACTERIZAÇÃO DAS OBRAS DE LIGAÇÃO OLHOS DE ÁGUA -

- ADUTOR DO CASTELO DO BODE

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	ALTERNATIVA A1		ALTERNATIVA A2	
	Caudais (m <sup>3</sup> /s)		Caudais (m <sup>3</sup> /s)	
	125 000	150 000	125 000	150 000
Extensão da canalização Ø 1 200 mm prevista, em Km .....	20,5	20,5	12,3	12,3
Perdas de carga unitárias, em m/Km .....	1,0	1,43	1,0	1,43
Cota piezométrica máxima no adutor do Castelo do Bode, no ponto de ligação, em metros .....	78,80	78,80	92,20	92,20
Alturas manométricas máximas na Estação Elevatória, em metros	47	55	52	57
Potências máximas das bombas, em kW .....	800	1 100	900	1 140
Potências dos motores, em kW .	900	1 200	1 000	1 250



CURVAS DE DURAÇÃO DOS CAUDAIS DISPONÍVEIS NAS NASCENTES DO ALVIELA

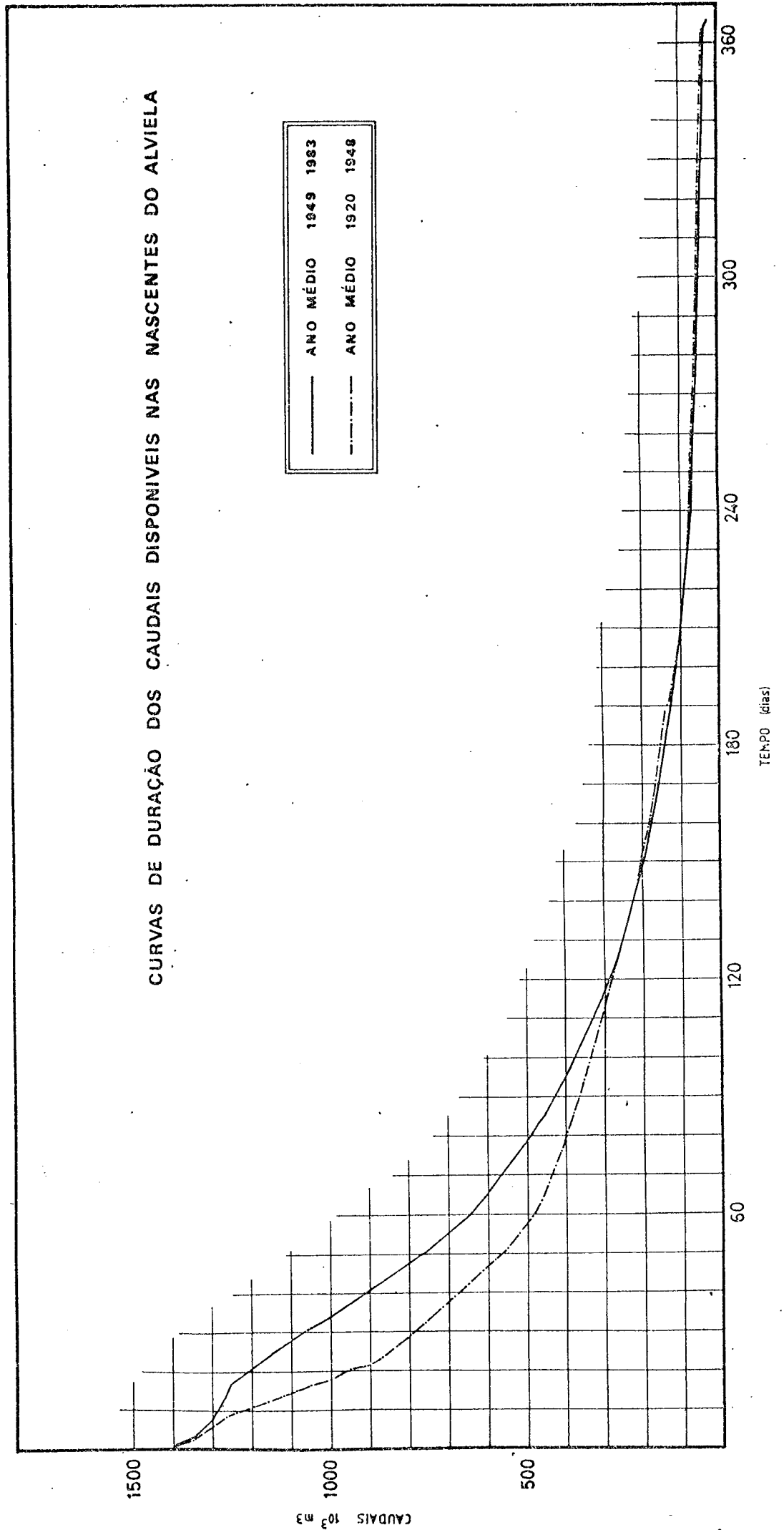
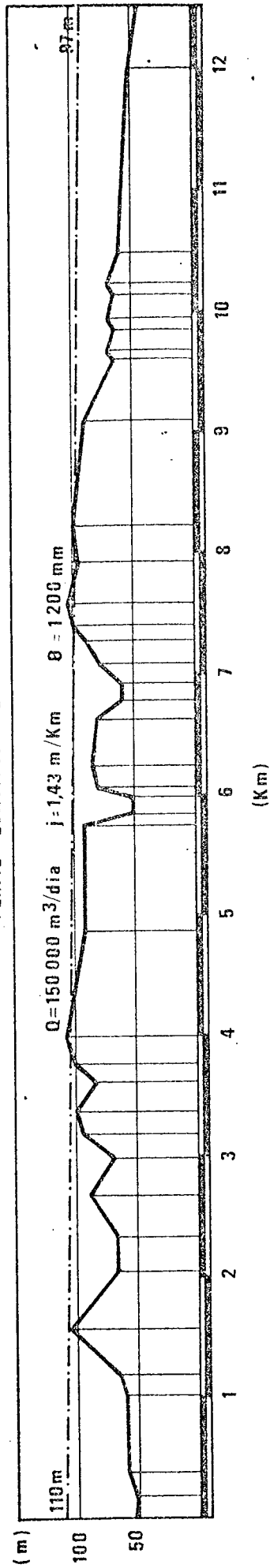


FIG. 2

RAMAL DE LIGAÇÃO OLHOS DE ÁGUA – ADUTOR DO CASTELO DO BODE

PERFIL LONGITUDINAL



PLANTA

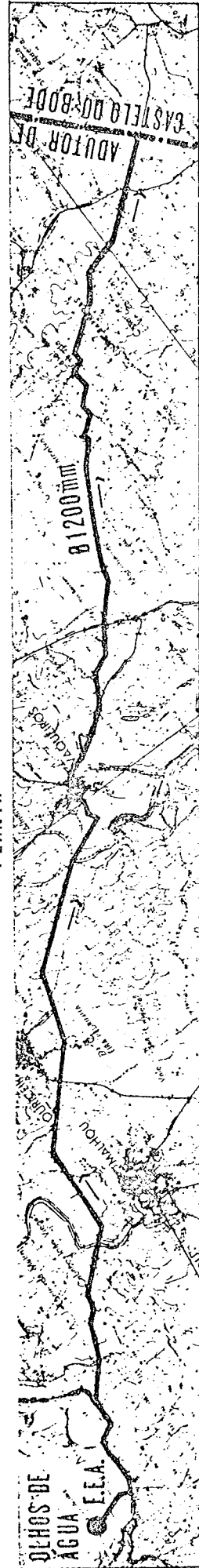


FIG. 3