BOLETIM

DA

REPARTIÇÃO DE AGUAS E ESGOTOS

de S. Paulo

Director: Eng.o Luiz Alvaro da Silva

NUMERO 3	Publicação Periodica S. Paulo — Outubro de 1937	ANNO I

Lago artificial e barragem de Poço Preto

*pelos engs. **Nassim Nadruz** e **Eurico Cerruti***

O presente trabalho acha-se subdividido nos seguintes items:

1. — *Funcção do lago;*
2. — *Estudo da bacia;*
3. — *Capacidade do lago;*
4. — *Calculo da barragem.*

1. — Funcção do Lago.

O lago artificial de Poço Preto é destinado a reter o excesso das aguas do Rio Claro, no periodo das cheias, armazenando um certo volume que irá supprir as faltas na epoca de estiagem.

Foi estabelecido que o volume accumulado fosse sufficiente para garantir uma vazão uniforme de 300.000 m. c. diarios. Para garantir tal escoamento, chegámos á conclusão, como veremos adeante, que necessitariamos de um armazenamento de cerca de 18 milhões de m. c.

Esse volume seria retido na bacia do rio por uma barragem de alvenaria cyclopica, cuja altura e comprimento seriam naturalmente funcção do local onde fosse construida tal obra de arte.

Dois foram os locaes sujeitos a exame: um, um pouco a montante da cachoeira de Poço Preto e outro, 200 metros acima, numa garganta atravessada pelo rio.

No primeiro local, a barragem teria uma altura maxima de 24 metros e um comprimento de 310 metros na altura do coroamento.

Esta barragem seria separada em dois trechos de comprimentos differentes, tendo de permeio um outeiro, onde se iriam engastar ambos na cóta de 864. Traria tal construcção o inconveniente de dividir o lago em duas bacias de dimensões differentes, ligadas pela depressão da cóta de 850. Caso quizessemos evitar o inconveniente acima mencionado, teriamos de construir um muro de terra com a altura de 13 metros e um comprimento de cerca de 200 metros, com o fim de servir de divisor de aguas entre as vertentes maritima e do Rio Claro. A construcção de tal muro, além de penosa, iria onerar o custo da obra; isto sem considerarmos os inconvenientes que offerecem, sob o ponto de vista da segurança, os muros de terra.

O segundo local examinado foi o escolhido por apresentar vantagens, quér sob o ponto de vista economico, quér pela natureza das obras, pois além de prescindir do muro de terra ainda permitte uma barragem de menor comprimento. Com effeito, neste local, a barragem terá uma altura de 25.5 m. e um comprimento de 285 m.

O lago submergirá a bacia até a cota de 864 e terá uma área de 2.286.250 $m.^2$ de superficie liquida e a profundidade maxima de 24 m.

O lago de Poço Preto, além da funcção de reservatorio, terá, tambem, a de melhorar as condições physicas da agua. Tratando-se de um rio torrencial como é o Rio Claro, e onde as chuvas attingem alturas variaveis de 3.000 a 4.000 mm. annuaes, as erosões são frequentes, e com ellas, o arrastamento de material. Tendo, porém, o lago uma grande superficie, as aguas, antes de ganharem o aqueducto, soffrerão uma decantação de alguns dias, melhorando assim as suas qualidades.

2 — Estudo da bacia

No estudo da bacia hydrographica procurámos, primeiramente, colligir informes a respeito das vazões do Rio Claro, das alturas annuaes das chuvas, coefficiente de *Run off*, alturas de evaporação, etc.

Estes dados foram alguns fornecidos pela estação meteorologica de Poço Preto e vertedouro de Casa Grande, outros, ou deduzidos por comparação feita com bacias de igual regimen, ou fornecidos pelos postos meteorologicos da Light no alto da serra, Ponte Nova, e Itapanhaú.

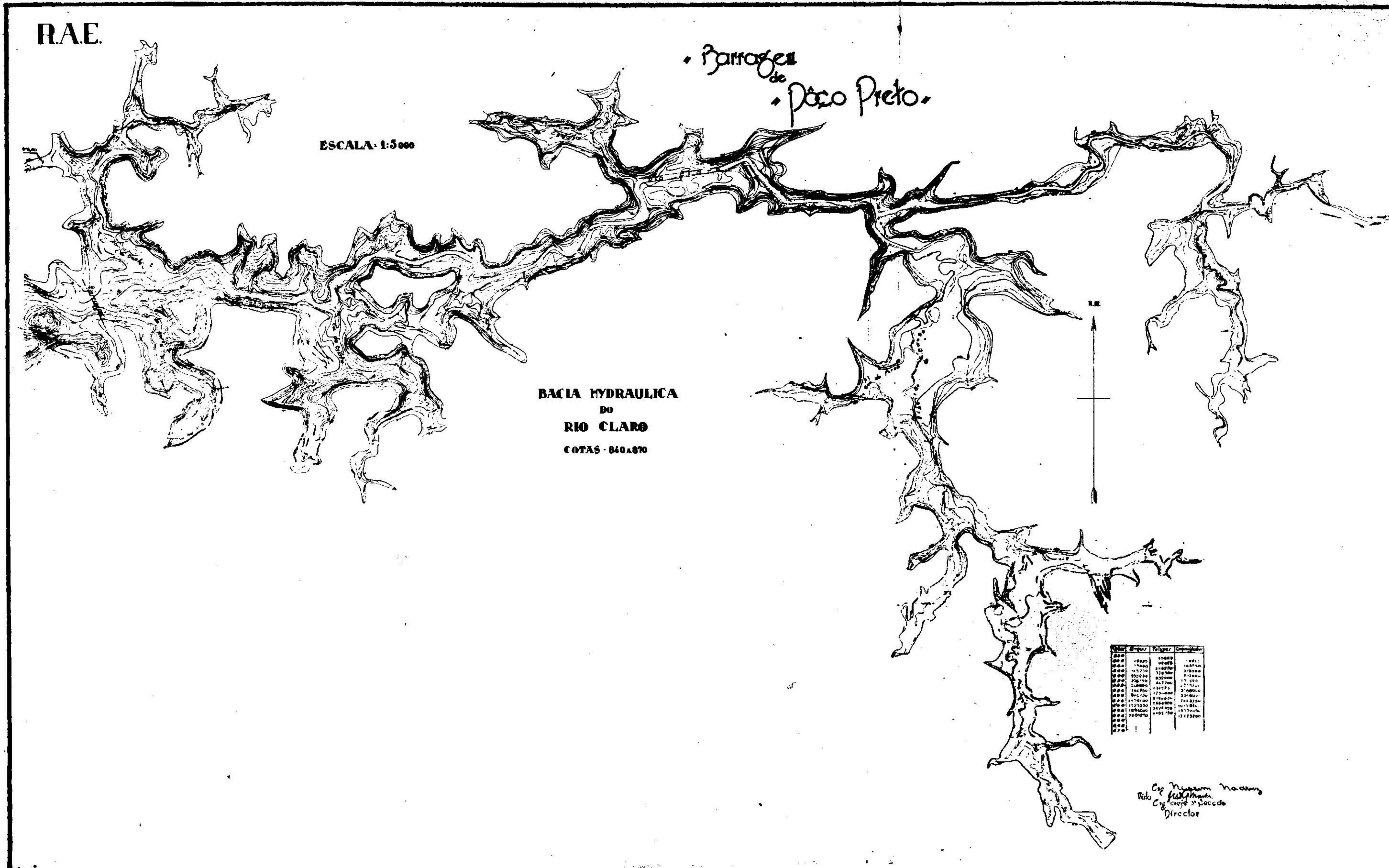
Conseguimos reunir assim dados referentes aos annos comprehendidos entre 1926 e 1932.

O vertedouro installado em Casa Grande, registrando automaticamente as vazões de meia em meia hora, permittiu-nos estudar as variações horarias maximas e minimas do Rio Claro.

Damos no quadro abaixo as medições feitas, no mez de Janeiro, pelo vertedouro e pelo posto meteorologico de Casa Grande. (*Ver folhas annexas 1*)

De posse desses dados passamos ao estudo da descarga do Rio Claro.

O quadro n.º 1 nos dá as vazões médias diarias do Rio Claro, em Casa Grande, comprehendendo os annos de 1926 a 1932. Por elle vemos que no periodo de estiagem do anno de 1926 a vazão baixou aquém de 3.5 m.c./seg., vazão esta necessaria á adducção. Donde se infere que se necessita de um armazenamento cujo volume vamos calcular.


R.A.E.
Barragem de
Pôço Preto
ESCALA 1:5000
BACIA HYDRAULICA
DO
RIO CLARO
COTAS 840 A 870
N
Visto
Cap. Director

Considerando além disso, que o periodo de 1926 a 1932 foi um periodo reconhecidamente chuvoso, não podemos computal-o no calculo do volume a armazenar, sem fazermos as necessarias correcções. Para tal, partimos das conclusões a que chegaram alguns experimentadores, após observações mais ou menos longas, sobre o regimen de varios cursos dagua.

> "Comquanto, em geral, as médias de observações de cinco annos se afastem de 10% da média geral, notamos-se periodos deste prazo com discordancia de 20 a 30%".

Por ahi vemos que as observações do regimen de um rio num periodo de 5 a 10 annos nos dá apenas uma ideia indicativa para o calculo da vazão necessaria.

Criterio melhor seria o das medições rigorosas em annos reconhecidamente seccos.

O quadro n.° 1 nos dá as vazões médias do Rio Claro medidas em Casa Grande. Interessam-nos, porém, as vazões em Poço Preto, 14 kilometros a montante.

Para estabelecer uma relação entre essas duas descargas adoptámos o criterio da relação das áreas das bacias.

A bacia do Rio Claro, comprehendida desde as suas cabeceiras até o vertedouro de Casa Grande, abrange uma área de 135 kilometros quadrados. Deduzidos 35 kilometros quadrados, comprehendidos entre Poço Preto e Casa Grande, ficaremos com 100 kilometros quadrados para área da bacia.

A relação das áreas é pois: $\frac{100}{135} = 0.74$

Chamaremos S a área total da bacia, S' a da bacia a montante de Poço Preto, h a altura de chuva, constante para toda a bacia.

A precipitação total sobre a bacia dá um volume

$$V = S \times h \qquad (1)$$

O volume sobre a bacia menor será de:

$$V' = S' \times h \qquad (2)$$

Dividindo (2) por (1), teremos:

$$\frac{V'}{V} = \frac{S' \times h}{S \times h} = \frac{S'}{S} \therefore V' = V \times \frac{S'}{S} \qquad (3)$$

Nas relações acima supuzemos h (altura de chuva) constante para toda a bacia, condição que na realidade não se verifica. Com effeito, comparando as alturas pluviometricas de Casa Grande e Poço Preto, notamos alturas maiores para este ponto de observação. (Ver folha annexa n.° 2 A). Levando em conta esse facto e chamando h' a altura de chuva na bacia de Poço Preto, a relação (3) torna-se:

$$V' = V \times \frac{S'}{S} \times \frac{h'}{h} = KV \frac{S'}{S} = 0.74\ KV$$

Sendo K maior do que a unidade, vem:

$$V' > 0.74\ V.$$

K é uma variavel que depende da posição de dois pontos da bacia. Desenhando um systema de curvas, pudemos achar o valor médio de K para os pontos Casa Grande-Poço Preto.

Considerando a desigualdade acima, o facto de que o rendimento hydraulico de uma bacia augmenta com a inclinação do seu alveo e quanto menor a sua área maior será a sua contribuição por unidade de superficie, reforçámos de 0.13 a relação atráz determinada, obtendo:

$$V' = 0.87\ V.$$

Comparemos agora as vazões médias mensaes de Poço Preto e Casa Grande obtidas no anno de 1926 pela commissão de Obras Novas.

O quadro n.º 2 nos dá as relações das vazões e vemos que ellas são iguaes a 0.87.

O quadro n.º 3 nos dá as vazões médias mensaes em Poço Preto obtidas em funcção das vazões em Casa Grande.

O quadro n.º 4 nos dá as vazões em Poço Preto em m. c. por mez.

O quadro n.º 5 nos dá as vazões accumuladas. Tomando em abcissas os mezes e em ordenadas os volumes accumulados, traçámos o diagramma de Ripl, para os annos comprehendidos entre 1926 e 1932.

Tomando um consumo médio diario de 300.000 m. c. chegámos á conclusão que devemos armazenar 14 milhões de m. c. E' preciso, porém, notar que o diagramma em questão abrange um periodo de 6 annos mais ou menos chuvosos. Chegariamos a maior volume a accumular se considerassemos um periodo menor de annos mais estiosos, como, por exemplo, 1925 e 1926.

Ao envez de considerarmos um periodo de seis annos, como atraz fizemos, vamos tomar sómente as médias dos annos de 1926 a 1929.

O quadro n.º 6 nos dá as vazões médias mensaes em Casa Grande e as alturas de chuva em Poço Preto.

Vejamos agora qual a reducção que se deve fazer para levarmos em conta os effeitos da estiagem.

Adoptemos o criterio das precipitações minimas.

Como não temos um longo periodo de medição nos postos meteorologicos de Poço Preto e Casa Grande, vamos fazer a comparação das alturas pluviometricas maximas e minimas dos postos de Ponte Nova e Itapanhaú. Estes postos estão em regiões climatericas comparaveis a Poço Preto e Casa Grande.

O quadro n.º 7 nos dá as alturas pluviometricas em Itapanhaú e Ponte Nova, desde 1916. Por elle vemos que o anno de maior estiagem foi o de 1921, com uma altura de chuva de 3470.4 mm. em Itapanhaú e 1056.6 mm. em Ponte Nova.

Considerando a média das precipitações nos annos de 1926 a 1929, teremos respectivamente para os dois postos descriminados:

(Ver folha annexa n.º 2 B).

Para chegarmos a uma altura minima de 3470,4 mm. em Itapanhaú, devemos fazer a reducção de:

$$1.0 - \frac{3470.4}{4988.2} = 1.0 - 0.7 = 30\%$$

Para Ponte Nova chegaremos a:

$$1.0 - \frac{1056.6}{1443.3} = 1.0 - 0.73 = 27\%$$

A porcentagem a deduzir será: $\frac{30 + 27}{2} = 28.5\%$

Conhecida a porcentagem a deduzir, construimos o *quadro n.º 8*. Na primeira columna temos as médias das vazões em Casa Grande nos 4 annos considerados. A segunda columna nos dá essas vazões reduzidas para Poço Preto. Nessa reducção adoptámos, para maior segurança, o factor de 0,26. A ultima columna foi obtida considerando uma reducção de 32% para estiagem e evaporação.

O quadro n.º 9 nos dá o volume a accumular para garantir uma vazão uniforme de 3 m. c./seg.

Com o aproveitamento maximo da bacia poderemos, em epoca de estiagem, retirar 298.000 m. c. diarios, conforme mostra o quadro 9 Bis.

Coefficiente de Run off. — O coefficiente de rendimento superficial (Run off) será, neste caso:

$$P = \frac{298.000 \times 365}{3.0 \times 100.000.000} = 36.3\%$$

sendo de 100 k^2. a área da bacia e de 3.0 m. a altura de chuva.

Calculado para 1926, achámos para esse coefficiente 39%.

3 — Capacidade do Lago

Chegamos á conclusão que devemos armazenar um volume de 17,614 milhões de m. c. de agua.

Vejamos agora a que altura devemos elevar a barragem para podermos armazenar esse volume.

Para esse fim, foi feito o levantamento topographico da bacia, com curvas de nivel de 2 em 2 metros.

De posse da planta, determinámos, com o auxilio de um planimetro, as áreas das secções horizontaes correspondentes a essas curvas de nivel e calculámos, por methodo conhecido, as capacidades em funcção das diversas alturas *h*. Traçando, em seguida, a curva dos volumes em funcção das cótas, determinamos a altura *h* que deveria ter a barragem.

Essa altura é de 24 metros.

O quadro n.º 10 nos dá as áreas e as capacidades da bacia de 2 em 2 metros. Por elle vemos que, sendo de 840 a cóta inferior da barragem, esta alcançará a cóta de 864.

A cóta de inundação será, pois, de 864.

FOLHA ANNEXA N.º 1

Data: Dia	Data: Mes	altura média mm.	vol. médio mm.	médias
1	Jan.	360	8.350	
2	»	305	6.475	
3	»	290	6.000	
4	»	275	5.550	
5	»	270	5.375	
6	»	264	5.175	
7	»	255	4.925	
8	»	343	7.750	
9	»	335	7.500	Altura média
10	»	305	6.495	mensal
11	»	910	35.300	323.6
12	»	370	8.700	
13	»	360	8.300	
14	»	390	9.450	
15	»	350	8.000	
16	»	290	6.000	Volume médio
17	»	270	5.375	mensal
18	»	260	5.075	7.554
19	»	250	4.775	
20	»	250	4.775	
21	»	240	4.475	
22	»	240	4.475	
23	»	250	4.775	
24	»	240	4.475	
25	»	240	4.475	
26	»	250	4.775	
27	»	250	4.775	
28	»	360	8.350	
29	»	330	7.325	
30	»	330	7.325	
31	»	600	18.575	

FOLHA ANNEXA N.º 1

Data		Chuvas mm.		Total	Observações
Dia	Mes	7 horas	21 horas		
1	Jan.	—	—	—	
2	»	—	—	—	
3	»	—	—	—	
4	»	—	—	—	
5	»	—	—	—	
6	»	—	—	—	
7	»	—	—	—	
8	»	—	—	—	
9	»	—	—	—	
10	»	—	—	—	Dias de chuva
11	»	28.5	—	28.5	= 13.
12	»	—	1.5	1.5	
13	»	—	12.5	12 5	
14	»	0.5	12.8	13.3	
15	»	5.3	—	5.3	
16	»	—	—	—	
17	»	—	—	—	
18	»	—	—	—	
19	»	—	—	—	
20	»	—	0.2	0.2	Somma das
21	»	—	1.5	1.5	chuvas
22	»	—	—	—	= 127.2 mm.
23	»	—	0.3	0.3	
24	»	—	—	—	
25	»	2.0	—	2 0	
26	»	—	—	—	
27	»	—	—	—	
28	»	25.0	3.4	28 4	
29	»	0.5	9.5	10.0	
30	»	5.1	4.9	10 0	
31	»	13.4	0.3	13.7	

QUADRO N. 1

MEZ	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932
Janeiro	8,200	8,424	8,400	9,991	7,736	7,554	8,415
Fevereiro	6,720	6,730	9,989	20,800	9,067	6,840	6,507
Março	5,850	9,775	9,251	12,479	7,360	10,629	8,428
Abril	5,352	5,800	6,320	7,347	11,040	6,178	5,457
Maio	5,320	4,025	6,780	10,222	6,627	5,002	7,243
Junho	2,896	4,125	3,940	5,261	4,506	4,539	4,670
Julho	2,642	3,125	4,780	4,665	4,575	3,687	3,332
Agosto	2,650	4,775	4,050	4,151	3,983	3,630	4,830
Setembro	3,450	4,914	4,350	5,467	6,050	5,678	3,025
Outubro	3,060	7,075	4,500	4,079	7,190	6,423	4,178
Novembro	6,741	5,700	5,415	6,770	6,250	7,120	3,633
Dezembro	7,830	9,290	4,800	16,320	8,554	7,339	9,445

FOLHA ANNEXA N.º 2-A

Data		Altura das chuvas em mm.	
Mez	Anno	Poço Preto	Casa Grande
Janeiro	1931	276.7	127.2
Fevereiro	»	230.5	198.4
Março	»	488.8	177.9
Abril	»	185.0	46.5
Maio	»	—	72.3
Junho	»	142.3	67.8
Julho	»	141.8	24.8
Agosto	»	93.4	19.1
Setembro	»	327.8	160.5
Outubro	»	341.0	181.5
Novembro	»	292.0	144.5
Dezembro	»	345.0	203.6

QUADRO NUMERO 2

Anno de 1926

Mez	Descarga média mensal	Descarga mensal	Relação
	Poço Preto	Casa Grande	
Janeiro	7134	8200	0,87
Fevereiro	5846	6720	0,87
Março	5090	5850	0,87
Abril	4656	5352	0,87
Maio	4628	5320	0,87
Junho	2519	2896	0,87
Julho	2298	2642	0,87
Agosto	5785	6650	0,87
Setembro	3000	3450	0,87
Outubro	2662	3060	0,87
Novembro	5864	6741	0,87
Dezembro	6812	7830	0,87

QUADRO NUMERO 3

Vazões em Poço Preto obtidas em funcção das vazões em Casa Grande
Vazões médias mensais em $m.^3$ seg. Coef. de redução 0,87

MEZ	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933
Janeiro	7,328	7,308	8,692	6,730	6,571	7,321	
Fevereiro	5,855	8,690	8,096	7,888	5,950	5,661	
Março	8,504	8,048	10,857	6,403	9,247	7,332	
Abril	5,047	5,498	6,392	9,605	5,583	4,747	
Maio	3,502	5,899	8,893	5,765	4,352	6,301	
Junho	3,589	3,428	4,577	3,920	3,949	4,063	
Julho	2,719	4,159	4,058	3,980	3,207	2,891	
Agosto	4,154	3,523	3,611	3,465	3,158	4,202	
Setembro	4,275	3,784	4,756	5,263	4,940	2,631	
Outubro	6,155	3,915	3,548	6,255	5,588	4,105	
Novembro	4,959	4,711	5,889	5,437	6,194	3,160	
Dezembro	8,082	4,174	14,198	7,442	6,385	8,217	

QUADRO NUMERO 4

Vazões em Poço Preto

Vazões médias mensaes em m³/ mês

MEZ	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933
Janeiro	19620000	19570000	23280000	18020000	17590000	19610000	
Fevereiro	14160000	21020000	19580000	19080000	14390000	13690000	
Março	22770000	21550000	29080000	17150000	24770000	19640000	
Abril	13070000	14250000	16570000	24890000	13950000	12300000	
Maio	9370000	15790000	23820000	15440000	11660000	16870000	
Junho	9300000	8880000	11860000	10160000	10230000	10530000	
Julho	7280000	11140000	10870000	10660000	8590000	7740000	
Agosto	11120000	9440000	9670000	9280000	8460000	11250000	
Setembro	11080000	9800000	12330000	13640000	12800000	6820000	
Outubro	16480000	10480000	9500000	16750000	14970000	10990000	
Novembro	12850000	12210000	15260000	14090000	16050000	8190000	
Dezembro	21640000	11180000	38030000	19940000	17100000	22030000	

QUADRO NUMERO 5

Vazões accumuladas

(Barragem de Poço Preto)

MEZ	1927	1928	1929	1930	1931	1932
Janeiro	19620000	188310000	357330000	571920000	760590000	933170000
Fevereiro	33780000	209330000	376910000	591000000	774980000	946860000
Março	56550000	230880000	405990000	608150000	799750000	966500000
Abril	69620000	245130000	422560000	633040000	813700000	978800000
Maio	78990000	260920000	446380000	648480000	825360000	995670000
Junho	88290000	269800000	458240000	658640000	835590000	1006200000
Julho	95570000	280940000	469110000	669300000	844180000	1013940000
Agosto	106690000	290380000	478780000	678580000	852640000	1025190000
Setembro	117770000	300180000	491110000	692220000	865440000	1032010000
Outubro	134250000	310660000	500610000	708970000	880410000	1043000000
Novembro	147100000	322870000	515870000	723060000	896460000	1051190000
Dezembro	168740000	334050000	553900000	743000000	913560000	1073190000

QUADRO NUMERO 6

Vazões accumuladas

(Barragem de Poço Preto)

MEZ	1926	1927	1928	1929	Media	1926	1927	1928	1929	Media
	Descarga media mensal em Casa Grande					Alturas das chuvas em Poço Preto (milimetros)				
Janeiro	8200	8424	8400	9991	8754	455,50	215,19	342,24	453,00	366,48
Fevereiro	6720	6730	9989	20800	11059	341,88	209,98	305,90	707,70	391,36
Março	5850	9775	9251	12479	9339	290,24	382,76	318,66	339,80	332,86
Abril	5352	5800	6320	7347	6205	249,52	135,72	167,40	204,50	189,29
Maio	5320	4025	6780	10222	6585	107,34	58,18	183,80	366,60	178,98
Junho	2896	4125	3940	5261	4055	202,06	178,10	74,30	38,50	123,24
Julho	2642	3125	4780	4665	3803	94,25	58,56	325,74	116,20	148,69
Agosto	6650	4775	4050	4151	4906	459,44	310,00	27,14	159,50	239,02
Setembro	3450	4914	4350	5467	4545	154,06	292,17	181,80	250,60	219,65
Outubro	3060	7075	4500	4079	4678	190,14	351,24	232,30	170,10	237,44
Novembro	6741	5700	5415	6770	6156	351,02	276,00	300,20	357,30	321,13
Dezembro	7830	9290	4800	16320	9560	421,37	377,60	217,40	674,10	422,62
ANNUAL	5393	6147	6048	8963	6637	3316,82	2845,45	2676,88	3843,90	3170,76

QUADRO NUMERO 7

Alturas de chuvas em Itapanhaú e Ponte Nova

Itapanhaú		Ponte Nova	
Anno	Milimetros	Anno	Milimetros
1916	4455,5	1916	651,4 (1)
1917	3766,6	1917	1199,0
1918	4327,8	1918	1199,0
1919	4698,8	1919	1264,2
1920	3914,6	1920	1451,6
1921	3470,4	1921	1056,6
1922	5150,4	1922	1549,8
1923	3724,0	1923	1422,8
1924	5197,0	1924	1109,2
1925	4023,5	1925	1386,0
1926	4665,8	1926	1477,6
1927	4583,0	1927	1383,2
1928	4738,1	1928	1116,2
1929	5965,8	1929	1796,2

(1) 6 mêses

FOLHA ANNEXA N.º 2-B

	Itapanhaú	Ponte Nova
Anno	Precipitação	
1926	4665 8	1477.6
1927	4583.0	1383.2
1928	4738.1	1116.2
1929	5965.8	1796 2
Média	4988.2	1443 3

QUADRO NUMERO 8

Rio Claro

MEZES	Vazão em Casa Grande Média mensal m. c./s.	Vazão em Poço Preto Reduzida de 26% Relação das áreas	Redução de 32 % Para estiagem evaporação e perdas
Janeiro	8,754	6,478	4,405
Fevereiro	11,059	8,184	5,565
Março	9,339	6,911	4,699
Abril	6,205	4,592	4,592
Maio	6,585	4,873	3,314
Junho	4,055	3,000	2,040
Julho	3,803	2,814	3,913
Agosto	4,906	3,630	2,468
Setembro	4,545	3,363	2,287
Outubro	4,678	3,462	2,354
Novembro	6,156	4,555	3,097
Dezembro	9,560	7,074	4,810

QUADRO NUMERO 9

Rio Claro ... *Poço Preto*

MEZES	Volume mensal Milhões	Consumo médio	Saldo	Deficit
Janeiro	11,798	8,035	3,763	
Fevereiro	13,463	7,257	6,206	
Março	12,586	8,035	4,471	
Abril	11,902	7,776	4,126	
Maio	8,876	8,035	0,841	
Junho	5,288	7,776		2,488
Julho	5,124	8,035		2,911
Agosto	6,610	8,035		1,425
Setembro	5,928	7,776		1,848
Outubro	6,305	8,035		1,730
Novembro	8,027	7,776		0,251
Dezembro	12,883	8,035	4,578	
			23,985	10,653

Para 3 m. c./seg. = 259.000 m. c. diarios

QUADRO NUMERO 9 (bis)

MEZ	Volume mensal	Consumo médio	Saldo	Deficit
Janeiro	11,798	9,238	2,560	
Fevereiro	13,463	8,344	5,119	
Março	12,586	9,238	3,348	
Abril	11,902	8,940	2,962	
Maio	8,876	9,238		0,362
Junho	5,288	8,940		3,652
Julho	5,124	9,238		4,114
Agosto	6,610	9,238		2,628
Setembro	5,928	8,940		3,012
Outubro	6,305	9,238		2,933
Novembro	8,017	8,940		0,913
Dezembro	12,883	9,238	3,645	
			17,634	17,614

Para 298.000 mc. diarios.

QUADRO NUMERO 10

Capacidade da bacia hydrographica

Cotas	Áreas m2	Volumes m3	Capacidade
840			
		10 625	
842	19625		10625
		92.625	
844	73000		103250
		216.250	
846	143250		319500
		376.500	
848	233250		696000
		632.000	
850	398750		1328000
		947.700	
852	548950		2275700
		1 313.200	
854	764250		3588900
		1.730.000	
856	965750		5318900
		2.124 850	
858	1159100		7443750
		2.684.650	
860	1525550		10128400
		3.422.050	
862	1896500		13550450
		4 182 750	
864	2286250		17773200

4. — Calculo da barragem

Na construcção de uma barragem, temos de prever um certo numero de obras diversas, cada qual com uma funcção bem determinada.

Escolhido o local do plano de conjuncto, a posição exacta da barragem resultará do estudo detalhado das seguintes variaveis:

Caracter do sólo e das fundações;

Configuração do terreno e do afloramento da rocha no local escolhido;

Facilidade de aprovisionamento e caracteristicos dos materiaes necessarios á construcção;

Custo do terreno a desapropriar;

Facilidade na collocação das diversas canalisações de tomada dagua, caixa de regularisação, etc.

Possibilidades da facil disposição dos canteiros de serviço, acampamento dos operarios etc.

ADDUCTORA DO RIO CLARO
BARRAGEM DE POÇO PRETO-SONDAGEM
CONVENÇÕES:
TERRA
INCLUSÕES DE ROCHA DECOMPOSTA
ROCHA
ESCALA 1:500
São Paulo, 4 de Abril de 1935
Eng. Ajudante
Visto:
Eng. Chefe
Visto:
Director:
REPARTIÇÃO AGUAS E ESGOTOS DE SÃO PAULO
SECÇÃO RIO CLARO
BARRAGEM DE POÇO PRETO-SONDAGEM

Segurança da construcção.

A natureza do sólo de fundação é sem duvida alguma o factor mais importante para a locação definitiva da barragem. Em nosso caso, as sondagens executadas mostraram encontrar-se a rocha em grande profundidade ao longo de todo o perfil transversal, o que irá exigir um grande volume de excavação. Veremos adeante que, devido a esse facto, veio a ser proposto um substitutivo do typo de barragem que fôra escolhido.

Quanto aos materiaes de construcção, algumas pedreiras existentes proximas á cachoeira de Poço Preto, permittem retirar com facilidade pedras necessarias á construcção. Nada podemos dizer a respeito do volume dessas pedreiras, pois as mesmas se acham ainda cobertas pela vegetação. A areia poderá ser transportada de Casa Grande, 14 k. a jusante. Essa areia é retirada do proprio Rio Claro. Alguns bancos de areia entre Poço Preto e Casa Grande tambem poderão ser aproveitados. Ha igualmente em Casa Grande uma pedreira capaz de suprir as faltas que porventura houver em Poço Preto.

O accesso ao local da barragem é feito por uma estrada que de Casa Grande a Poço Preto, não satisfaz ás condições exigidas para comportar um trafego intenso. Ha necessidade de melhoria dessa estrada, sendo mesmo necessario refazer duas pontes e outros tantos boeiros.

O canteiro de serviço deve ser construido sobre a margem esquerda, que melhor posição offerece; ahi poderá ser installado o acampamento, aproveitando-se algumas moradias já construidas.

Typo de barragem escolhido — Optámos por uma barragem de gravidade de alvenaria massiça. Com effeito, é o typo de menor custo, o mais solido e seguro. E' de facil construcção, não exigindo operariado especialisado. Exige menor mão de obra.

Calculo da barragem. — Escolhido o typo, passámos ao calculo do perfil da barragem. O methodo de calculo seguido foi o do Eng. Flavio R. Castro. Foi tambem feita a verificação graphica do perfil.

Achámos conveniente apresentar um resumo do estudo geral extrahido da obra do citado Eng. Os leitores interessados em maiores detalhes, poderão encontral-os na dita obra.

I — Observações geraes.

O calculo do perfil de uma barragem de alvenaria apresenta, em geral, cinco phases distintas, conforme as "condições determinantes" a considerar successivamente, entendendo-se por condições determinantes *do perfil a uma dada profundidade*, as condições de estabilidade a que este ahi deve satisfazer estrictamente, isto é, sem folga, para que as demais fiquem satisfeitas com uma certa folga.

Damos a seguir essas condições para as cinco phases de calculo, lembrando que o calculo dos esforços deve em geral ser feito nos tres casos fundamentaes:

a) Açude vazio:
b) Açude cheio até o nivel da maxima enchente;
c) Açude cheio (excepcionalmente) até a crista da barragem.

1.ª phase: Condição determinante: $R_i = o$, isto é, ausencia de tracção a montante no caso c) ou caso do açude cheio até a crista da barragem.

2.ª phase: Condições determinantes: $R'_i = o$ e $r_e = o$, isto é ausencia de tracção a montante no caso c) e a jusante no caso a) ou caso do açude vazio. Comquanto tenhamos admittido pequenos esforços de tracção a jusante no caso a), supporemos no resumo das formulas, que se não admittem taes esforços.

3.ª phase: Condições determinantes: $R_i = H$, $r_e = o$, isto é, trabalho de compressão da alvenaria no paramento de montante igual á pressão hydrostatica no caso b) ou de enchimento do açude até o nivel de maxima enchente, e ausencia de tracção á jusante no caso a).

4.ª phase: Condições determinantes: $R'_m = R_o$, $r_e = o$, isto é, compressão maxima no caso c) igual á carga de segurança da alvenaria á compressão e ausencia de tracção a jusante no caso a).

5.ª phase: Condições determinantes: $R'_m = R_o$ e $r_i = R_o$, isto é, esforços maximos de compressão nos casos c) e a) iguaes á carga de segurança da alvenaria á compressão. Certos auctores recommendam adoptarem-se em taes casos limites de compressão diversos conforme o paramento, podendo-se admittir a montante e a secco uma compressão notavelmente superior á de jusante, açude em carga.

A 2.ª phase tende rapidamente a desaparecer á medida que as relações $\frac{h_o}{H'}$ e $\frac{e_o}{H'}$ da altura e da largura do coroamento para a altura total da barragem diminuem.

A 4.ª e 5.ª phase só intervem no calculo de barrageus de grandes alturas.

A cada uma dessas phases corresponde uma certa zona do perfil onde as espessuras são calculadas por um mesmo systema de formulas.

A espessura do perfil a uma dada profundidade compõe-se em geral de duas partes, e e ε, contadas respectivamente para jusante e montante a partir da vertical do extremo de montante da junta precedente (fig. 1).

Na 1.ª phase a porção ε de montante é nulla.

Calcula-se em primeiro lugar a porção e de jusante e depois a porção ε de montante em funcção da primeira.

Vem em seguida o calculo dos esforços, calculo este necessario por um duplo motivo:

1.º Para verificar-se si não houve erro no calculo da junta. Si, por exemplo, se trata de uma junta pertencente á terceira zona do perfil, deve-se achar, feitos os calculos, $R_i \geqq \pi H$ e $r_e \geqq o$ (o signal $>$ justifica-se por se forçar geralmente um ou mais algarismos no sentido da estabilidade durante os calculos).

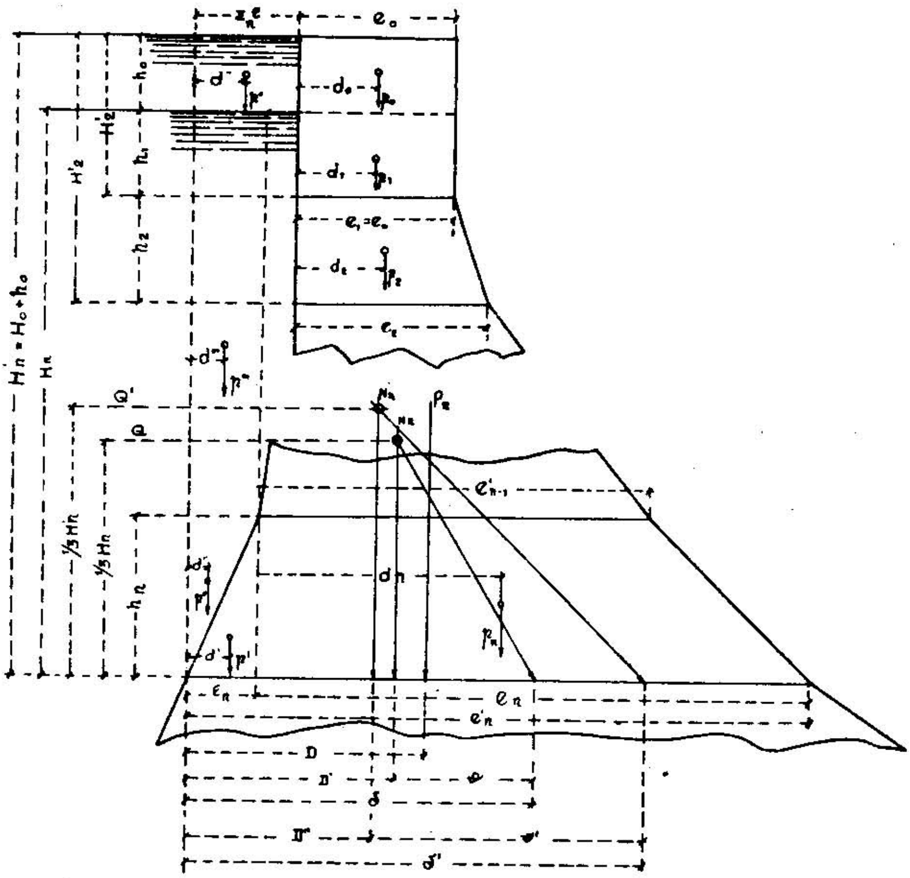


Fig. 1

2.º Para se saber quando mudam as condições determinantes do perfil e portanto as formulas a applicar.

As demais observações que convem ter presentes serão indicadas opportunamente de permeio com as formulas.

II — Resumo das notações e formulas.

No resumo que passamos a fazer das notações e formulas, obedeceremos á ordem segundo a qual aquellas e estas intervêm no calculo dos perfis. Consideraremos portanto as cinco phases de calculo acima indicadas.

1.ª phase. Condição determinante do perfil $R'_i = o$.

Nesta primeira phase o paramento de montante permanecerá vertical.

As fiadas em que se supõe decomposto o perfil serão numeradas seguidamento a partir da crista.

Os diversos elementos essenciaes de uma fiada e os que intervem directamente no calculo da fiada seguinte (espessura na base, etc.) serão caracterisados por um indice, que será o numero de ordem da fiada considerada.

Isto posto, designaremos por:

e_n, a espessura da junta de ordem n, base da fiada de ordem n;

H_n e H'_n, as profundidades dessa junta abaixo respectivamente do nivel de maxima enchente, caso b), e da crista da barragem ou nivel excepcional, caso c);

h_n, p_n, d_n, a altura, o peso e a distancia do centro de gravidade ao paramento interior (vertical) da fiada de ordem n;

P_n, m_n, peso da alvenaria situada acima da junta e_n (base dessa fiada) e momento desse peso em relação ao extremo de montante da mesma; D_n, δ_n δ'_n, ou simplesmente D, δ, δ', distancias dos centros (e curvas) de pressão na junta de ordem n ao extremo de montante da mesma respectivamente nos casos a), b) e c), dispensando-se o indice n porque essas quantidades não intervêm no calculo da junta seguinte (a mesma observação applica-se ás notações que se seguem);

v, v', distancias dos centros de pressão relativos aos dois ultimos casos, b) e c), ao centro de pressão relativo ao primeiro, a);

Q e Q', empuxos ou componentes horizontaes da acção da agua nos dois casos b) e c);

α e α', angulos de incidencia das resultantes sobre a junta nesses dois casos (angulos com a vertical);

r, R, R', com os indices i ou e, esforços nos extremos interior ou de montante (indice i) e exterior ou de jusante (indice e) da junta nos casos a), b) e c);

R_m e R'_m, esforços maxima-maximorum nos casos b) e c);

β, angulo do paramento exterior com a vertical no ponto em que a junta corta esse paramento;

Δ e π, pesos especificos da alvenaria e da agua.

Os elementos relativos ao coroamento serão caracterisados pelo indice o. Assim, e_o, h_o, p_o, designam respectivamente a espessura, a altura e o peso do coroamento. A altura h_o do coroamento é a differença de nivel entre a crista da barragem e o nivel de maxima enchente, caso b); tem-se $h_o = H' - H$.

São estas as notações que intervêm na primeira phase do calculo. Passemos ás formulas.

A. — Calculo de uma junta qualquer e_n.

Parametros:

$$k = \Delta h_n,$$
$$K = ke_{n-1} + 4 P_{n-1}$$
$$K' = ke^2_{n-1} + \pi H'^3_n + 6 m_{n-1}$$
$$K'' = k - R'_i = k, \quad \text{visto como } R'_i = o.$$

Formula:

$$e_n = \frac{\sqrt{K^2 + 4\,K'K''} - K}{2\,K''} \quad \text{para} \quad K'' = +$$

e

$$e_n = \frac{K - \sqrt{K^2 - 4\,K'K''}}{2\,K''} \quad \text{para} \quad K'' = -$$

Observações — Na phase em questão tem-se $K'' = +$; a formula a applicar é, portanto, a primeira.

Convem conservar a espessura e_o do coroamento até a altura maxima H'_1 compativel com a condição de estabilidade determinante ($R'_1 = o$).

Essa altura é dada pela seguinte formula: $H'_1 = e_o \sqrt{\frac{\Delta}{\pi}}$

Para $\Delta = 2.300$ e $\pi = 1.000$, tem-se $H'_1 = e_o \sqrt{\frac{2300}{1000}} = 1.5165\ e_o$.

Podemos, entretanto, e talvez com mais vantagem, proceder de outra forma. Attendendo a que o perfil polygonal ou theorico deve ser substituido ulteriormente por um perfil curvilineo ou pratico, adoptámos para a primeira fiada uma altura $H''_1 < H'_1 = 1{,}5165\ e_o$ (fig. 2) afim de que a fiada seguinte, representada em linha pontuada na figura incorpore em parte o triangulo curvilineo CB_1D que será addiccionado ao perfil theorico na passagem para o perfil pratico.

Teremos assim uma quebra menos brusca a jusante na passagem da primeira para a segunda fiada no perfil theorico e uma menor discordancia entre este e o perfil pratico.

Essa questão não tem, entretanto, grande importancia.

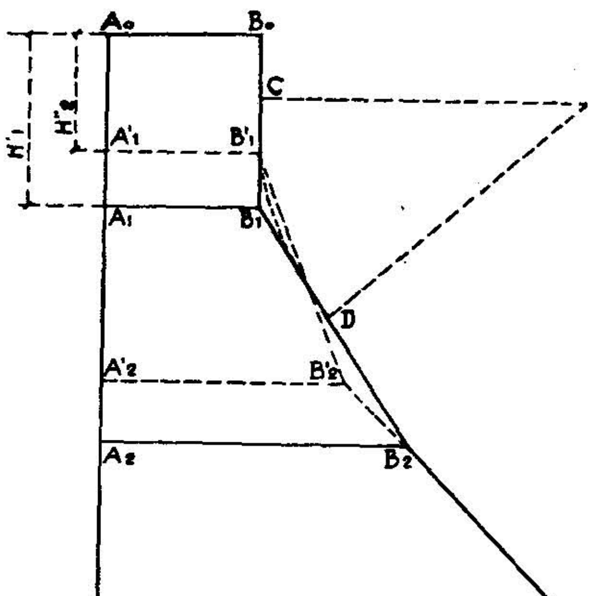


Fig. 2

B. — Calculo dos esforços.

Caso a) Açude vazio:

$$P_n = P_{n-1} + p_n, \quad \text{sendo} \quad p_n = \Delta \, \frac{e_n + e_{n-1}}{2} \, . \, h$$

$$m_n = m_{n-1} + p_n d_n, \quad \text{»} \quad d_n = \frac{1}{3} \, \frac{e_n^2 + e_n e_{n-1} + e_{n-1}^2}{e_n + e_{n-1}}$$

$$r_e = \frac{2 P_n}{e_n}\left(\frac{3 D}{e_n} - 1\right) \quad \text{»} \quad D = \frac{m_n}{P_n}$$

$$r_i = \frac{2 P_n}{e_n}\left(2 - \frac{3 D}{e_n}\right).$$

Caso b) Açude cheio até o nivel de maxima enchente.

$$tg\,\alpha = \frac{Q}{P_n} = \frac{\pi H^2{}_n}{2 P_n}, \quad v = \frac{H_n}{3} tg\,\alpha, \quad \delta = D + v, \quad tg\,\beta = \frac{e_n - e_{n-1}}{h_n}$$

R_i e R_e calculam-se como r_i e r_e substituindo apenas D por δ. Quanto a R_m, tem-se:

$$R_m = R_e\,(1 + tg^2\,\beta)$$

Observação — Nas primeiras fiadas não é, em rigor, necessario calcular R_i e R_e, porque a mudança da condição determinante não se dá sinão a uma certa profundidade que, com alguma pratica, se determina aproximadamente de antemão. Por outro lado, a determinação de R_m é perfeitamente dispensavel, porque R_m será sempre inferior a R'_m (caso c).

Caso c) Açude cheio até a crista da barragem.

$$tg\,\alpha' = \frac{Q'}{P_n} = \frac{\pi H'^2_o}{2 P_n}, \quad v' = \frac{H'n}{3} tg\,\alpha', \quad \delta' = D + v'.$$

R'_i, R'_e, R'_m calculam-se como R_i, R_e, R_m substituindo apenas δ por δ'.

Observação — Si se adoptou sem alteração apreciavel o valor de e_n fornecido pelo calculo, forçando apenas para mais ou para menos durante este as ultimas decimaes conservadas nos diversos factores, dever-se-á, como verificação, ter:

$$\delta' = \frac{2}{3} e_n$$

muito aproximadamente, isto é, com erro sempre para menos de millimetro ou fracção de millimetro. Ter-se-á, ao mesmo tempo;

$$R'_i = o \qquad \text{e} \qquad R'_e = 2 \frac{P_n}{e_n}$$

2.ª phase. Condições determinantes do perfil: $R'_i = o$ e $r_e = o$.

Com a intervenção da condição $r_e = o$ o paramento de montante deixa de ser vertical. Novos elementos e por conseguinte novas notações introduzem-se no calculo, e, por outro lado, certas notações precedentemente definidas mudam ligeiramente de significação, como passamos a explicar.

Cada fiada será daqui por deante decomposta em duas porções, uma trapezoidal maior e outra triangular menor, pela vertical do extremo de montante da base da fiada precedente (fig. 1).

As unicas notações cuja significação muda são: de um lado e_n, p_n, d_n, que passam agora a representar respectivamente a base da porção trapezoidal da fiada de ordem n, o seu peso e a distancia do seu centro de gravidade á vertical que a separa da porção triangular, em vez dos elementos analogos concernentes á fiada completa, e d'outro lado v e v', que passam a representar as distancias dos centros de pressão relativos aos casos b), c) ás linhas de acção das resultantes verticaes N e N' abaixo definidas.

As novas notações a introduzir-se são (fig. 1):

ε, p'_n, d'_n, base da porção triangular da fiada de ordem n, peso da mesma e distancia do seu centro de gravidade á vertical do extremo de montante da base dessa fiada;

$e'_n = e_n + \varepsilon_n$, espessura total da junta de ordem n ou base da fiada de ordem n (1);

p''_n e p'''_n, pesos dos prismas dagua, triangular e rectangular, que se apoiam sobre a porção triangular da fiada de ordem n, estando o açude cheio até o nivel de maxima enchente, isto é, no caso b);

d''_n e d'''_n, distancias das verticaes destes pesos á extremidade de montante da junta e_n';

p_n^{IV} e q_n^{IV}, peso do prisma dagua rectangular addicional a considerar no caso c) e distancia da respectiva vertical ao extremo de montante da junta e'_n;

N_n e N'_n, resultantes das cargas verticaes (peso da alvenaria e da agua) que actuam acima da junta e'_n respectivamente nos casos b) e c);

M_n e M'_n, momentos dessas resultantes em relação ao extremo de montante da junta e'_n;

D'_n e D''_n, braços de alavanca desses momentos.

$\Sigma_n \varepsilon$, somma dos accrescimos ε desde o primeiro até o correspondente á junta e'_n, ou distancia do extremo de montante dessa junta á vertical de montante do coroamento.

O calculo de ε_n é feito após o de e_n. Para designar os valores provisorios de P_n, m_n, N_n, obtidos após o calculo de e_n e necessarios ao de ε_n, empregaremos essas mesmas letras, escriptas porém entre parenthesis.

Dentre os elementos que acabámos de enumerar ha diversos de ordem secundaria e que só intervêm nos calculos de uma mesma fiada, pelo que podemos dispensar os indices nas notações correspondentes. Taes são: p', p'', p''', p^{IV}, d', d'', d''', d^{IV}, D' e D''.

Isto posto passemos ás formulas.

(1) — A porção de junta ε_n pode ser considerada como um "accrescimo" dado á junta e_n para annullar o esforço de tracção que se manifesta no extremo de jusante desta, estando o açude vazio.

A. — Calculo de uma junta qualquer $e'_n = e_n + \varepsilon_n$.

O calculo de e_n faz-se como na 1.ª phase de calculo, substituindo apenas nas expressões de K e K', e_{n-1}, por e'_{n-1}, P_{n-1} por N'_{n-1} e m_{n-1} por M'_{n-1}.

Para o calculo de ε_n, temos:

Parametros:

$$k = \Delta h_n;$$
$$a = 4(P_n) - k e_n;$$
$$b = (P_n) \cdot e - 3(m_n);$$

Formula

$$\varepsilon_n = \frac{\sqrt{a^2 + 8bk} - a}{2k}$$

B. — Calculo dos esforços.

Caso a) Açude vazio.

$$P_n = (P_n) + p',$$

sendo $(P_n) = P_{n-1} + p = P_{n-1} + \Delta \dfrac{e_n + e'_{n-1}}{2} h_n$, $\quad p' = \Delta \dfrac{\varepsilon_n}{2} h_n;$

$$m_n = (m_n) + (P_n)\,\varepsilon_n + p'\,d',$$

sendo $(m_n) = m_{n-1} + pd = m_{n-1} + p \times \dfrac{1}{3} \dfrac{e_n^2 + e_n e_{n-1} + e_{n-1}^2}{e_n + e_{n-1}}$,

$$d' = \frac{2}{3}\varepsilon_n, \qquad D = \frac{m_n}{P_n}$$

r_e e r_i calculam-se pelas mesmas formulas indicadas na 1.ª phase substituindo e_n por $e'_n = e_n + \varepsilon_n$. Deve-se achar, como verificação, $D = \dfrac{1}{3} e'$ ou $r_e = o$.

Caso b) Açude cheio até o nivel de maxima enchente.

$$N_n = (N_n) + p' + p'' + p'''$$

sendo $(N_n) = N_{n-1} + p$, $p'' = \pi \dfrac{\varepsilon_n}{2} h_n$, $\quad p''' = \varepsilon_n \pi H_{n-1};$

$$M_n = M_{n-1} + pd + (N_n)\,\varepsilon_n + p'd' + p''d'' + p'''d''',$$

sendo $d'' = \dfrac{1}{3}\varepsilon_n$, $\qquad d''' = \dfrac{1}{2}\varepsilon_n;$

$$D' = \frac{M_n}{N_n}, \quad tg\,\alpha = \frac{Q}{N_n} = \frac{\pi \dfrac{H_n^2}{2}}{N_n}, \quad v' = \frac{H_n}{3} tg\,\alpha, \quad \delta = D' + v.$$

R_i e R_e calculam-se como na 1.ª phase, substituindo, porém, P_n por N_n e e_n por $e'_n = e_n + \varepsilon_n$. Quanto a R'_m, tem-se:

$$R'_m = R'e\,(1 + tg^2\beta),$$

sendo $\quad tg\,\beta = \dfrac{e_n - e'_{n-1}}{h_n}$

Caso c) Açude cheio até a crista da barragem.

$N'_n = N_n + p^{IV} = N_n + \pi \, h_o \, \Sigma_n \, \varepsilon$

$M'_n = M_n + p_{IV} d^{IV} = M_n + p^{IV} \times \frac{1}{2} \Sigma \, \varepsilon$

$$D'' = \frac{M'_n}{N'_n}, \quad tg\,\alpha' = \frac{Q'}{N'_n} = \frac{\pi \frac{H'_n}{2}}{N}, \quad v' = \frac{H'_n}{3} tg\,\alpha', \quad \delta' = D'' + v'.$$

O calculo de R'_i, R'_e, R'_m, é em tudo analogo ao de R_i, R_e, R_m.

Observação — Na primeira fiada da 2.ª phase tem-se, designando por j o seu numero de ordem:

$N_j = P_j + p'' + p'''$,

$M_j = m_j + p''d'' + p'''d'''$,

e

$p^{IV} = \pi \, h_o \varepsilon_j, \qquad d^{VI} = \frac{1}{2} \varepsilon_j$

3.ª phase. Condições determinantes do perfil $R_i = \pi H$ e $r_e = o$.
Não se introduz nenhuma notação nova.

A. — Calculo de uma junta qualquer $e'_n = e_n + \varepsilon_n$.

O calculo de e faz-se como na 1.ª phase, substituindo nas expressões de K, K' e K'', e_{n-1}, por e'_{n-1}, P_{n-1} por N_{n-1}, m_{n-1} por N_{n-1}, H' por $H = H' - h_o$ e R_i por πH.

O calculo de ε_n faz-se exactamente como na 2.ª phase.

B. — Calculo dos esforços.

Faz-se exactamente como na 2.ª phase.

Observação — O accrescimo ε_n perturba ligeiramente a condição $R_i = \pi H$. Deve-se, porisso, forçar mais de 2 a 3 cm. o valor de e fornecido pelo calculo.

4.ª phase. Condições determinantes do perfil $R'_m = R_o$ e $r_e = o$.

Com a intervenção da condição $R'_m = R_o$ introduz-se apenas um elemento novo na notação:

r_o = esforço normal limite sobre as juntas horizontaes a adoptar para que o esforço "maximum maximorum" R'_m (que se exerce sobre um elemento plano normal ao paramento de jusante) não exceda a carga de segurança R_o.

Tem-se, para a junta de ordem n:

$$r_o \leqq \frac{R_o}{1 + tg^2 \beta_{n-1}} \qquad \text{(approximadamente)}$$

Calculo de e_n.

Parametros: $k = \Delta h_n$

$K' = k \, e'^2_{n-1} + \pi \, H'^3 + 6 \, M'_{n-1}$ (como na 2.ª phase).

Formula

$$e_n = \frac{\sqrt{N'^2_{n-1} + r_0 K'} - N'_{n-1}}{r_0}$$

O calculo de ε_n faz-se como na 2.ª phase.

Não é necessario na 4.ª phase forçar e_n.

B. — Calculo dos esforços.

Faz-se exactamente como na 2.ª phase.

Observação — Esta 4.ª phase só intervem no caso das barragens altas (com mais de 45 m. de altura).

5.ª phase. Condições determinantes do perfil $R'_m = R^o$ e $r_i = R_o$.

Não se introduzem novas notações.

A. — Calculo de uma junta qualquer $e'_n = e_n + \varepsilon_n$.

O calculo de e_n faz-se como na phase precedente.

Calculo de ε_n.

Parametros:

$$A = R_o\, e_n + (P_n) - \Delta\, h_n\, e_n,$$

$$B = R_o\, e_n^2 - 4\,(P_n) + 6\,(m_n)$$

Formula $\varepsilon_n = \dfrac{\sqrt{A^2 - BR_o} - A}{R_o}$

B. — Calculo dos esforços.

Faz-se como nas phases precedentes.

Eis as formulas necessarias ao calculo dos perfis de accôrdo com a orientação e condições por nós adoptadas.

Essas formulas são facilmente adaptaveis a outras condições de estabilidade e applicam-se, com leves modificações, ao calculo por fiadas successivas dos muros de arrimo, encontros e pilares de ponte, etc.

As operações arithmeticas a que ellas conduzem são todas elementares. A massa de calculos a fazer cresce, porém, consideravelmente, com o numero de fiadas. Mas não ha a menor vantagem em elevar esse numero além de um certo limite, aliás muito restricto.

III — Perfis praticos.

Visando de um lado as exigencias theorica e economica, de não introduzir nos typos calculados modificações capazes de alterar apreciavelmente a distribuição das acções moleculares e de accrescer de um modo sensivel o volume das alvenarias, de outro lado a questão esthetica e a conveniencia das fórmas simples sob o ponto de vista constructivo, organizámos um "typo pratico geral" composto de linhas rectas e arcos de circumferencia, que nos parece attender satisfactoriamente ao objectivo collimado.

De accôrdo com esse typo pratico geral (fig. 3), as modificações a introduzir nos typos theoricos para obter os typos praticos correspondentes consistem:

1.º Quanto ao paramento de montante ou interior, em reduzil-o a duas linhas rectas, uma vertical, partindo da crista e indo até uma certa profundidade z', e uma obliqua dahi até a base, caracterisada por um talude simples (1:10, 1:15, 1:20), — quando já assim não seja constituido o paramento de montante do perfil theorico;

2.º Quanto ao paramento de jusante ou interior, em substituil-o por dois arcos de circulo concordantes e duas tangentes, aproveitando parte da vertical do coroamento e a tendencia do perfil para a fórma triangular a partir de certa profundidade.

Estabeleçamos as relações que permittem calcular os diversos elementos, ρ_1, ρ_2, E_1, etc., dos perfis praticos.

1.º Paramento de montante. Os elementos a fixar são (fig. 3): z' = profundidade em que termina a porção vertical; $tg\,\gamma$ = talude da porção restante.

Estes elementos não se calculam por meio de formulas.

2.º Paramento de jusante. As notações estão sufficientemente definidas na (fig. 3).

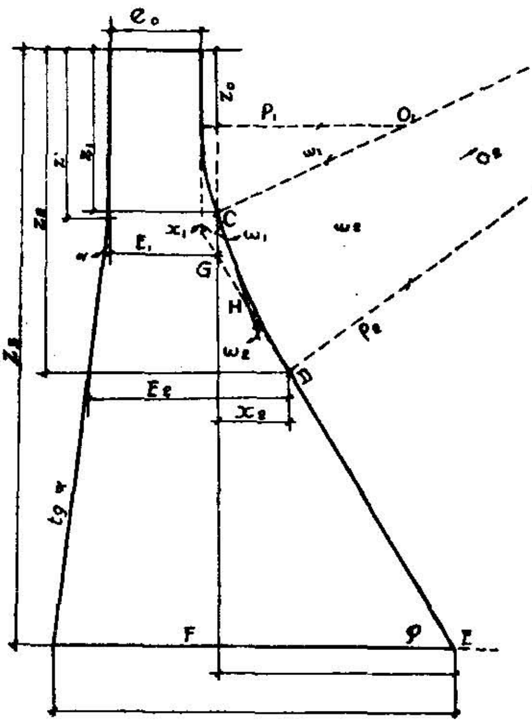


Fig. 5

Recorrendo a uma collecção de curvas francezas fixam-se, depois de algumas tentativas, os valores mais convenientes e definitivos de z_0, ρ_1 e z_1 e os valores approximados de ρ_2 e z_2.

Feito isto calcula-se E_1.

Fixando em seguida os valores de E_3 (base) e φ (ou $tg\ \varphi$), calculam-se os valores exactos de ρ_2, z_2 e E_2.

Tendo em vista o calculo da área exacta do perfil, calculam-se tambem os angulos ω_1 e ω_2 e logo de uma vez as áreas S_1 e S_2 dos segmentos circulares correspondentes.

A. — 1.ª curva de concordancia. Calculo de E_1, ω_1, S_1.

Temos (fig. 3): $E_1 = e_0 + x_1 = e_0 + (\rho - O_1 B)$

Ora, $O_1 B = \sqrt{\overline{O_1 c}^2 - \overline{Bc}^2} = \sqrt{\rho_1^2 - (z_1 - z_0)^2}$

Temos pois: $E_1 = e_0 + (\rho_1 - \sqrt{\rho_1^2 - (z_1 - z_0)^2}$

Podemos evitar este calculo recorrendo a uma tabella de coordenadas da circumferencia sobre a tangente.

Tem-se em seguida:

$$tg \frac{1}{2}\ \omega_1 = \frac{x_1}{z_1 - z_0},\quad S_1 = \rho_1^2\ (\omega_1 - \text{sen}\ \omega_1)$$

B. — 2.ª curva de concordancia. Calculo de ω_2, ρ_2, s_2, E_2, e z_2.

Tem-se: $EF = m = E_3 = E_1 - (z_3 - z')\ tg\,\gamma$, dado da questão;

$CF = z_3 - z_1$, idem;

φ ($tg\ \varphi$ ou $cotg\ \varphi$), idem.

Dos triangulos CGH e EGF tira-se:

$$\omega_2 = 180^0 - (\omega_1 + C\hat{G}H) = 180^0 - \omega_1 - (180^0 - E\hat{G}F) = -\omega_1 + (90^0 - \varphi);$$

ou $\omega_2 = 90^0 - (\omega_1 + \varphi)$;

$$\frac{CH}{CG} = \frac{\text{sen}\ C\hat{G}H}{\text{sen}\ \omega_2}$$

donde $CH = T_2 = tg$ da 2.ª curva $= CG \times \dfrac{\text{sen}\ C\hat{G}H}{\text{sen}\ \omega_2}$

Ora, $C\hat{G}H = 180^0 - E\hat{G}F = 180^0 - (90^0 - \varphi) = 90^0 + \varphi$

e $CG = CF - GF = (z_3 - z_1) - m\,tg\ \varphi$

Logo $T_2 = (z_3 - z_1 - m\,tg\ \varphi)\ \dfrac{\cos\ \varphi}{\text{sen}\ \omega_2}$.

Tem-se em seguida:

$c_2 =$ corda CD (não traçada na fig. 3) $= 2\ \rho_2\ \text{sen}\ \dfrac{1}{2}\ \omega_2$

$z_2 - z_1 = c_2\ \text{sen}\ (\varphi + \dfrac{1}{2}\ \omega_2)$,

$x_2 = c_2 \cos\ (\varphi + \dfrac{1}{2}\ \omega_2)$.

$s_2 = \dfrac{1}{2}\ \rho_2^2\ (\omega^2 - \text{sen}\ \omega_2)$.

Finalmente, a área S do perfil pratico será:

$$S = z_0\, e_0 + (z_1 - z_0)\frac{e_0 + E_1}{2} -$$

$$- s_1 + (z_2 - z_1)\frac{E_1 + [E_2 - (z_2 - z')\, tg\gamma]}{2}$$

$$+ \frac{1}{2}(z_2 - z)\, tg\gamma - S_2 + (z_3 - z_2)\frac{E_2 + E_3}{2}.$$

Cumulando successivamente estas quatro parcellas, obtem-se as áreas até as profundidades z_0, z_1, z_2, z_3, respectivamente.

Barragem de Poço Preto

Calculo do perfil transversal pelo methodo do Engenheiro Ribeiro de Castro

Dados fundamentaes

Espessura do coroamento	$=$	3,000 mts.
Altura do coroamento	$=$	1,500 mts.
Altura total maxima prevista		28,000 mts.
Peso m3 alvenaria	$\Delta =$	2.300 kls.
Peso m3 agua	$\pi =$	1.000 kls.

Condições a satisfazer

1.ª) Ausencia completa de esforço de extensão.
2.ª) Trabalho de compressão limitado ao maximo de 12 kilos por centimetro quadrado, effectuada a correcção de Levy.
3.ª) Trabalho de compressão a montante, nunca inferior á pressão hydrostatica, estando o açude cheio até o nivel previsto da maxima enchente.

Casos a considerar

a) Açude vasio.
b) Açude cheio até o nivel da maxima enchente.
c) Açude cheio, excepcionalmente, até a crista da barragem.

Calculo das espessuras

1.ª Fiada. $e_1 = e_0 = 3{,}000$ mts.

A. Calculo de $H'_1 = e_0 \sqrt{\dfrac{\Delta}{\pi}} = 3{,}000 \times 1{,}5165 = 4{,}550$ m

B. Calculo dos esforços.

a) $P_1 = \Delta H'e = 2300 \times 4{,}550 \times 3{,}000 = 31395$ ks.

$$m_1 = P_1 D = 31395 \times \frac{3{,}000}{2} = 47092{,}5 \text{ K. m.}$$

$$r_e = r_i = \frac{P_1}{e_1} = 2300 \times 4{,}550 = 10465{,}0 = 1{,}04 \frac{K}{c^2}$$

b) $H_1' - h_0 = \quad = 4{,}550 - 1{,}500 = 3{,}050$ mts.

$$tg\alpha = \frac{500 \times 3{,}05}{31395} = 0{,}1481$$

$$v = \frac{H_1}{3} tg\alpha = \frac{3{,}05}{3} \times 0{,}1481 = 0{,}15056 \text{ mts.}$$

$$\delta = D + v = 1/2\ e_1 + v = 1{,}500 + 0{,}15056 = 1{,}651 \text{ m}$$

$$R_i = \frac{2 \times P_1}{e_1}\left(2 - \frac{3\delta}{e_1}\right) = \frac{2 \times 31395}{3{,}000}\left(2 - \frac{3 \times 1{,}651}{3{,}000}\right) =$$

$$= 20930\ (2 - 1{,}651) = 20930 \times 0{,}349 = 0{,}730\ \frac{K}{c_2}$$

$$R_e = R_m = 20930\ (1{,}651 - 1) = 20930 \times 0{,}651 = 1{,}36\ \frac{K}{c^2}$$

c) $$tg\alpha' = \frac{500 \times 4{,}55}{31395} = 0{,}3297$$

$$v' = \frac{4{,}55}{3} \times 0{,}3297 = 0{,}500 \text{ m}$$

$$\delta' = D + v' = 1{,}500 + 0{,}500 = 2{,}000 = 2/3\ e_1 \text{ (verificação)}$$

$$R_i = o\ R'_e = R'_m = \frac{2 \times 31395}{3{,}000} = 2{,}093\ \frac{K}{c^2}$$

2.ª Fiada. $h_2 = 2{,}450$ $H_2 = 5{,}500$ $H'_2 = 7{,}000$

Condição determinante: $R_i' = 0$

$k = 2300 \times 2{,}450$	$P_1 = 31395$	$m_1 = 47093$
$= 5635$		
$e_1 = 3{,}000$	$4\ P_1 = 12558$	$6m_1 = 282558$
$4\ k = 22540$	$ke_1 = 16905$	$\pi(H'_2)^3 = 343000$
	$K = 142485$	$ke_1^2 = 50715$
		$= 676273$

$4kK'$ =	15	243	193	420
K^2 =	20	301	975	225
S^2 =	35	545	168	645

$S = 188534$
$K = 142485$
$46049 \mid 2$
$23024{,}5$

$$\varepsilon = \frac{23024{,}5}{5635} = 4{,}086 \text{ mts.}$$

B. — *Calculo dos esforços*

$$P_1 = \qquad 31395$$

$$p_2 = 2300 \times \frac{(4{,}086 + 3{,}000)}{2} \times 2{,}450 = \quad 19965$$

$$51360 \text{ Kilos}$$

$$d^2 = 1/3\ \frac{(7{,}086 - 4{,}086 \times 3{,}000)}{7{,}086} = 1{,}785 \text{ m}$$

$(m_1) = \qquad 47392$

$(p_2\ d_2) = 19965 \times 1{,}785 = \qquad 35637$

$M_2 = \qquad 82729$

$$D = \frac{82729}{51360} = 1{,}611 \text{ mts.}$$

C. — *Esforços interiores.*

a) $r_e = \frac{2 \times 51360}{4,086} \frac{3 \times 1,611}{4,086} - 1 = 25139\ (1,184 - 1) =$

$= 25139 \times 0,184 = 0,46 \frac{K}{c^2}$

$r_i = 25139\ (2 - 1,184) = 2,051 \frac{K}{c^2}$

b) $tg\alpha = \frac{500 \times 5,5^2}{51360} = 0,2945$

$v = \frac{1}{3}\ 5,5 \times 0,2945 = 0,540$ mts.

$\delta = 0,540 \cdot 1,611 = 2,151$ mts.

$R_i = 25139 \left(2 - \frac{3 \times 2,151}{4,086}\right) = 25139\ (2 - 1,582) =$

$= 25139 \times 0,418 = 1,051 \frac{K}{c^2}$

$R_e = 25139 \times (1,582 - 1) = 25139 \times 0,582 = 1,463 \frac{K}{c^2}$

$\pi H_2 = 0,55 \frac{K}{c^2}$ $\qquad R_m = 1,46 \times 1,31 = 1,91 \frac{K}{c^2}$

$tg\beta = \frac{4,086 - 3,000}{2,450} = 0,362 \qquad 1 + tg^2\beta = 1,131$

c) $tg\alpha' = \frac{500 \times 7^2}{51360} = 0,4770$

$v = 1/3\ 7 \times 0,4770 = 1,113$ mts.

$\delta' = 1,611 + 1,113 = 2,724 = 2/3\ e_2$

$R'_i = 0 \qquad R'_e = 2,5139 \qquad R'_m = 2,5 \times 1,13$

3.ª Fiada.

$h_3 = 3,000 \qquad H_3 = 8,500 \qquad H'_3 = 10,000$

Condição determinante: $R'_i = 0$

A. — Calculo de e_3

$k = 2300 \times 3 =$	6900	P_2	=	51360	m_2	=	827290
$4\ k =$	27600	$4\ P_2$	=	205440	$6m_2$	=	496374
$e_2 =$	4,086	ke_2	=	28193	$\pi(H'_3)^3$	=	1000000
		K	=	233633	ke^2_2	=	115198
					K'	=	1611572

$4kK' = 44\ 479\ 387\ 200$

$K^2 = 54\ 584\ 378\ 689$

$S^2 = 99\ 063\ 765\ 889$

$S = 314743$

$K = 233633$

$S - K = 81110 \mid 2$

40555

$e_3 = \frac{40555}{6900} = 5,877$ m

B. — Forças exteriores

$$P_2 = 51360$$

$$p_3 = 2300 \left(\frac{5,877 + 4,086}{2}\right) \times 3,000 = 34372$$

$$P_3 = 85732$$

$$d_3 = 1/3 \left(9,963 - \frac{5,877 \times 4,086}{9,963}\right) = 2,518 \text{ m}$$

$$m_2 = 82729$$

$$(p)\ (d) = 34372 \times 2,518 = 86549$$

$$M_3 = 169278$$

$$D = \frac{169278}{85732} = 1,975 > \frac{e_3}{3}$$

C. — Calculo dos esforços

a) $$r_e = \frac{2 \times 85732}{5,877}\left(\frac{3 \times 1,975}{8,577}\right) - 1 = 29175\ (1,018 - 1) =$$

$$= 29175 \times 0,018 = 0,052 \frac{K}{c^2}$$

$$r_i = 29175\ (2 - 1,018) = 29175 \times 0,982 = 2,864 \frac{K}{c^2}$$

b) $$tg\alpha = \frac{500 \times 8,5^2}{85732} = 0,4214$$

$$v = 1/3 \times 8,5 \times 0,4214 = 1,193 \text{ m}$$

$$\delta = 1,975 \times 1,193 = 3,168$$

$$R_i = 29175 \left(2 - \frac{3 \times 3,168}{5,877}\right) = 29175\ (2 - 1,617) = 29175 \times 0,383$$

$$= 1,17 \frac{K}{c^2}$$

$$R_e = 29175\ (1,617 - 1) = 29175 \times 0,617 = 1,800 \frac{K}{c^2}$$

$$\pi H' = 0,85$$

$$tg\beta = \frac{5,877 - 4,086}{3} = 0,597 \quad 1 + tg^2\beta = 1,356$$

$$R_m = 1,800 \times 1,356 = 2.44 \frac{K}{c^2}$$

c) $$tg\alpha' = \frac{500 \times 10}{85732} = 0,5832$$

$$v = 10/3 \times 0,5832 = 1,944 \text{ m}$$

$$\delta' = 1,974 + 1,944 = 3,918 \text{ m} = 2/3\ e_3$$

$$R'_i = 0 \qquad R'_e = 2,917 \frac{K}{c^2} \qquad R'_m = 2,917 \times 1,356 = 3,955 \frac{K}{c^2}$$

4.ª Fiada.

$h_4 = 2,000$ $\qquad H_4 = 10,5$ $\qquad H'_4 = 12$

$$
\begin{array}{ll|llll}
k & = 4600 & P_3 & = 85732 & m^3 & = 169278 \\
4\,k & = 18400 & & & & \\
e_3 & = 50877 & 4\,P_3 & = 342928 & 6\,m^3 & = 1015668 \\
 & & ke_3 & = \underline{27034} & \pi(H_4)^3 & = 1728000 \\
 & & K & = 369962 & ke_3 & = \underline{158880} \\
 & & & & K' & = 2902548
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{ll}
4kK' & = 53\ 406\ 883\ 200 \\
K'^2 & = \underline{136\ 871\ 881\ 444} \\
S^2 & = 190\ 278\ 764\ 644
\end{array}
\qquad
\begin{array}{ll}
S & = 436209 \\
K & = \underline{369962} \\
S - K & = 66247 \ \big|\ 2 \\
 & \ 33123{,}5
\end{array}
$$

$$e_4 = \frac{33123{,}5}{4600} = 7{,}201\ \text{m}$$

$$
\begin{array}{rl}
P_3 = & 85732 \\
(p) = 2300\ (7{,}201 + 5{,}877) = & \underline{30079} \\
P_4 = & 115811
\end{array}
$$

$$d = 1/3\ \left(13{,}078 - \frac{7{,}201 \times 5{,}877)}{13{,}078}\right) = 3{,}2806\ \text{m}$$

$$
\begin{array}{rl}
m_3 = & \underline{169278} \\
(p)\ (d) = & \underline{98677} \\
(m_4) = & 267955
\end{array}
$$

$$D = \frac{267955}{115811} = 2{,}3137 < 1/3\ e_4$$

$$
\begin{array}{ll|ll|ll}
k & = 4600 & (P4) & = 115811 & (m_4) & = 267955 \\
8k & = 36800 & 4\,(P4) & = 463244 & 3\,(m_4) & = 803863 \\
 & = 7{,}201 & ke_4 & = \underline{33125} & (P4)e_4 & = \underline{833955} \\
 & & a & = 430119 & b & = 30092
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{ll}
8\ b\ k & = 1\ 107\ 385\ 600 \\
a^2 & = \underline{185\ 002\ 354\ 161} \\
S^2 & = 186\ 109\ 739\ 761
\end{array}
\qquad
\begin{array}{ll}
S & = 431404 \\
a & = \underline{430119} \\
S\text{-}a & \ 1285 \ \big|\ 2 \\
 & \ 642{,}5
\end{array}
$$

$$\varepsilon_4 = \frac{642{,}5}{4600} = 0{,}140\ \text{m}$$

$$e'_4 = 7{,}201 + 0{,}140 = 7{,}341\ \text{m}$$

B. — Forças exteriores.

$$
\begin{array}{rr}
(P4) = & 115811 \\
p'_{IV} = 1/2 \cdot 2300 \times 0{,}140 \times 2{,}000 = & \underline{322} \\
P_4 = & 116133 \\
(m_4) = & 267955 \\
= & 16213 \\
2/3 \times 322 \times 0{,}140 = & \underline{30} \\
m_4 = & 284198
\end{array}
$$

$$D = \frac{284198}{116133} = 2{,}4471 = 1/3\ e'_4$$

$$p' = 1\ 2 \quad 1000 \times 0{,}140 \times 2{,}000 = \quad 140$$
$$p'' = \quad 1000 \times 0{,}140 \times 8{,}5 \quad = \quad 1190$$
$$P_4 = \quad 116133$$
$$N_4 = \quad 117463$$
$$p''' = \quad 1000 \times 0{,}140 \times 1{,}5 \quad = \quad \underline{210}$$
$$N'_4 = \quad 117673$$

$$1/3 \times \ 140 \times 0{,}140 = \qquad 6$$
$$1/2 \times 1190 \times 0{,}140 = \qquad 83$$
$$m_4 = \qquad 284198$$
$$M_4 = \qquad 284287$$
$$1/2\ p''' \times \varepsilon_4 = 1/2 \times 210 \times 0{,}140 = \quad \underline{15}$$
$$m'_4 = \quad 284302$$

$$D' = \frac{284287}{117463} = 2{,}420$$

$$D'' = \frac{284302}{117673} = 2{,}416$$

$$tg\alpha = \frac{500 \times 10{,}5^2}{117463} = 0{,}4693$$

$$v = 1/3\ 10{,}5 \times 0{,}4693 = 1{,}642 \text{ m}$$

$$\delta = 2{,}420 \quad 1{,}642 = 4{,}062 \text{ m}$$

$$tg\alpha' = \frac{500 \times 13}{117463} = 0{,}6119$$

$$v = 12/3 \times 0{,}6119 = 2{,}4476 \text{ m}$$

$$\delta' = 2{,}416 + 2{,}448 = 4{,}864$$

$$tg\beta = \frac{7{,}201 - 5{,}877}{2} = 0{,}662 \qquad 1 + tg^2\beta = 1{,}438$$

C. — *Esforços interiores.*

a) $$r_e = o \qquad r_i = \frac{2 \times 116133}{7{,}341} = 3{,}164\ \frac{k}{c^2}$$

b) $$R_i = \frac{2 \times 117463}{7{,}341}\left(2 - \frac{3 \times 4{,}062}{7{,}341}\right) = 32001\ (2 - 1{,}660) =$$

$$= 3200 \times 0{,}034 = 1{,}08\ \frac{k}{c^2}$$

$$\pi H = 1{,}05$$

$$R_e = 32001\ (1{,}660 - 1) = 32001 \times 0{,}660 = 2{,}112\ \frac{k}{c^2}$$

$$R_m = 2{,}112 \times 1{,}438 = 3{,}037\ \frac{k}{c^2}$$

c) $$R_i = \frac{2 \times 117673}{7{,}341}\left(2 - \frac{3 \times 4{,}864}{7{,}341}\right) = 32059\ (2 - 1{,}988) =$$

$$= 32059 \times 0{,}018 = 0{,}057\ \frac{k}{c^2}$$

$$R'_e = 32059 \times 0{,}988 = 3{,}167\ \frac{k}{c^2}$$

$$R'_m = 3{,}167 \times 1{,}438 = 0{,}455\ \frac{k}{c^2}$$

5.ª Fiada

$h_5 = 3{,}000$ $\qquad H_5 = 13{,}5$ $\qquad H'_5 = 15$

$$\text{Condições determinantes:} \begin{cases} r_e = o \\ r_i \geq \pi H = 1{,}35 \dfrac{k}{c} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \pi H_5 &= 13500 \\ K &= 6900 \\ K'' &= -6600 \\ 4'' K &= 26400 \\ e'_4 &= 7{,}341 \end{aligned} \qquad \begin{aligned} N_4 &= 117463 \\ 4\, v_4 &= 469852 \\ K' e'_4 &= 50653 \\ K &= 520505 \end{aligned} \qquad \begin{aligned} M_4 &= 284287 \\ 6\, M_4 &= 1705722 \\ \pi (H_5)^3 &= 2460375 \\ k\,(e'_4) &= 371843 \\ K' &= 4537940 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K^2 &= 270\ 925\ 455\ 025 \\ 4\, K' K'' &= 119\ 801\ 616\ 000 \\ S^2 &= 151\ 123\ 839\ 025 \end{aligned} \qquad \begin{aligned} K &= 520505 \\ S &= 388746 \\ K - S &= 131753 \mid 2 \\ & \quad 65879{,}5 \end{aligned}$$

$$e_5 = \frac{65879{,}5}{6600} = 9{,}984 \text{ mts}$$

Attendendo que a junta completa calculada pelo valor achado de e_5 daria um R_i um pouco menor do que $\pi H_6 = 1{,}35$ é necessario accrescentar alguns centimetros a esse valor antes de proseguir no calculo de e_5

$$\begin{aligned} e_5 &= 10{,}010 \\ P_4 &= && 116133 \\ (p) &= \frac{2300}{2}\,(7{,}341 + 10{,}010) \times 3{,}000 = && 59861 \\ & \qquad\qquad (P_5) = && 175994 \end{aligned}$$

$$\alpha = 1/3 \left(17{,}351 - \frac{10{,}01 \times 7{,}341}{17{,}351}\right) = 4{,}72$$

$$\begin{aligned} m_4 &= 284198 \\ (p)\,(d) &= 261712 \\ (m_5) &= 545910 \end{aligned}$$

$$D = \frac{545910}{175994} < 1/3\ e_5$$

$$\begin{aligned} k &= 6900 \\ 8\,k &= 55200 \\ e_5 &= 10{,}010 \end{aligned} \qquad \begin{aligned} (P_5) &= 175994 \\ 4(P_5) &= 703976 \\ k\, e_5 &= 69069 \\ a &= 634907 \end{aligned} \qquad \begin{aligned} (m_5) &= 545910 \\ 3\,(m_5) &= 1637730 \\ (P_5\, e_5) &= 1761700 \\ b &= 123970 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 8\, b\, k &= 6\ 843\ 144\ 000 \\ a^2 &= 403\ 106\ 898\ 649 \\ S^2 &= 409\ 950\ 042\ 649 \end{aligned} \qquad \begin{aligned} S &= 640273 \\ a &= 634907 \\ S - a &= 5366 \mid 2 \\ & \quad 2683 \end{aligned}$$

$$\varepsilon_5 = \frac{2683}{6900} = 0{,}389 \text{ ms}$$

$$e'_5 = 10{,}010 + 0{,}389 = 10{,}399 \text{ m.}$$

B. — *Forças exteriores.*

a)

$$
\begin{aligned}
(P_5) &= && 175994\\
p_v &= 1/2 \times 2300 \times 0{,}389 \times 3{,}000 = && \underline{\quad 1342}\\
 & & P_5 = & \ 177336
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
(m_5) &= & 545910\\
(P_5)\ \varepsilon_5 &= & 68462\\
2/3 \times 1342 \times 0{,}389 &= & \underline{\quad 258}\\
m_5 &= & 614630
\end{aligned}
$$

$$D = \frac{614630}{177336} = 3{,}466 = 1/3\ e'_5$$

b) c)

$$
\begin{aligned}
p' &= 1/2 \times 1000 \times 0{,}369 \times 3{,}000 = 553\\
p'' &= 1000 \times 0{,}369 \times 10{,}5 = 3874\\
N_4 &= 117463\\
(p) &= 57861\\
p_v &= \underline{\quad 1342}\\
N_5 &= 183093\\
p''' &= 1000 \times 0{,}509 \times 1{,}5 = \underline{\quad 763}\\
N'_5 &= 183856
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
1/3\ p'\ \varepsilon_5 &= 1/3 \times 553 \times 0{,}369 = 68\\
1/2\ p''\ \varepsilon_5 &= 1/2 \times 3824 \times 0{,}369 = 715\\
N_4 (D' + \varepsilon_5) &= 117463\,(2{,}420 + 0{,}369) = 327604\\
p\ (d + \varepsilon) &= 59861\ (4{,}372 + 0{,}399) = 283801\\
2/3\ p_v\ \varepsilon_5 &= \underline{\quad 258}\\
M_5 &= 612446\\
1/2 \times p''' \times 0{,}509 &= 1/2 \times 763 \times 0{,}509 = \underline{\quad 194}\\
M'_5 &= 612640
\end{aligned}
$$

$$D' = \frac{612446}{183093} = 3{,}345$$

$$D'' = \frac{612640}{183856} = 3{,}332$$

$$tg\alpha = \frac{500 \times 13{,}5^2}{183093} = 0{,}4975$$

$$v = 1/3 \times 13{,}5 \times 0{,}4975 = 2{,}239 \text{ m}$$

$$\delta = 3{,}345 + 2{,}239 = 5{,}584 \text{ m.}$$

$$tg\alpha' = \frac{500 \times 15}{183856} = 0{,}6119$$

$$v = 1/3\ 15 \times 0{,}6119 = 3{,}0595 \text{ m.}$$

$$\delta' = 3{,}332 \times 3{,}0595 = 6{,}391 \text{ m.}$$

$$tg\beta = \frac{10{,}01 - 7{,}341}{3} = 0{,}8897$$

$$1 + tg^2\beta = 1{,}880$$

Esforços interiores.

a) $r_e = o$ $\qquad r_i = \dfrac{2 \times 177336}{10{,}399} = 3{,}430\ \dfrac{K}{c^2}$

b) $$R_i = \frac{2 \times 183093}{10,399}\left(2 - \frac{3 \times 5,584}{10,399}\right) = 35213\ (2 - 1,611)$$

$$= 35213 \times 0,389 = 1,36\ \frac{K}{c^2}$$

$$\pi H_5 = 1,35\ \frac{h}{c^2}$$

$$R_e = 3521\ (1,611 - 1) = 3521 \times 0,611 = 2,151\ \frac{K}{c^2}$$

$$R_m = 2,151 \times 1,880 = 4,004\ \frac{K}{c^2}$$

c) $$R'_i = \frac{2 \times 183856}{10,399}\left(2 - \frac{3 \times 6,391}{10,399}\right) = 35565\ (2 - 1,854)$$

$$= 35565 \times 0,146 = 0,519\ \frac{K}{c^2}$$

$$R'_e = 35565\ (1,854 - 1) = 35565 \times 0,854 = 3,037\ \frac{K}{c^2}$$

$$R'_m = 3,037 \times 1\,880 = 5,709\ \frac{K}{c^2}$$

6.ª Fiada.

$h_6 = 3,000$ $\qquad H_6 = 16,5$ $\qquad H'_6 = 18$

Condições determinantes $\begin{cases} r_e = o \\ R_i \geq 1,65 \end{cases}$

A. — Calculo de e_6 e e'_6

πH_6	=	16500	N_5	=	183093	M_5	=	612446
k	=	6900						
K''	=	−9600	$4 N_5$	=	732372	$6 M_5$	=	3674676
e_5	=	10,339	ke'_5	=	71339	$\pi (H_6)^3$	=	4492125
$4 K''$	=	−38400	K	=	803711	$k (e_5)^2$	=	737955
						$-K'$	=	8904756

K^2	=	645 951 371 521
$4K'K''$	=	341 942 630 400
S^2	=	304 008 741 121

$K = 803711$
$S = 551369$
$K - S = 252342$ | 2
126171

$$e_6 = \frac{126171}{9600} = 13,142$$

Tomemos $\qquad e_6 = 13,170$

$P_5 = 177336$

$$(b) = 2300\ (13,170 + 10,339) \times \frac{3,000}{2} = 81106$$

$P_6 = 258442$ ks.

$$d = 1/3\left(23,509 - \frac{13,170 \times 10,339}{23,509}\right) = 5,905 \text{ m}$$

$m_5 = 614630$
$(p)(d) = 478931$
$(m_6) = 1093561$

$$D = \frac{1093561}{258442} = 4{,}231 < 1/3\ e_6$$

$$\begin{array}{lll|lll|lll}
k & = & 6900 & (P_6) & = & 258442 & (M_6) & = & 1093561 \\
8k & = & 55200 & & & & & & \\
e_6 & = & 13{,}170 & 4(P_6) & = & 1033768 & 3(M_6) & = & 3280683 \\
 & & & k\,e_6 & = & \underline{90873} & (P_6)\,e_6 & = & \underline{3403681} \\
 & & & a & = & 942895 & b & = & 122998
\end{array}$$

$$\begin{array}{lll}
8\,b\,k & = & 6\ 789\ 489\ 600 \\
a^2 & = & \underline{889\ 050\ 981\ 025} \\
S^2 & = & 895\ 840\ 470\ 625
\end{array}
\qquad
\begin{array}{l}
S = 946488 \\
a = \underline{942895} \\
S - a = 03593 \ \ |\ 2 \\
\qquad\qquad 1796{,}5
\end{array}$$

$$e_6 = \frac{1796{,}5}{6900} = 0{,}260\ \text{m}$$

B. — *Forças exteriores.*

a)

$$\begin{array}{lrl}
 & (P_6) = & 258442 \\
p_{VI} = 1/2 \times 2300 \times 0{,}260 \times 3{,}000 = & & \underline{897} \\
 & P_6 = & 259339 \\
 & (m_6) = & 1093561 \\
 & (P_6)\ \varepsilon_6 = & \underline{67195} \\
2/3 \times 897 \times 0{,}260 = & & \underline{155} \\
 & M_6 = & 1160911
\end{array}$$

$$D = \frac{1160911}{259339} = 4{,}4764 = 1/3\ e'_6$$

b) c)

$$\begin{array}{lrl}
p' = 1/2\ \ 1000 \times 0{,}260 \times 3{,}000 = & & 390 \\
p'' = 1000 \times 0{,}260 \times 13{,}5 = & & 3510 \\
 & N_5 = & 183093 \\
 & p_{VI} = & 81106 \\
 & & \underline{897} \\
 & N_6 = & 268996 \\
p''' = 1000 \times 1{,}5 \times 0{,}789 & & \underline{1183} \\
 & N'_6 = & 270179 \\
1/3\,p'\varepsilon_6 = 1/3 \times 390 \times 0{,}260 = & & 34 \\
1/2\,p''\varepsilon_6 = 1/2 \times 3510 \times 0{,}260 = & & 456 \\
p(d+\varepsilon) = 81106\ (5{,}905 + 0{,}260) = & & 500018 \\
N_5(D'+\varepsilon) = 183093\ (3{,}345 + 0{,}260) = & & 660050 \\
2/3 \times p_{VI} \times 0{,}260 = & & \underline{155} \\
1/2 \times p''' \times 0{,}789 = 1/2 \times 1183 \times 0{,}789 = & & \underline{466} \\
 & M'_6 = & 1161179
\end{array}$$

$$D' = \frac{1160713}{268996} = 4{,}315 \qquad D'' = \frac{1161179}{270179} = 4{,}298\ \text{m}$$

$$tg\,\alpha = \frac{500 \times 16{,}5^2}{268996} = 0{,}5060 \qquad V = 1/3\ 16{,}5 \times 0{,}5060 = 2{,}783$$

$$\delta = 4{,}315 + 2{,}783 = 7{,}098\ \text{m}$$

$$tg\alpha' = \frac{500 \times 18^2}{270179} = 0{,}5996 \qquad V' = 1/3\ 18 \times 0{,}5996 = 3{,}5976 \text{ m}$$

$$\delta' = 4{,}298 + 3{,}597 = 7{,}895$$

$$tg\beta = \frac{13{,}170 - 10{,}339}{3} = 0{,}9437 \qquad 1 + tg^2\beta = 1{,}890$$

C. — *Calculo dos esforços.*

a) $r_e = o \qquad r_i = \dfrac{2 \times 259339}{13{,}430} = 3{,}862 \dfrac{K}{c^2}$

b) $R_i = \dfrac{2 \times 268996}{13{,}430}\left(2 - \dfrac{3 \times 7{,}098}{13{,}430}\right) = 40058{,}9\ (2 - 1{,}586)$

$$= 40058 \times 0{,}414 - 1{,}658 \frac{K}{c_2}$$

$$\pi H_6 = 1{,}650$$

$$R_e = 40058\ (1{,}586 - 1) = 40058 \times 0{,}586 = 2{,}347 \frac{K}{c^2}$$

$$R_m = 2{,}347 \times 1{,}890 = 4{,}435$$

c) $R'_i = 2 \times 270179 \left(2 - \dfrac{3 \times 7{,}895}{13{,}430}\right) = 40235\ (2 - 1{,}764) =$

$$= 40235 \times 0{,}236 = 0{,}9495 \frac{K}{c^2}$$

$$R'_e = 40235\ (1{,}764 - 1) = 40235 \times 0{,}764 = 3{,}073 \frac{K}{c^2}$$

$$R'_m = 3{,}073 \times 1{,}890 = 5{,}808 \frac{K}{c^2}$$

7.ª Fiada.

$$h_7 = 3{,}000 \qquad H_7 = 19{,}5 \qquad H'_7 = 21{,}00$$

Condições determinantes:

A. — *Calculo dos esforços.*

$\pi H_7 = 19{,}500$	$N_6 = 268996$	$M_6 = 1160713$
$k = 6900$		
$K'' = 12600$	$4 N_6 = 1075984$	$6 M_6 = 6964278$
$4 K'' = 50400$	$ke'_6 = 92667$	$\pi (19{,}5)^3 = 7414875$
$e'_6 = 13{,}430$	$K = 1168651$	$k(e_6)^2 = 1244518$
		$K' = 15623671$

$$K^2 = 1365\ 745\ 159\ 801 \qquad K = 1168651$$

$$4\ K'\ K'' = 787\ 433\ 018\ 400 \qquad S = 760468$$

$$S^2 = 578\ 312\ 141\ 401 \qquad K - S = 408183 \mid 2$$

$$204091{,}5$$

$$e_7 = \frac{204091{,}5}{12600} = 16{,}198 \text{ m}$$

Tomamos $e_7 = 16,223$

$$P_6 = 259339$$

$$(p) = \frac{2300}{2}(16,223+13,430) \times 3,000 = 102303$$

$$(P_7) = 361642$$

$$d = \frac{1}{3}\left(29,653 - \frac{16,223 \times 13,430}{29,653}\right) = 7,435 \text{ m}$$

$$m_6 = 1160911$$
$$(p)\ (d) = 760623$$
$$(m_7) = 1921534$$

$$D = \frac{1921534}{361642} = 5,33 < 1/3\ 16,223$$

$k = 6900$	$(P_7) = 361642$	$(m_7) = 1921534$
$8\,k = 55200$		
$e_7 = 16223$	$4\,(P_7) = 1446568$	$3\,(m_7) = 5764802$
	$k\,e_7 = 111939$	$(P_7)\,\varepsilon_7 = 5866018$
	$a = 1334629$	$b = 102316$

$$8\,b\,k = 5\ 647\ 843\ 200 \qquad S = 1336743$$
$$A^2 = 1781\ 234\ 567\ 641 \qquad A = 1334629$$
$$S^2 = 1786\ 882\ 410\ 841 \qquad S - A = 002114 \ |\ 2 \quad 1057$$

$$e_7 = \frac{1057}{6900} = 0,153$$

$$e'_7 = 16,223 + 0,153 = 16,376 \text{ m}$$

B. — *Forças exteriores.*

a)

$$(P_7) = 361642$$

$$P_{VII} = 1/2 \times 2300 \times 0,153 \times 3,000 = 528$$
$$P_7 = 362170$$
$$(m_7) = 1921534$$
$$(P_7)\,\varepsilon_7 = 55331$$
$$2/3 \times 528 \times 0,153 = 54$$
$$m_7 = 1976919$$

$$D = \frac{1976919}{352170} = 5,4585 = 1/3\ e'_7$$

b) c) $p' = 1/2 \times 0,153 \times 3,000 = 229$

$p'' = 1000 \times 0,153 \times 16,5 = 2524$

$$N_6 = 268996$$
$$p = 102303$$
$$p_7 = 528$$
$$N_7 = 374580$$
$$= 1000 \times 0,492 \times 1,50 = 1413$$
$$N'_7 = 375993$$

$$1/3\ p'\ \varepsilon_7 = 1/3 \times 229 \times 0{,}153 = 12$$
$$1/2\ p''\ \varepsilon_7 = 1/2 \times 2524 \times 0{,}153 = 193$$
$$p\ (d + \varepsilon) = 102303\ (7{,}435 + 0{,}153) = 776265$$
$$N_6\ (D' + \varepsilon) = 268996\ (4{,}315 + 0{,}153) = 1201874$$
$$2/3\ p_{VII}\ \varepsilon_7 = 54$$
$$M_7 = 1978398$$
$$1/2\ p''' \times 0{,}942 = 1/2 \times 1413 \times 0{,}942 = 666$$
$$M'_7 = 1979064$$

$$D' = \frac{1978398}{374580} = 5{,}282 \text{ m}$$

$$D'' = \frac{1979064}{375993} = 5{,}2635 \text{ m}$$

$$tg\ \alpha = \frac{500 \times 19{,}5^2}{374580} = 0{,}5076$$

$$V = 1/3\ 19{,}5 \times 0{,}5076 = 3{,}299 \text{ m}$$

$$\delta = 3{,}299 + 5{,}282 = 8{,}581 \text{ m}$$

$$tg\ \alpha' = \frac{500 \times 21^2}{375993} = 0{,}5864$$

$$V = 1/3 \times 21 \times 0{,}5864 = 4{,}1048 \text{ m}$$

$$\sigma' = 4{,}105 + 5{,}264 = 9{,}369$$

$$tg\ \beta = \frac{16{,}223 - 13{,}430}{3} = 0{,}931 \qquad 1 + tg^2\beta = 1{,}866$$

C. — *Esforços interiores.*

$$a)\ r_e = o \qquad r_i = \frac{2 \times 362170}{16{,}376} = 4{,}423\ \frac{K}{c^2}$$

$$b)\ R'_i = \frac{2 \times 374580}{16{,}376}\left(2 - \frac{3 \times 8{,}581}{16{,}376}\right) = 45747\ (2 - 1{,}572)$$

$$= 45747 \times 0.428 = 1{,}957\ \frac{K}{c^2}$$

$$\pi\ H_7 = 1{,}950\ \frac{K}{c^2}$$

$$R_e = 45747\ (1{,}572 - 1) = 45747 \times 0{,}572 = 2{,}6167\ \frac{K}{c^2}$$

$$R_m = 2{,}6167 \times 1{,}866 = 4{,}883\ \frac{K}{c^2}$$

c)

$$R'_i = 2 \times 375993\ (2 - 3 \times 9{,}369) = 45920\ (2 - 1{,}716)$$

$$= 45920 \times 0{,}284 = 1{,}304\ \frac{K}{c^2}$$

$$R'_e = 45920\ (1{,}716 - 1) = 45920 \times 0{,}716 = 3{,}288\ \frac{K}{c^2}$$

$$R'_m = 3{,}288 \times 1{,}866 = 6{,}135\ \frac{K}{c^2}$$

8.ª Fiada.

$h_8 = 3{,}000 \qquad H_8 = 22{,}5 \qquad H'_8 = 24$

Condições determinantes: $\left| \begin{array}{l} r_e = o \\ R' \geq \pi H \end{array} \right.$

A. — *Calculo de* e_8 e e'_8

$$\begin{array}{rcr} \pi H_8 & = & 22500 \\ k & = & 6900 \\ \hline K'' & = & -15600 \\ 4K'' & = & -62400 \\ e'_7 & = & 16{,}376 \end{array} \qquad \begin{array}{rcr} N_7 & = & 1498320 \\ 4N_7 & = & 112994 \\ ke'_7 & = & 112994 \\ \hline K & = & 1611314 \end{array} \qquad \begin{array}{rcr} M_7 & = & 1978398 \\ 6 M_7 & = & 11870388 \\ \pi (22{,}5)^3 & = & 11390625 \\ K(e'_7)^2 & = & 1850396 \\ \hline K' & = & 25111409 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} K^2 & = & 2\ 596\ 332\ 806\ 596 \\ 4\,K'\,K'' & = & 1\ 566\ 951\ 921\ 600 \\ \hline S^2 & = & 1\ 029\ 380\ 884\ 996 \end{array} \qquad \begin{array}{rcr} K & = & 1611314 \\ S & = & 1014584 \\ \hline K - S & = & 596730 \,|\, 2 \\ & & 298365 \end{array}$$

$$e_8 = \frac{298365}{15600} = 19{,}126 \text{ m.}$$

Faço porém igual a 19,150

$$\begin{array}{rcr} P_7 & = & 362170 \\ (p) = 1/2\ 2300\ (19{,}150+16{,}376) \times 3{,}000 & = & 122558 \\ \hline (P) & = & 484728 \end{array}$$

$$d = 1/3\left(35{,}524 - \frac{19{,}150 \times 16{,}376}{35{,}524}\right) = 8{,}899$$

$$\begin{array}{rcr} m_7 & = & 1976919 \\ (p)\ (d) & = & 1090644 \\ \hline (m_8) & = & 3067563 \end{array}$$

$$D = \frac{3067563}{484728} = 6{,}33 < 1/3\ e'_8$$

$$\begin{array}{rcr} k & = & 6900 \\ 8k & = & 55200 \\ e_8 & = & 19{,}150 \end{array} \qquad \begin{array}{rcr} (P_8) & = & 484728 \\ 4(P_8) & = & 1938912 \\ k\,e_8 & = & 132135 \\ \hline a & = & 1806777 \end{array} \qquad \begin{array}{rcr} (m_8) & = & 3067563 \\ 3\,(m_8) & = & 9202689 \\ (P_8\,\varepsilon_8) & = & 9282541 \\ \hline b & = & 79852 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} 8\,b\,k & = & 4\ 407\ 830\ 400 \\ a^2 & = & 3264\ 443\ 127\ 729 \\ \hline S^2 & = & 3268\ 850\ 958\ 129 \end{array} \qquad \begin{array}{rcr} S & = & 1807995 \\ a & = & 1806777 \\ \hline S - A & = & 1218 \,|\, 2 \\ & & 609 \end{array}$$

$$\varepsilon_8 = \frac{609}{6900} = 0{,}088 \text{ m.}$$

$$e'_8 = 19{,}150 + 0{,}088 = 19{,}238 \text{ m.}$$

B. — *Forças exteriores*

a)

$$(P_8) = 484728$$

$$p_{VIII} = \frac{1}{2} \times 2300 \times 0{,}088 \times 3{,}000 = 304$$

$$P_8 = 485032$$

$$(M_8) = 3067563$$

$$(P_8)\,\varepsilon_8 = 42656$$

$$\frac{2}{3} \times 304 \times 0{,}088 \qquad 18$$

$$M_8 = 3110237$$

$$D = \frac{3110237}{485032} = 6{,}4124 = 1/3\ \varepsilon'_8$$

$$p' = \frac{1}{2}\ 1000 \times 0{,}088 \times 3{,}000 = 132$$

$$p'' = 1000 \times 0{,}088 \times 19{,}5 = 1716$$

$$374580$$

$$(p) = 122558$$

$$p_{VIII} = 304$$

$$N_8 = 499290$$

$$p''' = 1000 \times 1{,}50 \times 1{,}030 = 1545$$

$$N'_8 = 500835$$

$$1/3\ p \times \varepsilon_8 = 1/3 \times 132 \times 0{,}088 =$$

$$1/2\ p \times \varepsilon_8 = 1/2 \times 1716 \times 0{,}088 = 764$$

$$p\ (d + \varepsilon) = 122558\ (8{,}899 + 0{,}088) = 1101429$$

$$N_7\ (D' + \varepsilon) = 372580\ (5{,}287 + 0{,}088) = 2011495$$

$$2/3\ p_{VIII} = 18$$

$$M_8 = 3113022$$

$$1/2\ p''' \times 1{,}030 = 1/2 \times 1545 \times 1{,}030 = 796$$

$$= 3113818$$

$$D' = \frac{3113022}{499290} = 6{,}235$$

$$D'' = \frac{3113818}{500835} = 6{,}217$$

$$tg\alpha = \frac{500 \times 22{,}5^2}{499290} = 0{,}5070$$

$$V = 1/3\ 22{,}5 \times 0{,}5070 = 3{,}802\ \text{m.}$$

$$\delta = 6{,}235 + 3{,}802 = 10{,}037\ \text{m}$$

$$tg\alpha' = \frac{500 \times 24^2}{500835} = 0{,}5750$$

$$V' = 1/3 \times 24 \times 0{,}5750 = 4{,}6000\ \text{m.}$$

$$\delta' = 6{,}217 + 4{,}600 = 10{,}817\ \text{m}$$

$$tg\beta = \frac{19{,}150 - 16{,}376}{3} = 0{,}9247 \qquad 1 + tg^2\beta = 1{,}855$$

C. — *Calculo dos esforços.*

a) $r_e = O$ $\qquad r_i = \dfrac{2 \times 484728}{19,238} = 5,0392 \dfrac{K}{C^2}$

b) $R_i = \underline{2 \times 499290} \;(2 - 3 \times 10,037) = 51907 \; (2 - 1,561) =$

$$= 51907 \times 0,439 = 2,278 \frac{K}{C^2}$$

$$\pi \; H = 2,25 \frac{K}{C^2}$$

$R_e = 51907 \; (1,561 - 1) = 51907 \times 0,561 = 2.912 \dfrac{K}{C^2}$

$R_m = 2,912 \times 1,855 = 5,402 \dfrac{K}{C^2}$

c)

$R'_i = \dfrac{2 \times 500835}{19,238} \left(2 - \dfrac{3 \times 10,817)}{19,238}\right. = 52067 \; (2 - 1,687)$

$= 52067 \times 0,313 = 1,6296 \dfrac{K}{C^2}$

$R'_e = 52067 \; (1,687 - 1) = 52069 \times 0,687 = 3,587 \dfrac{K}{C^2}$

$R'_m = 3,587 \times 1,855 = 6,654 \dfrac{K}{C^2}$

9.ª Fiada.

$h_9 = 4.000 \qquad H_9 = 26,5 \qquad H'_9 = 28$

Condições determinantes: $\left\{ \begin{array}{l} r_e = o \\ R_i \geq \pi \; H \end{array} \right.$

A. — Calculo de

$\pi H_9 =$	26,500	$N_8 =$	499290	$M_8 =$	3113022
$k =$	9200				
$K'' =$	17 300	$4N_8 =$	1997160	$6M_8 =$	18678132
$4k'' =$	69 200	$k_e'8 =$	176990	$\pi \; (21,5)^2 =$	18609625
$C'_8 =$	19,238	$K =$	2174150	$k \; (6 \; 8)^2 =$	3404926
				$K' =$	40692683

$K^2 = 4\;726\;928\;222\;500 \qquad K = 2174150$

$7\;K'K'' = 2\;815\;933\;663\;600 \qquad S = 1382387$

$S^2 = 1\;910.\;994\;558\;900 \qquad K - S = 791763 \,|\, 2$

395881,5

$C_a = \dfrac{395881,5}{17300} = 22,783$

Faço porem igual a 22,910

$$P_8 = \qquad 485032$$
$$(p) = \frac{2300}{2}(22,883 \quad 19,238 \times 4,000 \qquad 193757$$
$$(P_a) = \qquad 678789$$

$$d = 1/3(42,121 - \frac{22,883 \times 10,238)}{42,121} = \qquad 10,557$$
$$m_8 = \qquad 3110237$$
$$(p)\,(d) = \qquad 2045463$$
$$(ma) = \qquad 5155730$$

$$D = \frac{5155730}{678789} \quad 7,5954 < 1/3\ e_9$$

$k =$	9200	$(P_9) =$	678789	$(^{ma}) =$	5155730
$8\,k =$	73600				
$e_8 =$	22,910	$4\ (P_9) =$	2715157	$3(^{ma}) =$	15467190
		k_{e_9}	210772		15551056
		$a =$	2504384	$b =$	83866

$$8\ b\ k = \quad 6 \quad 172 \quad 096 \quad 000 \qquad S = 2505619$$
$$A^2 = 6271 \quad 939 \quad 219 \quad 456 \qquad A = 2504384$$
$$S^2 = 6278 \quad 111 \quad 315 \quad 456 \qquad S - A = 0001235 \mid 2 \qquad 617,5$$

$$\varepsilon_9 = \frac{617,5}{9200} = 0,067$$

$$e' = 22,910 + 0,067 = 22,977\ m$$

B. — Forças exteriores

$$a)\ (Pa) = \qquad 678789$$
$$p\ \text{IX} = \frac{1}{2}\ 2300 \times 0,067 \times 4,000 = \qquad 308$$
$$P = \qquad 679097$$
$$(m_a) = \qquad 5155730$$
$$(\text{P})\ (\varepsilon_a) = \qquad 14$$
$$m_a = \qquad 5201223$$

$$D = \frac{5201223}{679097} = 7,659 = 1/3\ e'_9$$

$$p' = \frac{1}{2}\ 1000 \times 0,067 \times 4,000 = \qquad 134$$
$$p'' = 1000 \times 0,067 \times 22,5 = \qquad 1507$$
$$N_8 = \qquad 499290$$
$$(p) = \qquad 193757$$
$$p_{IX} = \qquad 308$$
$$N_9 = \qquad 694996$$
$$p''' = 1000 \times 1,097 \times 1,5 = \qquad 1645$$
$$N'_a \qquad 696641$$

$$1/3\ p\ \varepsilon_9 = 1/3 \times 134 \times 0{,}067 = 3$$
$$1/2\ p''\ \varepsilon_9 = 1/2 \times 1507 \times 0{,}067 = 50$$
$$p\ (d + \varepsilon) = 193757\ (10{,}557 + 0{,}067) = 2058474$$
$$N_8 (D' + \varepsilon) = 499290\ (6{,}235 + 0{,}067) = 3146526$$
$$2/3\ p^2 \times \varepsilon_9 = 14$$
$$M_9 = 5205067$$
$$1/2 \times 1{,}097 = 1/2 \times 1645 \times 1{,}097 = 902$$
$$M'_9 = 5205969$$

$$D' = \frac{5205067}{694996} = 7{,}489 \text{ m}$$

$$D'' = \frac{5205969}{696641} = 7{,}473 \text{ m}$$

$$tg\ \alpha = \frac{500 \times 26{,}5^2}{649996} = 0{,}5052 \text{ m}$$

$$V = 1/3 \times 26{,}5 \times 0{,}5052 = 4{,}462 \text{ m}$$

$$\delta = 7{,}489 + 4{,}462 = 11{,}951 \text{ m}$$

$$tg\alpha' = \frac{500 \times 28^2}{696641} = 0{,}5627$$

$$V' = 1/3 \times 28 \times 0{,}5627 = 5{,}257 \text{ m}$$

$$\delta' = 7{,}473 + 5{,}252 = 12{,}725 \text{ m}$$

$$tg\ \beta = \frac{22{,}910 - 19{,}238}{4} = 0{,}918 \qquad 1 + tg^2\beta = 1{,}8427$$

Calculo dos esforços

a) $r_e = o$ $\qquad r_i = \dfrac{2 \times 679097}{22{,}977} = 5{,}911 \dfrac{K}{c^2}$

b) $$R_i = \frac{2 \times 694996}{22{,}977} \left(2 - \frac{3 \times 11{,}951)}{22{,}977}\right) = 60494\,(2 - 1{,}560)$$

$$= 60494 \times 0{,}440 = 2{,}66 \frac{K}{c^2}$$

$$\pi\ H = 2{,}65 \frac{K}{c^2}$$

$$R_e = 60494\ (1{,}560 - 1) = 60494 \times 0{,}560 = 3{,}387 \frac{K}{c^2}$$

$$R_m = 3{,}387 \times 1{,}8427 = 6{,}241 \frac{K}{c^2}$$

c) $$R'_i = \frac{2 \times 696641}{22{,}977} \left(2 - \frac{3 \times 12{,}725}{22{,}977}\right) = 60638\ (2 - 1{,}661)$$

$$= 60638 \times 0{,}339 = 2{,}0556 \frac{K}{c^2}$$

$$R'_e = 60638 \times (1{,}661 - 1) = 60638 \times 0{,}661 = 4{,}008 \frac{K}{c_2}$$

$$R'_m = 4{,}008 \times 1{,}8427 = 7{,}385 \frac{k}{c^2}$$

Perfil pratico

O perfil theorico, que se caracteriza pela fórma polygonal de seu contorno, é na pratica substituido por um outro perfil de linhas mais simples, denominado perfil pratico.

Esse perfil pratico se deriva do theorico, visando de um lado a questão esthetica e a conveniencia das fórmas simples, e de outro lado não introduzir nos typos calculados modificações capazes de alterar apreciavelmente a distribuição das acções moleculares e accrescer de um modo sensivel o volume das alvenarias.

O perfil pratico será pois sómente composto de linhas rectas e arcos de circumferencias.

Paramento a montante

Este paramento apresenta uma linha vertical desde a crista até a profundidade de 9 metros, de 9 metros a 18 é inclinado de 8 %, de 18 metros a 28 é inclinado de 4%.

Paramento a jusante

A vertical que parte da crista e a linha recta inclinada, que fórma a parte inferior, da profundidade de 9 metros para baixo, são concordadas por 2 arcos de circumferencias.

Executando-se uma primeira concordancia approximada por meio de curvas francezas sobre o desenho em escala, foi possivel fixar as posições definitivas dos pontos M, N e S.

Feito isso passamos a calcular os centros e raios de curvatura das 2 circumferencias.

Sejam R e r os raios, C e C' os centros das 2 curvas. Determinaremos alem disso o ponto T, para ficar perfeitamente determinada a fórma geometrica do paramento.

Vamos tomar como eixos de coordenadas OX e OY, a horizontal da base e a vertical do paramento a montante.

a) Recta $M\,N$

Seja $y = p\,x + q$ a equação da recta.

A condição de passar pelos pontos M (23,20; 0) e N (9,20; 14,00) determina os valores de p e q

$$p = -\frac{14{,}0 - 0}{23{,}20 - 9{,}20} = -1$$

$$q = 23{,}20 \times 1 = -23{,}20$$

b) Primeira circumferencia

E' a circumferencia de raio igual a R, tangente a $M\,N$ em N e passando por S.

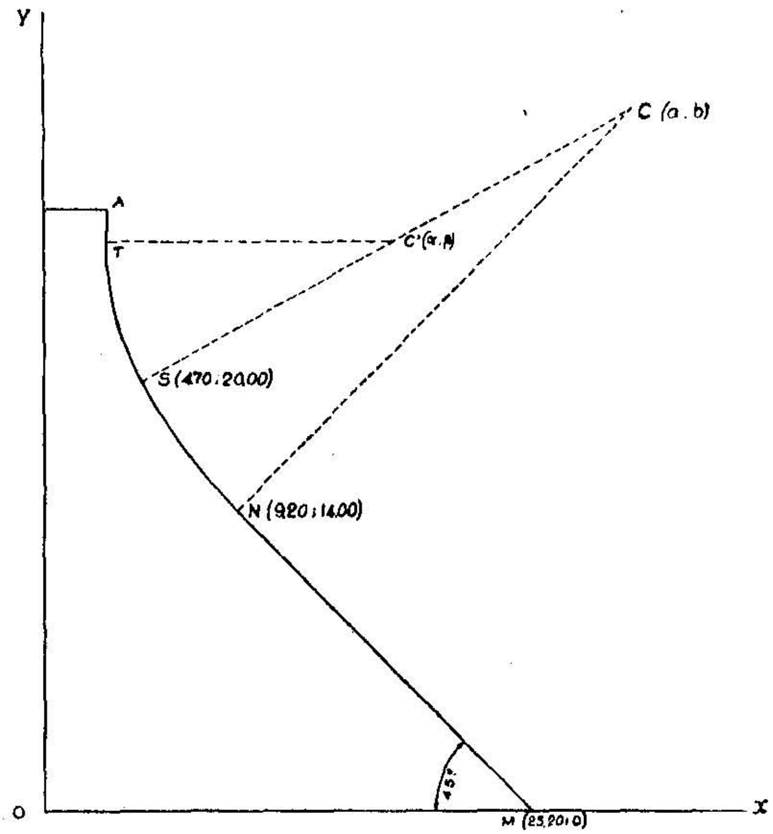


Fig. 4

Seja C $(a ; b)$ o seu centro.

A sua equação é $(X - a)^2$ $(Y - b)^2 = R^2$

O ponto S tem como coordenadas (4,70 ; 20,0)

A condição de passar pelos pontos N e S, fornece a seguinte equação entre a e b

$$(9{,}20 - a)^2 + (14{,}0 - b)^2 = (4{,}70 - a)^2 + (20{,}0 - b)^2$$

equação esta que simplificada dá

$$4b - 3a = 47{,}15 \qquad (1)$$

A condição de tangencia a MN em N, exprime-se analyticamente assim:

$$\frac{dy}{dx} = p = -1$$

Porém $\dfrac{dy}{dx} = - \dfrac{x - a}{y - b} = - \dfrac{9{,}20 - A}{14{,}0 - B} = -1$

$$b - a = 4.8 \qquad (2)$$

Resolvendo (1) e (2) teremos a e b

$$a = 27{,}95$$
$$b = 32{,}75$$

Conhecidos os pontos C e N determinemos o raio de curvatura

$$(9{,}20 - 27{,}95)^2 \quad (14{,}0 - 32{,}75)^2 = R$$

$$R = 26{,}516 \ M$$

c) Segunda circumferencia

É a circunferencia de raio r, tangente à primeira no ponto S e *a* vertical $A\,T$

Sejam α e β as coordenadas de seu centro C'

A sua equação será: $(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 = r^2$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{X - \alpha}{Y - \beta}$$

A condição de tangencia em S corresponde analyticamente a

$$- \frac{x - \alpha}{y - \beta} = - \frac{x - a}{y - b} \text{ que para } x = 4{,}70 \text{ e } y = 20{,}0$$

dará:

$$\frac{4{,}70 - \alpha}{20{,}0 - \beta} - \frac{4{,}70 - 27{,}95}{20{,}0 - 32{,}75}$$

$$31\,\beta - 17\,\alpha = 540{,}1 \quad (3)$$

Por outro lado, sendo $A\,T$ parallelo a $o\,y$ é patente que se deve ter

$$r = \alpha - \beta$$

Levando este valor de r na equação da curva, e substituindo X e Y pelos seus valores teremos

$$(4{,}70 - \alpha)^2 + (20 - \beta)^2 = (\alpha - \beta)^2$$

$$3{,}4\,\alpha = (20 - \beta)^2 + 13{,}09 \quad (4)$$

Resolvemos o sistema $\begin{array}{l} 3{,}4\,\alpha = (20 - b)^2 + 13{,}09 \\ 31\,\beta - 17\,\alpha = 540{,}1 \end{array}$

teremos os valores de α e β

$$\beta = 19{,}464 \qquad \alpha = 3{,}722$$

$$\beta = 26{,}535 \qquad \alpha = 16{,}616$$

$$r = 16{,}616 - 3{,}000 = 13{,}616$$

$$A\,T = 28{,}000 - 26{,}53 = 1{,}465$$

Calculo analytico das áreas

A equação da recta MN já vimos que é

$$J = x + 23{,}20 \qquad\qquad x = 23{,}20 - J$$

Dando a J valores determinados, resultarão valores para x

$$J = 0 \qquad x = 23{,}20$$

$$J = 4 \qquad x = 19{,}20$$

$$J = 7 \qquad x = 16{,}20$$

$$J = 10 \qquad x = 13{,}20$$

$$J = 13 \qquad x = 10{,}20$$

A equação da recta AB é

$$J = 11{,}25 + 19$$

Dando a J valores determinados teremos os valores para x

$J = 10$	$x = 0{,}800$
$J = 13$	$x = 0{,}533$
$J = 16$	$x = 0{,}266$
$J = 19$	$x = 0$

A equação da recta é

$$J = 25\,x + 30$$

$J = 0$	$x = 1{,}200$
$J = 4$	$x = 1{,}040$
$J = 7$	$x = 0{,}920$
$J = 10$	$x = 0{,}800$

$$s\ 10 = \frac{24{,}40 \times 20{,}24}{2} \times 4 = 89{,}28 \text{ m.}^2$$

$$s\ 9 = \frac{20{,}24 \times 17{,}12}{2} \times 3 = 56{,}04 \text{ m.}^2$$

$$s\ 8 = \frac{17{,}12 \times 14{,}00}{2} \times 3 = 46{,}680 \text{ m.}^2$$

$$s\ 7 = \frac{14{,}00 \times 10{,}733}{2} \times 3 = 37{,}10 \text{ m.}^2$$

A'rea s 6

Vamos considerar sómente o trapezio, desprezando-se o segmento circular

$$(x - a)^2 + (J - b)^2 = R^2$$

$$a = 27{,}95$$
$$b = 32{,}75$$
$$R = 26{,}516$$

$$(x - 27{,}95)^2 + (16 - 32{,}75)^2 = 26{,}516^2$$
$$x - 27{,}95 = \pm\ 20{,}55$$
$$x = 7{,}40 \text{ m}$$
$$x = 7{,}40 + 0{,}266 = 7{,}666$$

$$s\ 6 = \frac{7{,}666 \times 10{,}733}{2} \times 3 = 27{,}598 \text{ m.}^2$$

A'rea s 5

$$(x - 27{,}95)^2 + (18 - 32{,}75)^2 = 26{,}516^2$$
$$x = 5{,}92$$
$$x^1 = 6{,}01$$

$$s\ 5 = \frac{6{,}010 + 7{,}666}{2} \times 2 = 13{,}672 \text{ m.}^2$$

A'rea s 4

$$(x - \alpha)^2 + (J - \beta)^2 = r^2$$
$$(x - 16{,}616)^2 + (21 - 26{,}535)^2 = 13{,}616^2$$
$$(x - 16{,}616) = \pm\ 12{,}45$$
$$x = 4{,}166$$

$$s\ 4 = \frac{4{,}166 + 5{,}92}{2} \times 3 + \frac{1 \times 0{,}09}{2} = 15{,}174$$

A'rea s 3

$$(x - 16{,}616)^2 + (23{,}45 - 26{,}535)^2 = 13{,}616^2$$
$$(x - 16{,}616)^2 = \pm\ 13{,}261$$
$$x = 3{,}355$$

$$s\ 3 = \frac{3{,}355 + 4{,}166}{2} \times 2{,}450 = 9{,}213$$

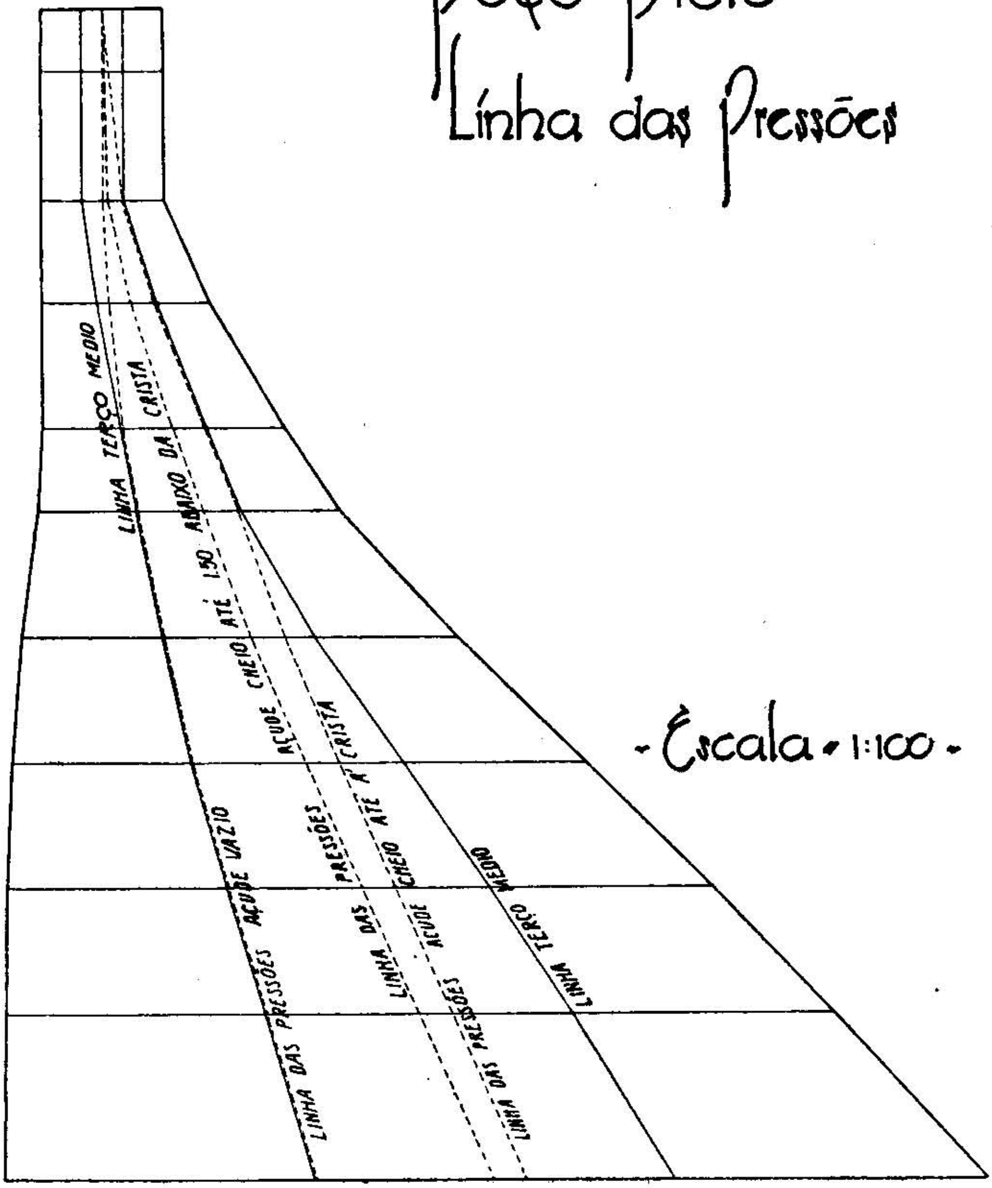
$$s\ 2 = \frac{3{,}355 + 3{,}00}{2} \times 3{,}05 = 9{,}691 \text{ m.}^2$$

$$s\ 1 = 3{,}000 \times 1{,}5 = 4{,}50 \text{ m2.}$$

Areas totaes em função das alturas

h	s
1,50 m	4,500 m²
4,55 »	14,191 »
7 »	23,404 »
10 »	38,578 »
12 »	52,250 »
15 »	79,848 »
18 »	116,948 »
21 »	163,628 »
24 »	219,668 »
28 »	308,948 »

Barragem do Poço Preto
Linha das Pressões



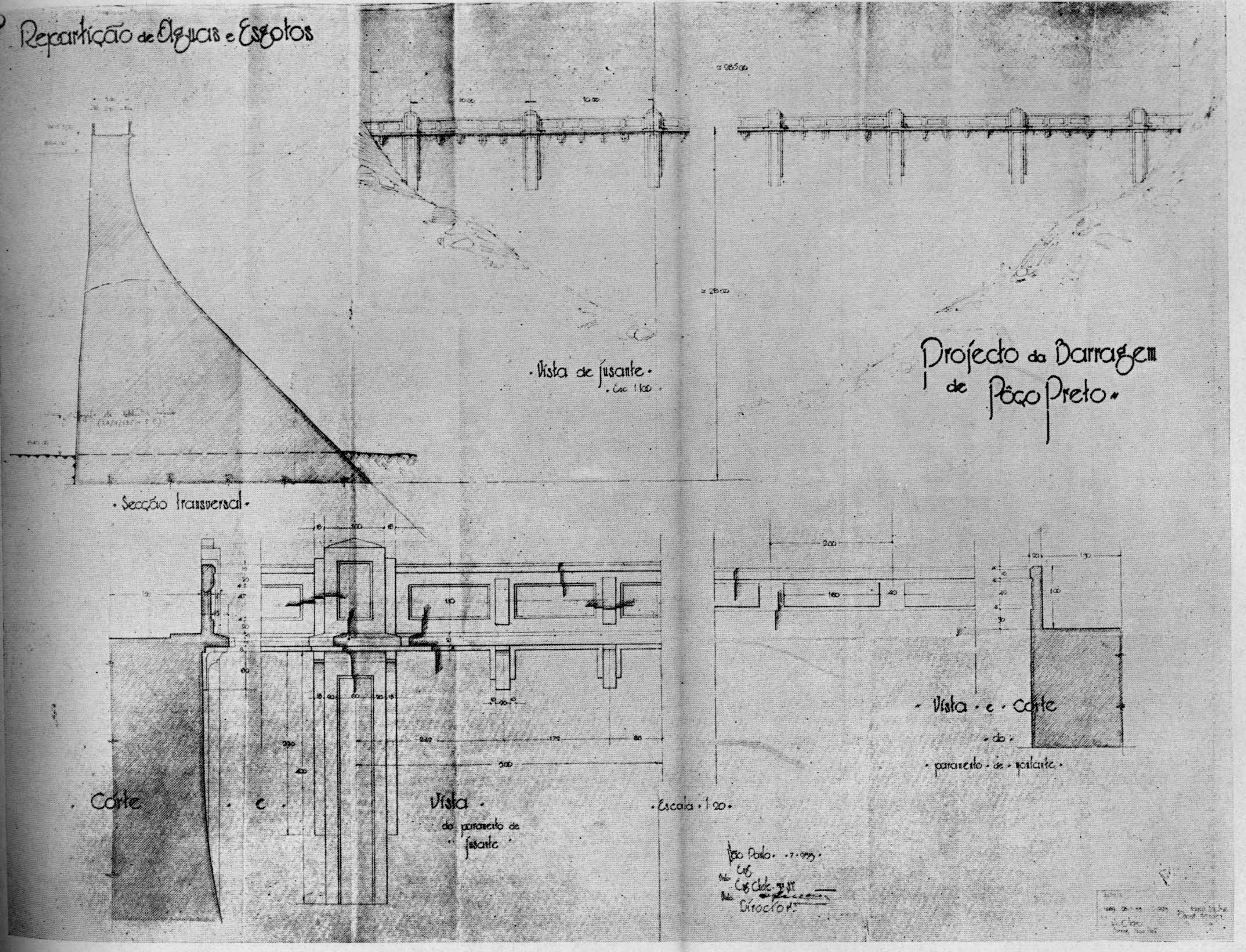
- Escala - 1:100 -

• Barragem de Pôço Preto •

• Quadro dos elementos de estabilidade do perfil •

Profundidade das juntas abaixo da crista	Espessuras referidas á vertical do coroamento			Distancia dos centros de pressão do paramento de montante			Esforços nos extremos das juntas (K. por cm2)											Pressão hydrostatica em k. p. cm2	Condições de estabilidade que serviram de base no calculo das juntas
	Para jusante	Para montante	Total	Açude vazio	Açude cheio até 15 abaixo da crista	Açude cheio até a crista	Açude vazio jusante	Açude vazio montante	Até a crista: Coeff. de att. necessar.	Até a crista: jusante	Até a crista: maximum maximorum Levy	Até a crista: montante	Até 150 abaixo da crista: Coeff. att. necessar.	Até 150 abaixo da crista: jusante	Até 150 abaixo da crista	Até 150 abaixo da crista: montante	Açude cheio até 150 abaixo da crista	
H'	e''	$e'-e''$	e'	D	δ	δ'	re	ri	$tg\alpha$	$R'e$	Rm	$R'i$	$tg\alpha$	Re	Rm	Ri	πH	
0,000	3,000	0,000	3,000	1,500	1,500	1,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
4,550	3,000	0,000	3,000	1,500	1,651	2,000	1,04	1,04	0,3297	2,093	2,093	0,000	0,1480	1,36	1,36	0,730	0,305	$Ri = 0$
7,000	4,086	0,000	4,086	1,611	2,151	2,724	046	2,031	0,477	2,313	2,660	0,000	0,2945	1,463	1,91	1,031	0,550	$Ri = 0$
10,000	5,877	0,000	5,877	1,975	3,168	3,918	0,032	2,864	0,3872	2,917	3,935	0,000	0,4214	1,800	2,44	1,17	0,850	$Ri = 0$
12,00	7,201	0,140	7,341	2,447	4,062	4,864	0,000	3,164	0,6119	3,167	4,53	0,057	0,469	2,112	3,037	1,08	1,05	$Ri \geq \pi H$ $re = 0$
15,000	10,01	0,389	10,399	3,466	5,584	6,391	0,000	3,430	0,6119	3,037	3,709	0,519	0,4975	2,131	4,00	1,36	1,35	$Ri > \pi H$ $re = 0$
18,000	13,142	0,260	13,402	4,476	7,098	7,895	0,000	3,862	0,5996	3,073	5,808	0,949	0,5060	2,347	4,435	1,658	1,650	$Ri > \pi H$ $re = 0$
21,000	16,198	0,153	16,376	5,458	8,581	9,369	0,000	4,423	0,5864	3,288	6,133	1,304	0,5076	2,617	4,863	1,957	1,950	$Ri > \pi H$ $re = 0$
24000	19,126	0,088	19,238	6,412	10,037	10,817	0,000	5,039	0,575	3,587	6,654	1,629	0,5070	2,916	5,402	2,278	2,25	$Ri > \pi H$ $re = 0$
28000	22,863	0,067	22,977	7,659	11,951	12,725	0,000	5,911	0,5627	4,008	7,385	2,0556	0,5032	3,387	6,241	2,66	2,65	$Ri > \pi H$ $re = 0$

Engenheiro — Visto — Eng. Chefe da 3ª S.T. — Visto — Director

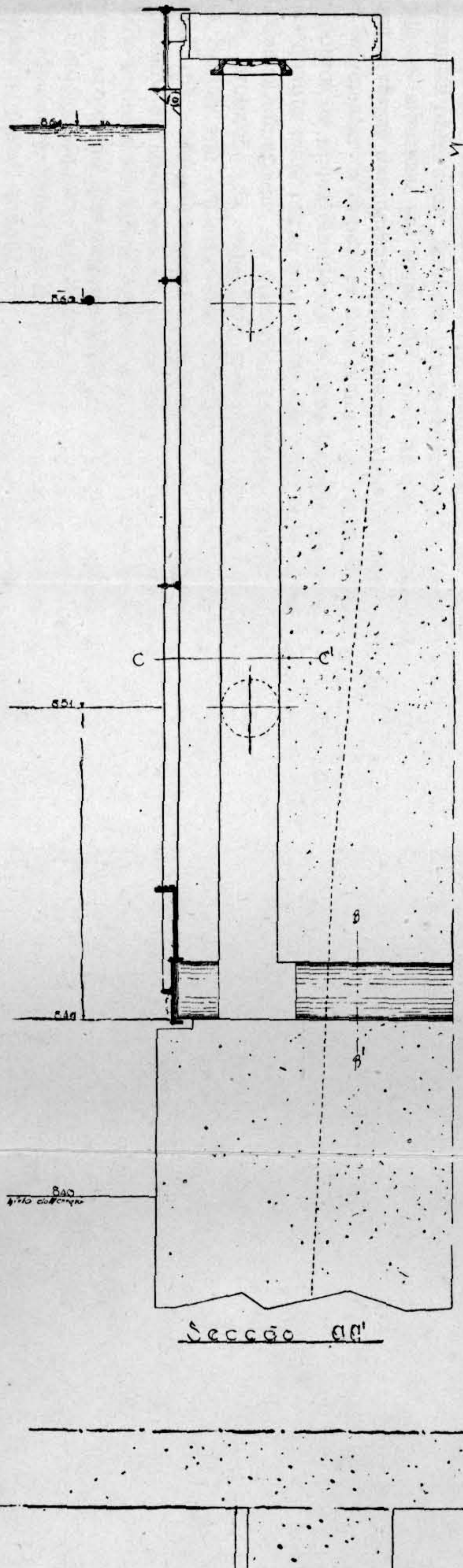


Repartição de Águas e Esgotos
Projecto da Barragem de Pôço Preto
Vista de Jusante
Secção transversal
Corte e Vista do paramento de jusante
Escala 1:20
Vista e Corte do paramento de montante
Director

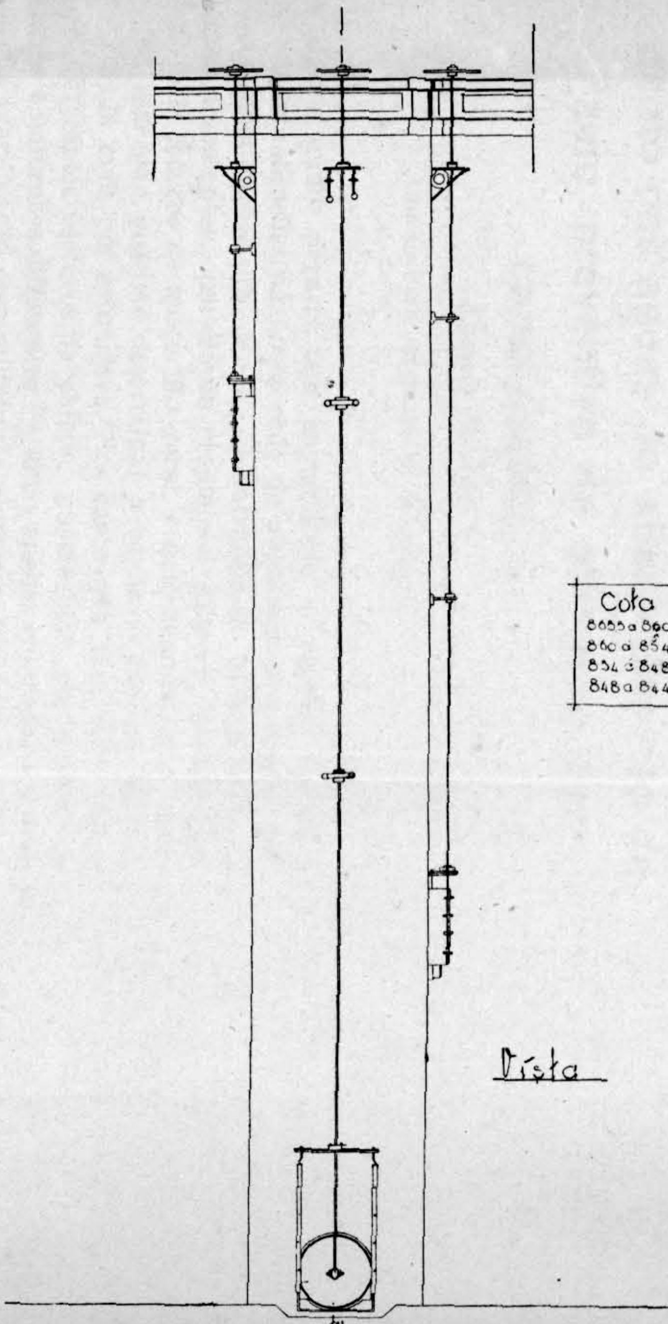
BARRAGEM DE POÇO PRETO

DETALHES DA TORRE DE TOMADA D'AGUA

ESCALA 1:50

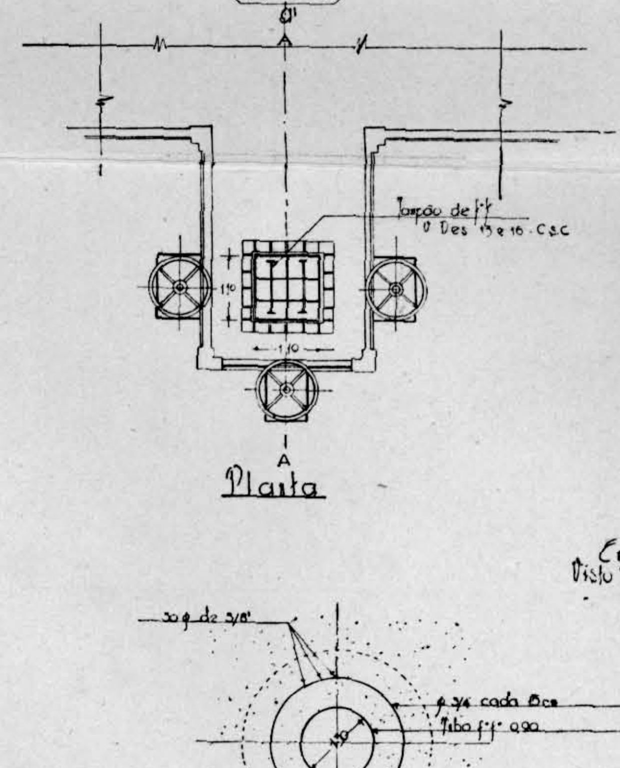


Secção AA'



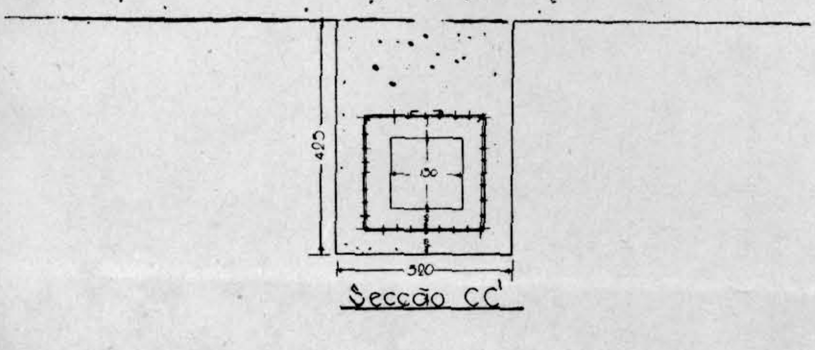
Vista

Cota	Ferragem
8655 a 860	Sem armadura
860 a 854	Ferro de 3/4 cada 20cm
854 a 848	Ferro de 3/4 cada 14cm
848 a 844	Ferro de 3/4 cada 9cm

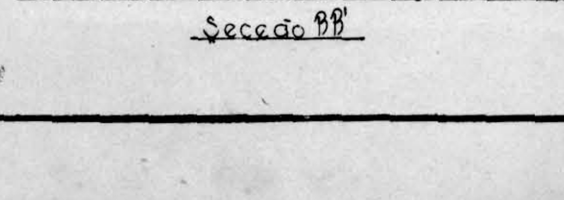


Planta

Visto Eng. civil Director



Secção CC'



Secção BB'