

ALGUNS PROBLEMAS DE DESMONTE EM VALA PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA ADUTOR METROPOLITANO — SAM

ANTONIO SIMÕES MARQUES (*)
HUGO TAKAHASHI (**)
CARLOS MANOEL NIEBLE (**)

I — INTRODUÇÃO

Na abertura das valas para implantação de alguns trechos do Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo (S.A.M.), constatou-se a presença de grandes matões e afloramentos de rocha, que exigiram a utilização de explosivos para sua remoção. O desmonte de rochas em zonas urbanas apresenta ao técnico especializado, além das dificuldades relacionadas aos contornos físicos do problema, também aquelas relacionadas aos efeitos psicológicos sobre os moradores das regiões adjacentes aos trabalhos.

Apresentam-se, neste trabalho, experiências realizadas visando equacionar alguns dos problemas de desmonte em zonas urbanas.

II — GENERALIDADES SOBRE O S.A.M.

O S.A.M. (Sistema Adutor Metropolitano), sai da Estação de Tratamento do Guaraú, situada na Zona Norte de São Paulo, nas cabeceiras da Serra da Cantareira. Consta, na saída de duas linhas de tubulação de aço de grande diâmetro

(2.134 mm) que se ramificam em três linhas (fig. 1).

A primeira dessas linhas (Albuquerque Maranhão, 1972), segue em direção a Zona Oeste de São Paulo (Osasco), abastecendo os reservatórios de Vila Brasilândia, Freguesia do Ó I, Freguesia do Ó II, Pirituba, Vila Jaguará, Quitauna, Bela Vista, Vila Iracema, Mutinga e Osasco. A segunda delas toma a direção da Zona Leste de São Paulo (São Miguel Paulista), abastecendo os reservatórios de Jaçanã, Edu Chaves, Guarulhos, Vila Medeiros, Cangaíba, Penha, Vila Maria, São Miguel, Jardim Popular e Ermelindo Matarazzo. A terceira delas seguirá em direção a Zona Sul de São Paulo e reforçará o abastecimento dos reservatórios de Casa Verde, Santana, Vila Nova Cachoeirinha, Mirante, Consolação e Vila América.

O S.A.M. alimentará ao longo do seu percurso, cerca de 21 reservatórios, num trajeto de 95 km de tubulação de aço, cujo diâmetro varia desde 2.134 mm (saída do Guaraú), até 500 mm (sub-adutoras). Futuramente, com o término dos outros Sistemas de Abastecimento de água, haverá, por intermédio do S.A.M., a interligação de todos os sistemas de abastecimento.

O assentamento dos tubos se faz após a definição dos escoramentos das valas a serem abertas, em função do perfil geológico estabelecido, a partir de sondagens

(*) Geólogo da SABESP — Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

(**) Engenheiros do IPT — Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo.

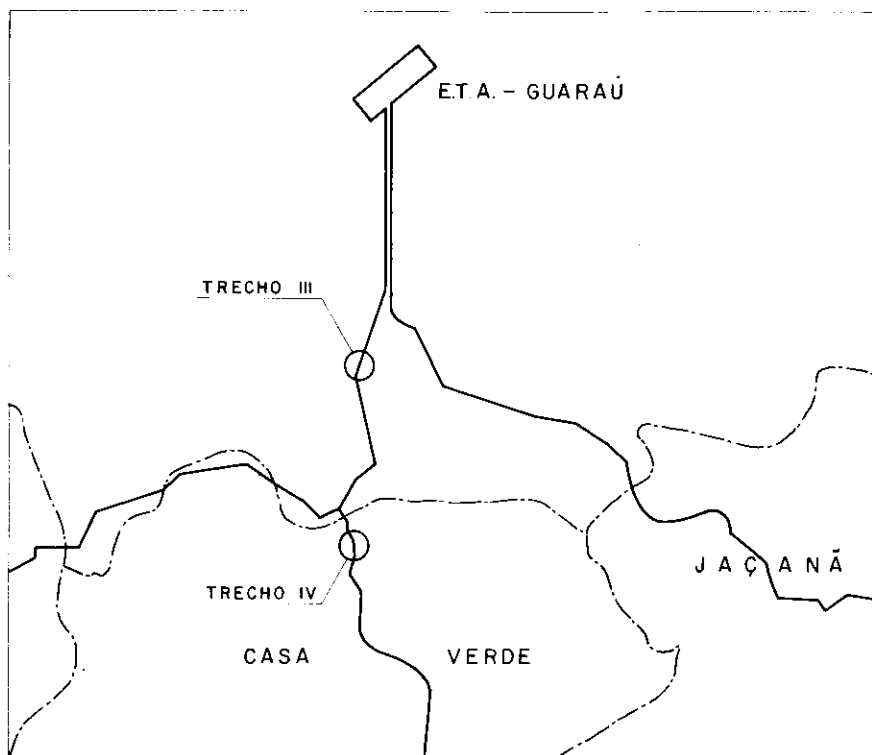


FIG.1 - PLANTA DE LOCAÇÃO

a percussão, executadas em grande número ao longo de todo o S.A.M.

Os escoramentos empregados são de diversos tipos, desde escoramentos de madeira descontínuos, até estacas prancha; em função do perfil geológico; foram também determinados os tipos de fundação, sobre os quais se faria assentamento dos tubos, assim como uma remoção do material abaixo da cota de fundação, sempre que o terreno assim o exigir e dentro das condições econômicas que o permitam. Levando-se em consideração a flexibilidade dos tubos, é usada a fundação com lastro de areia e/ou brita corrida.

Posteriormente ao assentamento da tubulação faz-se a envoltória do tubo com areia, com uma granulometria especificada. Esse enchimento por areia se faz em camadas sucessivas, sendo que a compactação é feita por imersão em água, com vibrador de alta rotação, obtendo-se

então 90% da densidade máxima. Em virtude da fina espessura da tubulação, devem ser tomadas todas as precauções nos primeiros 90 cm de compactação, acima da geratriz superior do tubo de aço. A recomposição da pavimentação é então, feita de comum acordo com as normas das prefeituras dos municípios.

A figura 2 apresenta um croquis transversal esquemático de instalação da tubulação do S.A.M.

III - GEOLOGIA DO TRAÇADO

O traçado do S.A.M. localiza-se em parte em regiões limites entre a Bacia de São Paulo e a Serra da Cantareira e, em alguns trechos penetra em grandes extensões para seu interior. A partir de sondagens à percussão e rotativas, e de dados de campo ao longo do traçado das adutoras, determinou-se as seguintes unidades litológicas (Ferreira et alli, 1972):

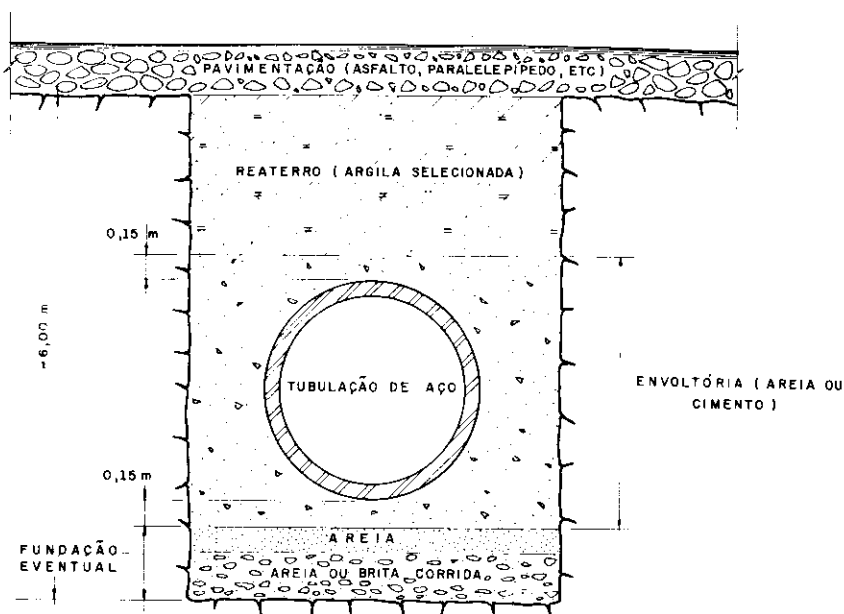


FIG. 2 - CROQUIS ESQUEMÁTICO DE INSTALAÇÃO DA TUBULAÇÃO

III.1 - Embasamento Cristalino

É constituído por rochas do complexo cristalino pré-cambriano, constituído principalmente por xistos e gnaisses e por intrusões de granito. Essas rochas apresentam geralmente elevado grau de alteração, originando solos residuais silto-argilo-arenosos, medianamente compactos e compactos.

III.2 - Sedimentos Terciários

São as chamadas «camadas de São Paulo», sendo constituídas por:

a) Depósitos de areias médias e grossas pouco argilosas, a grande profundidade.

b) Intercalações argilosas, de argilas e areias finas argilosas, em horizontes intermediários.

c) Camadas mais ou menos espessas de argilas superficiais.

Nos níveis mais altos da bacia é comum aparecer um horizonte de argila, com espessura que chega a atingir 25 m (atingindo em média mais ou menos 10 m). Apresenta normalmente a cor vermelha, podendo exibir cores amarela e cinza. Nos primeiros 6 a 8 m, apresenta-se porosa vermelha. A maior profundidade e abaixo do lençol freático, apresenta-se

suja, podendo aparecer núcleos de concreções de limonita.

III.3 - Sedimentos Quaternários

São constituídos por faixas de aluviões, depositados ao longo do atual sistema de drenagem da Bacia. Os maiores depósitos estão situados nas áreas dos rios Pinheiros, Tietê e Tamanduateí. Compõem-se principalmente de areias grossas e médias, intercaladas de argilas orgânicas e raros horizontes de cascalho. Têm espessura em média de 400 a 800 metros.

IV - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

A implantação do Sistema Adutor Metropolitano, nos seus trechos III e IV (fig. 1), mostrou a presença de grandes matacões e/ou afloramentos, com volumes aparentes de até 60 m³ de granito pórfiro, resistente, praticamente são, medianamente a pouco fraturado, rocha Al Cl R2 F2 segundo a classificação da ABGE (ver tabela 1).

Algumas sondagens de exploração foram executadas visando-se aquilatar sobre a espessura do recobrimento de solo ao longo de alguns pontos de interesse e para verificar se esses afloramentos

GRAU DE COERÊNCIA		
ROCHA	SÍMBOLO	CARACTERÍSTICAS
MUITO CONSISTENTE	C 1	- QUEBRA COM DIFICULDADE AO GOLPE DO MARTELO - O FRAGMENTO POSSUI BORDAS CORTANTES QUE RESISTEM AO CORTE POR LÂMINA DE AÇO - SUPERFÍCIE DIFICILMENTE RISCADA POR LÂMINA DE AÇO
CONSISTENTE	C 2	- QUEBRA COM RELATIVA FACILIDADE AO GOLPE DO MARTELO - O FRAGMENTO POSSUI BORDAS CORTANTES QUE PODEM SER ABATIDAS PELO CORTE COM LÂMINA DE AÇO - SUPERFÍCIE RISCÁVEL POR LÂMINA DE AÇO
QUEBRADIÇA	C 3	- QUEBRA FACILMENTE AO GOLPE DO MARTELO - AS BORDAS DO FRAGMENTO PODEM SER QUEBRADAS PELA PRESSÃO DOS DEDOS - A LÂMINA DE AÇO PROVOCA UM SULCO ACENTUADO NA SUPERFÍCIE DO FRAGMENTO
FRÁVEL	C 4	- EFARELA AO GOLPE DO MARTELO - DESAGREGA SOB PRESSÃO DOS DEDOS

GRAU DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES*		
ROCHA	SÍMBOLO	RESISTÊNCIA (kg/cm ²)
MUITO RESISTENTE	R 1	> 1200
RESISTENTE	R 2	1200 - 800
POUCO RESISTENTE	R 3	800 - 300
BRANDA	R 4	300 - 100
MUITO BRANDA	R 5	< 100

*Em rochas que apresentam anisotropia planar o grau deve estar referido à direção de aplicação dos esforços

GRAU DE FRATURAMENTO		
ROCHA	SÍMBOLO	NÚMERO DE FRATURAS POR METRO
OCASIONALMENTE FRATURADA	F 1	< 1
POUCO FRATURADA	F 2	1 - 5
MEDIANAMENTE FRATURADA	F 3	6 - 10
MUITO FRATURADA	F 4	11 - 20
EXTREMAMENTE FRATURADA	F 5	> 20
EM FRAGMENTOS	F 6	fortes os pedaços de diversos tamanhos caoticamente dispostos

GRAU DE ALTERAÇÃO	
ROCHA	SÍMBOLO
PRATICAMENTE Sã	A 1
ALTERADA	A 2
MUITO ALTERADA	A 3

TABELA 1 - Classificação da ABGE

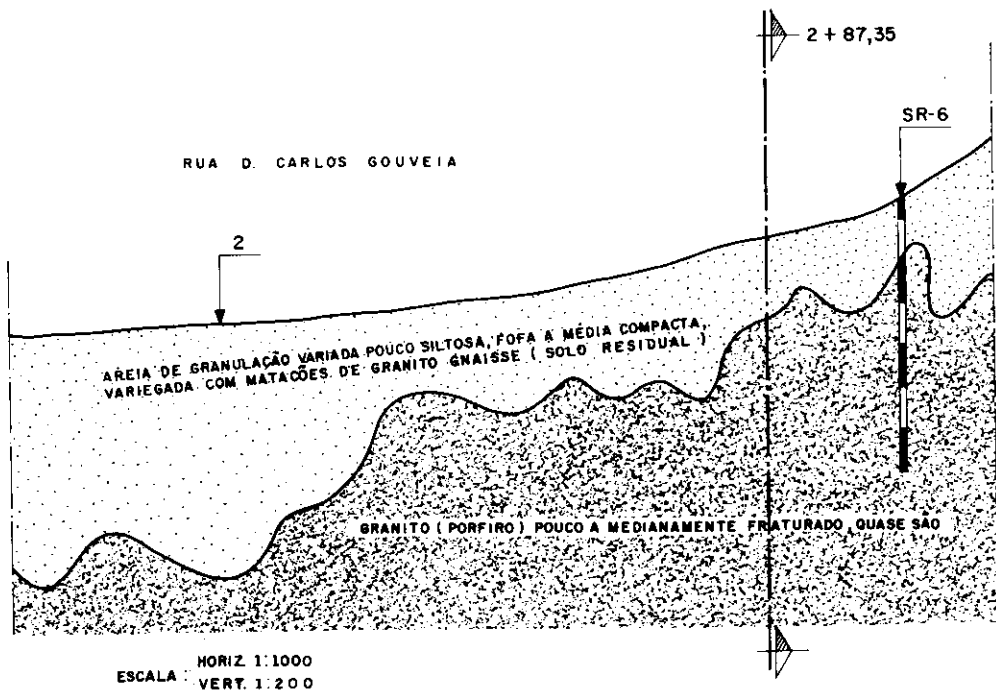


FIG. 3 - PERFIL GEOLÓGICO TÍPICO

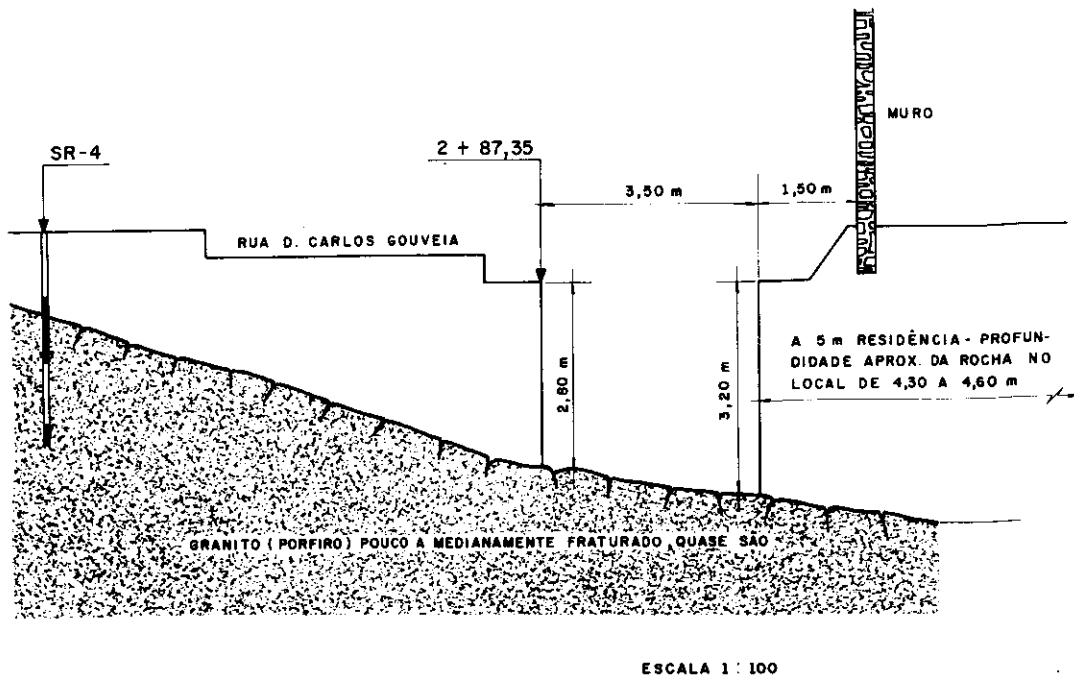


FIG. 4 - SEÇÃO TRANSVERSAL TÍPICA

constituíam o embasamento cristalino ou matacões de grandes dimensões (3 a 4 m de diâmetro). Após essas sondagens, constatou tratarem-se de rochas do embasamento cristalino. Um perfil geológico típico, ao longo do trecho III, bem como uma seção transversal típica, são apresentados nas figuras 3 e 4.

A constatação desse fato levou à execução de uma série de ensaios dinâmicos, visando a obtenção de dados sobre os seguintes tipos de problemas:

a) limitar o nível de vibração transmitido pelo terreno, tendo em vista as pequenas distâncias dos desmontes a residências (aproximadamente 5 m, em alguns dos casos);

b) evitar lançamentos de fragmentos a residências, redes elétricas, transeuntes, etc.;

c) levar em consideração o aspecto psicológico das detonações sobre moradores das adjacências ao desmonte.

V – OS CRITÉRIOS DE SEGURANÇA

V.1 – Limitação do nível de vibração

Dos critérios existentes na literatura internacional, o de Clandell (1949), baseado na relação de energia («energy ratio»), pela primeira vez levou em consideração a natureza do meio em que as ondas se propagam. Vários outros critérios se sucederam entre 1950 e 1960, sendo a maioria deles baseados na amplitude do deslocamento provocado pelas vibrações, tendo sido adotada, em geral, uma amplitude de 0,076 cm como limite de segurança.

Os critérios mais recentes baseiam-se, no entanto, na velocidade de vibração de partículas no maciço próximo à estrutura. Assim, nos critérios propostos por Langefors, Kihlstron e Westerburg (1958), Edwards e Northwood (1959), Devine (1966) e Duvall e Fogelson (1962), velocidades de vibração de partículas entre 5,08 cm/s e 7,35 cm/s são consideradas limites, com pequenas possibilidades de ocorrer danos à estrutura.

Já Medvedev (1968), além dos aspectos citados acima, leva em consideração o estado da estrutura (satisfatória, deformada ou condenada), as diferentes condições de fogo (instantâneo ou com retardo, a céu aberto ou subterrâneo), além das condições do terreno de fundação.

A tabela 2 apresenta os critérios de danos sugeridos por Medvedev. A esses limites devem ser aplicadas as correções correspondentes aos aspectos apresentados acima.

V.2 – O efeito psicológico das detonações

Dos critérios existentes quanto ao efeito psicológico das detonações sobre moradores das adjacências ao desmonte, citamos que Crandell (1949) já salientava o fato de que as pessoas são muito sensíveis às vibrações, sentindo 1/100 do nível de vibração daquele que deve evitar para estruturas. Já a norma DIN-4150 introduziu uma medida logarítmica, chamada «medida de intensidade de vibrações S», cuja unidade foi designada por pal:

$$S = 20 \log v/v_{lim}$$

onde

v = velocidade de vibração (cm/s)
 v_{lim} = 0,0316 cm/s, valor que corresponde ao limite da percepção

A tabela 3 apresenta os níveis de danos estipulados por esta norma.

Um dos trabalhos mais interessantes sobre este assunto é apresentado por Roberts (1970), que considera o aumento de intolerância contra vibrações do terreno e ruído como fatores de poluição. A partir da escala de Reiher-Meister (fig. 5), introduzida como critério de avaliação subjetiva de resposta humana às vibrações de tráfego, Roberts tentou adaptar essa escala aos critérios objetivos de danos estruturais (fig. 6). Tal associação, bastante interessante, permite uma boa visualização do conjunto vibrações excessivas-efeito psicológico das detonações.

TABELA 2 - CRITÉRIOS DE MEDVEDEV

I	CARACTERÍSTICAS	V (cm/s)
1	oscilações só notadas com uso de instrumento	< 0,2
2	oscilações quase imperceptíveis	0,2 a 0,4
3	oscilações sentidas por algumas pessoas ou por pessoas que sabiam da explosão	0,4 a 0,8
4	oscilações notadas por muitas pessoas - barulho nas vidraças	0,8 a 1,5
5	queda de reboco - pequenos danos	1,5 a 3,0
6	fendas no reboco - danos a edifícios já deformados	3,0 a 6,0
7	danos a edifícios em estado satisfatório - fendas e queda de rebocos, pequenas fendas nas paredes	6,0 a 12,0
8	consideráveis danos a edifícios: fendas em pilares e paredes, grandes fendas em partições	12,0 a 24,0
9	destruição de edifícios, isto é, grandes fendas nas paredes, esfoliação da alvenaria, queda de paredes	24,0 a 48,0
10	grande destruição e colapso de edifícios	> 48,0

TABELA 3 - ESCALA PAL

0 - 10 pal - limite de percepção
10 - 20 pal - percepção geral
20 - 30 pal - desagradável a pessoas
30 - 40 pal - danos ligeiros em estruturas
40 - 50 pal - fortes danos em estruturas

TABELA 4 - RESULTADOS OBTIDOS

Distância (m)	Carga (kg)	Velocidade de vibração (cm/s)	Amplitude (cm)
6	2,7	long: 2,1 vert: 1,5 transv: 2,2	0,021 0,016 0,020
8	2,7	long: 2,2 vert: 1,5 transv: 1,5	0,020 0,016 0,017
8	1,0	long: 0,5 vert: 0,6 transv: 1,1	0,006 0,005 0,011
5	1,7	long: 3,1 vert: 3,2 transv: 2,0	0,032 0,030 0,021
5	1,7	long: 3,0 vert: 2,1 transv: 3,2	0,033 0,024 0,030

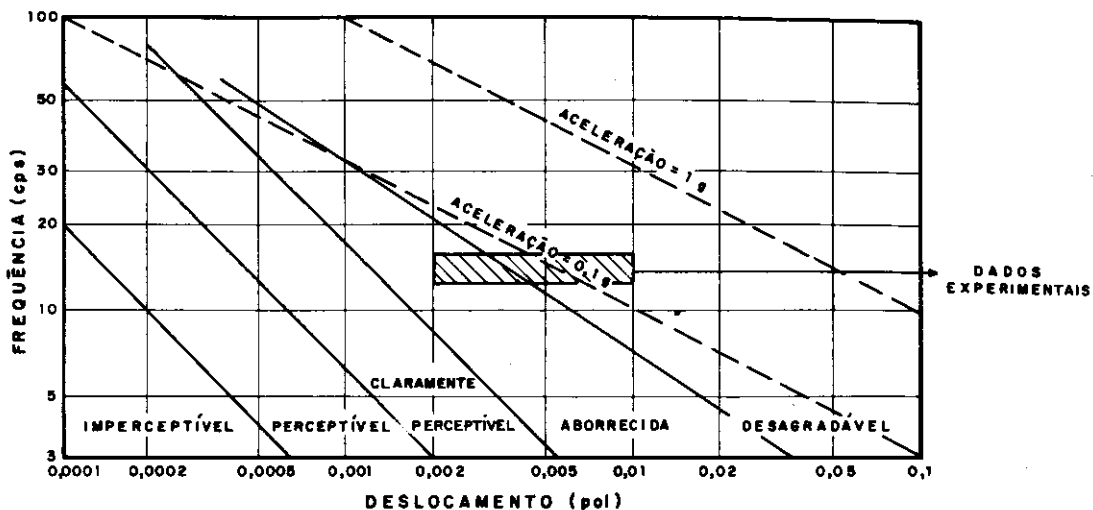
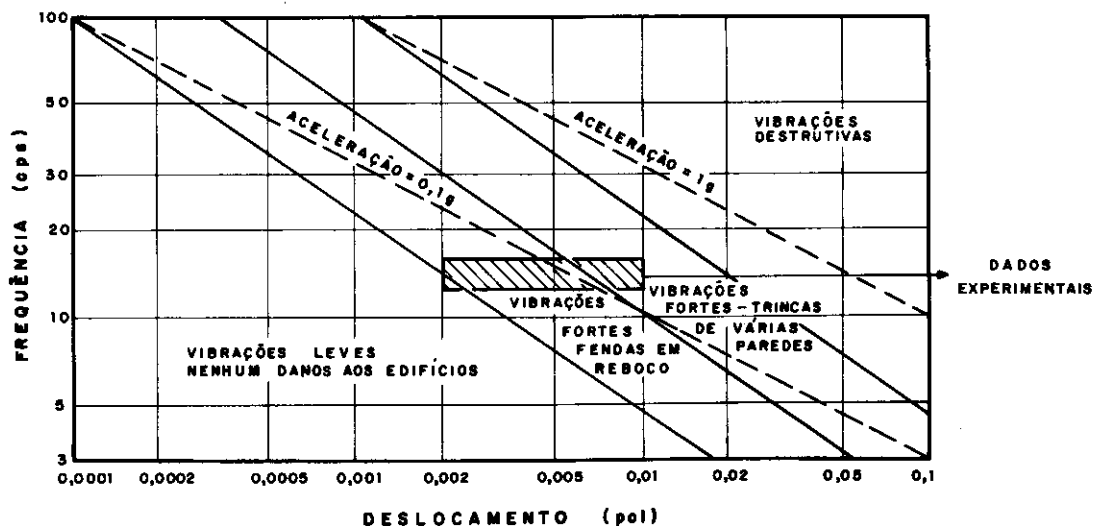


FIG. 5 - ESCALA REIHER-MEISTER



CORRELAÇÃO OBJETIVA-SUBJETIVA PARA VIBRAÇÕES

FIG. 6 - CRITÉRIOS DE ROBERTS

VI — ENSAIOS REALIZADOS

Foram captadas vibrações oriundas de fogos experimentais e fogos de desmonte reais, através de um sismógrafo de engenharia dotado de geofones triortogonais, que permite discernir sobre as vibrações longitudinais, verticais e transversais que percorrem o terreno. Os geofones eram colocados nas próprias estruturas a serem protegidas e no maciço próximo a essas estruturas.

As freqüências de vibração das ondas longitudinais, verticais e transversais que percorrem o maciço, apresentaram ordens de grandeza de 15 cps. Tais freqüências mostram que houve uma influência predominante da camada de solo nas características do movimento vibratório que se propaga no maciço. Em virtude da constatação dessas baixas freqüências, tornou-se necessário analisar detalhadamente a amplitude da vibração que atinge as estruturas e a eventual possibilidade de ressonância, em virtude das freqüências fundamentais de vibração das estruturas geralmente serem baixas.

A tabela 4 apresenta alguns dos valores obtidos nos ensaios «in situ» realizados.

VII — CONCLUSÕES GERAIS

Um esquema de fogo bastante elaborado, com a previsão de execução de linhas de pré-fissuramento nas paredes laterais da valeta, foi posto em prática no local.

A análise dos dados obtidos «in situ», após aplicação do critério de Medvedev, para uma velocidade de vibração limite de 3,0 cm/s, levou a recomendar as seguintes cargas máximas por espera, quando as estruturas a serem protegidas estivessem a menos de 20 m do desmonte:

- em fogos de contorno: 1,7 kg de gelatina especial 60%;
- em fogos de desmonte: 2,1 kg de gelatina especial 60% de força.

Para distâncias superiores a 15 m, a relação carga-distância igual a 0,25 poderia ser utilizada.

Os retardos a serem utilizados a fim de se evitar fenômenos de ressonância nos muros e residências, teriam tempos de esperas superiores a 100 ms. A camada de solo funcionava realmente como um filtro de baixa freqüência, notando-se ainda que o fenômeno de ressonância no interior dessa camada, conforme apresentado por Moraes Fernandes (1973), não causaria problemas às estruturas.

A análise desses mesmos dados obtidos, quanto ao problema de poluição sonora, mostra que, segundo a norma DIN-4150 (da ordem de 30 pal), ou que segundo o critério objetivo-subjetivo de Roberts (fig. 4), o nível de vibrações é desagradável a pessoas.

No entanto, o simples lançamento de uma camada de argila de alguns centímetros de espessura sobre os cordéis, diminuiu em muito o ruído do sopro da explosão, reduzindo-o a níveis bastante aceitáveis para o problema.

Quanto ao lançamento de fragmentos, vigas de madeira apoiadas em travessas das valetas, com cabos de aço frouxamente entrelaçados entre elas, proveram um anteparo «deformável» para os mesmos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo — SABESP, pela autorização de apresentação destes dados e à Triton-Serviços Especializados e Comércio Ltda., pela cooperação na realização dos ensaios.

BIBLIOGRAFIA

- ALBUQUERQUE MARANHÃO, L. O. — Sistema Adutor Metropolitano — Assentamento da tubulação de aço — XIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária — 1972 — Assunção, Paraguai.
- CRANDELL, F. J. — «Ground Vibrations due to Blasting and its Effect upon Structures». Journal of the Houston Soc. Civ. Eng., pg. 222-245 — abril, 1949.

- DEVINE, J. F. — «Avoiding Damage to Residences from Blasting Vibrations». Highway Research Board 135, pg. 35 — 1966.
- DUVALL, W. I. & FOGELSON, D. E. — «Review of Criteria for Estimating Damage to Residences from Blasting Vibrations». Bur. of Mines Rept. of Inv. 5968, pg. 19 — 1962.
- EDWARDS, A. T. & NORTHWOOD, T. D. — «Experimental Blasting Studies Hydro Electric Power Comission» — Ontário, 1959.
- FERREIRA, P.; PUPO, G. & RODRIGUES, R. — «Sistema Adutor Metropolitano — Geotécnica — XIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária — Assunção — Paraguai, 1972.
- LANGFORS, U.; KIHSTROM, B. & WESTERBURG, H. — «Ground Vibrations in Blasting». Water Power, pg. 335-338, 390-395, 421-424 — fevereiro, 1958.
- MEDVEDEV, S. V. — «Evaluation of Seismic Safety During Blasting Operations in Mines». Bulletin of the Earthquake Research Institute — Vol. 46, pg. 687-698 — 1968.
- ROBERTS, A. — «Ground Vibrations Due to Quarry Blasting and Other Sources — an Environmental Factor» 12th Symposium on Rock Mechanics — pg. 427-458 — Missouri, 1970.
- MORAES FERNANDES, C. E. — «Estabilidade de capas sobre rocha nas encostas sob solicitação dinâmica» — IX Seminário Nacional de Grandes Barragens — Vol. I, 1973.