

CORRELAÇÕES ESTATÍSTICAS E CONTRÔLE DE QUALIDADE DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO NO AMOSTRADOR MOHR — GEOTÉCNICA

Victor F. B. de Mello
Diretor de Serviços

Evelyna Bloem Souto Silveira
Engenheiro Chefe, Setor de Estatística e Pesquisa

Geotécnica S. A., Engenheiros Consultores

SUMÁRIO

O amostrador Mohr-Geotécnica vem sendo usado há alguns anos em sondagens de percussão, para avaliar o grau de compactidade ou consistência do solo, fornecendo concomitantemente amostras para ensaio; essa compactidade é referida ao número de golpes necessários à cravação do amostrador padrão de 0 a 30 cm: registram-se sempre, porém, os golpes correspondentes à penetração de cada 15 cm do total de 45 cm cravados. Publicações diversas indicariam a possibilidade de se obterem resultados viciados no trecho inicial da penetração do amostrador, o que motivou a investigação ora referida. Com o acervo de experiência acumulado em mais de 10000 sondagens desse tipo, utilizadas na solução de problemas de fundação, foram realizadas análises estatísticas, sendo estabelecidas correlações que ligam o número de golpes necessários à penetração dos primeiros 30 cm com os números de golpes correspondentes aos 30 cm seguintes aos primeiros 15 cm. As correlações foram estabelecidas separadamente levando em conta a influência do tipo de solo, da água, da técnica da operação, da profundidade, do tipo de abertura do furo e do comprimento da amostra retirada. Baseado nas correlações estabelecidas, foi desenvolvido um sistema de controle de qualidade dos resultados obtidos nas sondagens, sendo preparado um gráfico que permite à Geotécnica avaliar a precisão dos valores determinados com seu amostrador, exercendo dessa forma uma fiscalização adicional do trabalho de seus operários.

SUMMARY

The Mohr-Geotécnica split sampler is being used for several years in reconnaissance borings for evaluation of the density or consistency of the soils represented by the respective dry samples; the corresponding penetration resistance index is based on the number of blows required to drive the sampler 12 inches into

the soil; however, the number of blows are always recorded separately for every 6 inches of the total of 18 inches commonly driven. Various publications refer to the possibility that the initial penetration of drive samplers may furnish incorrect indications; this motivated the present investigation. With the wealth of experience acquired in connection with the penetration index from more than 10000 borings utilized in the solution of foundation problems, statistical analyses have been used to establish correlations between that penetration index and one corresponding to the final 12 inches of penetration. The correlation was investigated separately considering the influence of the soil type, ground-water, boring technique, depth, method of perforation, and length of sample obtained. On the basis of the correlations established a method of quality control has been developed by means of which additional office control can be exercised by Geotécnica in the work reported by its boring crews.

I — INTRODUÇÃO

A sondagem de reconhecimento com medida de resistência à penetração é um método de exploração do subsolo, destinado a avaliar o seu grau de compactidade ou consistência. O método de execução é de conhecimento geral, dispensando sua descrição no presente.

O amostrador utilizado no processo, além de determinar a resistência à penetração, tem a vantagem de fornecer concomitantemente, para certos ensaios, uma amostra representativa, embora deformada. Possibilita portanto a fixação do tipo de solo através de ensaios de granulometria e limites, e a avaliação de seu comportamento por correlações empíricas.

Evidentemente, qualquer amostrador e equipamento padrão, associado a um processo padronizado de ensaio, poderá ser utilizado: o valor de um determinado amostrador, quer como sistema de medida de certas propriedades do solo, quer como conhecimento destinado a uma eventual padronização de um equipamento universal, é fixado em função do acervo de correlações estabelecido. Tal assunto vem sendo atualmente estudado, com interesse, sob os auspícios de uma Comissão Internacional de Mecânica dos Solos, motivo pelo qual aqui apresentamos um primeiro resumo da experiência que possuímos, em mais de 10.000 sondagens utilizadas na solução de problemas de fundação.

A Geotécnica vem utilizando dois tipos diferentes de sondagens, escolhidos em cada caso pelo tipo de amostra que necessita retirar. Nas sondagens com amostrador de 1 1/8" de diâmetro externo e 1" de diâmetro interno (amostrador Mohr-Geotécnica, introduzido em primeiro lugar (3)*, a medida de resistência à penetração é dada

(*) Os números entre parêntesis referem-se a trabalhos apresentados na bibliografia anexa.

pelo número de golpes necessários à penetração dos primeiros 30 cm do amostrador, produzidos pela queda de um pêso de 65 kg da altura de 0,75 cm. Nas sondagens com amostrador análogo, mas de 2" de diâmetro externo e 1 3/8" de diâmetro interno, a medida da resistência à penetração é dada pelo número de golpes necessários à penetração do amostrador dos 30 cm seguintes aos primeiros 15 cm penetrados, sendo pêso e altura de queda idênticos ao anterior: é o método introduzido pela Raymond Concrete Pile e adotado por Terzaghi, com a denominação de Standard Penetration Test (S.P.T.)*.

O amostrador Mohr-Geotécnica foi padronizado em 1944 em todos os detalhes de seus equipamentos, que vêm desde então sendo objeto de estudos e observações, e estão pormenorizadamente descritos em trabalho recente (9). Seu emprêgo está associado a uma experiência inestimavelmente valiosa, apresentando concomitantemente vantagens de ordem econômica e técnica, tais como a possibilidade de ser empregado dentro de revestimento de 2" ou 2 1/2", obviando neste último caso as dificuldades do atrito em furos profundos.

Em vista da consideração indicada em publicações diversas, de que a abertura do furo possa introduzir na resistência à penetração influências essencialmente variáveis, difíceis de serem eliminadas e por enquanto inavaliáveis na prática, aproveitamos a circunstância de que são anotados, nas sondagens, os números de golpes correspondentes à penetração de cada 15 dos 45 cm penetrados, a fim de estabelecer correlações que nos permitem avaliar essas influências, bem como as de diversos outros fatores. Foram também estabelecidas correlações preliminares entre os índices de resistência à penetração nos dois tipos de amostradores.

Ao mesmo tempo, foi possível desenvolver um sistema de controle de qualidade dos resultados obtidos, a fim de aplicar, também no setor de sondagens, os critérios utilizados nos demais ramos da engenharia em que a dispersão dos resultados provém em parte de equipamentos de trabalho e do pessoal técnico que o realiza.

II — INFLUÊNCIA DO TIPO DE SOLO

Estudamos separadamente os grupos constantes da tabela I, visando considerar a influência exercida na medida da resistência à penetração por êsse fator.

Chamamos:

RPI = soma dos números de golpes correspondentes ao 1.º + 2.º 15 cm de penetração;

RPF = soma dos números de golpes correspondentes ao 2.º + 3.º 15 cm de penetração.

(*) Esse método não foi padronizado em todos os seus pormenores; está atualmente sendo empregado com equipamentos um tanto diferentes, nos diversos lugares em que tem sido adotado.

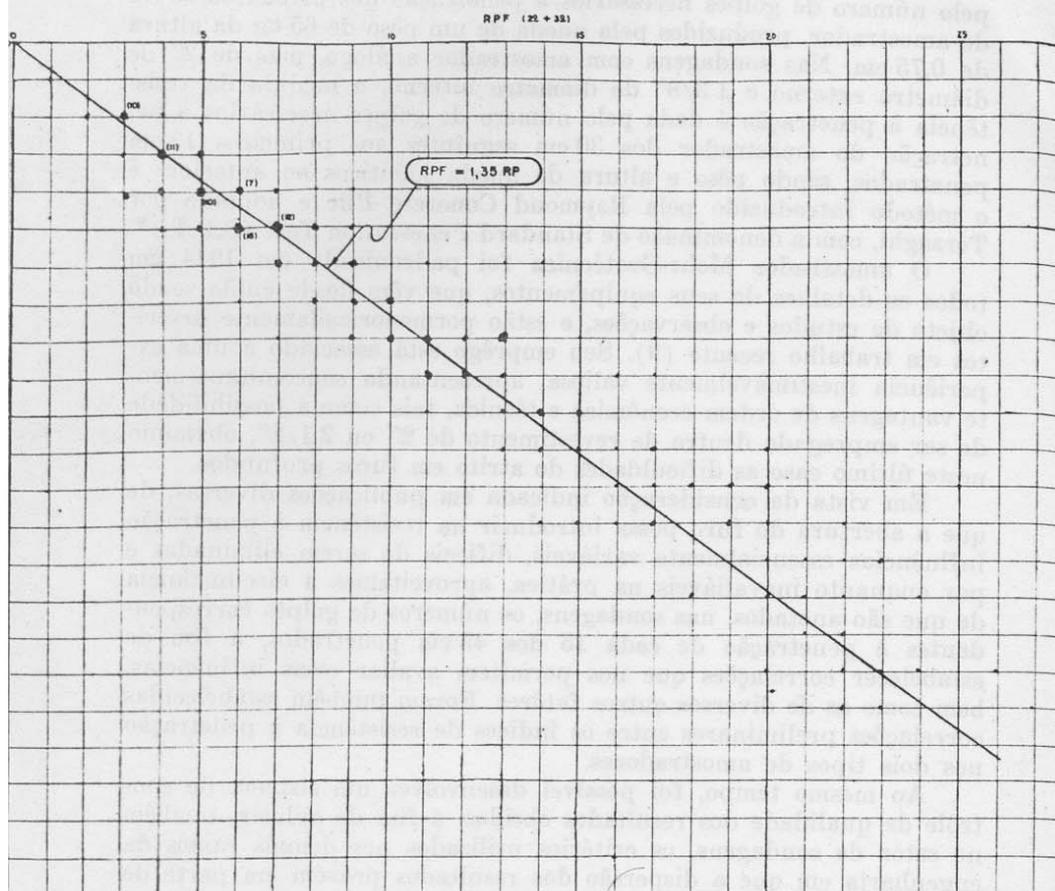


FIG. I — VALORES DE $RPF = f(RPI)$ PARA O GRUPO I (251 VALORES)

Colocando em gráfico 251 valores de RPI e RPF correspondentes à argila siltosa (grupo 1) abaixo do $N.A.$, os pontos se distribuíram de forma que evidencia claramente ser linear o tipo de regressão aplicável ao caso (fig. 1).

Transcrevemos na tabela II e fig. II as equações que ligam RPI a RPF e suas respectivas retas, calculadas estatisticamente com 1705 dados de sondagens realizadas em 1958 e fins de 1957. A análise de variância indicou ser altamente significativa a regressão, demonstrando a existência de dependência entre RPI e RPF , fato este perfeitamente dedutível do gráfico. A tabela III reproduz a análise de variância construída.

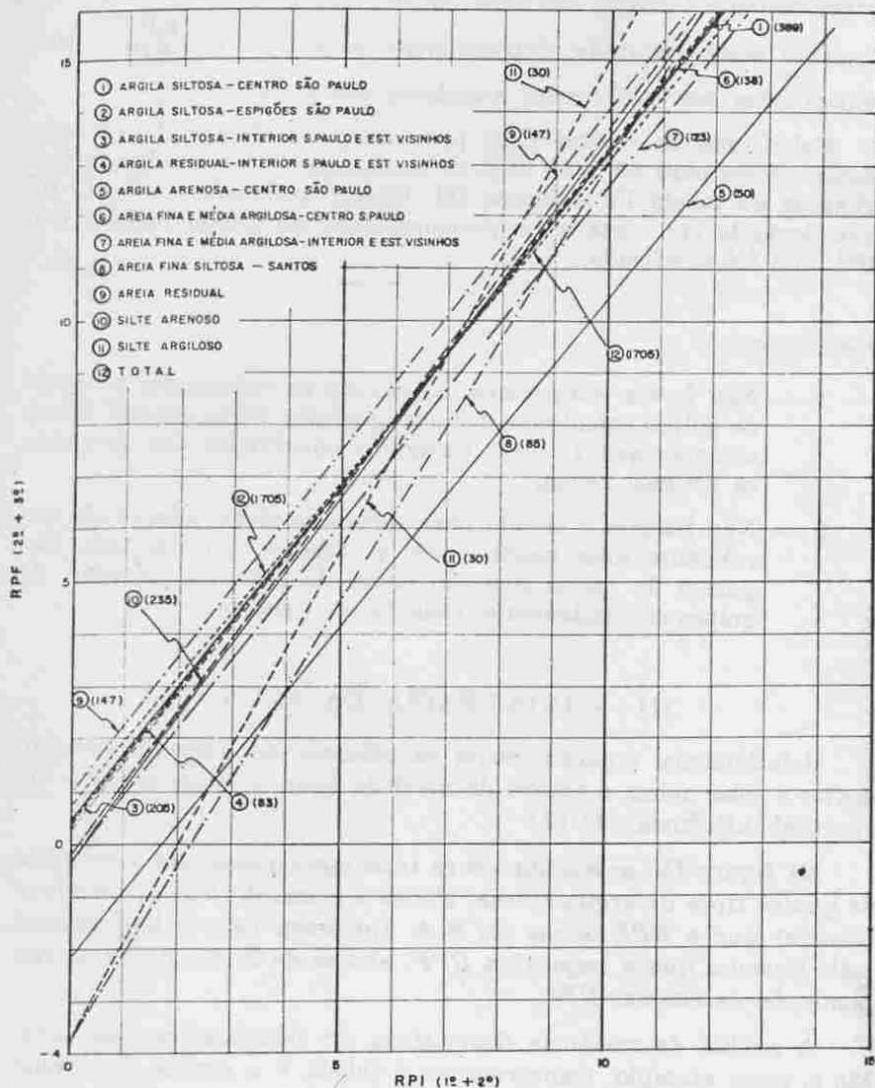


FIG. II - EQUAÇÕES DE RPF = f(RPI) - (AMOSTRADOR MOHR - GEOTÉCNICA)

Levando em conta que teoricamente as retas deveriam passar pela origem, estudamos estatisticamente os seus intervalos de confiança e verificamos que, com exceção dos solos de grupos 5, 8 e 11 (de que devemos salientar que dispomos de pequeno número de dados em relação aos demais grupos), com um intervalo de confiança de 95%, as retas, inclusive a do valor médio, incluem o ponto

correspondente à origem dos eixos, de acôrdo com a suposição teórica. Baseados neste resultado, determinamos os valores de $\frac{RPF}{RPI}$, correspondentes aos coeficientes angulares das retas teóricas.

Calculamos os valores mais prováveis, e as faixas de variação destes valores para 80, 90 e 95% de confiança. Os resultados obtidos acham-se na tabela IV e figura III. Observamos que o cálculo foi feito, levando em conta a proporcionalidade do desvio padrão com RPI , que foi verificada.

Observações:

- 1 — Não foram computados no cálculo os valores dos números de golpes calculados por extrapolação, tanto quando foram menores que 1, como quando o amostrador não penetrou os últimos 15 cm.
- 2 — Não fizemos o estudo para solos orgânicos, porque são geralmente solos muito moles a moles e, por isso, não dispomos de dados nem de meios de obter os números de golpes separadamente, cada 15 cm (obs. 1).

III — INFLUÊNCIA DA ÁGUA

Relacionamos separadamente os números de golpes correspondentes a solos acima e abaixo do nível da água, visando estudar sua eventual influência. (1) (2)

Na figura IV, apresentamos as retas correspondentes à equações de quatro tipos de argila siltosa, abaixo e acima do *N.A.*, podendo-se observar que a RPF acima do *N.A.* apresenta valores ligeiramente mais elevados que a respectiva RPF , abaixo do *N.A.*, ambas correspondentes às mesmas RPI .

A análise de variância demonstrou ser significativa essa variação e, como exemplo, transcrevemos à tabela V a análise de variância para o grupo 2. Concluimos dessa análise que, embora sejam paralelas, as retas não coincidem. Entretanto, visto ser bastante pequena a diferença, e para os fins a que temos em vista, podemos reunir os dois casos sob a mesma lei.

Apresentamos na figura V o valor mais provável da variação do RPF com RPI , para solos acima e abaixo do *N.A.*, e o valor médio geral, com faixas de variação desse valor, para 95% de confiança, calculados sob a forma de coeficientes angulares, como no parágrafo 2. De um modo geral, observamos que $\frac{RPF}{RPI}$ acima

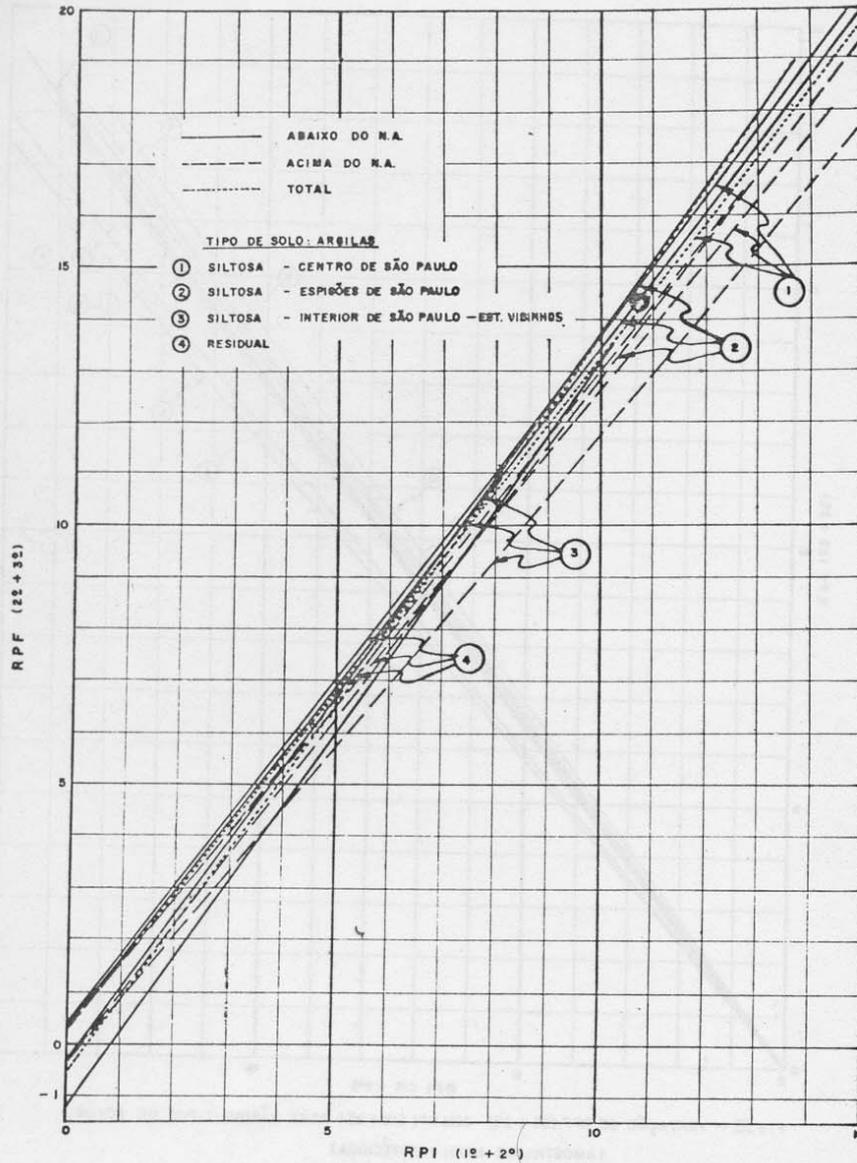


FIG.IV- VARIAÇÃO DE RPF(2σ+3σ) COM RPI (1σ+2σ) ACIMA E ABAIXO DO N.A.
(AMOSTRADOR MOHR - GEOTÉCNICA)

IV — INFLUÊNCIA DA TÉCNICA DE PERFURAÇÃO

Estudamos a influência do método de abertura do furo, por trado em espiral ou com circulação de água, para o que estabelecemos a análise de variância da tabela VI, que revelou não ser significativa essa variação.

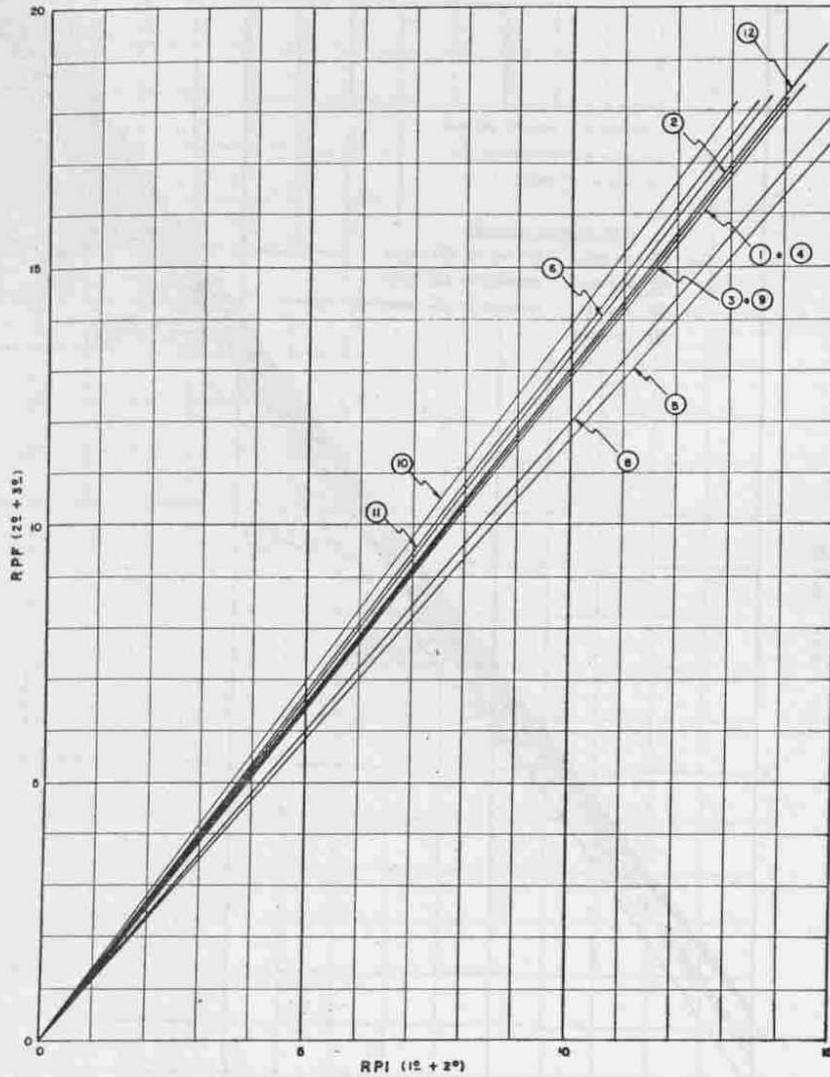


FIG. III - VARIACÃO DE RPF (25 + 35) COM RPI (15 + 25) PARA VÁRIOS TIPOS DE SOLOS.
(AMOSTRADOR MORH-GEOTÉCNICA)

do $N.A.$ é ligeiramente maior que $\frac{RPF}{RPI}$ abaixo do $N.A.$, o que está de acordo com a hipótese de que o alívio de tensões e amolecimento produzem uma diminuição do número de golpes nos primeiros 15 cm.

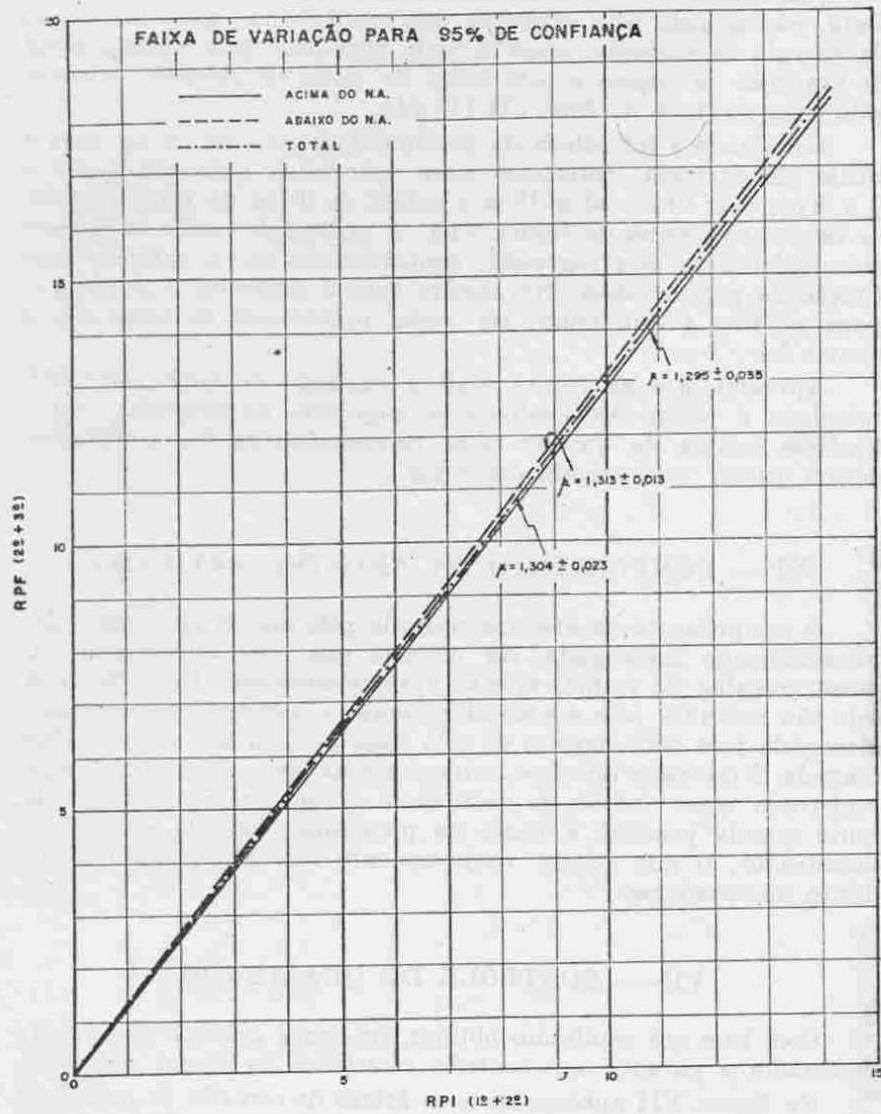


FIG. V — VARIAÇÃO DE RPF (20 + 30) COM RPI (10 + 20) PARA OS SOLOS ACIMA E ABAIXO DO N.A. — (AMSTRADOR MOHR - GEOTÉCNICA)

V — INFLUÊNCIA DA PROFUNDIDADE

Procuramos estudar a influência da profundidade, que se manifesta, não só pelo pêso crescente das hasteis, como pela diminuição da energia de cravação, como se pode visualizar pela equação geral de cravação de estacas e pelo bulbo de alívio de pressões, introduzido pela abertura do furo. (1) (3) (4)

Estudando a influência da profundidade no caso de um solo, a título de exemplo, obtivemos para intervalos correspondentes a 0 a 5 m; 5 a 10 m; 10 a 15 m e acima de 15 m de profundidade, os valores constantes da figura VIA. A análise de variância indicou ser significativa essa regressão, demonstrando ser a variação uma função da profundidade. Novamente aqui a diferença é pequena e, para os fins a que temos em vista, reuniremos os casos sob a mesma lei.

Apresentamos na figura VIB a variação de *RPF* com *RPI*, calculada a partir dos coeficientes angulares estabelecidos com a hipótese teórica de que as retas representativas das correlações devam passar pela origem dos eixos.

VI — COMPRIMENTO DA AMOSTRA RETIRADA

O comprimento da amostra retirada pelo amostrador está sendo presentemente investigado. Na maioria dos solos encontrados em nosso trabalho de rotina, apenas aproximadamente 15 a 35 cm de solo são retirados pelo amostrador, sendo a subsequente penetração alcançada pelo deslocamento do solo como se uma barra sólida fôsse cravada. É do maior interesse, evidentemente, que o número de golpes registrado como índice de resistência à penetração corresponda, tanto quanto possível, à parte da penetração do solo retirado no amostrador, q que requer reajustamento das dimensões internas destes amostradores.

VII — CONTRÔLE DE QUALIDADE

Com base nos resultados obtidos, traçamos gráficos de controle, destinados a garantir um controle estatístico de nossas sondagens.

Na figura VII apresentamos as faixas de controle de qualidade, designadas por zonas 1, 2 e 3. O critério adotado para sua aplicabilidade é o seguinte: os valores que estão na zona 2 são abandonados, na classificação da consistência ou compacidade do solo; o aparecimento de alguns valores na zona 3 serve de advertência quanto à qualidade dos equipamentos ou operador, devendo ser procurada a fonte dessa variabilidade. Tal gráfico de controle de qualidade (fig. VII) tem sido usado com muitos bons resultados: assim, tem sido possível descobrir condições insuspeitáveis de mudança

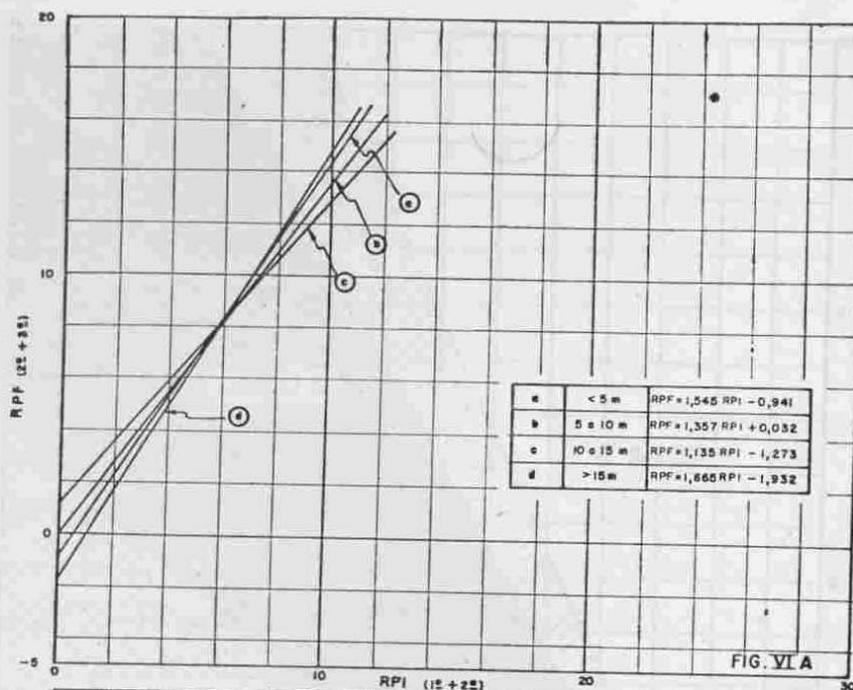


FIG. VI A

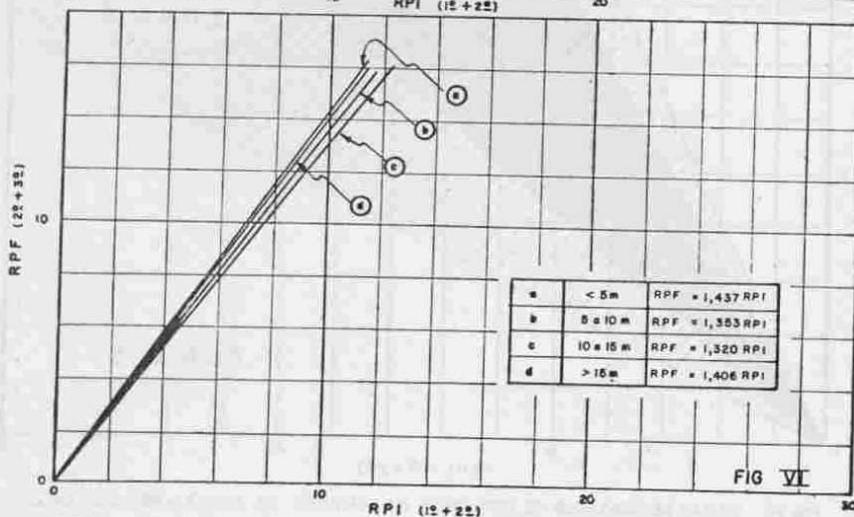


FIG. VI

FIG. VI - VARIAÇÃO DE RPF: f (RPI) COM A PROFUNDIDADE (AMOSTRADOR MOHR - GEOTÉCNICA)

repentina de camadas, danos ou deterioração do equipamento (amostrador ou pêso de bater), ou erro sistemático introduzido no processo por um afastamento temporário, por parte dos técnicos, das normas de trabalho exigidas.

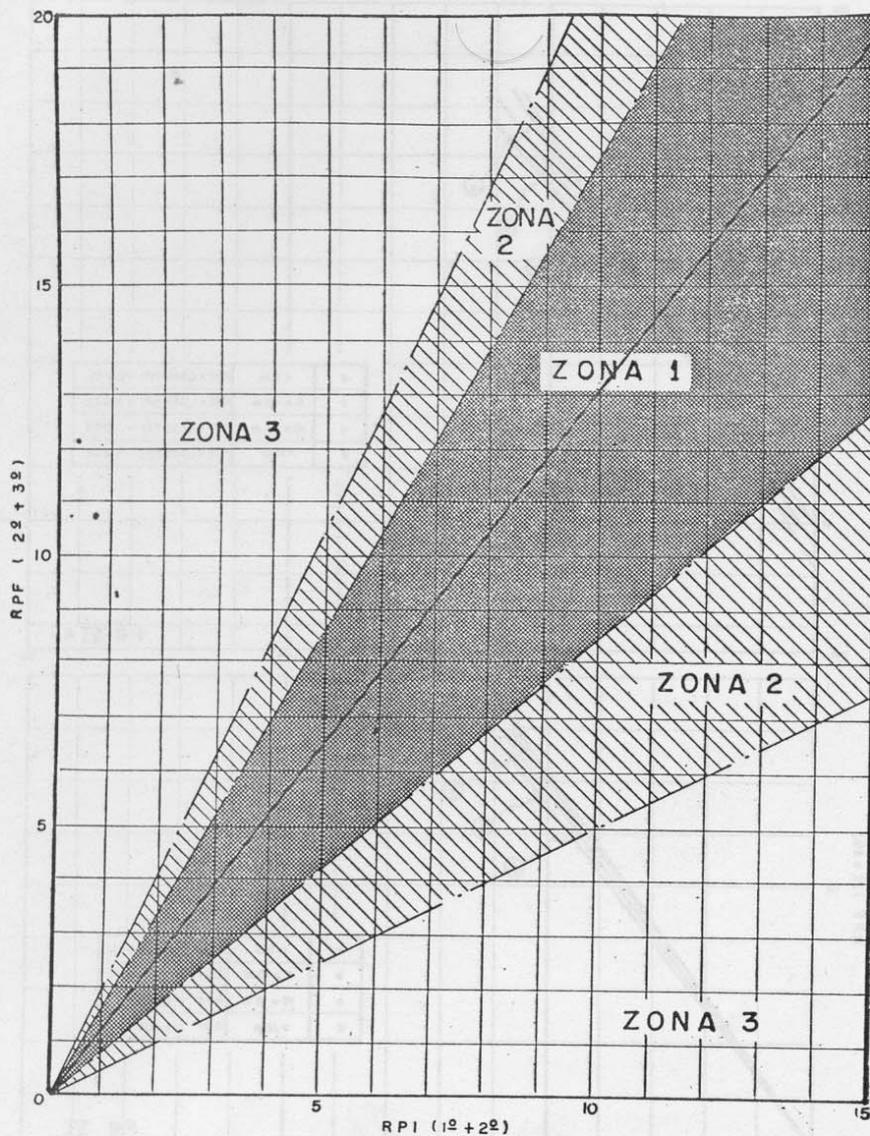


FIG. VII FAIXAS DE CONTROLE DE QUALIDADE NA VARIAÇÃO DE $RPI (1\sigma + 2\sigma)$ COM $RPF(2\sigma + 3\sigma)$
(AMOSTRADOR MOHR-GEOTÉCNICA)

CHAVE

-  SATISFATÓRIO
-  DUVIDOSO
-  RECUSÁVEL

VIII — CORRELAÇÕES ENTRE RPI E SPT

Exemplo de aplicação a uma areia média e grossa, em um estudo de rotina. Tendo a Geotécnica realizado um certo número de sondagens com os dois tipos de amostradores em extensa área de Minas Gerais, procuramos correlacionar estatisticamente determinados valores de *RPI* (Índice de Resistência à Penetração) e *SPT* (Standard Penetration Test).

Levamos primeiramente a um gráfico (fig. VIII) os pares de valores obtidos em sondagens de 2" e 2 1/2" de tubo de revestimento, realizadas em posições relativamente próximas (da ordem de 40 m), atravessando as mesmas camadas de areia situadas à mesma cota, e à mesma profundidade; contava-se desta forma poder reduzir ao mínimo a heterogeneidade de valores, por uma criteriosa seleção dos dados dentre os disponíveis, consideradas tôdas as sondagens realizadas. Observamos nessa figura que os pontos se distribuem com grande irregularidade, sendo difícil podermos concluir até mesmo uma tendência de uma lei que ligasse *RPI* a *SPT*, o que estaria em desacôrdo, não só com a observação anterior, como com as conclusões lógicas fornecidas pelo conhecimento teórico do assunto.

Tal irregularidade de valores se explica pela consideração de que as amostras que serviriam de base ao estudo não são homogêneas, devido à natural heterogeneidade do solo, não só no sentido vertical (cuja influência procuramos eliminar, tomando amostras situadas à mesma cota e à mesma profundidade), como no sentido horizontal, influência esta a maior responsável pela heterogeneidade de valores obtida.

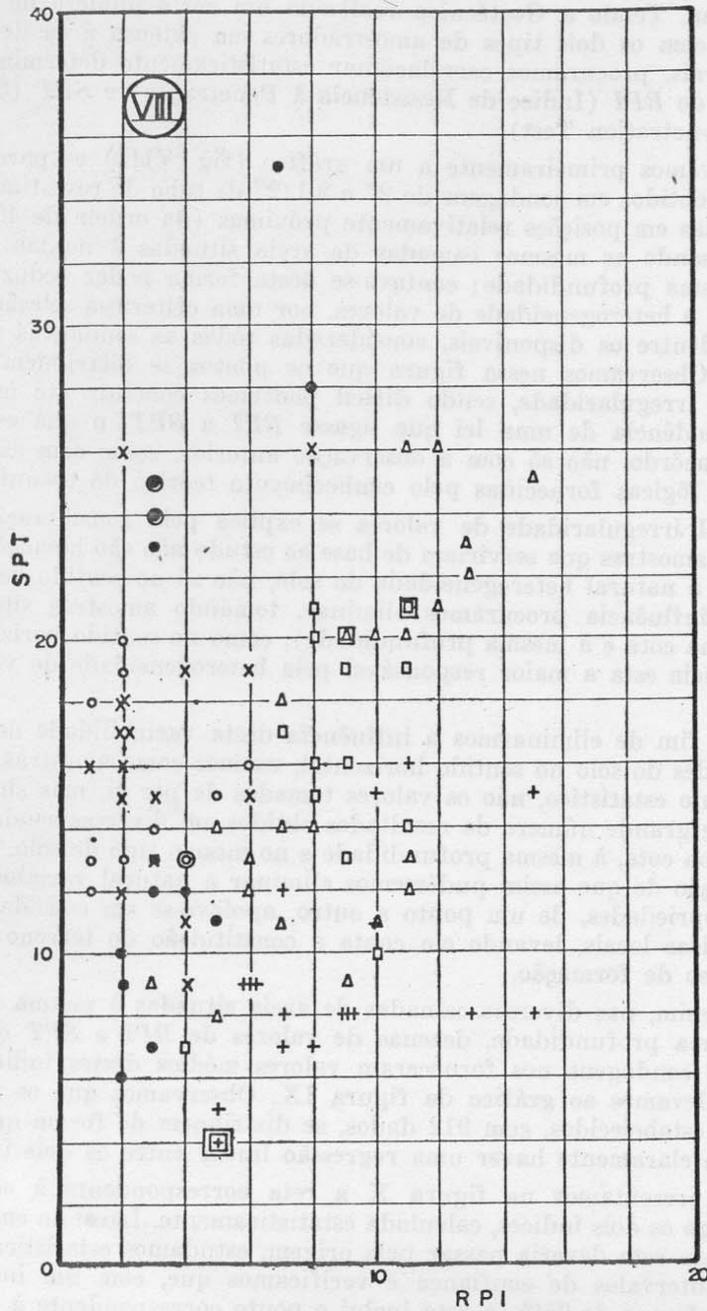
A fim de eliminarmos a influência desta variabilidade de propriedades do solo no sentido horizontal, usamos como amostras, para o cálculo estatístico, não os valores tomados de per si, mas sim médias de grande número de resultados obtidos em diversas sondagens, à mesma cota, à mesma profundidade e no mesmo tipo de solo. Nossa suposição de que assim pudéssemos eliminar a natural variabilidade de propriedades, de um ponto a outro, apoiava-se em considerações geológicas locais, levando em conta a constituição do terreno e seu processo de formação.

Assim, nas diversas camadas de areia situadas à mesma cota e à mesma profundidade, dezenas de valores de *RPI* e *SPT* obtidos em 42 sondagens nos forneceram valores médios destes índices, os quais levamos ao gráfico da figura IX. Observamos que os pontos assim estabelecidos, com 912 dados, se distribuem de forma que evidencia claramente haver uma regressão linear entre os dois índices.

Apresentamos na figura X a reta correspondente à equação que liga os dois índices, calculada estatisticamente. Levando em conta que essa reta deveria passar pela origem, estudamos estatisticamente seus intervalos de confiança e verificamos que, com um intervalo de confiança de 95%, a reta inclui o ponto correspondente à origem

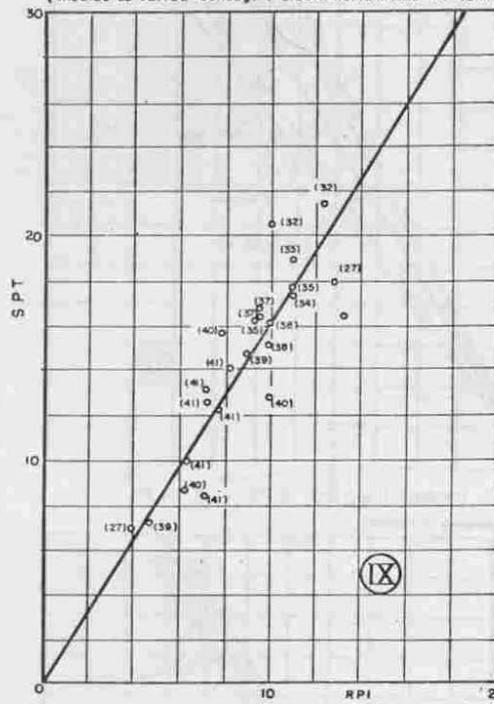
CORRELAÇÃO ENTRE RPI e SPT

(Sondagens com afastamento médio de 40 m.)



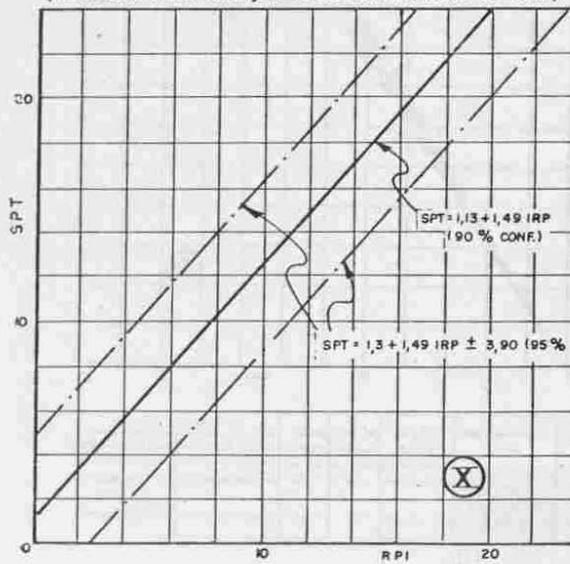
CORRELAÇÃO ENTRE RPI e SPT

(médias de várias sondagens afastamento médio de 40 m.)



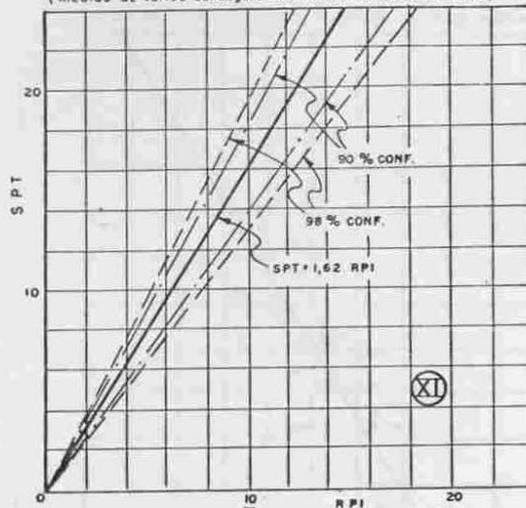
CORRELAÇÃO SPT = f(RPI)

(médias de varias sondagens de afastamento médio de 40 m)



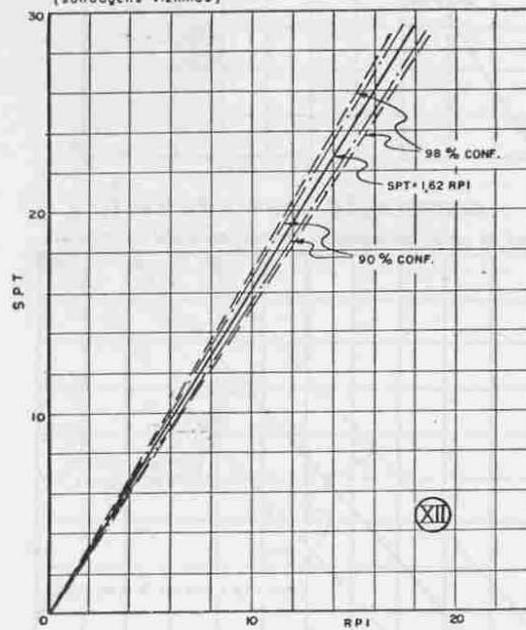
CORRELAÇÃO SPT = k. RPI

(médias de varias sondagens de afastamento médio de 40m.)



CORRELAÇÃO SPT = k RPI

(sondagens vizinhas)



ESTUDO Nº	ESPECIFICAÇÃO DOS DADOS	EQUAÇÃO MÉDIA	Nº DE VALORES	DESVIO PADRÃO	INTERVALO DE VARIAÇÃO	
					98 % DE CONFIANÇA	90 % DE CONFIANÇA
XI	FAZES DE MÉDIAS DE 14 GRUPOS NÚMERO DE SONDAJENS	$SPT = 1,62 RPI$	912	1,40	$SPT = 1,62 \pm 0,33 RPI$	$SPT = 1,62 \pm 0,25 RPI$
XII	FAZES DE VALORES INDIVIDUAIS DE SONDAJENS VIZINHAS	$SPT = 1,62 RPI$	237	0,54	$SPT = 1,62 \pm 0,09 RPI$	$SPT = 1,62 \pm 0,04 RPI$

dos eixos, de acôrdo com o que nos indicam as considerações teóricas. Estabelecemos então os valores de $\frac{SPT}{RPI}$, correspondentes aos valores médios do coeficiente angular da reta teórica. Calculamos a seguir o valor mais provável e a faixa de variação dêste valor, para 90 e 98 de confiança, e apresentamos na figura XI os resultados obtidos.

Sendo entretanto realizadas mais diversas sondagens, desta vez feitas lado a lado com os dois tipos de amostrador, refizemos o estudo estatístico para os novos pares de valores, obtendo o gráfico da figura XII, em que observamos grande coincidência com o da figura IX, apresentando praticamente a mesma média e desvio padrão ainda menor.

CONCLUSÕES

- a) É perfeitamente válido o emprêgo dos primeiros 30 cm para medir o índice de resistência à penetração e, até certo ponto, melhor, em vista do comprimento da amostra retirada.
- b) As correlações estabelecidas entre os primeiros e os últimos 30 cm dos 45 cm penetrados permitiram estabelecer um sistema de contrôle de qualidade que está sendo empregado com grande sucesso há certo tempo, tendo permitido evidenciar transições bruscas de camadas, danos no equipamento, falhas do operador etc.

BIBLIOGRAFIA

- 1 — GIBBS & HOLTZ — Research on determining the density of sands by spoon penetration test — 4th Int. Congress — 1957 (London).
- 2 — MEYERHOFF — Journal of A. S. C. E. — vol. 82 January 1956.
- 3 — OTHELO MACHADO & CARLOS MAGALHÃES — A resistência à penetração na fixação das taxas admissíveis dos terrenos de fundação — Revista "Engenharia" Março, 1955.
- 4 — PALMER & STEWART — 4th Int. Congress — 1957 (London).
- 5 — TERZAGHI & PECK — Soil Mechanics in Engineering Practice — 1948.
- 6 — W. S. HOUSEL — Field Laboratory Determinations of the Bearing Capacity of Hardpans for Design of Deep Foundations — ASTM, 1956.
- 7 — FRANCISCO ZAPATA TEJEDOR — Los Ensayos de Penetración y la Formula de la Jefatura de Sondeos — Revista de Obras Públicas, Madrid, Mayo 1958.
- 8 — EUFEMIANO DIAS — Alguns dados sôbre a classificação das areias baseados em ensaios de penetração — LNEC — Abril 1957.
- 9 — VICTOR F. B. DE MELLO & CARLOS MAGALHÃES — Reconhecimento do subsolo para fundações de edifícios — Técnica 1958 — Separata.
- 10 — RUY AGUIAR DA SILVA LEME — Curso de Estatística — Escola Politécnica da U. S. P. — Vol. I e II — 1958.

TABELA I
Tipos de Solos Considerados no Trabalho

Grupo	Tipo de Solo	Côr	Local
1	Argila siltosa plástica preconsolidada, inativa	variegada	Centro de São Paulo
2	Argila siltosa, porosa e friável	vermelha	Espigões de São Paulo
3	Argila siltosa, residual, porosa, friável	vermelha e marrom	Interior de São Paulo e estados vizinhos
4	Argila siltosa residual (decomposição de gneiss)	variegada	Interior de São Paulo e estados vizinhos
5	Argila arenosa (terciária)	variegada	Centro de São Paulo
6	Areia fina e média, argilosa	amarela e cinza	Centro de São Paulo
7	Areia fina e média, argilosa	vermelha ou marrom	Interior de São Paulo e estados vizinhos
8	Areia fina uniforme $0,1 < \phi < 0,2$ mm	cinza	Santos
9	Areia grossa a fina, pouco siltosa e argilosa (solo res. de decomp. de gneiss e granito)	variegada	Interior de São Paulo e estados vizinhos
10	Silte arenoso (dec. de micaxisto)	variegada	Interior de São Paulo e estados vizinhos
11	Silte argiloso (dec. madura de micaxisto)	variegada	Interior de São Paulo e estados vizinhos

TABELA II
Equações de $RPF = f(RPI)$ (Amostrador Mohr-Geotécnica)

	Abaixo do $N.A.$	Acima do $N.A.$	Total
1	$RPF = 1,325 RPI + 0,435$	$RPF = 1,212 RPI + 0,417$	$RPF = 1,288 RPI + 0,406$
2	$RPF = 1,469 RPI - 1,155$	$RPF = 1,307 RPI - 0,206$	$RPF = 1,421 RPI - 0,425$
3	$RPF = 1,340 RPI + 0,483$	$RPF = 1,209 RPI - 0,326$	$RPF = 1,267 RPI + 0,345$
4	$RPF = 1,356 RPI - 0,294$	$RPF = 1,250 RPI + 0,207$	$RPF = 1,254 RPI + 0,170$
5	$RPF = 1,810 RPI - 3,146$	$RPF = 1,190 RPI - 1,307$	$RPF = 1,269 RPI - 2,254$
6	$RPF = 1,302 RPI - 0,008$	$RPF = 1,218 RPI + 0,921$	$RPF = 1,274 RPI - 0,335$
7	$RPF = 1,228 RPI + 0,132$	$RPF = 1,300 RPI - 0,933$	$RPF = 1,269 RPI - 449$
8	$RPF = 1,741 RPI - 3,936$	—	$RPF = 1,741 RPI - 3,936$
9	$RPF = 1,073 RPI + 1,932$	$RPF = 0,731 RPI + 7,046$	$RPF = 0,871 RPI + 1,546$
10	$RPF = 1,299 RPI - 1,041$	$RPF = 1,470 RPI - 1,152$	$RPF = 1,405 RPI - 0,268$
11	$RPF = 1,852 RPI - 3,936$	—	$RPF = 1,852 RPI - 3,936$
Total Geral: $RPF = 1,236 RPI + 0,666$			

TABELA III
Análise de Variância

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Variância	F
Devido à regressão	79.667	1	79.667	
Sôbre a regressão	36.763	1.703	21.587	3.690
TOTAL	116.430	1.704		

$$3.690 \gg 2,99^* \quad RPF = f(RPI)$$

(*) $2,99 = F_p$ (com 5% de nível de significância).

TABELA IV
Coeficientes angulares das retas $RPF = f(RPI)$

Grupo	80% de confiança	90% de confiança	95% de confiança	
1	1,296 ± 0,040	1,296 ± 0,051	1,296 ± 0,061	
2	1,296 ± 0,042	1,305 ± 0,060	1,305 ± 0,072	
3	1,290 ± 0,051	1,301 ± 0,064	1,301 ± 0,062	
4	1,301 ± 0,042	1,290 ± 0,067	1,290 ± 0,080	
5	1,175 ± 0,056	1,175 ± 0,072	1,175 ± 0,087	
6	1,338 ± 0,061	1,338 ± 0,086	1,338 ± 0,103	
7	1,207 ± 0,034	1,207 ± 0,044	1,207 ± 0,052	
8	1,372 ± 0,040	1,372 ± 0,052	1,372 ± 0,063	
9	1,298 ± 0,052	1,298 ± 0,067	1,298 ± 0,080	
10	1,398 ± 0,044	1,398 ± 0,057	1,398 ± 0,069	
11	1,351 ± 0,043	1,351 ± 0,056	1,351 ± 0,068	
Total	Abaixo N.A.	1,295 ± 0,023	1,295 ± 0,030	1,295 ± 0,035
	Acima N.A.	1,313 ± 0,020	1,313 ± 0,025	1,313 ± 0,030
Total Geral		1,304 ± 0,015	1,313 ± 0,020	1,304 ± 0,023

TABELA V

Análise de covariância — argila siltosa

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Grau de liberdade	Quadrado médio
Devido à regressão geral	11,510	1	$S^2 = 11,510$
Distância entre retas	72	1	$s_2^2 = 72$
Diferença de paralelismo	15	1	$s_3^2 = 15$
Resto	1.585	385	$s^2 = 4,117$
TOTAL	13.182	388	33,97

$$F_1 = \frac{72}{4,117} = 17,488$$

$$F = 3,84^{**}$$

$F_2 > F$ — Significativa a distância entre retas.

$$F_2 = \frac{15}{4,117} = 3,643$$

$F_2 < F$ — Não significativa a diferença de paralelismo

(**) 3,84 = F_p (com 5% de nível de significância).

TABELA VI

Análise de covariância

Abertura do furo a trado e com circulação de água.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio
Devido à regressão geral	2.916	1	2.916
Distância entre retas	4	1	4
Diferença de paralelismo	7	1	7
Resto	499	134	3,724
TOTAL	3.426	137	—

$$\frac{4}{3,724} = 1,074 < 3,84$$

$$\frac{7}{3,724} = 1,880 < 3,84$$

Não significativa para 95% de confiança.