

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**LUCAS MACEDO ARANTES
MATHEUS CALIXTO CARNEIRO**

**CRITÉRIOS QUE INTERFEREM NOS RESULTADOS DE
SONDAGENS À PERCURSÃO – TIPO STANDARD
PENETRATION TEST (SPT)**

ANÁPOLIS/GO

2017

**LUCAS MACEDO ARANTES
MATHEUS CALIXTO CARNEIRO**

**CRITÉRIOS QUE INTERFEREM NOS RESULTADOS DE
SONDAGENS À PERCURSÃO – TIPO STANDARD
PENETRATION TEST (SPT)**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: Prof. FABRICIO LEGAL NASCIMENTO

ANÁPOLIS/GO: 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

ARANTES, LUCAS MACEDO
CARNEIRO, MATHEUS CALIXTO

Critérios que interferem nos resultados de sondagens à percussão - Tipo Standard Penetration Test (SPT)

57P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2017).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|--|---|
| 1. Solo | 2. Sondagens |
| 3. História do SPT | 4. Serviços de sondagens praticados no Brasil |
| 5. Fatores que interferem nos resultados das sondagens | |
| I. ENC/UNIII. | II. Critérios que interferem nos resultados de sondagens à percussão
- Tipo Standard Penetration Test (SPT) (10 ° período) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARANTES, Lucas Macedo; CARNEIRO, Matheus Calixto. Critérios que interferem nos resultados de sondagens à percussão - Tipo Standard Penetration Test (SPT). TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 57p. 2017.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Lucas Macedo Arantes

Matheus Calixto Carneiro

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Critérios que interferem nos resultados de sondagem à percussão - Tipo Standard Penetration Test (SPT).

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2017

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Lucas Macedo Arantes
E-mail: macedo763@gmail.com

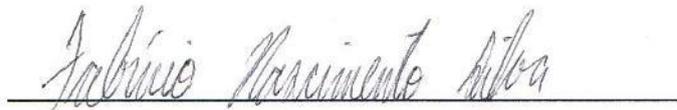
Matheus Calixto Carneiro
mccmatheus1@gmail.com

**LUCAS MACEDO ARANTES
MATHEUS CALIXTO CARNEIRO**

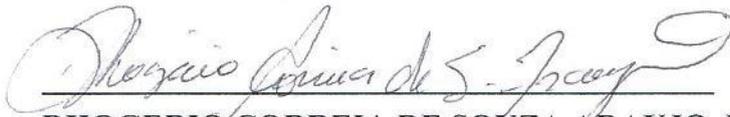
**CRITÉRIOS QUE INTERFEREM NOS RESULTADOS DE
SONDAGENS À PERCURSÃO – TIPO STANDARD
PENETRATION TEST (SPT)**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

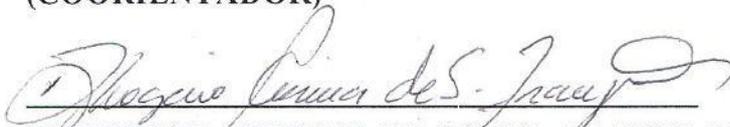
APROVADO POR:



**FABRICIO NASCIMENTO LEGAL, Mestre (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)**



**RHOGERIO CORREIA DE SOUZA ARAUJO, Mestre (UniEvangélica)
(COORIENTADOR)**



**RHOGERIO CORREIA DE SOUZA ARAUJO, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**NEANDER BERTO MENDES, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 27 de Novembro de 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter nos concedido sabedoria e inspiração para o desenvolvimento deste trabalho, a todos os professores do curso de engenharia civil da Uni Evangélica por terem compartilhado conosco seus conhecimentos, experiências e habilidades, especialmente aos meus professores orientadores por todo o empenho, atenção e dedicação ao trabalho.

RESUMO

Reconhecer as características e o perfil do solo antecipadamente ao início de alguma construção é de extrema relevância para a mesma. Tal conhecimento implica na análise de subsolo e na amostragem ao longo de seu curso. E para que estes dados tenham algum embasamento, e possam ser considerados como fiel retrato das condições naturais do subsolo, é indispensável trabalhos de sondagens que sejam elaborados por profissionais altamente capacitados, sempre acompanhado de um técnico e de um geólogo ou engenheiro. Seus resultados podem ser empregues em diversas áreas tais como engenharia de minas, geologia, mineralogia, pedologia, mas é na engenharia civil que esse método é mais solicitado. Uma sondagem de solo realizada de forma correta pode trazer benefícios para as edificações, resultando em maior qualidade e reduzindo possíveis patologias. No entanto, em algumas construções tem sido observados erros na fase de sondagem de solo, afetando assim, diretamente no custo da mesma. Dada a sua importância, esta pesquisa, tem por finalidade estudar documentos de outros autores que escreveram sobre o tema sondagens de solos para fácil constatação com emprego do método Standard penetration test (SPT).

Palavras-chave: Solo; Sondagem; SPT; Fundação; Engenharia Civil.

ABSTRACT

Recognize the characteristics and profile of the soil in advance to the beginning of any construction is of extreme relevance for the same. Such knowledge implies the analysis of subsoil and sampling along your course. And so that these data have a basement, and can be considered as a true picture of the natural subsoil conditions, it is essential to be prepared surveys jobs for highly trained professionals, always accompanied by a technician and a geologist or engineer. Your results can be used in various areas such as mining engineering, geology, mineralogy, pedology, but is in civil engineering that this method is more requested. An solo polling performed properly can bring benefits to the buildings, resulting in higher quality and reducing possible pathologies. However, in some constructs have been observed errors in polling phase of soil, affecting thus directly into the cost of same. Given your importance, this research has the purpose to study documents from other authors who have written on the topic of soil surveys for easy finding with the job Standard penetration test method (SPT).

Keywords: Soil; Poll; SPT; Foundation; Civil Engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de curva de distribuição granulométrica do solo.....	19
Figura 2 – Modelo do amostrador elaborado pelo engenheiro Charles R. Gow utilizando cravação dinâmica.....	24
Figura 3 – Exemplos de amostradores empregados para análises de solos.....	25
Figura 4 – Uma das equipes de perfuração com 3 funcionários de Gow coletando amostras de umidade.....	26
Figura 5 – Ilustração de equipamentos do aparelho de SPT.....	32
Figura 6 – Pressuposição da profundidade de sondagens na região da futura construção.....	38
Figura 7 – Diagrama de resistência à penetração conforme a penetração do amostrador.....	44
Figura 8 – Interferência da altura de caimento, na quantia de voltas da corda ao redor do tambor do sistema “cathead” e da idade da corda na velocidade de colisão do martelo.....	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de sondagens mais empregadas no Brasil.....	22
Quadro 2 – Correlações aconselhadas da resistência à penetração e compacidade de solos...	28
Quadro 3 – Consistência e compacidade de diversos tipos de solos com base em índices de resistência à penetração adquiridos por três arquétipos de amostradores.....	32
Quadro 4 – Fatores caracterizados por Palacio.....	43
Quadro 5 – Oscilação da eficácia da energia transferida aos bastões do SPT conforme o país e seu sistema de martelo.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimação da consistência de argilas e da compacidade de areias com base nos dados de resistência à penetração levantados com o amostrador IPT.....	31
Tabela 2 – Compacidade e consistência dos solos segundo a NBR 6484.....	35
Tabela 3 – Correlação ensaio SPT e resistência ao cisalhamento (kgf/cm ²).....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABGE – Associação Brasileira de Geologia e Engenharia

ABMS – Associação Brasileira de Mecânica dos Solos

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABPv – Associação Brasileira de Pavimentação

ASTM – American Society for Testing and materials

CME – Central Mining Equipment

EUA – Estados Unidos da América

IPT – Instituto Paulista de Tecnologia

IRP – Índice de Resistência à Penetração

NBR – Norma Brasileira

SEFE – Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia

SP – Sondagem à percussão

SPT – Standart Penetration Test

USA – UNIVERSITY OF FLORIDA

WES – Waterwyas Experiment Station

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVO.....	15
1.2 METODOLOGIA.....	15
2 SOLOS.....	16
2.1 DESCRIÇÃO DOS SOLOS.....	16
2.1.2 Estrutura dos solos.....	17
2.1.2.1 Solos coesivos.....	18
2.1.2.2 Solos não coesivos.....	18
2.1.3 Tipos de solos.....	19
2.1.3.1 Solos arenosos.....	20
2.1.3.2 Solos siltosos.....	20
2.1.3.3 Solos argilosos.....	20
3 SONDAGENS.....	21
3.1 DEFINIÇÃO DE SONDAGEM.....	21
3.1.1 Sondagens à percussão.....	22
3.2 BREVE HISTÓRICO DO SPT.....	23
3.3 A CHEGADA DO SPT AO BRASIL.....	29
3.4 SOBRE O ENSAIO SPT.....	33
3.5 NBR 6484.....	34
3.6 PLANEJAMENTO DAS SONDAGENS.....	35
3.6.1 Quantidade de furos.....	36
3.6.2 Número de sondagens.....	36
3.6.3 Profundidade.....	37
3.6.4 Custo das sondagens.....	38
3.7 EXECUÇÃO.....	39
3.8 SERVIÇOS DE SONDAGEM PRATICADOS NO BRASIL.....	40
3.8.1 A qualidade dos serviços de sondagem.....	40
3.9 CRITÉRIOS QUE INTERFEREM NOS RESULTADOS DO SPT.....	42

3.9.1	Limpeza imprópria do furo de sondagem.....	45
3.9.2	Inadequação do jato e da bomba d'água no trépano.....	46
3.9.3	Uso de fluxo d'água na perfuração acima do lençol freático.....	46
3.9.4	Martelo de bater.....	46
3.9.5	Estado de conservação da corda.....	48
3.9.6	Altura de caimento do martelo.....	49
3.9.7	Cabeça de bater.....	50
3.9.8	Frequencia de golpes.....	50
3.9.9	Intervalo de penetração.....	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52

REFERÊNCIAS

1 INTRODUÇÃO

No ramo da engenharia, o solo pode ser definido como um aglomerado não cimentado de grãos minerais e matéria orgânica decomposta (partículas sólidas), com os vazios existentes entre as partículas sólidas preenchidos por líquidos e gases (Braja M. Dias, 1985). O solo faz parte de qualquer construção, afinal ele é agente responsável pela interação terreno-fundação-estrutura, e por isso os engenheiros civis devem ter pleno conhecimento das propriedades do solo, conhecer por exemplo sua origem, permeabilidade, distribuição da dimensão dos grãos, compressibilidade, resistência ao cisalhamento e capacidade de carga.

A primeira análise do solo, nos termos oficiais de engenharia, que se tem conhecimento, foi elaborada no início do século XVIII por Skempton, e durante anos esse ato de se estudar previamente o solo foi baseado apenas em experiências passadas por meio de sucessivos experimentos, sem embasamento científico real. Diversas estruturas e edificações foram erguidas com base, somente, nesses experimentos. Algumas vieram a ruir, enquanto outras se mantêm de pé.

Conforme dados históricos, há relatos de surgimento de algumas civilizações às margens de alguns rios, como o rio Nilo (Egito), rio Amarelo, também conhecido como Huang Ho (China) e rio Tigres e rio Eufrates (ambos situados na extinta Mesopotâmia). Açudes foram construídos durante a dinastia Chan, na China (1120 a.C. a 248 a.C.), para irrigação, não existindo comprovação alguma de medidas para estabilizar as fundações ou para averiguar erosões ocasionadas por inundações (Kerisel, 1985). A ancestral civilização grega utilizou sapatas isoladas, sapatas corridas e também radiers em suas construções.

A construção das cinco pirâmides mais relevantes do Egito começou a cerca 2750 a.C. e durou menos de um centenário (Saqqara, Dahshur sul e norte, Meidum e Quéops). Estas construções ficaram marcadas pelos grandes desafios em relação à fundação, solidez de encostas e construção de câmaras subterrâneas. Após a implantação do budismo na China, no período da dinastia Han oriental em 68 a.C., inúmeros templos foram construídos.

Diversas dessas estruturas foram erguidas sobre camadas de silte e argila mole. Houve alguns casos nos quais a pressão na fundação excedeu a capacidade de carga do solo, acarretando, conseqüentemente, imensos danos estruturais.

Um dos exemplos mais afamados de complicações referentes à capacidade de carga do solo no quesito construção de estruturas do século XVIII é a Torre de Pisa, na Itália. A construção da edificação se iniciou antes do ano 1173 d.C., e prosseguiu por

aproximadamente mais 200 anos. No passado a torre inclinou na direção leste, norte, oeste e sul. Recentemente foram realizadas pesquisas que apresentaram uma frágil camada de argila há uma profundidade de 11 metros sob a superfície do terreno, o qual causou a inclinação da torre. A edificação encontrou-se mais de 5 metros fora do prumo com 54 metros de altura.

Da primeira metade do século XVIII em diante, engenheiros e cientistas começaram a importar-se com as características e comportamento dos solos de maneira mais metódica, após se defrontarem com inúmeros problemas referentes à fundação no decurso da construção em séculos passados. Face às lições desses acidentes e às contribuições a que deram lugar o esforço para compreendê-los e estudá-los, surgiu nova orientação para o estudo dos solos.

Fundação é certamente um dos pontos mais relevantes para uma edificação. Afinal, ela é encarregada de suportar e transmitir todo o carregamento da edificação ao solo, e através da sua constituição, pode apresentar uma superior ou inferior resistência. Portanto, a edificação, conforme seu carregamento, necessitará de uma camada de solo com resistência conciliável. Dessa maneira, o conhecimento colhido através de sondagens, do perfil geológico de determinado terreno no lugar aonde se intenciona construir, possui extrema relevância para a definição e cálculo da fundação.

A começar de 1970 foram apresentados diversos artigos sobre a uniformização, compreensão e qualificação dos ensaios de reconhecimento. Segundo Belincanta (1988), no Brasil, a metodologia de sondagens de solo mais trivial é o SPT (Standard Penetration Test). No território nacional, Teixeira (1974, 1977, 1993) e ABEF (1999) preconizaram parâmetros de regularização nacional, ao apresentarem as devidas precauções com os motivos capazes de afetar o resultado do ensaio. Cada uma dessas ressalvas ao SPT teve suas incontestáveis razões, tendo em conta que tanto o equipamento quanto o procedimento de se executar o ensaio podem sofrer interferência de inúmeros fatores.

No decorrer do tempo, uma inúmera quantidade de empresas que realizam o SPT introduziram algumas variações na sua maneira de executar o ensaio ou ainda se desleixaram na manutenção necessária dos elementos constituintes do equipamento.

Com isso, alguns equipamentos podem apresentar configurações bem distintas das recomendadas como parâmetro. Diversas empresas estão aptas a ocorrência disto pelo simples fato de dispor de vários pares e equipes de sondagens diferenciadas, no contexto da localidade, onde cada empresa averigua o ensaio utilizando equipamento de sistematização diferente (NIXON, 1982)

Sem dúvidas, essa prática traz contestações relacionadas a questões extrapolativas. Não se deve comparar resultados colhidos em locais diferentes, mesmo que supostamente seja o mesmo solo, já que estas sondagens não dispõem da mesma uniformização.

Disposto assim, é algo longe da realidade a uniformização do SPT em âmbito global. Mesmo que em diversos países o ensaio seja normalizado, por exemplo a ASTM D1586 (1984), revista de 1992, empregue nos Estados Unidos da América e também o Método da ABNT (1984), NBR 6418 (2001) que se encontra em vigor no Brasil, averígua-se de que o SPT sofre graves empecilhos de padronização.

A falta da análise da norma gera elevados danos na construção civil. E como ainda existem diversas dúvidas relacionadas a confiabilidade do resultado retratado pelas entidades que executam o serviço de sondagem, muitos engenheiros e projetistas avaliam abaixo do valor real as circunstâncias do terreno, conseqüentemente atribuem dimensões maiores as fundações, acarretando em um desmesurado desperdício.

Nesse trabalho conseguimos fazer um estudo dos principais fatores que podem influenciar no resultado de uma sondagem, que são: limpeza imprópria do furo de sondagem, inadequação do jato e da bomba d'água no trépano, uso de fluxo d'água na perfuração acima do lençol freático, martelo de bater, estado de conservação da corda, altura de caimento do martelo, cabeça de bater, frequência dos golpes e intervalo de penetração.

1.1 OBJETIVO

Tendo em vista o que foi exposto o presente trabalho tem o intuito de apresentar o procedimento de sondagem, algumas características do solo e como influenciam no processo, a qualidade dos serviços de sondagens no mercado brasileiro, além de apontar as falhas mais comuns cometidos antes, durante e após a sondagem.

1.2 METODOLOGIA

A metodologia neste estudo foi a pesquisa bibliográfica, pois a mesma oferece meios que auxiliam na definição e resolução dos problemas já conhecidos, como também permite explorar novas áreas onde os mesmos ainda não se cristalizaram suficientemente. Permite também que um tema seja analisado sob novo enfoque ou abordagem, produzindo novas

conclusões. Além disso, permite a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla, principalmente quando o problema da pesquisa requer a coleta de dados muito dispersos no espaço. A pesquisa tem caráter qualitativo, pois busca a qualidade avaliando os erros mais comuns, cometidos no processo de execução de sondagens.

2 SOLOS

2.1 DESCRIÇÃO DOS SOLOS

Compreende-se, como solo, a composição de um local por agentes da natureza, que sucede com a sedimentação de materiais. É a fração da crosta terrestre onde se locomove, constrói e etc., material que provem da crosta terrestre, não consistente, que habitualmente se diferencia das rochas, que cuja divisão provem, por serem suas partículas desagregáveis apenas pela simples movimentação dentro da água.

Solo é o elemento que vem da sedimentação das rochas pela atuação de agente de intemperismo, este é um dos mais velhos materiais utilizados pelo ser humano, que está presente em quase todos os modelos de obra, e em sua maioria das vezes é utilizado como suporte para estruturas de fundação, dessa maneira é essencial a compreensão das particularidades deste material, que com isso possamos antever a sua conduta diante exigências.

De acordo com a ABNT - NBR 6502 (Associação Brasileira de Normas Técnica, 1995) solos são determinados como: “Material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos e químicos, podendo ou não ter matéria orgânica”.

Segundo Vargas (1997) “Sob o ponto de vista puramente técnico, aplica-se o termo solo a materiais da crosta terrestre que servem de suporte, são arrimados, escavados ou perfurados e utilizados nas obras de Engenharia Civil”.

Para CAPUTO (1983, p14), os solos são materiais que resultam do intemperismo ou meteorização das rochas por desintegração mecânica ou decomposição química.

Conforme TEIXEIRA (2000), todos os processos que causam desagregação das rochas, como separação dos grãos minerais antes coesos e com sua fragmentação,

transformando a rocha inalterada em material descontínuo e friável, constituem o intemperismo físico. Segundo este autor, as diversas varrições de temperatura ao longo dos dias e das diferentes estações do ano, causam expansão e contração das rochas, levando sua desfragmentação, esse tipo de intemperismo também ocorre quando as partes mais profundas dos corpos rochosos ascendem aos níveis mais superficiais. Com o alívio de pressão as rochas se expandem, causando abertura de fraturas paralelas à superfície ao longo da qual a pressão foi aliviada.

Para TEIXEIRA (2000), o principal agente do intemperismo químico é a água da chuva, que infiltra e percola entre as rochas. A partir das variações de temperatura, trincas são aberturas nas rochas, por onde a água penetra, atacando quimicamente os minerais. Esse processo submete as elevadas tensões, provocando a fragmentação dos blocos, gerando rochas menores que dão origem aos solos. A presença da fauna e flora promove o ataque químico, através de hidratação, oxidação, lixiviação, troca de cátions, carbonatação, etc.

Segundo LIMA (2013), o intemperismo biológico ocorre através dos seres vivos (plantas ou/e animais) onde estes desempenham de forma direta ou indireta o trabalho muito importante na intemperização das rochas. Nesse processo as raízes das árvores penetram nas fissuras e alargam ou trituram as paredes rochosas em busca de sais minerais, além da ação de faturamento nas raízes elas também liberam ácidos húmicos que irão causar o intemperismo químico. Assim, o intemperismo biológico é uma categoria do intemperismo químico em que as reações químicas que ocorrem nas rochas são propiciadas por seres vivos.

No SiBCS (Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos, 2009), encontra-se que: “Quando examinados a partir da superfície os solos de seções aproximadamente paralelas – denominadas horizontes ou camadas – que se distinguem do material de origem inicial, como resultado de adições, perdas translocações e transformações de energia e matéria”. Dessa forma, o solo é separado em camadas, ou perfis, nos quais podem-se encontrar cada tipo de solo existente na natureza.

Segundo ORTIGÃO (2007), para a engenharia civil, os solos são um alongamento de partículas provenientes da decomposição de rochas, que podem ser escavados com facilidade, sem emprego de explosivos, e que são bastante utilizados como material de construção ou de suporte para estruturas. Ainda conforme ORTIGÃO (2007), como material de construção e de fundação, os solos têm grande importância para a construção civil. Nas barragens de terra, nas fundações de estruturas, o solo – assim como o concreto e o aço – está sujeito a esforços que

tendem a comprimi-los e a cisalhá-lo, provocando deformações e podendo, eventualmente, leva-lo à ruptura.

2.1.2 ESTRUTURA DOS SOLOS

Segundo VARGAS (1997) a estrutura de um solo é definida como o arranjo ou configuração das partículas do solo entre si. Entre os fatores que afetam a estrutura do solo estão a forma, o tamanho e composição mineralógica das partículas. De forma global os solos são classificados em dois amplos grupos:

- Coesivos;
- Não-Coesivos.

2.1.2.1 SOLOS COESIVOS

Os grãos dos solos coesivos são bastante finos, normalmente, imperceptíveis a olho nu. Com a finalidade de entender as estruturas básicas dos solos coesivos, é fundamental antes de tudo compreender os tipos de forças que atuam entre as partículas de argila suspensas em água. Assim, para VARGAS (1997), cada uma das partículas pode sedimentar muito lentamente ou permanecer em suspensão. Este é o chamado estado disperso.

O sedimento formado pela decantação das partículas individuais tem estrutura dispersa e todas as partículas estão orientadas mais ou menos paralelas umas às outras. Quando existe um potencial atrativo elas podem no seu movimento ser captadas umas pelas outras e sedimentar-se em flocos constituindo a floculação. Assim, o potencial atrativo-repulsivo pode ser influenciado pela condição iônica da água e também, pela presença de cátions nas bordas das partículas de argila. Argilas com estruturas floculadas têm pouco peso e possuem índices de vazios elevados (DAS, 2007).

Quando o sal é adicionado a uma suspensão de argila em água que foi dispersa inicialmente, os íons tendem a enfraquecer a camada dupla ao redor das partículas. Conforme DAS (2007), este enfraquecimento reduz a repulsão entre as partículas. As partículas de argila são atraídas umas pelas outras para formar flocos e decantar. Depósitos de argila formados no mar são altamente floculados devido à alta concentração iônica (VARGAS, 1997).

2.1.2.2 SOLOS NÃO-COESIVOS

As estruturas usualmente achadas em solos não-coesivos podem ser separadas em duas ordens principais: com grãos isolados e alveolares. Conforme DAS (2007), a forma e a disposição de tamanho das partículas do solo em suas posições relativas influem sobre a densidade do agrupamento, assim um grande intervalo de índices de vazios é possível. Conseqüentemente, solos com estrutura alveolar apresentam elevado índice de vazios e conseqüentemente, grande probabilidade de recalque quando submetidos a cargas elevadas.

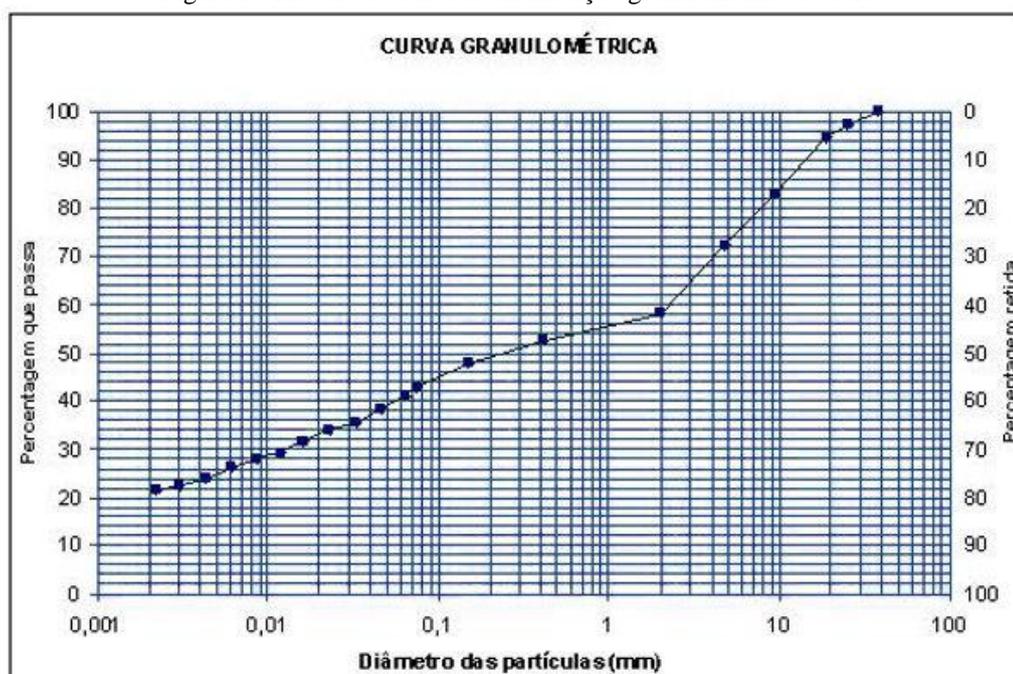
2.1.3 TIPOS DE SOLO

O perfil do solo é determinado segundo sua densidade máxima e umidade ótima. Logo, cada solo tem seus requisitos e controles adequados e particulares, tanto no campo quanto para metas de testes laboratoriais.

Para DNER (1996) os tipos de solo são normalmente considerados pelo tamanho do grão, delimitado pela passagem do mesmo através de uma série de peneiras com destino a separar os grãos de diferentes tamanhos (análise granulométrica):

- Pedregulho: é a parte do solo que passa pela peneira (3”) e é retida na peneira 2,00mm (n ° 10);
- Areia: é a parte do solo que passa pela peneira de 2,00mm (n ° 10) e é retida na peneira de 0,075mm (n °200);
- Areia grossa: é a fração compreendida entre as peneiras 2,00mm (n °10) e 0,42mm (n °40);
- Areia fina: é a fração compreendida entre as peneiras de 0,42 (n °40) e 0,075mm (n °200);
- Silte: é a parte do solo com tamanho de grão entre a peneira de 0,075mm (n ° 200) e 0,005mm;
- Argila: é a fração com tamanho de grãos abaixo de 0,005 (argila coloidal é a parte do solo com tamanhos de grãos abaixo de 0,001mm).

Figura 1 - Modelo de curva de distribuição granulométrica do solo



Fonte: SANTANA, 2011

2.1.3.1 SOLOS ARENOSOS

Conforme SERRAT (2002), “as areias por serem partículas (grãos) maiores (tamanho entre 0,2 e 0,005 cm) possuem espaços maiores, por isso retêm pouca água, sendo, por tanto dreno natural do solo”. Dessa maneira neste solo, existe uma elevada quantidade de vazios, proporcionando uma maior passagem de água e fluxo de ar, tornando-se muito permeável e secando rapidamente.

O conhecimento das peculiaridades físicas dos tipos de solo é de grande relevância para a construção civil. Visto que os solos arenosos são vistos como os melhores para a construção, devido às suas características físicas, e à sua eficácia em reter uma quantidade pequena de água, auxiliando como um dreno natural.

2.1.3.2 SOLOS SILTOSOS

CAMPOS (2009) caracteriza o solo siltoso como “aquele que se encontra entre a areia e a argila, sendo caracterizado como um pó, de aspecto muito próximo ao da argila. Porém não tem coesão apreciável e nem a mesma plasticidade quando molhado”.

Rodovias executadas com solos siltosos formam uma quantidade significativa de barro em épocas chuvosas e uma elevada quantidade de pó em épocas secas. Cortes realizados

em solos siltosos não tem uma estabilidade a longo prazo, encontrando-se como uma vítima acessível a erosões e da desagregação natural, necessitando de mais cuidados para se manter.

2.1.3.3 SOLOS ARGILOSOS

Os solos argilosos são aqueles que possuem grão de menor tamanho, tem uma grande facilidade de molda-los com água, difícil desagregação, tem característica plástica e viscoso quando molhado.

De acordo com SERRAT (2002) “as argilas são partículas com tamanho menos que 0,0002 cm, portanto bem menores que as partículas de areia. Em solos com muita argila verifica-se uma maior capacidade de reter água e nutrientes, devido aos pequenos espaços onde estes podem ficar armazenados”.

O comportamento argiloso do solo a ser analisado não é apenas definido por seu teor de argila, mas igualmente a sua atividade. Os indicadores de consistência são os que melhor apresentam o comportamento de um solo argiloso (PINTO, 2006).

Correspondente ao seu nível de plasticidade e competência de aglutinação, o solo argiloso é empregado como argamassa de assentamento, argamassa de revestimento e no preparativo de tijolos. Até então, conforme CAMPOS (2009), “a maior parte do solo brasileiro é de solo argiloso”.

3 SONDAgens

3.1 DEFINIÇÃO DE SONDAGEM

As sondagens são averiguações do subsolo ou de subleito (nos casos de estradas) que, assim como na topografia, antecedem a elaboração de qualquer projeto e podem ser imprescindíveis no decorrer da obra, ou posteriormente a ela.

Esta análise do solo possibilita conhecer o tipo de terreno (arenoso, rochoso, argiloso, etc.), as camadas constituintes do solo, a respectiva resistência destas camadas e o nível do lençol freático.

Através destas características é possível determinar o tipo de fundação e a cota de inserção da mesma. Em projetos de estradas, a análise dessas características é tão essencial, que pode estabelecer um traçado mais extenso pela análise custo/benefício.

Estas averiguações podem ser realizadas por inúmeras técnicas. Destas técnicas exploraremos a mais habitual nas obras de construção civil "Sondagem à Percussão" como é chamada correntemente.

Vale ressaltar que o custo de uma obra poderá ser efetivamente minorado, se bem programada e bem estudada a prospecção do terreno.

As modalidades de sondagem atualmente mais empregadas no Brasil são mostradas a seguir:

3.1.1 SONDAGENS À PERCUSSÃO

Sondagem a percussão é um método para investigação de solos em que a perfuração é atingida através de golpes na profundidade do furo por peças de aços cortantes. É empregue tanto para a aquisição de amostragem de solo e relação de resistência a penetração.

As sondagens à percussão devem ser identificadas pela sigla SP (Quadro 1) seguido de número indicativo. Em cada obra o número indicativo deverá ser crescente independentemente do local, fase ou objetivo da sondagem. Quando for necessária a execução de mais de um furo em um mesmo ponto de investigação, os furos subsequentes deverão ter a mesma numeração do primeiro acrescida das letras A, B, C etc. Já no prosseguimento da sondagem pelo método rotativo, esta deverá ser denominada com a sigla e número das sondagens rotativas.

Para se iniciar a sondagem deve-se montar sobre o terreno na posição desejada um cavalete de quatro pernas. Através de uma roldana e de um cabo o peso é orientado sobre o amostrador e solto em queda livre (SOUZA, 2003).

As sondagens à percussão são as mais frequentes na engenharia e usualmente executadas para:

- Definir o perfil geológico das camadas do subsolo;
- Determinação da capacidade de carga das diferentes camadas do subsolo;
- Coleta de amostras das diversas camadas;
- Determinação do nível do lençol freático;
- Determinação da compacidade ou consistência das camadas do subsolo em solos arenosos ou argilosos, respectivamente, e também para a determinação de eventuais linhas de ruptura que possam ocorrer em superfície.

A sondagem a percussão com SPT é um recurso valioso que pode facilitar a seleção do tipo de fundação que venha a ser utilizada não importando o porte da obra, e influência diretamente nos padrões de segurança, qualidade, economia, e a variação do solo de um determinado ponto de estudo para outro torna necessária a execução de sondagens em todos os projetos de fundações (CÂMARA E PEREIRA, 2005).

Apesar da norma existente para padronização do ensaio, estudos como o de Cavalcante; Danziger (2003) apontam algumas mudanças nos métodos de execução da sondagem e de seus equipamentos, já Nixon (1982 apud Cavalcante 2002) aponta a falta de manutenção no equipamento que também acarreta em desvio de configuração do sistema original que conseqüentemente interferem nos resultados finais.

Quadro 1 – Tipos de Sondagem mais empregadas no Brasil

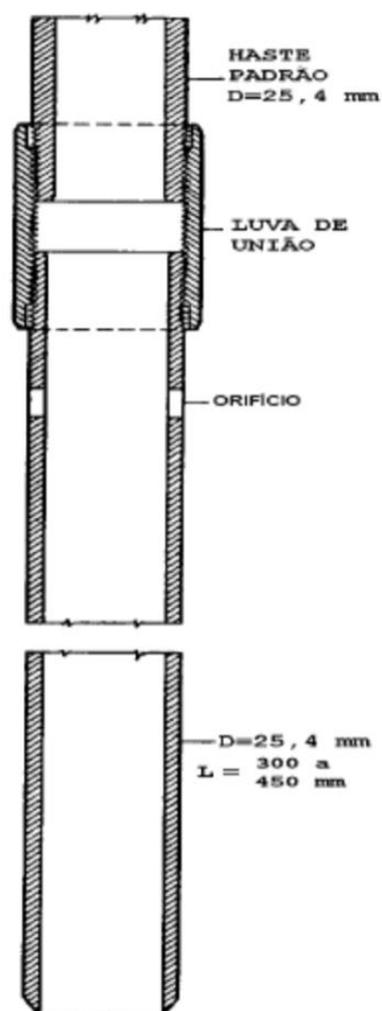
Tipos de sondagem	Sigla	Método	Processo
Poço de inspeção	PI	Direto	Mecânico
Trincheira	TR	Direto	Mecânico
A trado	ST	Direto	Mecânico
A percussão	SP	Direto	Mecânico
Rotativa	SR	Direto	Mecânico
Mista	SM	Direto	Mecânico
Sísmica de retração rasa	SS	Indireto	Geofísico
Eletroresistividade	SE	Indireto	Geofísico

Fonte: Curso de Sondagem à percussão de simples reconhecimento (FUNDESP, 2002).

3.2 BREVE HISTÓRICO DO SPT

Segundo TSUTSUMI 2000 (apud CARLOS SILVA, 2007, p.28), a sondagem de fácil reconhecimento teve início nos EUA (Estados Unidos da América) em 1902, onde Charles Gow (engenheiro), foi quem propôs um processo de amostragem utilizando um aparelho com cravação dinâmica e um amostrador de diâmetro igual a 25.4 mm e comprimento variando entre 300 e 450 mm, onde o amostrador é cravado no solo utilizando-se martelo de 50 kg (Figura 2).

Figura 2 - Modelo do amostrador elaborado pelo engenheiro Charles R. Gow utilizado cravação dinâmica



Fonte: Charles Gow (citado por Belincanta, 1998).

Segundo Fletcher (1965) e Mohr (1966) as constatações de como seria cravar o tubo, o intervalo da cravação, altura do caimento do martelo, a quantidade de golpes, entre outros; só ocorreu em 1925 e adiante. (apud Teixeira, 1977)

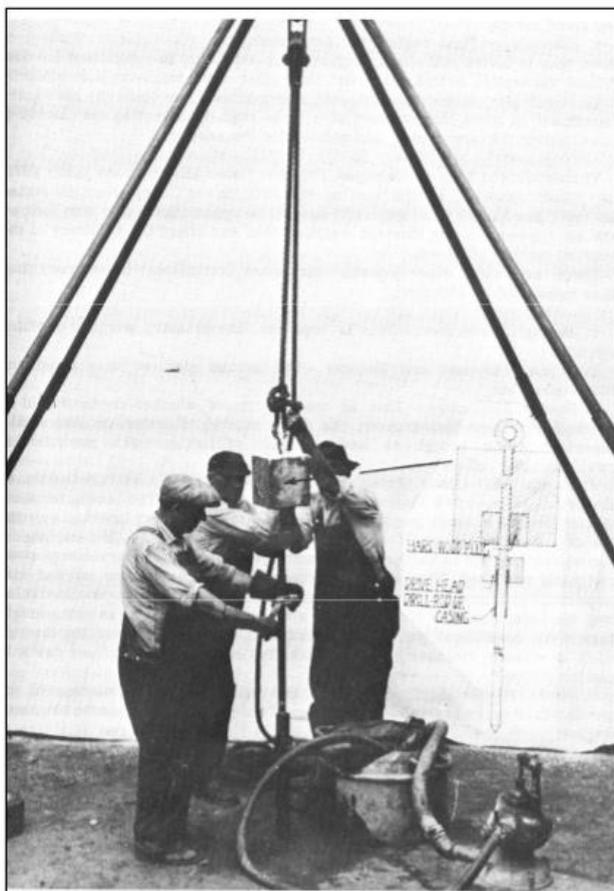
Apenas em 1927 a *Raymond Concrete Pile* e a *The Grow Company* elaboraram um protótipo de amostrador que era constituído por cabeça, corpo dividido em duas partes, e sapata chanfrada, fundamentados em trabalhos de campo desenvolvidos por Fletcher, por análises elaboradas por Harry A. Mohr, onde o amostrador apresentava diâmetro externo igual 51 mm e o diâmetro interno 35 mm, com seu corpo bipartido facilitando a coleta da amostra de solo. Este amostrador conhecido como Raymond é utilizado até o dia corrente preservando as características, no que a respeito à padronização, é um item considerável.

Segundo Fletcher (1965) os primeiros esforços extraoficiais de metodizar este processo de se operar e cravar o amostrador se iniciou nos anos de 1930. Foram tentativas baseadas nas especificações de Fletcher e de Mohr que concederam a esse procedimento o renome de ensaio. As especificações são as seguintes:

- I. Amostrador com diâmetro externo equivalente a 50,8 mm;
- II. Carregamento de 0,63 kN desprendido a 763mm de altura;
- III. A quantidade de golpes para se cravar este amostrador a 304,8 mm no solo definia a resistência à penetração.

Conforme Mohr (1966) a admissão ao martelo pesando de 0,63 kN foi graças a média das cargas aplicadas no território de Boston ao longo de 1920. Para ele essa carga era levantada descomplicadamente a 763 mm de altura por três funcionários usufruídos de uma corda com roldana fixa (Fig. 4).

Figura 4 - Uma das equipes de perfuração com 3 funcionários de Gow coletando amostras de unidade, 1930.



Fonte: Association of Environmental & Engineering Geologists American Society of Civil Engineers (Chicago, 2009)

Outro grande desenvolvimento do SPT foi ao redor de 1945, período no qual ocorreu a alteração dos bastões de 32 N/m por outros mais enrijecidos, de 56 N/m utilizados em sondagens rotativas. Os pequenos diâmetros dos bastões demonstravam ser excessivamente flexíveis quando submetidos aos esforços, tendo potencial, de gerar deslocamentos transversais e perda de energia no tempo de colisão do martelo (FLETCHER, 1965).

Adiante em 1948, foi publicado o livro “*Soil Mechanics in Engineering Practice*” que também marcou intensamente a trajetória do SPT. Neste livro pôs em foco uma discussão de incontáveis particularidades do SPT e se exibiu as primeiras relações de resistência à penetração e a solidez das areias. Em outro instante, Peck et al. (1953) divulgaram ábacos que assessoraram nos projetos das fundações superficiais em areias. Subsequentemente em 1974, esses mesmos escritores apresentaram uma reformulação desses ábacos considerando a tensão vertical efetiva e seus efeitos no N_{spt} (BROMS & FLODIM, 1988).

O trabalho realizado por terzaghi e por Peck, divulgado em 1948, incorporou preciosa contribuição ao uso mais minucioso e sensato do SPT. Também evidenciou os primeiros vínculos entre resistência à penetração com características fundamentais do solo como por exemplo: consistência, compacidade, e resistência, além disso expôs importantes orientações a respeito do equipamento e dos métodos de ensaio. (Quadro 2). Estas recomendações vieram para serem utilizadas praticamente na sua totalidade pelas normas concebidas ao ensaio no âmbito global. Dentre essas recomendações a definição de padrões de altura de caimento, carga do martelo, e também para o prazo de assentar o amostrador e seus diâmetros interno e externo, sem contar a aplicação linear e a sistematização para se fazer a medição de resistência à penetração do solo.

Já em 1940 houve uma contribuição por intermédio de Hvorslev (1949) que evidenciou uma compilação de relações da resistência à penetração com a consistência do solo (conforme quadro 2).

Quadro 2 - Correlações aconselhadas da resistência à penetração e compacidade de solos

AUTOR	H.A MOHR		TERZAGHI & PECK		CÓDIGO DA CIDADE DE NOVA IORQUE		C.E NEW ENGLAND DIVISION	
Amostrador	Tubo Extra Pesado Dint=33,4mm Dext=24,3mm		Raymond Dint= 51mm Dext=35mm		Dext=63,5mm		Dext=76,2 mm	
Martelo	0,62 kN		0,62 kN		1,34kN		1,3kKN	
h queda	±762mm		762mm		457,2mm		457,2mm	
Solo	Classe	Golpes 305mm	Classe	Golpes 305mm	Classe	Golpes 305mm	Classe	Golpes 305mm
Capacidade de Areia e Silte			Muito fofa	<4	Muito fofa		Muito fofa	<8
	Fofa	<9	Fofa	4-10	Fofa	0-15	Fofa	8-15
	Média	9-13	Média	4-30	Média		Média	16-55
	Compacta	14-49	Compacta	30-50	Compacta	16-50	Compacta	55-110
	Muito Compacta	>50	Muito compacta	>50	Muito compacta	>50	Muito compacta	>110
Consistência de Argilas	Mole	<5	Muito mole	< 2	Muito mole	0-2	Muito mole	<8
			Mole	2-4	Mole	3-10	Mole	8-16
	Média	5-10	Média	4-8	Média	4-8	Média	16-55
	Rija		Rija	8-15	Rija	8-15	Rija-dura	55-110
	Muito rija		Muito rija	15-30	Muito rija	15-30		
Dura	11-30	Dura	>30	Dura	>30	Muito dura	>110	

Fonte: Horslev (citado por Belincanta, 1998).

Segundo Horslev (1949) apesar da figura qualitativa destas variações presentes no quadro acima seja positiva, com os extremos da consistência e a compacidade bem delineados, as distinções através delas são incontestáveis. A permeabilidade, distribuição granulométrica e o nível de saturação são características que, segundo os autores, causam influência nas correlações (apud BELINCANTA, 1998).

Em congruência com Broms e Flodim (1988) a expressão SPT (“*Standard Penetration Test*”) foi primordialmente utilizada pelo Karl Terzaghi ao redor de 1947, durante a VII conferência de mecânica de solos e engenharia de fundações no Texas. Nesta ocasião Karl Terzaghi exibiu seu trabalho denominado “*Recent Trends in Subsoil Exploration*” evidenciando o seu nível de crítica com o vocábulo “*Standard*”, tendo que já era óbvio a exiguidade da padronização.

No início nos anos de 1950 ocorreram os primeiros testes oficiais de padronizar o ensaio, mas segundo Fletcher (1965) este processo somente teve início, em 1954, de maneira extraoficial através de James D. Parson, o qual sugeriu registrar a quantidade de golpes de um a três intervalos de 152 mm de penetração. Ele recomendou que se descobrisse a resistência

no momento da penetração através da menor soma de dois intervalos propostos, enquanto Terzaghi e Peck (1948), sugeriram a quantidade de golpes das últimas duas penetrações.

Essa sugestão de Parson sucedeu nas iniciais tentativas de regulamento da ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS) nomeada “*Tentative Method for Penetration Test and Split-Barrel of Soils*”. Futuramente esse regulamento foi sancionado e reavaliado nos anos de 1967, 1974, 1986 e 1992.

Apesar de a inicial tentativa de regulamentação da ASTM delimitar que os primeiros 152 mm de um total de 457 mm constituiriam de assentar o amostrador, porém, essa tentativa não deixou explícito o significado de resistência a penetração. Foi apenas em 1963, já na segunda tentativa da edição (D1586-63 T) que essa incerteza foi salientada ao se apresentar um texto dizendo que resistência à penetração N refere-se a quantidade de golpes que são necessários para se cravar o segundo e o terceiro intervalos, ambos, com 152 mm. Posteriormente, por volta de 1967, essa tentativa veio a se estabelecer como norma definitiva, devendo-se respeitar os 152 mm de início como intervalo de assentamento do amostrador.

Já na década de 1970, aos impulsos da *University of Florida* (USA) o ponto em questão se tornou a força efetiva que acerta o amostrador. Nesse período destacaram-se os significativos trabalhos como de: Palacios (1977), Schmertman (1976, 1978), Schmertman & Palacios (1979 a 1981 e 1994), Kovacs e Salomone (1982 e 1984) e Kovacs et al. (1977 e 1978).

3.3 A CHEGADA DO SPT AO BRASIL

O SPT migrou com destino ao Brasil em 1939 segundo Belincanta (1998) e Vargas (1989). E o começo de tudo com relação a este ensaio foi a formação do “Departamento de Estruturas e Fundações” do IPT (Instituto Paulista de Tecnologia) em 1935. Um ano após Odair Grillo, engenheiro, foi até a Universidade de Harvard, e participou da explicação ministrada pelo Professor H. A. Mohr, professor este quem recebeu os créditos da idéia de se medir a resistência à penetração dinâmica através de amostradores de 51 mm e 63,5 mm.

Odair Grillo principiou no IPT, inspirado por Mohr, a criação do departamento de Solos e de Fundações (VARGAS, 1989). Nessa época as sondagens foram executadas utilizando envoltório de 51 mm, onde era coletadas amostras das argilas para estudo táctil-visual a fim de se estimar a consistência. Por motivos evidentes, essa técnica de sondagem foi ineficiente para se avaliar a compacidade de areias. Surgindo assim a concepção de criar algo

a fim de se obter qualquer característica de resistência à penetração e relacioná-la com a compacidade de areias.

Segundo Belincanta (1998) esta ideia só ganhou força no ano de 1944, através do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo que instaurou a utilização sistemática do amostrador de referência, o qual teve o diâmetro externo associado ao diâmetro interno do envoltório (51 mm), característico das tubulações de revestimento utilizados na época.

Olhando para o lado da amostragem, seria melhor que o diâmetro do interior do amostrador tivesse a maior dimensão possível, afinal a dimensão da amostra também seria maior. Por outra perspectiva, a resistência mecânica necessária deveria ser, proporcional, a fim de que o amostrador suportasse esse processo dinâmico da cravação durante razoável intervalo de tempo, com enorme facilidade de substituição. Assim, foi concluído de que o equipamento mais propício em prol do amostrador era um específico modelo de tubo empregue em caldeiras de elevada pressão, o qual possuía 46 mm diâmetro externo de 38,1 mm de diâmetro interno.

A constituição básica deste amostrador era de três elementos (cabeça, corpo com extensão de 420 mm e sapata chanfrada), juntamente com a abertura interna da sapata inferior ao diâmetro do corpo (36,5 mm). A resistência quanto à penetração foi estabelecida por intermédio da quantidade de golpes necessários para cravação do amostrador a 300 mm no solo. Com relação à cravação, a obtia-se através da queda de um martelo de 0,59 kN com uma elevação de 750 mm, depois de assentar o amostrador no fundo da perfuração, perante a ação da composição dos bastões.

Deve-se lembrar de que nesta época eram rotativas com peso 32 N/m. E outro quesito importante não era especificado era o peso da peça de bater, do martelo redondo vazado, o qual era acionado manualmente através de uma polia presa e corda de sisal, escavação a trado até o encontro d'água freática e circulação d'água inferiormente deste, e repetição de 15 batidas por minuto (BELINCANTA, 1998).

A semelhança das estimativas executadas por sondadores do IPT, por meio de procedimentos tradicionais (resistência quanto à perfuração, tendo como exemplo) os parâmetros de resistência à penetração dinâmica (RP) encontrados através destes equipamentos, na época, que deram origem para estipular as ligações entre consistência e compacidade de diversos tipos de solos conforme ilustrado na Tabela 1 (Belincanta, 1998).

Tabela 1 – Estimação da consistência de argilas e da compactidade de areias com base nos dados de resistência à penetração levantados com o amostrador IPT

Argilas		Areias	
Consistência	RP	Compactidade	RP
mole	< 4	fofa	< 5
média	4 - 8	média	5 – 10
rija	8 – 15	compacta	10 – 25
dura	> 15	muito compacta	> 25

Fonte: (NÁPOLES NETO, 1961, segundo BELINCANTA, 1998).

Em 1944 Odair Grilo, Raimundo D' Araujo Costa e Otelo Machado, Fundadores da Geotécnica S.A., inseriram ao amostrador os diâmetros de 41,3 e 25,4 mm respectivamente de diâmetro externo e interno. E como o equipamento veio dos Estados Unidos, graças a H. A. Mohr, tornou-se conhecido por seu apelido “Mohr Geotécnica” (TEIXEIRA, 1974).

Usufruindo deste perfil de amostrador, a resistência quanto à penetração era descoberta através da quantidade de golpes necessários para cravar o amostrador a 30 cm no solo, com o procedimento sendo um carregamento de 0,63 kN solto a 75 mm de elevação, depois do seu assentamento na profundidade do furo perante seu respectivo peso com bastões de 1” de diâmetro. Esta resistência encontrada por meio do barrilete amostrador acabou sendo denominada IRP (ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO). Esse arquétipo de amostrador escolhido pela Geotécnica era mais durável que o modelo do IPT, principalmente por ter paredes mais consistentes.

Conforme TEIXEIRA (1993), o professor Milton Vargas foi o responsável, em 1945, pelo pioneiro trabalho no ramo geotécnico brasileiro com ênfase no SPT. O referente trabalho parâmetro básico para a consolidação do procedimento de ensaio que veio a ser publicado com o título “A exploração do Subsolo para fins de Estudos de Fundações”.

Em 1947, a empresa Geotécnica S. A., implantou em seus serviços mais dois amostradores. O revestimento do dispositivo era de 63,5 mm e o IRP que era a quantidade de golpes do martelo de 0,63 kN, solto a 75 cm de altura.

O adição da execução de sondagem originou como era esperado, o aparecimento de correlações entre os laudos desse “novo” ensaio e dos antigos. Esse processo, ilustrado no quadro 3, contém dados como consistência e compactidade de diversos tipos de

solo com base em índices de resistência à penetração adquiridos por três arquétipos de amostradores empregues, no ano de 1950, no Brasil (Belincanta, 1998).

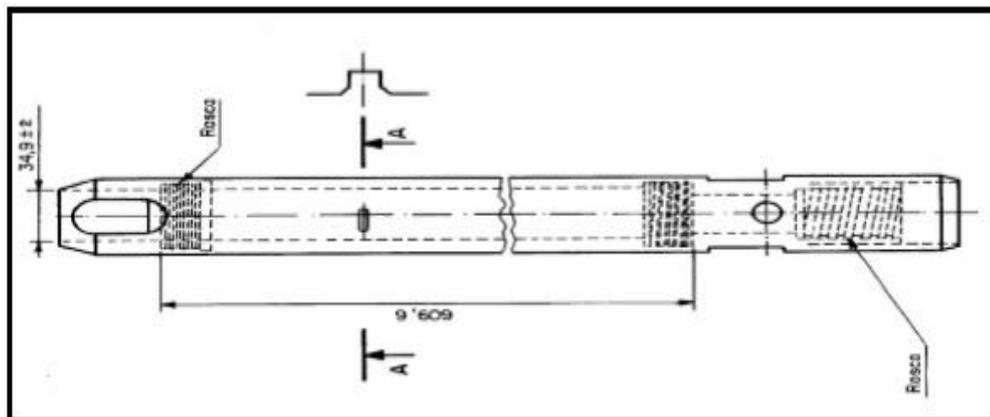
Quadro 3 – Consistência e compactidade de diversos tipos de solos com base em índices de resistência à penetração adquiridos por três arquétipos de amostradores.

Tipo Solo	Consistência e Compactidade	IPT De=46 mm Di=38 mm	MOHR GEOTÉCNICA De=41 mm Di=25 mm	RAYMOND (Terzaghi-Peck) De=51 mm Di=35 mm
Argilas Siltos Argilosos	Muito mole	-	< 1	< 2
	Mole	< 4	1 - 3	2 - 5
	Média	4 - 8	4-6	6 -10
	Rija	8 - 15	7-11	11 -19
	Dura	> 15	>11	> 19
Areias Siltos Arenosos	Fofa	< 5	≤ 2	≤ 4
	P ^o Compacta	-	3 – 5	5 - 8
	Med. Compacta	5 - 10	6 - 11	9 - 18
	Compacta	11 - 25	12 - 24	19 - 41
	Mto. Compacta	> 25	> 24	> 41

Fonte: (BELINCANTA 1998).

Até meados da década de 70, diversos amostradores e procedimentos foram utilizados sempre almejando a melhor opção que se adaptasse a realidade da prática brasileira. Em 1970, a Geotécnica S.A. e o IPT se uniformizaram na utilização de um único amostrador Raymond de 50,8 mm de diâmetro externo conforme a figura 5 (NEVES, 2004).

Figura 5 - Ilustração de equipamentos do aparelho de SPT



Fonte: NEVES, 2004.

3.4 SOBRE O ENSAIO SPT

O ensaio SPT (*Standard Penetration Test*), também conhecido por sondagem de simples reconhecimento ou sondagem de solo à percussão, é o mais utilizado pelos projetistas de fundação no Brasil, devido ao seu baixo custo e por fornecer dados como a resistência à penetração do solo, descrição dos horizontes de solo e obtenção fácil de amostras deformadas. A sua execução está normalizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6484 (ABNT, 2001) e as recomendações constantes, tanto para equipamento quanto para procedimento, devem ser rigorosamente seguidas para a obtenção de resultados comparáveis com ensaios em outros lugares.

O SPT foi criado com o intuito de lograr em campo algum indicador pontual de resistência do solo (N_{spt}), com o intuito de coletar as amostragens encontradas a cada um metro perfurado (NBR 6484, 2001). Ocasionalmente, esse ensaio pode ser executado em um período superior ou inferior, levando em conta todas exigências do executor ou do projeto seguindo sempre a norma regulamentadora. (FONTELES, 2003).

Segundo Andrade (2005), a essência do equipamento e seus predominantes procedimentos encontram-se preservados independentemente de toda a modernização das aparelhagens e dos métodos de se executar o ensaio, e destaca a confiança dos resultados necessita tanto da destreza dos encarregados pela execução quanto da quantia de fatores que cada técnica de investigação consegue avaliar.

A evolução do ensaio junto com suas peculiaridades individuais vem assegurando ao decorrer do tempo a sua serventia não somente na relação de resistência do SPT com os parâmetros de resistência e de deformação do solo, assim como as ligadas diretamente à previsão de capacidade de carga e de recalques de fundações para obras civis (SOUZA, 2007).

Conforme Consoli; Milititsky e Schnaid (2005), falta de averiguação do subsolo é o motivo mais comum dos problemas de fundações. O reconhecimento e a especificação mais precisa do tipo do solo e sua reação são necessários à solução de qualquer empecilho relacionado à fundação.

Seja qual for a edificação, deve-se fazer uma verificação geotécnica prévia composta, na pior das hipóteses, por sondagens a percussão do tipo SPT em conformação com NBR 6484, não desconsiderando também produção de outros métodos de sondagem para verificação complementar, mediante a prática de sondagens adicionais, instalação de

aparelhos que medem o nível d'água, piezômetros, assim como outros ensaios, tanto de campo como de laboratório, capaz de se constituir em um auxiliar eficaz no traçado dos perfis geotécnicos do subsolo principalmente em obras de grande extensão (NBR 6122 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010).

3.5 NBR 6484

A NBR 6484 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001) prescreve o método correto de se executar a sondagem de simples reconhecimento de solos com (SPT), que consiste na perfuração e cravação dinâmica de um amostrador-padrão, a cada metro de solo, resultando na determinação dos tipos de solo em suas respectivas profundidades, além da relação de resistência à penetração a cada metro. Com a previsão do solo e o projeto da edificação pode-se obter a opção mais adequada de fundação. O ensaio inicia-se com a sondagem do terreno a partir da superfície de instalação do equipamento até 1 m de profundidade com a cavadeira manual ou trado concha, onde se recolhe uma amostra dessa parte inicial. A partir de 2 m de perfuração, inicia-se o procedimento com o amostrador tipo fixado nos bastões do aparelho. Um martelo com 65 kg é erguido a uma altura de 75 cm com auxílio de uma corda de sisal e depois é solto, em queda livre, sobre o amostrador tipo. Este procedimento é repetido até que o amostrador penetre 45 cm no solo a cada 15 cm conta-se a quantidade de golpes do martelo para atingir tal profundidade e o valor de (N_{spt}) é a soma do número de golpes para penetrar o amostrador nos últimos 30 cm no solo.

A sondagem (SPT) divide-se nas seguintes operações:

- Abertura do furo;
- Ensaio de penetração;
- Amostragem;
- Avaliação do nível d'água;
- Reconhecimento e classificação das amostras;
- Relatório

A norma NBR 6484 (2001) traz uma relação dos estados de compactação e de consistência dos solos conforme a tabela 2, e ressalta que as expressões empregadas para a classificação da compactação das areias referem-se à deformação e resistência destes solos, no que diz respeito a fundações. Não se deve confundir com as mesmas denominações

empregadas para a designação da compactação relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na mecânica dos solos.

Tabela 2 – Compactação e consistência dos solos segundo a NBR 6484

Argila e Silte Argiloso	Resistência à Penetração N	Areia e Silte Arenoso	Resistência à Penetração N
Muito Mole	≤ 2	Fofa	≤ 4
Mole	3 a 5	Pouco Compactada	5 a 8
Média	6 a 10	Mediamente compactada	9 a 18
Rija	11 a 19	Compactada	19 a 40
Dura	> 19	Muito Compactada	> 40

Fonte: NBR 6484 (2001)

A tabela 3 mostra uma correlação entre o ensaio (SPT) e a resistência ao cisalhamento de areias e argilas.

Tabela 3 - Correlação ensaio SPT e resistência ao cisalhamento (kgf/cm²)

Argila	Nº de Golpes	Resistência	Areia	Nº de Golpes	Resistência
Muito Mole	≤ 2	<0.3	Fofa	≤ 4	<1
Mole	3 a 4	0.3 a 0.6	Pouco Compactada	5 a 10	1 a 2
Média a			Mediamente compactada		
Rija	5 a 8	0.6 a 1.2	Compactada	11 a 30	2 a 4
Rija	9 a 15	1.2 a 2.4	Compacta	31 a 50	4 a 6
Muito Rija			Muito Compactada		
	16 a 30	2.4 a 4.8		> 50	>6
Dura	>30	>4.8	-	-	-

Fonte: NBR 6484 (2001)

3.6 PLANEJAMENTO DAS SONDAGEM

Seja qual for a obra, sua execução demanda um planejamento antecipado para se definir o tipo de serviço a ser executado. Com esse conhecimento é possível escolher o melhor tipo ou tipos de sondagens, que podem ser empregues para a avaliação do solo.

No ato da inspeção do local devem ser observados os seguintes itens:

- Peculiaridades do terreno, deve-se averiguar ocorrências de afloramentos de rochas, se há a existência de blocos ou de matacões, presença de rio na adjacências, e linhas de drenagem;
- Morfologia, ou seja, se o terreno é plano, levemente ondulado, ondulado, acive, encosta natural (talude de corte), ou área de aterro;

- Indício d'água ou umidade;
- Propósito da sondagem para junção adequada da futura obra e do meio ambiente;
- Sondagem dentro de um espelho d'água (mar, rio, lago) ou terreno firme;
- Quantidade de furos estabelecida pela norma, especificação ou requisição do cliente, no ato da contratação;
- Profundidade do furo, oscilante conforme o tipo de obra, também sendo objeto de norma, ou requisição do cliente;
- Localização da sondagem, sujeito ao tipo de obra;
- Modelo da sondagem também é escolhido no momento do planejamento, de acordo com a realidade do terreno onde as sondagens serão efetuadas;
- Posicionamento dos furos e antecipação de possíveis deslocamentos por conta da existência de blocos ou matacões.

3.6.1 QUANTIDADE DE FUROS

A quantidade de furos deve ser, no mínimo, de um a cada 200m² de área da projeção em planta do edifício, até 1.200m² de área. De 1.200m² e 2.400m² deve-se fazer um furo a cada 400m² que excederem 1.200m². Acima de 2.400m² a quantidade de furos será fixa em conformidade com o projeto da construção (NBR 8036, 1983).

Em quaisquer situações a quantidade mínima de furos deve ser:

- Dois para área da projeção em planta do edifício até 200m²;
- Três para área entre 200m² e 400m².

3.6.2 NÚMERO DE SONDAGENS

Conforme a NBR 8036, as sondagens devem ser estabelecidas em projeto e cumprir às seguintes regras:

- I. Na fase preliminar do empreendimento, as sondagens devem estar distribuídas por toda área da edificação; já na etapa executiva pode-se localizar as sondagens segundo critérios específicos que tem em consideração pormenores estruturais;
- II. Quando for superior a três a quantidade de sondagens, estas não devem ser

divididas em um único alinhamento;

III. As sondagens devem ser executadas o mais próximo possível das fundações.

3.6.3 PROFUNDIDADE

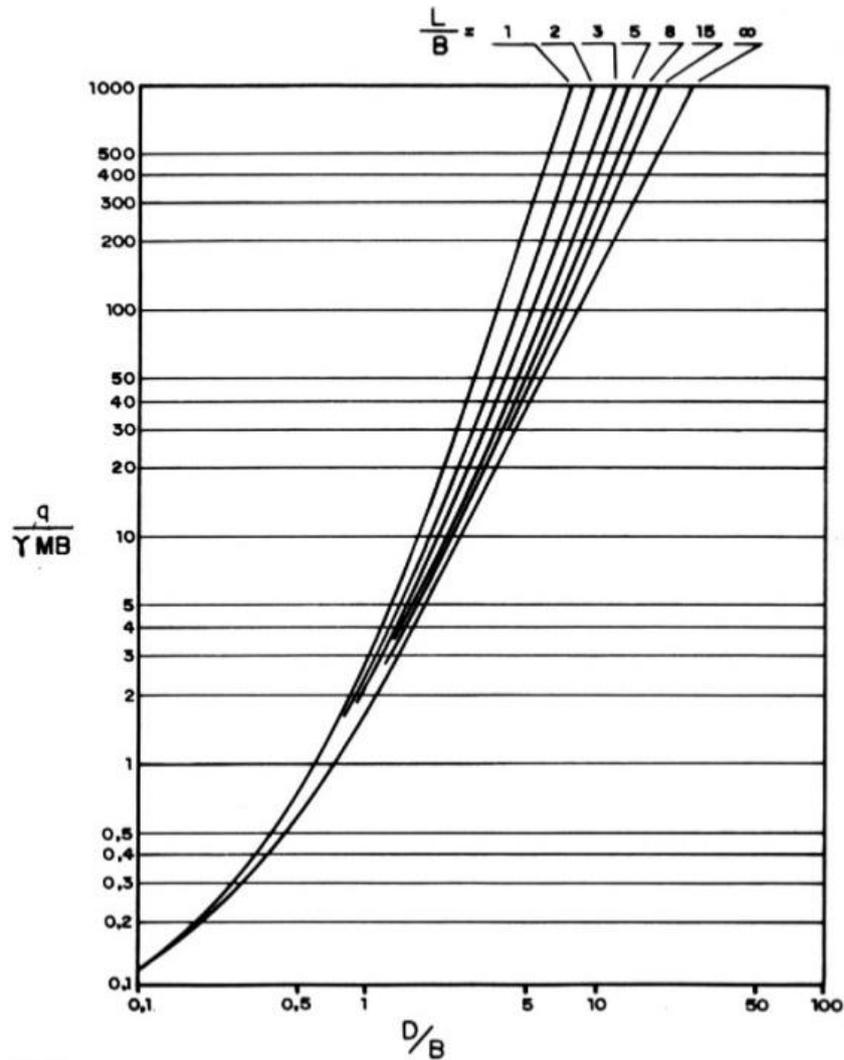
Segundo a NBR 8036, "As sondagens devem ser lavadas até a profundidade onde o solo não seja mais significante solicitado pelas cargas estruturais, fixando-se como critério, aquela profundidade onde o acréscimo de pressão no solo, devido às cargas estruturais aplicadas, for menor do que 10% da pressão geostática efetiva".

A NBR 6484 (2001) estabelece também critérios de parada, a interrupção da sondagem atende também a parâmetros pré-estabelecidos pelo cliente adotando-se:

- I. Parâmetros especificados na Norma 6484 (2001) utilizando a resistência à penetração em ensaios SPT consecutivos, como por exemplo:
 - Em 3m sucessivos, caso conseguir relação de penetração de 30/15 iniciais;
 - Em 4m sucessivos, caso conseguir relação de penetração de 50/30 iniciais;
 - Em 3m sucessivos, caso conseguir relação de penetração de 50/45 em relação ao amostrador padrão.
- II. Ao atingir uma determinada profundidade, caso ultrapasse, por exemplo, uma camada de argila orgânica, já conhecida anteriormente.
- III. No caso de atingir determinada profundidade, em que a consistência (no caso de argila) ou a compacidade (no caso de areia) adquirida no ensaio SPT tenha atingido um valor de resistência pré-estabelecido.
- IV. "Nega" do trépano de lavagem, termo que indica a condição de impenetrabilidade com o método de sondagem a percussão, com a aplicação do ensaio SPT, revezado com a técnica de avanço por lavagem.

Para o caso específico de projetos geotécnicos na construção de edifícios, deve ser consultada a NBR 8036, cujo o gráfico para a estimativa da profundidade das sondagens na área da futura edificação é mostrado a seguir (figura 6).

Figura 6 – Pressuposição da profundidade de sondagens na região da futura construção



Onde:

- q = pressão média sobre o terreno (peso do edifício dividido pela área em planta)
- γ = peso específico médio estimado para os solos ao longo da profundidade em questão
- M = 0,1 = coeficiente decorrente do critério definido em 4.1.2.2
- B = menor dimensão do retângulo circunscrito à planta da edificação
- L = maior dimensão do retângulo circunscrito à planta da edificação
- D = profundidade da sondagem

Fonte: (NBR 8036, 1983)

3.6.4 CUSTO DAS SONDAGENS

Toda investigação do subsolo terá um custo elevado ou não em função do terreno, da mesma maneira que a obra a ser executada. As sondagens mais onerosas são aquelas que não são consumadas, pois a falta de sondagem, com certeza acarretará em um aumento de despesas e perigo de colapso para a futura obra.

De acordo com informações apresentadas pela Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, posteriormente ao 1º Workshop sobre seguros de engenharia (ABGE, 2001, citado por ABPv, 2002) as sondagens e seus custos têm menos de 1% do valor total das obras de construção civil, ao mesmo tempo em outras nações essa porcentagem varia de 1 a 3%.

O custo para realização das sondagens, em âmbito geral, é determinado pela mobilização e desmobilização da equipe e de equipamentos, pelo custo do metro linear, também pelos custos de bases ou caminhamentos; da instalação por furo; da aplicação de plataformas em encostas, e aplicação de plataformas em espelhos d'água.

3.7 EXECUÇÃO

A área onde será realizada a sondagem deve estar limpa, de modo que não haja nenhum tipo de obstáculo que interfira no progresso das operações, é necessário também a abertura de um sulco ao redor para contornar as águas de enxurradas, na hipótese de chuvas. Quando necessário a construção de uma plataforma, esta deverá ser completamente assoalhada e cobrir ao menos, a área demarcada pelos pontos de fixação do tripé.

Próximo do local onde será realizado a sondagem é necessário a cravação de um piquete com a identificação da sondagem, para servir como parâmetro de referência para medidas de profundidades e fins de amarração topográfica.

As sondagens devem ser iniciadas utilizando o trado concha até onde possível, tornando-se impossível com o trado concha, o avanço será feito utilizando-se trado espiral.

Caso se atinja o nível freático, ou o progresso do trado espiral for abaixo de 5 cm em 10 minutos de trabalho contínuo de perfuração, pode-se então passar para a técnica de percussão com circulação de água. Porém nesse caso é necessário a cravação do revestimento.

Quando o progresso do furo acontecer por lavagem, deve-se elevar o mecanismo de circulação d'água (o que significa erguer o trépano) a altura de aproximadamente 0,3m e no momento de sua queda deve ser imprimido manualmente um movimento de rotação no hasteamento.

Os detritos mais pesados, não carregados com a circulação d'água, deverão ser retirados com o baldinho com válvula e pé.

O controle das profundidades dos furos, com precisão de 1,0 cm, deve ser feito pela diferença entre o comprimento total das hastes com a peça de perfuração e o restante delas em relação ao piquete de referência usado junto à boca do furo.

Se por acaso a sondagem atingir o nível freático, deve-se anotar a profundidade, também deve-se registrar o nível estático e, além disso deve ser medida a vazão e o respectivo nível dinâmico.

O nível d'água deverá ser medido diariamente anteriormente ao início dos trabalhos e na manhã seguinte depois do término da sondagem.

A sondagem á percussão será encerrada nos seguintes casos:

- Quando a profundidade especificada na programação dos serviços for atingida;
- Quando ocorrer a condição de impenetrabilidade.
- Quando estiver prevista sua continuação pelo processo rotativo e a penetração for inferior a 5,0 cm durante 10 golpes consecutivos.

Salvo especificação contrária, em seguida a última leitura do nível d'água, ou do furo seco, este terá que ser completamente preenchido com solo, solo-cimento ou outro material qualquer, a critério da fiscalização, sempre deixando cravado ao seu lado uma estaca com a identificação da sondagem.

3.8 SERVIÇOS DE SONDAGEM PRATICADOS NO BRASIL

Desde quando foi inserida a perfuração à seco pelo Engenheiro Odair Grillo, em 1939, até então diretor da divisão "Solos e Fundações" do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo), iniciou as atividades de sondagens no Brasil.

O percurso até a uniformização demorou mais de 30 anos, sendo assim, pode-se dizer que os sistemas e técnicas praticadas a no mínimo 40 anos encontram-se bastante solidificados no meio técnico brasileiro.

Está explícita observação convoca o meio técnico a uma reflexão: Qual a qualidade dos serviços de sondagens realizados no mercado brasileiro?

3.8.1 A QUALIDADE DOS TRABALHOS DE SONDAGEM

Entre os anos de 1980 e 1990 ocorreu uma enorme diminuição da quantidade de sondagens efetuadas no Brasil, especialmente, por conta da ausência de investimentos. Ocorreu também grande redução de empresas de projetos e prestadora de serviços e por

consequente extinção de profissionais capacitados, incluindo geólogos, técnicos de geologia e geotecnia, encarregados de sondagens e sondadores.

Com a recente recuperação do setor as firmas de sondagem enunciam fazer o possível para suprir a demanda. Entretanto os investimentos de maquinários e pessoal qualificado não crescem na mesma proporção que o ritmo de trabalho determinado pelo mercado, tanto pela escassez de aparelhos possíveis para se adquirir ou pela ingenuidade de empresas recém criadas na euforia do mercado aquecido.

Porém essa contestação não é atual. O Eng. Moacyr Menezes no 3º SEFE (Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia), ocorrido em São Paulo, no ano de 1996, expôs um trabalho abordando o assunto, a carência de qualidade dos serviços de sondagens realizados no Brasil, e há quinze anos atrás já dizia: "...nos últimos anos a qualidade dos serviços vinha caindo vertiginosamente...". E por decorrência explicitou ao meio técnico uma recomendação com vinte e nove metodologias para contratar sondagens de simples reconhecimento. Contudo percebe-se que a averiguação realizada por Menezes há mais de décadas segue existindo.

De forma generalizada, pode-se dizer que o bom funcionamento da campanha de campo deve percorrer um processo que engloba:

equipamento apropriado + pessoal instruído e capacitado + fiscalização.

Algumas razões podem ser indicadas como causadoras da queda na qualidade dos serviços executados e conseqüentemente dos resultados obtidos:

- Ausência de equipamento adequado;
- Carência de pessoal qualificado;
- Escassez de treinamento da equipe de campo;
- Necessidade de fiscalização

Compreendemos que os serviços de sondagens, são realizados por empregados com nível baixo de escolaridade e treinamento inadequado. O procedimento de execução é repassado pelos sondadores, geralmente para aquele ajudante que se apresenta mais entusiasmado e, por não haver uma ligação norma-prática, os sistemas executivos vêm sendo encurtados.

A qualificação de pessoas deve ser vista como prioridade e deve acontecer através de treinamento que compreenda:

- Discernimento das Normas e de seus métodos; relação de aparelhagens utilizadas no processo executivo, incluindo suas nomenclaturas mais populares;
- Compreensão dos boletins de campo empregues pela empresa, e de onde devem ser registrados todos os dados de campo conquistados no decorrer da sondagem;
- Reconhecimento do trabalho do profissional. Apresentar à equipe a relevância do trabalho que efetuam, determinar a função de cada funcionário no procedimento.

As sondagens executadas, são baseadas em métodos que estão em prática há mais de 50 anos. Se pegarmos como exemplo a sondagem à percussão, pela maneira como é realizada, podemos considerá-la um processo artesanal.

Na versão mais atualizada o equipamento encontra-se sobre um chassi de caminhão, no qual o amostrador é cravado por um martelo mecânico operado de forma automática, tendo seu uso restringido pelas circunstâncias de acesso ao local.

As aparelhagens utilizadas nas sondagens rotativas também passaram por singelas remodelações, contudo o que mais se percebe em empresas de sondagem são aparelhos antigos com mais de 30 anos de utilização.

3.9 CRITÉRIOS QUE INTERFEREM NOS LAUDOS DO SPT

Em 1970, aproximadamente, o SPT enfrentava um estágio de referente descrédito. Esta fase transcorria em consequência da falta de informação sobre a importância do elevado número de condições que aparentemente prejudicavam seus resultados. Mesmo com muitas críticas sobre seu ensaio não padronizado e questionamentos quanto a precisão dos projetos baseados em seus resultados o SPT enfrentou e continuou o procedimento de investigação de campo mais empregado no planeta (PALACIOS, 1997).

Da mesma maneira que qualquer ensaio, o SPT está submetido a interferência de inúmeros fatores. Em sua maioria dos casos, podem ser classificados de três maneiras: de procedimento, de equipamento e humana.

Referente a resistência à penetração do SPT, as causas constituintes têm sido continuamente prescritas por Hvorslev (1949), Fletcher (1965), Mohr (1966), Teixeira (1974,

1977). O estudo de Hvorslev (1949) engloba os aspectos que interferem nos três ramos básicos: procedimento, aparelhagem e condições do solo (Belincanta, 1998).

Conforme Palacios (1977) os elementos referentes ao aparelhamento são: martelo, bastão, amostrador e revestimento do furo. Referente ao martelo, os fatores fundamentais que intervêm nos resultados são a massa e altura de caimento. Em relação aos bastões, os elementos de maior importância são a forma e o comprimento de composição, com relação ao revestimento está entre a razão de seus diâmetros interno e externo do amostrador. Em conclusão Palacios (1977) caracteriza os seguintes fatores (quadro 5).

Quadro 4 – Fatores caracterizados por Palacio (1977).

Fatores Referentes ao Solo	Fatores Referentes aos Procedimentos	Fatores Referentes ao Amostrador
Resistência	Intervalo de tempo entre a perfuração	Diâmetro
Compacidade	Avanço, limpeza do furo	Razão da área projetada
Permeabilidade	Profundidade relativa do furo e do revestimento	Rugosidade externa e interna (uso ou não de liner)
Grau de saturação	Espaçamento entre amostragens subsequentes	Forma e estado da sapata cortante
Sensibilidade (argilas)	Estabilidade do furo	Alargamento externo e interno (clearance)
Forma, distribuição e tamanho dos grãos (areias)	Profundidade de penetração do amostrador	Área e forma das aberturas de alívio de pressão ou ventosas (vents)

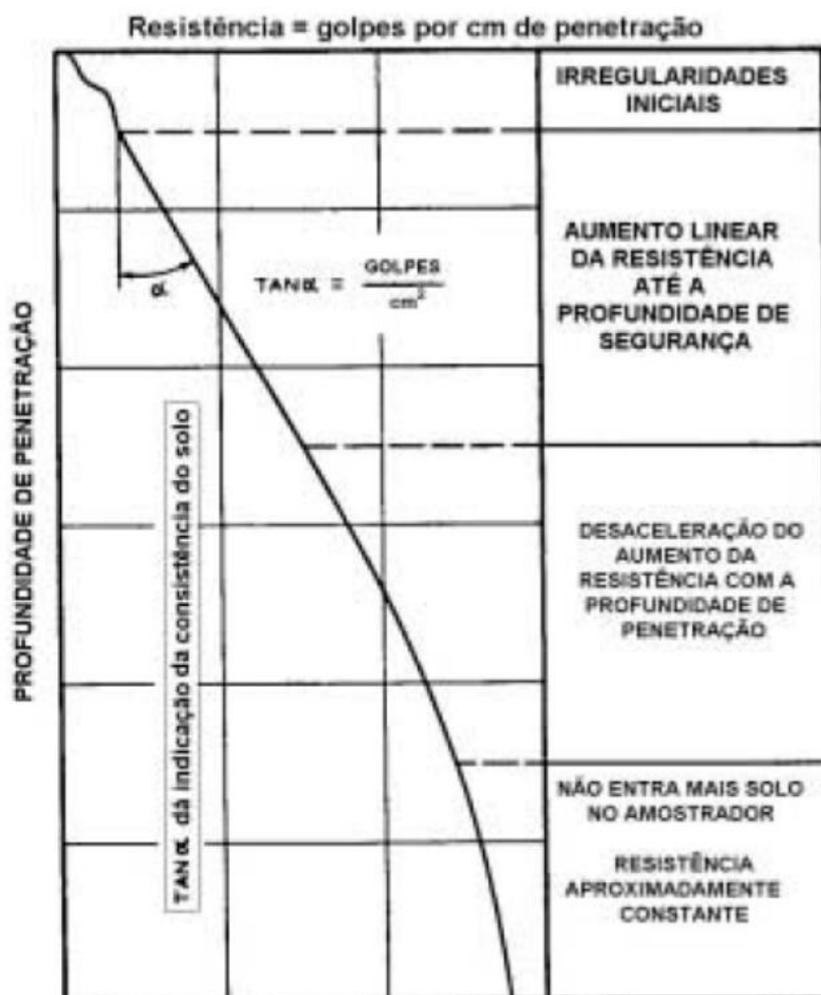
Fonte: (PALACIO, 1977, segundo BELINCANTA, 1998).

No seu estudo Hvorslev (1949) também expunha os impactos do desbalanceamento hidráulico do furo com relação ao solo, capaz de mudar a consideravelmente a resistência no furo da perfuração. Pesquisas executadas no período com a cooperação da “ *waterways experiment station* ” (WES) comprovaram que esse impacto gera uma causa considerável de variação na resistência à penetração de reservatórios de areias com capacidade média.

O autor verificou o que sucede com a resistência à penetração durante o processo de cravação do amostrador. O diagrama exposto na figura 6 demonstra a resistência à penetração

conforme a profundidade da penetração do amostrador, conveniente para os eventos dinâmicos e estáticos.

Figura 7 – Diagrama de resistência à penetração conforme a penetração do amostrador



Fonte: (HVORSLEV, 1949, segundo BELINCANTA 1998).

Nota-se que este diagrama dispõe basicamente de três fases diferentes: a primeira fase, a fase mediana e a fase final. Esta primeira etapa é definida pela subsistência de um desempenho desarmônico da penetração (consequência de perturbações no fundo do furo). No que lhe diz respeito, a fase mediana é reconhecida por um acréscimo constante da resistência, decorrendo da resistência de ponta pelo atrito externo e interno do amostrador.

A fase seguinte refere-se somente a uma profundidade nomeada de segurança, fundamentado em tal, tem início a última fase, identificada pela diminuição da resistência, incitada pela ocupação do amostrador com o material compenetrado e o desenvolvimento do

embuchamento. Nesta fase, a resistência a penetração foi dirigida exclusivamente pelo embuchamento e pelo atrito externo do amostrador.

Ao redor de 1960, Fletcher (1965) e Mohr (1966) ofereceram uma rica contribuição para a melhor compreensão dos aspectos que interferem no ensaio SPT. Sem contar os elementos referentes ao aparelhamento e aos métodos de ensaio, estes autores mostraram com muita importância, os aspectos de natureza humana.

Sem preocupação de ocorrer um aglomerado por categorias, Fletcher (1965) enumera uma sucessão de causas responsáveis por divergências expressivas nos laudos do ensaio SPT. Subsequentemente, Mohr (1966), perfaz essa listagem com outras informações. No Brasil, esses aspectos foram debatidos por Teixeira (1974, 1977), Décourt (1989) e Belincanta (1985, 1998). A seguir, serão apresentados alguns desses aspectos.

3.9.1 LIMPEZA IMPRÓPRIA DO FURO DE SONDAGEM

Décourt (1989) aponta que a utilização de procedimentos inapropriados de perfuração e de limpeza compromete a exatidão do SPT. Em conformidade com a NBR 6484/2001, no momento em que é alcançada a taxa de amostragem, por intermédio da circulação d'água, a higienização do furo requer tempo a fim de que todos os resíduos sólidos resultantes do procedimento sejam removidos.

Quando é desconsiderado esse tempo ou a bomba de recalque não possui de eficácia para erguer os resíduos sólidos à superfície, é provável de acontecer o entupimento dos orifícios e válvulas presentes na cabeça do amostrador, acrescentando obrigatoriamente a resistência à penetração.

No entanto, a exagerada lavagem do furo pode acarretar em significantes agitações na parede e no fundo da perfuração, promovendo que as tensões sejam suavizadas além do habitual e, por conseguinte limitando a resistência à penetração do amostrador.

3.9.2 INADEQUAÇÃO DO JATO E DA BOMBA D'ÁGUA DO TRÉPANO

Mohr (1966) aponta que o manejo da pressão da bomba representa ser um motivo de grande relevância para a qualidade de realização dos ensaios. Entretanto, as normas válidas não fazem nenhum tipo de anotação em relação à questão, resultando essa atividade somente a serviço da equipe de sondagem. Em suas análises Mohr (1966) aponta que quando a pressão é

reduzida e a vazão é baixa a lavagem é insuficiente. Entretanto, no inverso, a consequência da pressão e da vazão da bomba no procedimento da perfuração poderá acarretar significantes perturbações nas paredes do furo e também na cota de assentamento do amostrador.

Semelhantemente, se a direção do jato d'água emitido pelo trépano for radial, conforme a pressão e a vazão poderão acarretar em significativas perturbações nas paredes do furo e o diâmetro do mesmo ficará superior ao esperado.

3.9.3 USO DE FLUXO D'ÁGUA NA PERFURAÇÃO ACIMA DO LENÇOL FREÁTICO

Belincanta (1998) declara que a alteração do trado manual pela perfuração com o fluxo d'água acima do lençol freático pode acarretar em expressivos erros nos resultados, principalmente em areia finas e siltes.

Conforme o autor, esse evento se deve ao fato desse método causar uma intensa desagregação do solo e uma decorrente descomposição da sua estrutura natural, amenizando o estado de tensões geostática tanto no sentido vertical quanto no sentido horizontal. Esse efeito se potencializa quanto mais fofo é o solo.

3.9.4 MARTELO DE BATER

Nos dias de hoje existem diversos tipos de martelos sendo usados pelo mundo. Simplesmente cada um dispõe de características distintas, com possibilidade de aumentar ou diminuir as perdas de energia no sistema.

Fundamentalmente existem três extensos conjuntos de martelos utilizados na aplicação dos ensaios SPT: os de queda deslizando a corda sobre roldana com uso alternativo de tambor em rotação (*Safety, Donut e Pin-Guided*); os de queda livre (*Pilcon, Barros, dando*), e os automáticos.

No continente asiático existe um favoritismo pelos martelos automáticos, enquanto os martelos de quadra livre são utilizados desde de 1960 em países da Europa, apesar de que sua utilização de maneira difusa ocorreu desde o início da década de 1990 (KOVACS, 1994). As particularidades desses martelos são apresentadas nos estudos de Shi-ming (1982) e Iwashaki et al., (1982), além do trabalho de Kovacs (1994). No que lhe diz respeito, os martelos de caimento com corda e tambor em rotação são mais empregados nos países da América do Norte.

Em território nacional, é muito comum a utilização dos martelos de execução manual, do tipo pino-guia, corda e sisal resvalando em roldana fixa e, em poucas ocorrências, uso de tambor de rotação (posicionando no chão, tripé e etc).

A década de 1990 despertou em nosso país a aplicação do martelo com gatilho disparador de fácil acionamento, elaborado por Furnas Centrais Elétricas S.A (Belincanta e Cintra, 1998).

Neste mesmo trabalho, os responsáveis referidos divulgam o emprego no Brasil de um martelo de queda livre trabalhando automaticamente, elaborado nos Estados Unidos pela *Central Mining Equipment* (CME).

Clayton (1990) exhibe em seu estudo dados visando comprovar a influência de diversos procedimentos operantes de martelo empregues em diversos países na eficácia da energia dinâmica que incidente sobre os bastões do SPT.

As informações do trabalho de Clayton (1990) exibidos no Quadro 5 nos expõem que os processos mais eficazes são o automático de queda livre inglês, o *donut* japonês utilizado no procedimento de *tombi* e o método brasileiro de pinoguia. É relevante destacar que o método brasileiro expôs a mesma competência do procedimento inglês de queda livre (73%), pondo em discrepância os dados apontados no trabalho de Kovacs (1994) que desaprova o método *pin-guided*.

Quadro 5 – Oscilação da eficácia da energia transferida aos bastões do SPT em conformidade com o país e o sistema de martelo

País	Martelo	Mecanismo Operacional	Eficiência Média (%)
Argentina	<i>Donut</i>	<i>Cathead</i>	45
Brasil	Pino-guia	Manual	72 - 73
China	Automático	Queda livre	60
	<i>Donut</i>	Manual	55
	<i>Donut</i>	<i>Cathead</i>	50
Colômbia	<i>Donut</i>	<i>Cathead</i>	50
Japão	<i>Donut</i>	<i>Tombi</i>	78 - 85
	<i>Donut</i>	Duas voltas no <i>cathead</i>	65 - 67
Inglaterra	Automático	Queda Livre	73

(Fonte: CLAYTON, 1990).

3.9.5 ESTADO DE CONSERVAÇÃO DA CORDA

Na realização dos ensaios do tipo SPT os modelos mais usuais de cordas empregues são as de nylon (fibra sintética) e de sisal. Em território nacional a corda de sisal é amplamente utilizada. Lamentavelmente ainda não há estudos verificando a atuação destes dois modelos de corda nos laudos do ensaio.

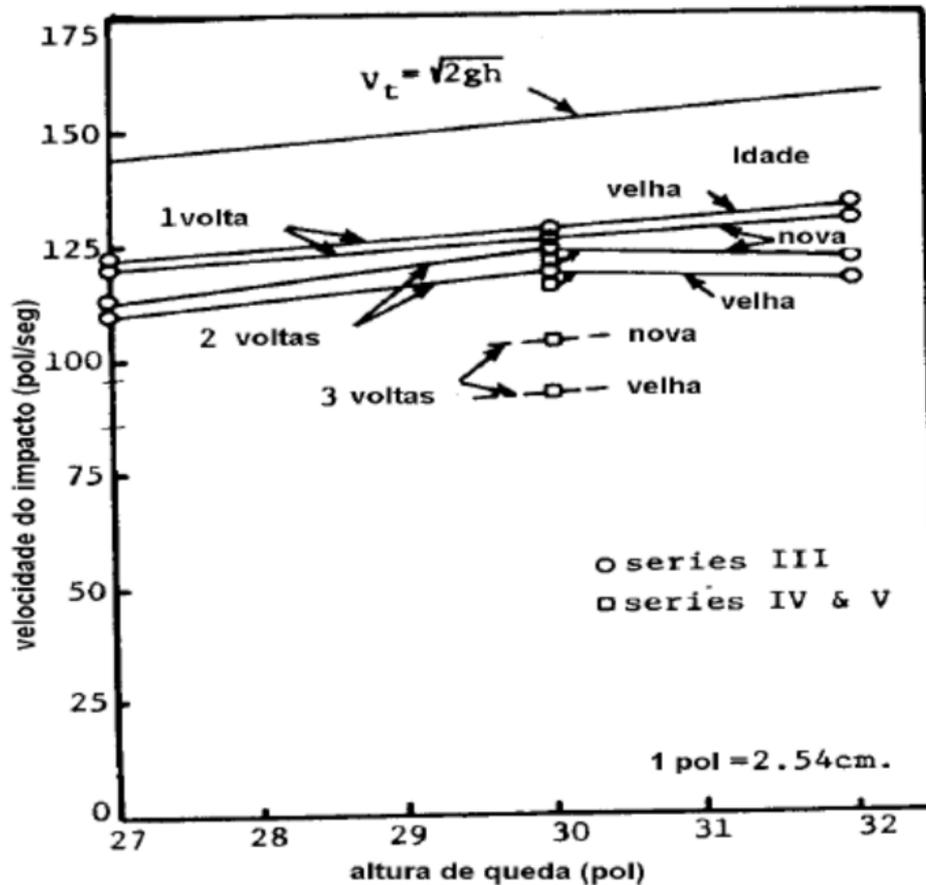
Entretanto, especialmente a partir dos estudos de Kovacs et al. (1977) vem sendo considerada a influência da idade da corda de sisal nos efeitos do SPT. Trabalhos do autor citado comprovam que, de duas a três voltas, a corda de mais idade propende a reduzir a velocidade de caimento do martelo, de maneira oposta a quando se é dada uma única volta.

Para investigar a influência gerada pela idade da corda, Kovacs et al. (1977) exhibe conclusões notáveis, os quais estão representadas na figura 7. Percebe-se nesta Figura que a corda com mais tempo de utilização tende a limitar da velocidade de colisão uma vez que são dadas duas ou mais voltas no entorno do tambor. Essa limitação se revela de maneira mais intensa quando são dadas três ou mais voltas.

A justificativa para esse evento destina-se ao fato da corda nova ser mais inflexível e resistente originando um círculo ao redor do tambor e conservando um avantajado raio de curvatura, possibilitando o deslocamento da corda. No entanto, quando a corda é envelhecida, deteriorada e flexível, existe uma predisposição dela aglutinar junto ao tambor, atrasando a sua libertação.

Belincanta (1998) ao consumir pesquisas nos Estados de: São Paulo, Paraná e Goiás, contrapôs resultados de competência de energia dinâmica transferida aos bastões com martelo pino-guia com coxim de madeira, operado manualmente com corda e cabo de aço. A conclusão do referido autor foi de que o processo com cabo de aço foi de 1,7% a 3,0% mais eficaz do que o manual.

Figura 7 – Interferência da altura de caimento, na quantia de voltas da corda ao redor do tambor do sistema “cathead” e da idade da corda na velocidade de colisão do martelo



Fonte: Adaptado de KOVACS et al. 1977

3.9.6 ALTURA DE CAIMENTO DO MARTELO

É comum que no começo de uma carreira de trabalho os trabalhadores do sistema martelo com acionamento manual, grandemente usado no Brasil e Estados Unidos, levantarem o martelo mais que o necessário. Igualmente, ao final de uma jornada de trabalho, em consequência ao desgaste físico dos trabalhadores, espera-se que aconteça o inverso. Em outra situação inicial o martelo cairá com uma velocidade maior e ocorrerá uma maior transmissão de energia cinética nos bastões, encurtando o N do SPT. No segundo caso o martelo cairá com menor velocidade acarretando assim a uma menor transmissão de energia cinética aos bastões, aumentando o N do SPT.

O procedimento com martelo acionado por corda com tambor em rotação ou quaisquer outros tipos de martelo que dependam de uma marcação para averiguar a altura de

caimento, tem consequência em altura de caimento superior a pré-determinada. Em seu estudo o responsável enfatiza que uma falha de mais ou menos 7,5 cm na altura de caimento é possível suscitar a erros na energia total propagada aos bastões com uma porcentagem aproximada de 10% (De Mello 1971).

Igualmente preocupados com o tema Kovacs et al. (1977) desenvolveram muitas verificações para examinar a interferência da experiência dos trabalhadores na altura de caimento do martelo. Seus resultados determinam que, em média, tanto o trabalhador com mais anos no ramo quanto o com menos tempo cometiam os menos erros em relação à altura de caimento do martelo. O autor investigou também a influência da altura de caimento e da quantidade de voltas em torno do tambor na velocidade de colisão do martelo do SPT.

3.9.7 CABEÇA DE BATER

Estudos como o de Skempton (1986) e Belincanta (1998) são declaratórios ao confirmar a relevante influência da cabeça de bater no decorrer da transmissão energética aos bastões do SPT.

As implicações iniciais de Belincanta (1985) apontam que uma cabeça de bater pequena mostrava uma eficácia menor do que as de maiores dimensões. Todavia, as informações apresentadas por Skempton (1998) não mostram essa diferença.

Belincanta (1998) conferiu que a cabeça de bater pequena de 12N é 4% mais eficaz do que a normal de 35N.

3.9.8 FREQUENCIA DE GOLPES

Uma causa relevante a ser observada nos ensaios SPT e que na prática é ignorado pelas empresas que realizam sondagens, relaciona-se a frequência dos golpes de martelo. Aplicando um martelo de queda livre tipo *borros* Kovacs (1979) estudou esse efeito e notou que a altura de queda tende a aumentar à medida que se amplia a frequência de golpes. Segundo comprovado em seus trabalhos aquele autor não aconselha frequência maior do que 15 golpes por minuto.

A respeito desse mesmo material Décourt et al. (1988) e o Issmfé (1989) apresentam a esse respeito proposto em média 30 golpes para o SPT “padrão”. Ao seu ver, Skempton (1986) demonstra que em uma frequência média de 35 golpes/minuto torna obsoleta a correção de N devido a este efeito.

Esse assunto foi debatido por Seed et al. (1985), que confrontou a prática japonesa e americana. No sistema adotado nos EUA é comum uma frequência entre 30 e 40 golpes por minuto, ao passo que os sistemas japoneses *tombi* e de corda roldana, as frequências normalmente são na faixa de 10 a 25 e de 17 a 20 golpes por minuto.

Então, mesmo que as frequências de energia transferidas sejam as mesmas, os valores de N poderão ser diferentes em função da frequência dos golpes e da compactação da areia.

3.9.9 INTERVALO DE PENETRAÇÃO

Como de costume a resistência à penetração mensurada nos 30 cm iniciais tende a ser menor do que a medida nos 30 cm finais de penetração do amostrador. Isso acontece por conta da perturbação do solo logo sob o fundo do furo formado pelo método utilizado na perfuração, e/ou pelo alívio de tensões, e/ou pela migração d'água intersticial nessa situação e pelo embuchamento do amostrador dos 30 a 35 cm de penetração em diante.

Conforme o relatado por Teixeira (1977), para um determinado número de golpes, inserir o amostrador 45 cm no solo, aproximadamente 23 % do total dos golpes é responsável pela penetração dos 15 cm iniciais, 33% pelos 15 cm intermediários e 44% pelos 15 cm finais. A bibliografia expressa também a maneira não linear dessa relação até os 15 cm iniciais, e partir destes 15 cm iniciais, a relação pode ser aproximadamente evidenciada por uma reta. A relação existente entre o número de golpes medido para os primeiros 30 cm e os 30 cm finais é de aproximadamente 1,4. Essa averiguação reforça a idéia de que a resistência representativa do solo (77%) é obtida nos 30 cm finais da penetração do amostrador.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base no que foi apresentado, o ensaio SPT sofre com vários fatores que vão interferir na medida do NSPT, porque o índice é afetado diretamente pela energia que chega ao amostrador. Com isso fatores relacionados aos equipamentos utilizados e ao procedimento do ensaio vão implicar em distintas energias transferidas e apresentar resultados variáveis. Por sua vez, as condições do solo também influenciam no resultado, bem como sua heterogeneidade.

Apesar da existência da NBR 6484 e do Manual de Especificação da Associação Brasileira de Empresas de Fundações e Geotecnia, grande parte das sondagens SPT executadas no Brasil não obedecem às suas prescrições sendo frequentemente observados desencontros entre as informações fornecidas pelos laudos de sondagens e as verificadas no campo durante a execução das obras.

Outra consideração importante a se fazer é que poucas obras seguem a quantidade de furos de sondagens estabelecida pela NBR 8036 (ABNT, 1983) e a distribuição correta deles no terreno. Algumas análises podem ficar comprometidas pelo número reduzido de furos.

Diferentes procedimentos de campo também dificultam a interpretação das sondagens. De tal modo que as diferenças de procedimento de campo geram a incertezas nos projetos.

Diante dessas dificuldades, faz-se necessária a busca por procedimentos que sigam as orientações das normas e minimizem os erros de projeto e execução, garantindo um padrão mínimo de qualidade das sondagens. Para tanto as empresas de sondagem precisam investir mais na capacitação dos seus sondadores, buscando a implantação de procedimentos padronizados, bem como equipamentos calibrados. Além disso, essas empresas precisam ser fiscalizadas pelos próprios contratantes.

Uma das formas de fiscalização dos serviços de sondagem é a contratação de empresas que possuam uma espécie de selo que ateste sua qualidade, como proposto pela ABMS e ABGE. Este selo indicará as empresas que investem na capacitação de suas equipes e na padronização dos seus procedimentos. Outra maneira seria a fiscalização da norma NBR 6484 pelo órgão competente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho observou-se a importância da realização de sondagem de simples reconhecimento em subsolos para a escolha e dimensionamento corretos dos elementos de fundação. Tendo em vista os danos associados às alterações das características geotécnicas mesmo em curtas distâncias.

Notam-se muitos descuidos com a execução das investigações geotécnicas como a ausência de manutenção do equipamento, e a despadronização na execução do ensaio.

Além disso, como o exposto pela literatura, diversos fatores causam interferência nos ensaios de SPT, como por exemplo, a idade ou conservação da corda que pode reduzir a velocidade do martelo, limpeza imprópria do furo que limita a resistência à penetração, a altura de queda do martelo que afeta na energia cinética transmitida aos bastões, etc. Além da crescente procura por serviços especializados, a imprescindibilidade de distinguir as empresas que fornecem bons serviços no âmbito abordado e os prejuízos econômicos, ambientais, sociais e humanos acarretados por sondagens negligentes.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. F. de. Mapeamento geotécnico preliminar em escala semi-detalhe (1:25.000) da área de expansão urbana de Uberlândia-MG. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2005. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp010489.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (BRASIL) (ORG.). NBR – 06502 – ROCHAS E SOLOS – TERMINOLOGIA/ 1995. DISPONÍVEL: <[HTTP://FOLLOWSCIENCE.COM/CONTENT/499552/NBR-06502-1995-ROCHAS-E-SOLOS](http://followscience.com/content/499552/NBR-06502-1995-ROCHAS-E-SOLOS)>. ACESSO EM: AGOSTO 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484. Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8036. Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundação de edifícios. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO - ABPv. Curso de Sondagem à percussão de simples reconhecimento. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <<http://www.helix.eng.br/downloads/sp.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNIA. Manual de especificações de Produtos e Procedimentos. ABEF - 2ª Ed, 1999.

BELINCANTA, A. Energia Dinâmica no SPT - Resultados de uma Investigação Teórico-Experimental. 1985. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, USP, São Paulo-SP. 1985.

BELINCANTA, A. Avaliação de Fatores Intervenientes no Índice de Resistência a Penetração do SPT. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Paulo, USP. São Carlos – SP, 1998.

BELINCANTA, A.; CINTRA, J.C.A. Fatores intervenientes em variantes do método ABNT para Execução do SPT. Revista Solos e Rochas. ABMS, vol. 21, n.3. 1998

BROMS, B.B.; FLODIM, N. History of Soil Penetration Testing In: Proceeding of the Penetration Testing – ISOPT-1, Orlando, J. DE RUITER Ed. 1988.

CARVALHO, I. S. Proposta para certificação das empresas de sondagens à percussão - tipo SPT. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato grosso, 2012. Disponível em: <<http://200.129.241.80/ppgeea/sistema/dissertacoes/24.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2017.

CAVALCANTE, Erinaldo H. Investigação Teórico-Experimental Sobre o SPT. Tese de Pós-Graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro – RJ, 2002. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=715-erinaldo-hilario-cavalcante-doutorado&category_slug=2002-2&Itemid=428&lang=pt-br>. Acesso em: 19 out. 2017.

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos Solos e Suas Aplicações. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988. 6. ed. 234 p.

CLAYTON, C.R.I. SPT Energy Transmission: Theory Measurement and Significance. Ground Engineering. Vol. 23, n. 10, p. 33-42. 1990

CONCIANI, W. (2011), “A Formação de Sondadores – experiência do IFB”, ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – Mesa Redonda: Sondagens – Método, Procedimentos e Qualidade. Nº1, São Paulo- SP

CONSOLI, Nilo, C.; MILITITSKY, Jarbas; SCHNAID, Fernando. Patologia das fundações. Oficina de textos. São Paulo. 2005. CORDEIRO, Daniel, D. Obtenção de parâmetros geotécnicos de areias por meio de ensaios de campo e de laboratório. 2004. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitoria, 2004. Disponível em: <<http://www.prppg.ufes.br/ppgec/dissertacao/2004/DanielDargan.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2017.

CAMPOS, Iberê M. Conheça Os Três Tipos Principais De Solo: Areia, Silte E Argila. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura IBDA, 2009. Disponível: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=9&Cod=59>>. Acesso em: maio 2013.

DANZIGER, B.R. Análise Dinâmica de Cravação de Estacas. 1991. 543 p. Tese de Doutorado, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, 1991.

DAS, Braja M. Fundamentos de Engenharia Geotécnica. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 560 p. il.

DNER. Manual de pavimentação. 2. ed. Rio de Janeiro, 1996.

DECOURT, L. The Standard Penetration Test – State of Art Report: In: XII International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Rio de Janeiro - RJ, vol.4. 1989..

DÉCOURT, L.; QUARESMA, A.R. Capacidade de Cargas de Estacas a partir de Valores do SPT. In: Anais do VI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos. Rio de Janeiro - RJ. 1978.

FLETCHER, G.F.A. Standard Penetration Test: It's Uses and Abuses, Clouere at Discussion, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division. ASCE. Vol. 91, n. SM4. 1965.

FONTELES, H.R.N. (2003). Caracterização geotécnica do subsolo da porção nordeste do Município de Fortaleza (CE) com base em Geoestatística. 2003. 146 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: www.eesc.usp.br/geopos/dissertes/fonteles.pdf Acesso em: 16 out. 2017.

HVORSLEV, M.J. Sampling Methods and Requirements. Subsurface Exploration and Sampling of Soils for Civil Engineering Purpose. 1 ed., Chapter 4, Vicksburg, Mississippi, USA, Waterways Experiment Station. 1949.

KOVACS, W.D. Velocity Measurement of Free-Fall SPT Hammer. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division. ASCE. Vol. 105, n. GT1. 1979.

KOVACS, W.D.; SALOMONE, L.A. SPT Hammer Energy Measurement. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division. ASCE. Vol. 108, GT4. 1982.

LO PINTO, V.J. Discussion on Standard Penetration Test: It's Use and Abuse. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division. ASCE. Vol. 92, n. SM1. 1966.

LIMA, Shyrlane Gomes de. **Ação do intemperismo como agente modificador de relevo.** Disponível em: http://www.komedi.com.br/escrita/leitura.asp?Texto_ID=7774. Acesso: Setembro de 2013.

MATSUMOTO, K.; MATSUBARA, M. Effects of Road Diameter in the Standard Penetration Test. In: Proceedings of the ESOPT-2, Penetration Testing. Amsterdam. Vol.1. 1982.

MELLO, V.F.B. de. Standard Penetration Test. In: Proceedings of the IV Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Porto Rico, vol. 1. 1971..

MOHR, H.A. Discussion on "Standard Penetration Test: It's Use and Abuse. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division. ASCE. Vol. 92. N. SM1. 1966.

NÁPOLES NETO, A.D.F. Medida de Resistência à Penetração dos Solos em Sondagens de Reconhecimento, Estado Atual do problema no Brasil e, em Particular, no IPT. Relatório Interno, São Paulo - SP. 1961.

NEVES, Luis F. de S. Metodologia para a determinação da eficiência do ensaio SPT através de prova de carga estática sobre o amostrador padrão. 2004. 420f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) -Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2004. Disponível em: <http://www.dicionariogeotecnico.com.br/dissertacao.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2017

NIXON, I.K. Standard Penetration test State-of-the-Art Report", In: Proceedings of the ESOPT-2, Penetration Testing. Amsterdam. Vol.1. 1982.

ORTIGÃO, J. A. R. Introdução À Mecânica Dos Solos Dos Estados Críticos/ 3º edição. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ: Terratek, 2007.

PALACIOS, A. Theory and Measurements of Energy Transfer During Standard Penetration Test Sampling. 1997. Tese de Pós-Doutorado. University of Florida, Gainesville, USA. 1977.

PECK, R.B.; HANSON, W.E.; THORNBURN, T.H. Techniques of Subsurface Investigation. Foundation Engineering, 1ª ed., Chapter 5, New York, John Wiley & Sons, Inc. 1953

PEREIRA, M.B. Sondagem-Relato. In: Anais do V Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. São Paulo – SP. Vol.4. 1974.

ROCHA, H.C. “ Proposta de um Sistema de Avaliação da Qualidade e de Aceitação das Sondagens de Simples reconhecimento para as Obras do Metrô de São Paulo”, ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – Mesa Redonda: Sondagens – Método, Procedimentos e Qualidade. Nº1, São Paulo- SP

SANTANA, C. R. Significado de curva granulométrica. Disponível em: <<http://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-curva-granulometrica.html>>. Acesso em: 21 setembro 2017.

SCHMERTMAN, J.H. & PALACIOS A. Energy Dynamics of SPT. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division. ASCE. Vol. 105, n. GT8. 1979.

SCHNAID, F., (2000), Ensaios de Campo e Suas Aplicações à Engenharia de Fundações. 1 ed. São Paulo, SP, Editora Oficina de Textos.

SEED, H.B.; TOKIMATSU, K.; HADER, L.F.; CHUNG, R.M. Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resultance Evaluations. Journal of Geotechnical Engineering. ASCE. Vol. 111, n. 12. 1985.

SKEMPTON, A.W. Standard Penetration test Procedures and Effects in Sands Of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Aging and Overconsolidation. Géotechnique. Vol.36, n.3. 1986.

TEIXEIRA, W.; MOTA, C.; FAIRCHILD, T.; TAIOLI, F. Decifrando a Terra. São Paulo, SP: editora USP, 2000.

TEIXEIRA, A.H. A Padronização de Sondagens de Simples Reconhecimento. In: Anais do V Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Vol. 3, São Paulo - SP. 1974.

TEIXEIRA, A.H. Sondagens: Metodologia, erros mais comuns, normas de execução. In: Anais do I Simpósio de Prospecção do Subsolo. ABMS. Núcleo Nordeste, Recife – PE. 1977.

TEIXEIRA, A.H. Um aperfeiçoamento das Sondagens de Simples Reconhecimento à Percussão. In: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, EESC/USP, Solos do Interior de São Paulo, Capítulo 4. São Carlos – SP. 1993.

TERZAGHI, K.; PECK, R.B. Soil Exploration. Soil mechanics in Engineering Practice. New York. 1 ed., Chapter 7. John Willey & Sons, Inc. 1948.

VARGAS, M. Heritage Lecture: Soil Mechanics in Brazil. In: Proceedings of the XII ICSMF. Rio de Janeiro - RJ. Vol.4. 1989.

VARGAS, Milton. Introdução à Mecânica dos Solos. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977. 509 p.

VARGAS, Milton. Introdução à Mecânica dos Solos. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977. 509 p.