FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS – FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
ENGENHARIA CIVIL

NATAN ARAÚJO DE OLIVEIRA

ANÁLISE DO MÉTODO DE EXECUÇÃO DE SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO DO SOLO TIPO STANDARD PENETRATION TEST (SPT)

UBÁ – MG
2022

NATAN ARAÚJO DE OLIVEIRA

ANÁLISE DO MÉTODO DE EXECUÇÃO DE SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO DO SOLO TIPO STANDARD PENETRATION TEST (SPT)

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá - FUPAC, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Erika Maria Carvalho Silva Gravina

UBÁ – MG
2022

RESUMO

A investigação geotécnica é uma etapa primordial para o dimensionamento correto de projetos de construção, destacando-se o método *Standart Penetration Test* (SPT), sendo ele o mais utilizado pois traz melhor custo benefício e fácil execução. Este trabalho tem o intuito de apresentar os procedimentos para execução das sondagens do solo, considerando o sistema *Standard Penetration Test* (SPT), descrever as etapas da norma sobre as sondagens de solos para simples reconhecimento e apontar os principais erros observadas na execução deste ensaio. A elaboração deste trabalho permitiu compreender como é importante uma correta execução da investigação geotécnica, tendo isso em vista é imprescindível procurar empresas que fornecem bons serviços no âmbito abordado, que sigam as orientações das normas e minimizem os erros de projeto e execução levando em conta evitar os prejuízos econômicos, ambientais, sócias e humanos devido a sondagens negligentes.

Palavras-chaves: Investigação geotécnica. Standard Penetration Test (SPT). Amostrador padrão.

ABSTRACT

The geotechnical investigation is a primordial step for the correct sizing of construction projects, highlighting the Standard Penetration Test (SPT) method, which is the most used because it brings better cost-effectiveness and easy execution. The purpose of this work is to present the procedures for carrying out soil surveys, considering the Standard Penetration Test (SPT) system, to describe the steps of the standard on soil surveys for simple recognition and to point out the main errors observed in the execution of this test. The elaboration of this work allowed us to understand how important a correct execution of the geotechnical investigation, in view of this, it is essential to look for companies that provide good services in the scope addressed. That follow the guidelines of the norms and minimize design and execution errors, taking into account to avoid economic, environmental, social and human damages due to negligent surveys.

Keywords: Geotechnical Investigation. Standard Penetration TEST (SPT). Standard sampler.

1 INTRODUÇÃO

Quando o assunto é construção civil, seja ela de grande ou pequeno porte, é indispensável a execução de uma boa fundação, onde que por meio dela são feitas as transferências de cargas para o solo, a sustentação, segurança e estabilidade para a edificação. Para que seja feita uma boa execução é indispensável o conhecimento das características do solo onde será executada, com isso tornando como essencial a coleta de informações detalhadas e de qualidade.

Um grande exemplo da importância do conhecimento de tais características é a Torre de Pisa, na Itália. A construção levou mais ou menos 200 anos e tem mais de 54 metros de altura. A estrutura acabou se tornando um grande exemplo de consequências quando se ultrapassa a capacidade de carga do solo. No passado a torre teve vários registros de inclinações em diversas direções, chegando a registrar mais de 5 metros fora de seu prumo. O motivo de tal ocorrência é que foi constatada uma camada frágil do solo, logo abaixo da torre, aproximadamente há 11 metros de profundidade, que foi relatada como o principal fator para esse recalque (ARANTES, 2017).

Para se obter uma melhor otimização da construção é de suma importância o conhecimento das características do solo, principalmente as relacionadas a resistência e a deformabilidade dos solos. Para se conseguir essas informações de forma precisa e com confiabilidade é executada uma sondagem geotécnica do solo. O ensaio SPT é o ensaio mais utilizado no mundo em sondagens geotécnicas. É indispensável o adequado conhecimento e execução deste ensaio, para uma boa concepção de projetos e obras, em geral.

No Brasil, atualmente a sondagem a percussão SPT também é o ensaio mais utilizado, tendo em vista o seu baixo custo e sua fácil execução. Através deste ensaio se obtém informações como: descrição táctil visual (textura e cor), índice de resistência à penetração, espessura dos materiais inconsolidados, que são informações primordiais para a escolha do tipo de fundação, e sua possível cota de apoio. Com isso a elaboração de projetos e execução se tornam mais econômicas, assertivas e seguras.

A sondagem a percussão consiste basicamente na cravação de um amostrador padrão no solo, com a utilização de um tripé, hastes e um peso de bater de 65 quilos. Após a montagem do tripé no local onde será executado o furo e com o auxílio de uma roldana e uma corda, o peso de 65 kg e posicionado há uma altura de 75 centímetros e solto em queda livre.

Este trabalho tem o intuito de apresentar os procedimentos para execução das sondagens do solo, considerando o sistema *Standard Penetration Test* (SPT), apresentar as etapas da norma sobre as sondagens de solos para simples reconhecimento e, apontar os principais erros observadas na execução deste ensaio.

O custo da investigação geotécnica é menor na maioria das vezes que o custo de recuperação das edificações, considerando que algumas vezes essas estruturas precisam ser demolidas devido à falta de recursos parar sua recuperação. Por esse motivo, justifica-se essa pesquisa, pois se enfatiza a importância da investigação geotécnica, que influencia diretamente nos padrões de segurança, qualidade e economia para a elaboração dos projetos de fundação, a fim de evitar futuros imprevistos para à edificação.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Sondagem geotécnica

Sondagem nada mais é que uma investigação, uma pesquisa, uma busca por informações sobre algo ou alguma coisa. Normalmente, a sondagem serve para investigar, de modo extenso e metódico determinado ambiente, substância ou situação, utilizando para isso alguns equipamentos ou métodos especiais (ARANTES, 2017).

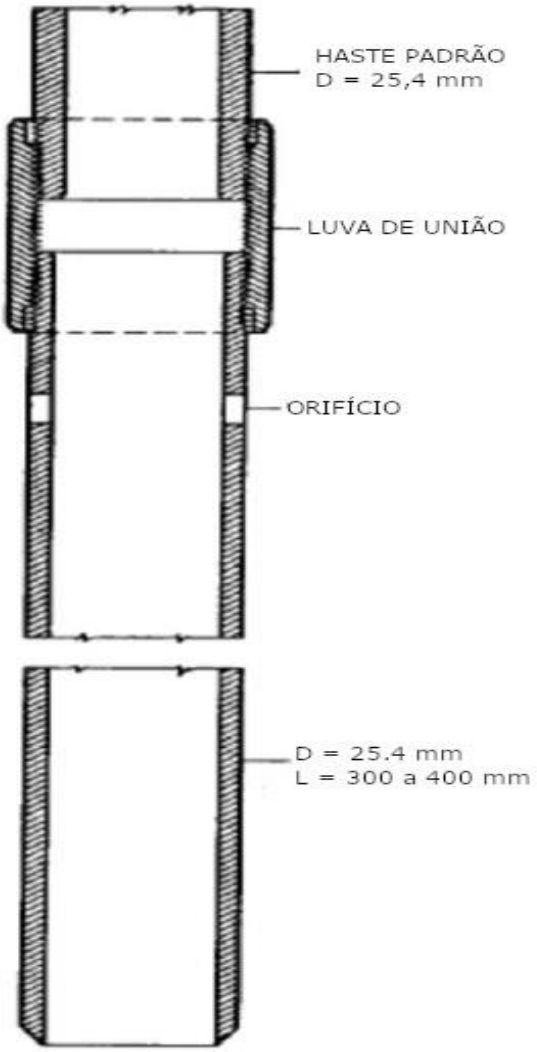
Através da sondagem geotécnica é realizado um estudo do subsolo ou subleito, o qual fornece dados imprescindíveis para a elaboração de qualquer projeto. Esse método proporciona o conhecimento de dados, como o tipo de solo onde está sendo executada a obra, nível do lençol freático, camadas que compõe esse solo e suas respectivas resistências à penetração (ARANTES, 2017).

Existem diversos métodos de sondagem conhecidos no ramo da construção para fazer essa coleta de informações, sondagem a percussão com SPT, sondagens rotativas, sondagens mistas, poços, ensaios de cone (CPT), sondagens a trado e ensaios pressiométricos (PMT) (ABBAD, 2014). Nesse trabalho se dará ênfase no método mais utilizado atualmente no Brasil e no mundo, que é a Sondagem a Percussão SPT.

2.1.1 Relatos históricos do ensaio de SPT

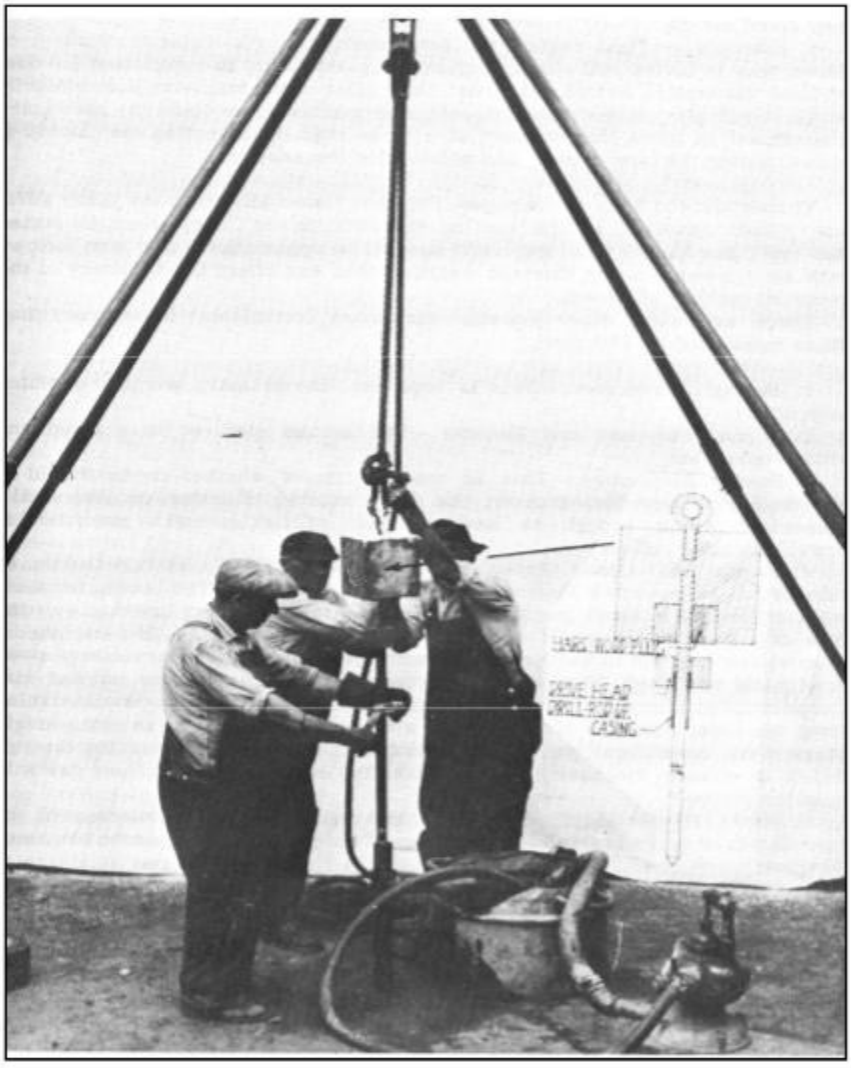
As sondagens de simples reconhecimento tiveram início em 1902, quando Charles R. Gow decidiu fazer uma amostragem a seco, por meio da cravação de uma haste de 25,4 milímetros de diâmetro, conforme pode ser observado na FIG. 1, com um peso de bater (martelo) de 50 quilogramas. Antes desse processo as amostras de solo eram retiradas com circulação de água. Assim, conseguindo a amostra em forma de lama, esse processo era muito ineficaz por desfazer das características naturais do solo e, obtendo assim uma pobre identificação do tipo de solo e suas características (FLETCHER, 1965). Observa-se na FIG.2 uma foto de uma investigação sendo realizada pela equipe de Gow, 1930.

Figura 1 – Primeiro amostrador utilizado para investigação geotécnica.



Fonte: Belincanta (1998).

Figura 2 - Foto de uma investigação sendo realizada pela equipe de Gow, 1930.



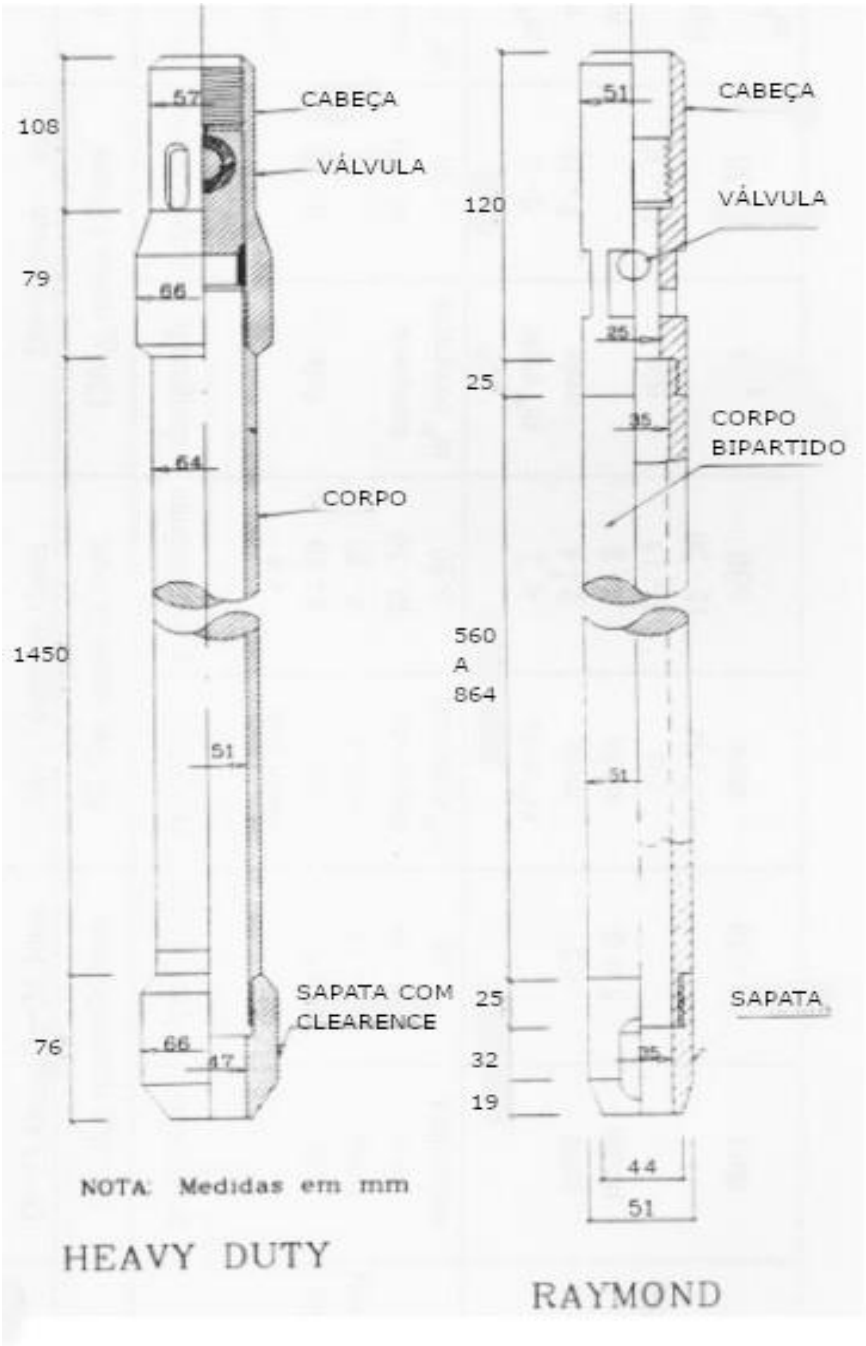
Fonte: Association of Environmental & Engineering Geologists American Society of Civil Engineers (Chicago, 2009)

Em 1927 as empresas Raymond Concrete Pile e a The Gow Company utilizaram estudos e trabalhos de campo realizados por Flecher e Harry A. Mohr, com a finalidade de desenvolver um amostrador que melhorasse ainda mais a obtenção das amostras. Esse amostrador tinha um diâmetro externo de 51 mm e interno de 35 mm e era composto por três partes desmontáveis (cabeça, corpo principal bipartido e sapata biselada), onde foi denominado de amostrador Raymond e é utilizado até hoje respeitando suas características (PALMER e STUART, 1957).

Logo em seguida, a *SPRAGUE e HENWOOD Incorporation* decidiu criar um amostrador com características semelhantes, como pode ser observado na FIG. 3. Ele se diferenciava do modelo Raymond em questões do tipo de elementos periféricos como a sapata cortante e as válvulas de alívio de pressão. Esse novo modelo recebeu o nome de *heavy duty*,

tinha o corpo maciço e diâmetro da sapata vagamente superior que o do corpo (BELINCANTA, 1998).

Figura 3 - Exemplo dos modelos de amostradores Heavy Duty e Raymond



Fonte: Belincanta (1998).

Segundo Fletcher (1965) a primeira tentativa de padronizar esse ensaio ocorreu em 1930 nos Estados Unidos. Baseando-se nos estudos de Fletcher e Mohr ficaram definidas as seguintes especificações:

I. Amostrador com diâmetro externo equivalente a 50,8 mm;

II. Carregamento de 63 quilogramas em queda livre de 76,3 cm de altura;

III. A quantidade de golpes para se cravar este amostrador 30,48 cm no solo definia a resistência a penetração.

Em 1948 pesquisas de Terzaghi e Peck foram de grande relevância para algumas definições do ensaio em âmbito global, fornecendo informações sobre os equipamentos e o ensaio, como por exemplo: altura de caimento do martelo, carga do martelo e sistematização para saber a resistência do solo (TERZAGHI, 1948).

2.1.2 Ensaio de SPT no Brasil

A sondagem SPT chegou ao Brasil por volta de 1939 pela seção de Solos e Fundações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT). Devido à dificuldade de encontrar tubos com a mesma espessura do amostrador Raymond, eles desenvolveram seu próprio amostrador que deixou de ser utilizado logo em seguida na década de 70 devido a tendência de normatizar o ensaio e também a sua ineficiência para avaliar a compacidade de areias (SILVA, 2007).

A normalização no Brasil veio em 1979 pela Associação Brasileira de Normas Técnicas com a NB 1211 de 1979, intitulada “Execução de Sondagens de Simples reconhecimento dos Solos” e ficou assim até o final de 1980 onde passou a se chamar NBR 6484 (ABNT, 1980). Em 2001 e posteriormente em 2020 essa norma foi revisada e atualizada com o título Solo - Sondagem de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio, onde até o presente dia é a norma utilizada no pais (SCARABEL, 2012).

2.2 Sondagem de simples reconhecimento com SPT

Normatizada pela NBR 6484 (ABNT, 2020), a sondagem SPT ou sondagem a percussão como é mais conhecida por ter uma grande vantagem em relação ao demais ensaios com a mesma finalidade, pois nesse método consegue-se amostragem de cada camada de solo, assim podendo efetuar um mapeamento por camada, determinar o nível do lençol freático e a resistência de cada camada (FERREIRA, 2016).

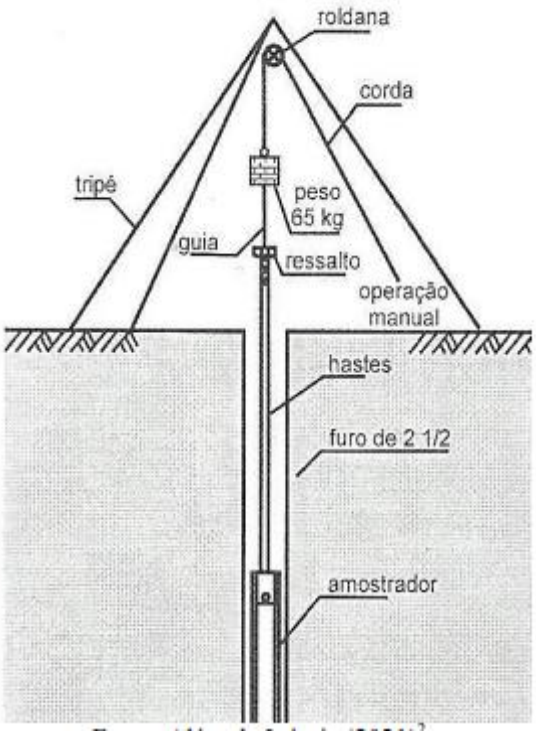
2.2.1 Execução do ensaio

A sondagem se divide nas seguintes operações conforme regulamenta a NBR 6484 (ABNT, 2020):

1. Abertura do furo;
2. Ensaio de penetração;
3. Amostragem;
4. Avaliação do nível d'água
5. Reconhecimento e classificação das amostras
6. Relatório.

Para se iniciar a sondagem se deve montar sobre o terreno na posição desejada um cavalete de quatro pernas, equipado com uma roldana e um cabo que ergue e orienta o peso sobre o amostrador (SOUZA, 2003). O ensaio é realizado a cada metro de profundidade e consiste na cravação de um amostrador padrão, por meio de golpes de um peso de 65 kgf caindo em queda livre de uma altura de 75 cm (FERREIRA, 2016) (FIG. 4, FIG. 5).

Figura 4 – Equipamento utilizado no ensaio SPT



Fonte: Além da Inércia (2021)[1].

Figura 5 – Posicionamento do tripé.

Fonte: HVS Fundação e Sondagem (2017).

[1] ALÉM DA INÉRCIA, 2021. Disponível em: <https://alemdainercia.com/2016/08/09/entenda-uma-sondagem-spt/>. Acesso em 05 out. 2022.

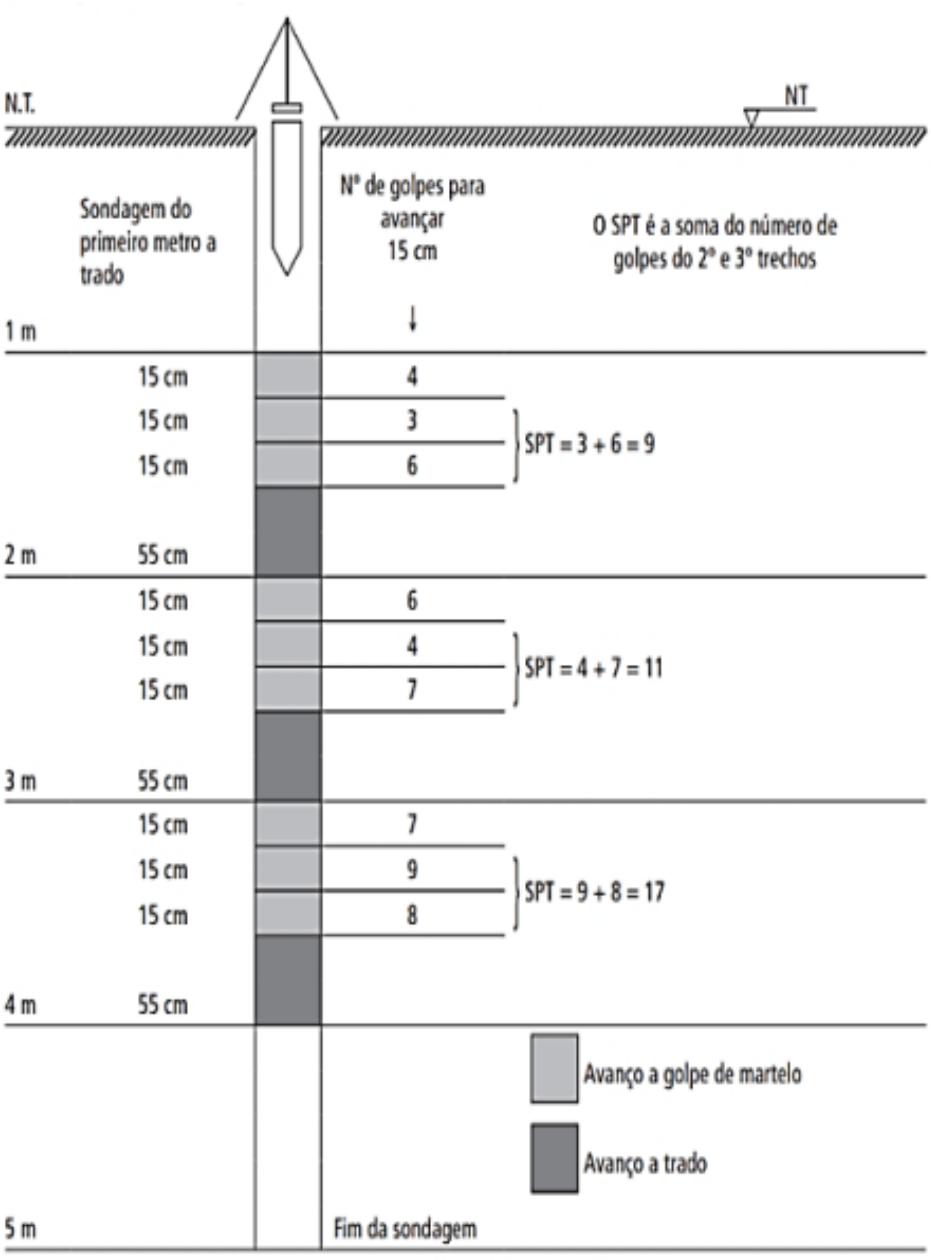
O ensaio consiste na retirada de uma amostra de solo a cada metro de profundidade. O primeiro metro de furo é feito com o auxílio de um trado e não é considerado para o ensaio, pois nele que será feito o nivelamento e ajuste do equipamento ao furo. Após o primeiro metro, o amostrador preso em uma haste é cravado 45 cm no solo em 3 etapas de 15 cm e, anota-se o número de golpes necessário para a cravação de cada uma dessas etapas, sendo que os primeiros 15 cm são desconsiderados do ensaio. Após a penetração dos 45 cm é retirado o amostrador e coletado amostras do solo, para que seja feito uma análise tátil e visual e posteriormente enviadas ao laboratório para classificação. (Fig. 6). Os 55 cm restantes para completar a camada de um metro e feito utilizando o trado e descartado pois não entra no cálculo de N. Esse procedimento é repetido de metro a metro por todo o perfil geotécnico e os valores obtidos, computados. A resistência à penetração (N) é definida fazendo o somatório de golpes necessários para a cravação dos 30 cm finais. Na FIG. 7 observa-se um exemplo desse procedimento detalhadamente. (ABNT, 2020),

Figura 6 – Amostrador padrão com amostra de solo.

Fonte: Dicionário Geotécnico (2021)[2].

[2] DICIONÁRIO GEOTÉCNICO, 2021. Disponível em: <http://www.dicionariogeotecnico.com.br/album/geotecnia/ensaios/spt/images/image/DG%20-%2015%20-%20Amostrador%20Bipartido%20Aberto.jpg>. Acesso em 19 set. 2021. Fonte: Botelho (2014, p.42).

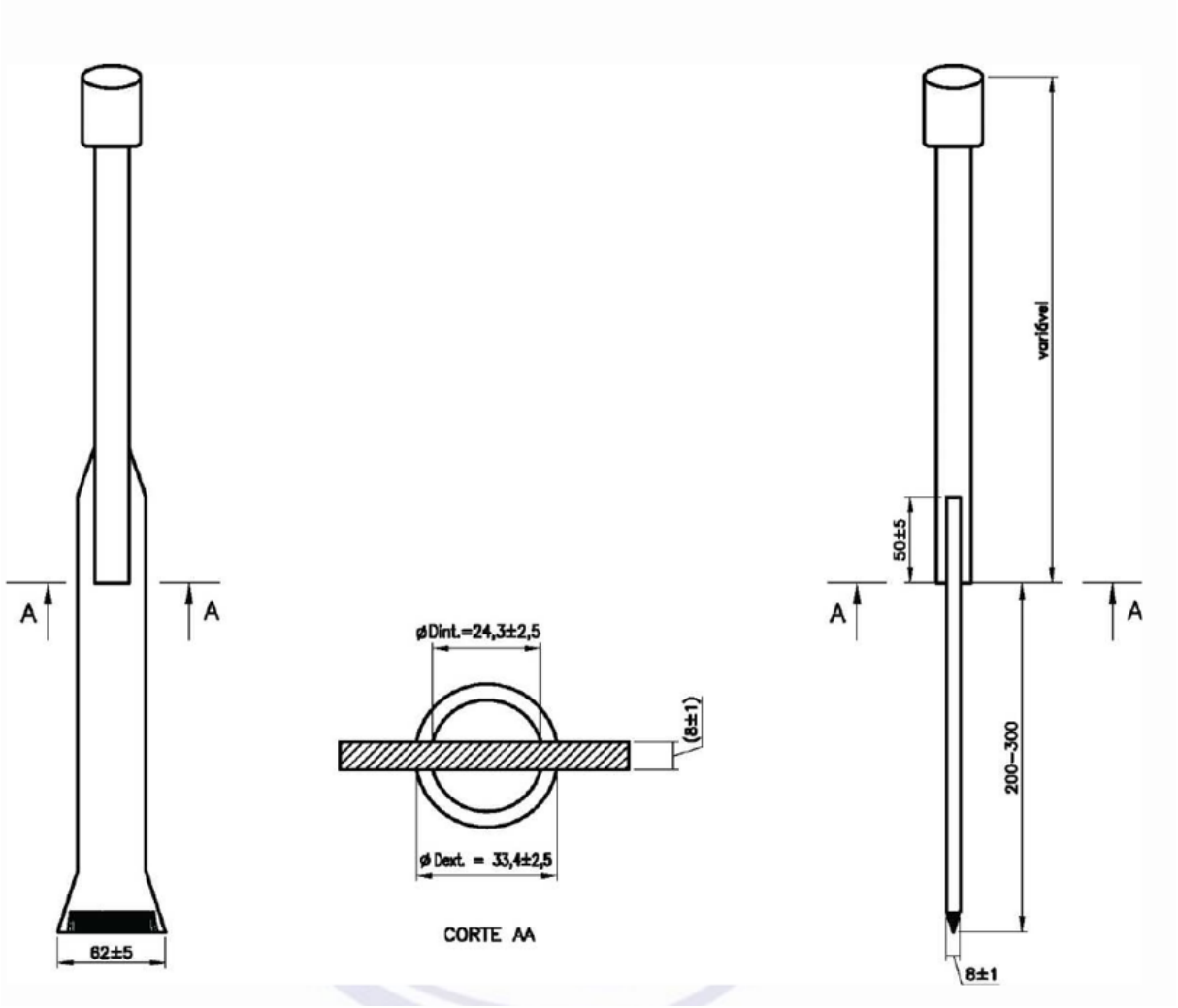
Figura 7 - Esquema de sondagem SPT.



Fonte: Botelho (2014, p.42).

Quando se atinge o lençol freático o furo que antes era feito com o amostrador e o trado concha, agora passa a ser feito com o amostrador, o trepano e a circulação de água para fazer a limpeza do furo, método denominado como lavagem. O trepano é uma ferramenta da largura do furo e com sua ponta em formato de bisel cortante com furos laterais para a saída da água, como pode se observar na FIG. 8. Essa ferramenta é utilizada para desagregar o material no fundo do furo e o retirar por meio da circulação de água. Nesse método é obrigatório o uso do tubo de revestimento para preservar as paredes do furo (FERREIRA, 2016).

Figura 8 – Trépano



Fonte: ABNT NBR 6484 (2020, p. 5).

Ao prosseguir com a lavagem deve se erguer o trepano a uma altura de aproximadamente 30 cm e, durante sua queda aplicar um movimento de rotação manualmente na haste, para que acha a degradação do material no fundo do furo e ele seja retirado com a água. Quando a cota de ensaio for atingida, deve-se ergue o trepano a uma altura de 20 cm do fundo do furo e manter a circulação de água até que seja retirado todo o material degradado no fundo do furo. Para os detritos mais pesados, que não são retirados com a lavagem, utiliza-se o baldinho com válvula de pé. O nível freático deve ser medido e anotada sua profundidade, assim que for atingido e feito medições todas as manhas antes do início do trabalho e na manhã seguinte após a conclusão do ensaio (VELLOS; LOPES, 2011).

A sondagem terminará quando os parâmetros exigidos por norma forem atingidos ou quando atenderem as especificações exigidas na programação. Após a conclusão deverá ser

feito o preenchimento desse furo com solo, solo-cimento ou qualquer material exigido pela fiscalização e, feita a cravação de um piquete ou marco de concreto ao lado com a identificação do furo e sua profundidade (VELLOS; LOPES, 2011).

A NBR 6484 (ABNT, 2020) também informa alguns critérios que determinam a hora de parada das sondagens, ou seja, quando se termina um furo:

1. Avanço da sondagem até a profundidade na qual tenham sido obtidos 10 m de resultados consecutivos indicando N iguais ou superiores a 25 golpes;

2. Avanço da sondagem até a profundidade na qual tenham sido obtidos 8 m de resultados consecutivos indicando N iguais ou superiores a 30 golpes;

3. Avanço da sondagem até a profundidade na qual tenham sido obtidos 6 m de resultados consecutivos indicando N iguais ou superiores a 35 golpes.

Ainda sobre a NBR 6484 (ABNT, 2020) se tem observações quanto a utilizações da perfuração por circulação de água acima do nível do lençol freático, ela ressalta que deve ser utilizado esse método quando o avanço do trado for inferior a 5 cm em 10 min de operação.

Em alguns casos a cravação do amostrador pode ser interrompida antes da penetração dos 45 cm de ensaio. A norma ressalta que isso acontecerá sempre que em um dos seguimentos de 15 cm for registrado um número de golpes maior que 30, para a cravação do amostrador, ou se não houver nenhum avanço após 5 golpes consecutivos do martelo. Nesse caso, deve-se iniciar o ensaio de avanço da perfuração por circulação de água, o qual tem duração de 30 min e deve-se observar o avanço do furo em períodos de 10 min em 10 min. Quando observado que esse avanço for inferior 5 cm, para-se o ensaio e descreve no relatório de sondagem que o furo atingiu impenetrabilidade ao trepano. (ABNT, 2020)

2.3 Programação de sondagens

De acordo com a NBR 8036 (ABNT, 1983), programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios – procedimento, define-se o número de furos, as distribuições dos furos no terreno e a profundidade de cada furo.

1. Para uma área de até 1200 m², deve ser feito 1 furo a cada 200 m².
2. Para uma área de 1200 m² até 2400 m², deve ser feito 1 furo a cada 400 m².
3. Para áreas acima de 2400 m² o número de furos será fixo de acordo com o projeto da edificação, respeitando uma distância máxima de 100 m entre cada furo e com um mínimo de 3 furos.

4. Em ocasião mínima deve-se respeitar uma certa quantidade de furos. Para áreas de até 200 m² no mínimo 2 furos e para áreas de 200 m² a 400 m² no mínimo 3 furos de sondagem.

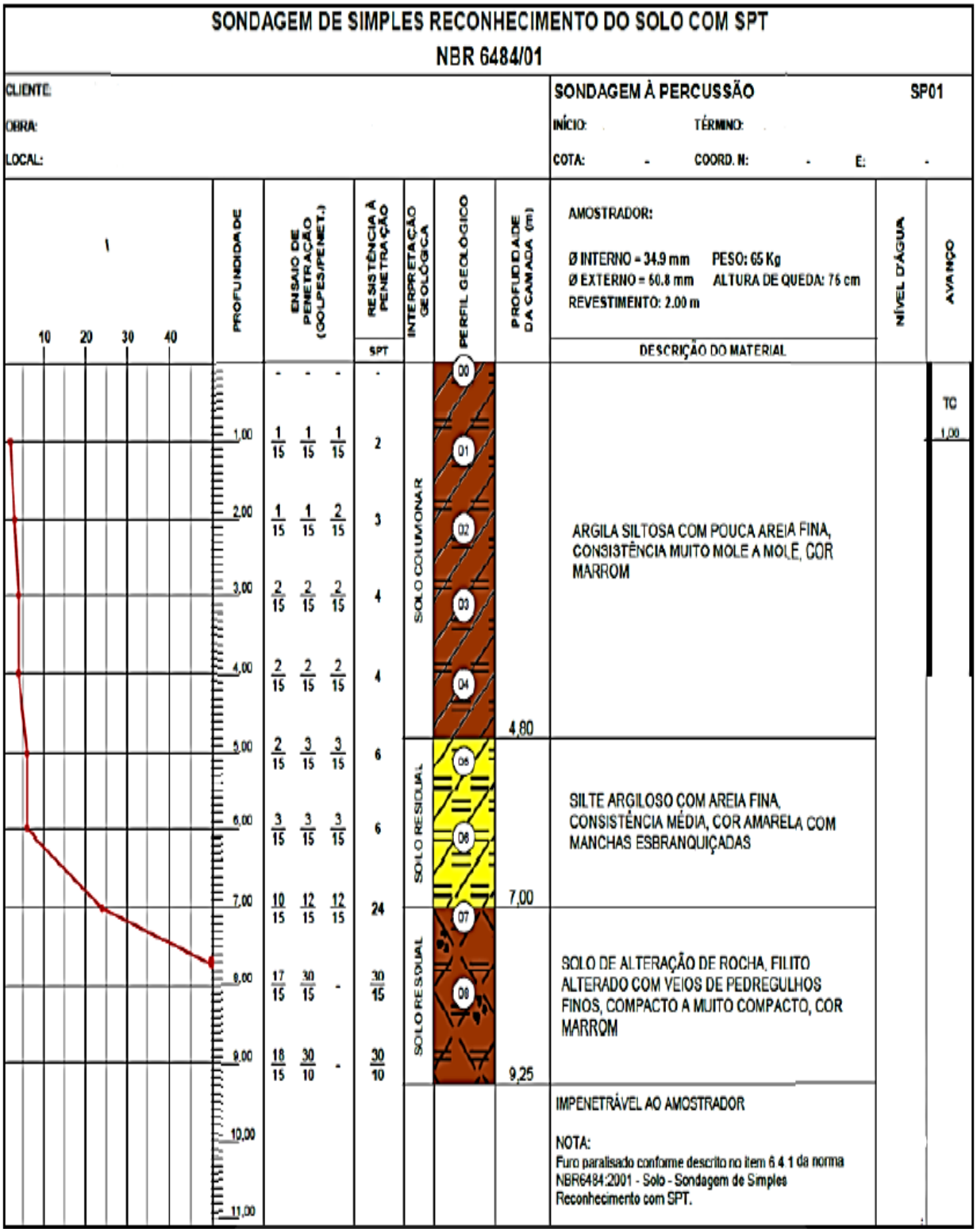
A NBR 8036 (ABNT, 1983) também traz informações sobre a distribuições dos furos ao longo da área a ser investigada e sua profundidade. Conforme é visto na norma, as sondagens devem ser distribuídas por toda a área da edificação. Quando o número de sondagens for maior que três, eles não devem seguir um mesmo alinhamento e as sondagens devem ser executadas o mais próximo possível de onde será a fundação. Já no quesito profundidade vai depender do tipo da edificação, das características da estrutura, e das condições geotécnicas e topográficas do local, até que se tenha um índice de resistência que traga segurança e estabilidade, para a estrutura do edifício ou até que se atenda os critérios de parada do ensaio estipulados na NBR 6484.

2.4 Interpretação do relatório de sondagem

Os resultados da sondagem são apresentados em um boletim através de um gráfico estratigráfico do furo analisado. Nele deve conter informações sobre os índices de resistência à penetração (N), o nível do lençol freático, o perfil geológico, a classificação do material presente nas camadas e a profundidade de cada camada ao longo do perfil do furo. (ODEBRECHT, 2003). Observa-se na FIG. 10 um relatório de ensaio SPT.

Conforme a NBR 6484 (ABNT, 2020) além dos itens citados no parágrafo anterior, os boletins também devem conter os dados dos contratantes, local da obra, data de início e de termino da sondagem (FIG.9). Também é especificado na terceira coluna os três trechos de 15 cm com seus respectivos números de golpes, na quarta coluna se apresenta o índice de resistência a penetração (N), que é calculado somando os golpes obtidos no segundo e no terceiro trecho de 15 cm e desconsiderando o primeiro trecho.

Figura 9 – Relatório de ensaio SPT



Fonte: Torres Geotecnia (2017. p. 6)[3]

[3] TORRES GEOTECNIA, (2017). Disponível em: <http://www.torresgeotecnia.com.br/wpcontent/uploads/sites/155426/2017/03/RELAT%C3%93RIO-DE-SONDAGEM-%C3%80-PERCUSS%C3%83O.pdf>. Acesso em: 05 out. 2022.

2.5 Custos

Os custos para as sondagens geotécnicas são determinados pela mobilização e desmobilização dos equipamentos e da equipe em geral, tendo em vista que varia dependendo das situações do local da sondagem ou do valor do metro linear, como por exemplo: aplicação de plataformas em encostas ou em espelhos de água (ARANTES, 2017).

O valor da sondagem geotécnica quando comparada com o valor final de uma edificação tem menos que 1% do valor total da obra de construção civil. Em outras nações essa porcentagem chega até a 3% (RIBEIRO, 2018).

2.6 Principais causas de interferências nos resultados do spt

Quando se fala em ensaio existe uma série de procedimentos e normas a serem seguidas, para que se obtenha o melhor resultado possível e com o SPT não é diferente. São inúmeros os fatores que interferem diretamente nos resultados finais desse ensaio se como pode observar na QUADRO 1. (DÉCOURT, 1989).

Quadro 1 – Resumo dos fatores associados ao equipamentos e procedimentos e sua influência no (N).

Fator	Efeito no índice de resistência a penetração (N)
Sistema de martelo	Aumenta/Diminui
Variações de altura	Aumenta/Diminui
Uso de cabo de aço em vez de corda	Aumenta
Falta de lubrificação da roldana	Aumenta
Atitude dos operadores	Aumenta/Diminui
Peso incorreto do martelo	Aumenta/Diminui
Excentricidade da cabeça de bater	Aumenta
Não utilização de haste-guia	Aumenta
Leitura imprecisa do número de golpes	Aumenta/Diminui
Limpeza malfeita do furo	Diminui
Falta de cuidado com o nível da lama/água no furo	Diminui
Diâmetro do furo acima do recomendado (65 - 150 mm)	Diminui
Dimensionamento da bomba	Aumenta/Diminui

Fator	Efeito no índice de resistência a penetração (N)
Estabilização apenas com lama ao invés de revestimento (em areias)	Aumenta
Comprimento da haste	Aumenta
Peso da haste	Aumenta/Diminui
Amostrador deformado ou dentro do revestimento	Aumenta
Peso da cabeça de bater	Aumenta
Pedregulhos engastando o amostrador	Aumenta
Coxim: sem usar Novo Velho	Não altera Aumenta Diminui
Diâmetro do amostrador	Aumenta
Não utilização do liner do amostrador	Diminui

Fonte: Décourt (1989). Adaptado pelo autor.

Pesquisas realizadas por Fletcher (1965) e Mohr (1966) abrangeram esse tema e foram de extrema importância para o entendimento desses fatores, que interferem nos ensaios, destacando os fatores de procedimento, aparelhagem e de natureza humana.

Ainda sobre Fletcher (1965) e Mohr (1966) em suas pesquisas foi desenvolvida uma listagem com os principais fatores que trazem alterações expressivas nos resultados finais do ensaio. Tendo como base essas pesquisas, Décourt (1989) criou a tabela citada anteriormente e, levando como base essas informações, destacam-se os principais fatores:

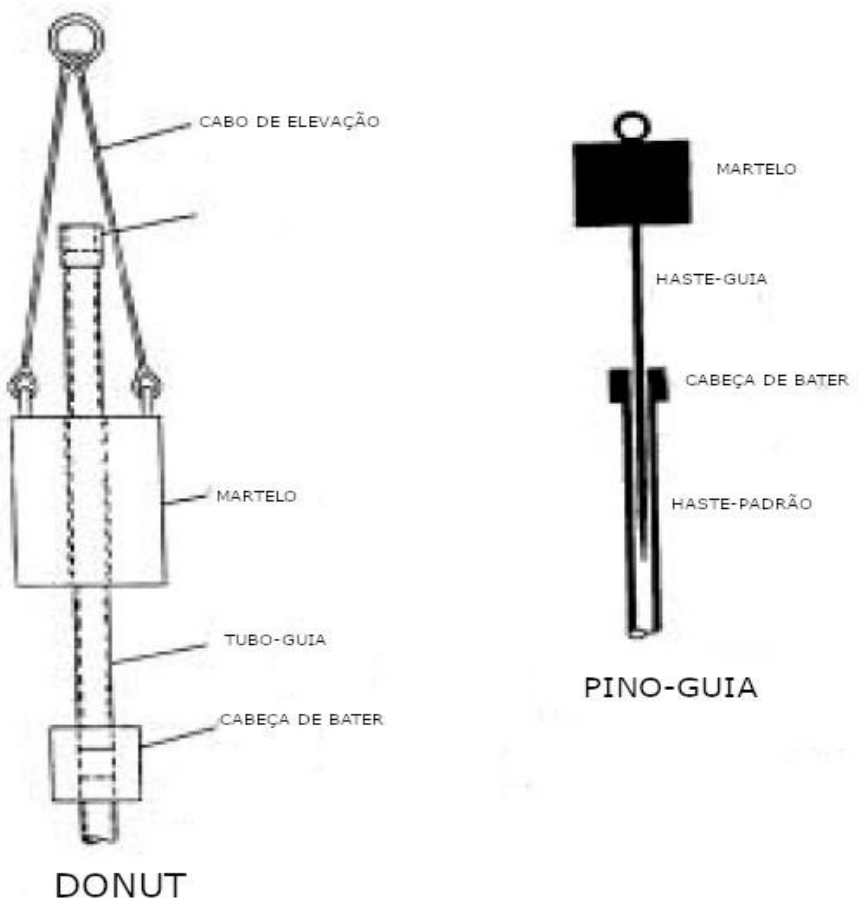
2.6.1 Tipo de martelo e método de acionamento

São diversos os modelos de martelo e mecanismos de acionamento disponíveis nos dias atuais, tendo isso em vista, eles podem aumentar ou diminuir a perda de energia no sistema. Dentre esses modelos se podem destacar dois tipos mais utilizados: o *donut* com acionamento manual ou automático, o com pino-guia e acionamento manual e os automáticos. (CAVALCANTE, 2002) (FIG. 10).

Querendo demostrar a influência que cada martelo e seu sistema operante tem em relação a transferência de energia as hastes, o estudo de Clayton (1990) traz um quadro comparativo mostrando a eficiência média de cada um desses métodos empregues em diversos

países. Destacando-se o método automático inglês, o método manual brasileiro e o método tombi japonês, que foram os que trouxeram eficácia aos testes realizados. (Quadro 1).

Figura 10 – Tipos de martelo mais utilizados no ensaio



Fonte: Cavalcante (2002)

Tabela 1 – Oscilação da eficácia da energia transferida aos bastões do SPT em conformidade com o país e o sistema de martelo.

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

Inglaterra	Automático	Queda livre	73

Fonte: Clayton (1990).

2.6.2 Altura de caimento do martelo

Dependendo do método utilizado é normal que aconteçam divergências na altura de queda do martelo e, com isso, acarretando em um maior ou menor transmissão de energia para as hastes. No método manual é onde mais ocorre esse tipo de situação, dependendo do desgaste e das condições físicas dos trabalhadores que influenciam diretamente. Por exemplo, ao início de sua jornada de trabalho é normal o trabalhador estar com mais vigor e disposto e com isso acabe erguendo o martelo com mais facilidade e assim, vindo a ultrapassar a altura de 75 cm. Dessa forma o martelo cairá com maior velocidade e assim acabar transmitindo uma maior energia cinética para as hastes e com isso vindo a reduzir o valor de (N) e, tendo isso em vista se pode considerar que ocorra o contrário ao final de sua jornada de trabalho, juntando todo o degaste do dia trabalhado, vindo a ocasionar uma perda de energia e assim, erguendo o martelo a uma altura inferior a 75 cm, acarretando em um transmissão de energia cinética menor para as hastes, vindo a aumentar o valor de (N). Desta forma, acaba gerando uma variação na energia transmitida do martelo para as hastes, tornando o ensaio ineficiente (SILVA, 2015).

Já no caso onde o martelo é acionado por corda com tambor em rotação (*cathead*) como é mais conhecido, tem consequências quando a altura de caimento é superior a pré-determinada. Segundo Mello (1971) uma falha na altura de 7,5 cm pode ocasionar uma divergência na energia propagada de aproximadamente de 10% da energia total. Seus resultados afirmam que mesmo os trabalhadores mais antigos, quanto os mais novos cometiam os mesmos erros, assim trazendo ineficiência aos resultados.

2.6.3 Limpeza imprópria do furo

De acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2020) quando a perfuração está sendo feita pelo processo de lavagem, ou seja, está sendo utilizado a circulação de água, a limpeza do furo leva um certo tempo para que todos os resíduos sólidos sejam removidos.

Se a limpeza não for feita corretamente ou a bomba utilizada não tiver força o suficiente para a retirada desses detritos, ocorrerá o entupimento do amostrador e com isso acrescentando uma maior resistência à penetração. Do mesmo modo que se houver um exagero na lavagem

do furo, acaba gerando um favorecimento na penetração, ocasionando em uma limitação no índice de resistência à penetração (DECOURT, 1989).

2.6.4 Inadequação do jato de água e da bomba junto ao trépano

Mohr (1966) afirma que a pressão da bomba é muito importante para a qualidade dos ensaios. Em seus estudos ele aponta que quanto menor for a pressão e a vazão, a lavagem se torna insuficiente e, de modo contrário, quando a pressão e a vazão são elevadas acarretará perfurações na parede do furo e também no assentamento do amostrador.

No caso do jato de água expelido pelo trépano, deve-se observar a direção desse jato, pois ela sendo radial ocasionará significativamente o alargamento do furo, ficando superior ao esperado. As normas vigentes não trazem nenhuma informação quanto a essas observações, com isso ficando essa análise somente para a equipe de sondagem (Mohr, 1996).

2.6.5 Perfuração por circulação de água acima do nível freático

Esse método causa uma grande degradação do solo, assim alterando sua estrutura natural, amenizando as tensões geostáticas no sentido vertical e horizontal, principalmente em solos do tipo areia finas e siltes. Esse efeito é maior dependendo do tipo de solo, quanto mais fofo é o solo, mais ocorrerá essa degradação (BELINCANTA, 1998).

Como citado acima e observado no trabalho de Belincanta (1998) o uso do jato de água altera a estrutura natural do solo. Desse modo influenciando diretamente no índice de resistência, pois ao deformar as características solo pode-se estar favorecendo a penetração do amostrador, com isso diminuindo o índice de resistência.

2.6.6 Cabeça de bater

Belincanta (1985) e Skemptom (1986) afirmam a importante influência da cabeça de bater na transmissão de energia as hastes do SPT. Inicialmente os estudos de Belincanta comparam a eficácia da cabeça de bater com dimensões menores e com dimensões maiores e concluiu que a cabeça de bater pequena (12N) é 4% mais eficaz do que a cabeça de bater maior (35N). Já os estudos de Skempton não ressaltavam nenhuma diferença.

Na TAB. 2 observa-se o resultado da pesquisa feita por Belincanta na qual foram analisados o resultado de três ensaios realizados com cabeça de bater de diferentes tamanhos no Campus da UEM.

Tabela 2 – Resumo geral de médias de eficiência de energia transmitida à haste com cabeça de bater com tamanhos variados.

Sondagem	Uso de coxim	Cabeça de bater (kg)	Eficiências de energia	
			Acionamento c/ gatilho	
			Média (%)	Desvio padrão
SPT 11	Sim	1,2	78,5	2,04
SPT 12	Sim	3,6	75,5	2,95
SPT 13	Sim	14,0	66,4	1,70

Fonte: Belincanta (1998). Adaptado pelo autor.

2.6.7 Amostrador com Imperfeições

O amostrador padrão é um dos principais componentes do equipamento e devido ao seu tempo de uso é normal que haja seu desgaste devido a pedregulho, efeito abrasivo de areias ou por mal-uso. Desse modo, poderão surgir imperfeições nesse componente que afetaram relativamente sua penetração ao solo, ou seja, ocorrerá uma maior resistência à penetração do solo com isso aumentando consideravelmente o índice de penetração (CAVALCANTE, 2002).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi descrito nesse trabalho, o ensaio SPT sofre com vários fatores que interferem no cálculo do índice de resistência, isso porque o resultado é afetado devido a energia que chega ao amostrador. Como se observou no trabalho existem diversos fatores intervenientes no ensaio, como por exemplo, limpeza imprópria do furo, que limita a resistência a penetração; a altura de queda do martelo, que afeta a energia cinética transmitida aos bastões; imperfeições no amostrador, que afetam consideravelmente o (N); tamanho da cabeça de bater, que ocasiona uma maior ou menor eficiência na transferência de energia para o sistema; uso inadequado da circulação de água e do trepano.

Mesmo tendo a existência das normas técnicas, muitas das empresas sondadoras negligenciam suas especificações e frequentemente observam-se erros nos dados fornecidos pelos laudos de sondagem, com as informações verificadas no campo durante a execução da obra.

Tendo isso em vista as considerações acima, é imprescindível procurar empresas que fornecem bons serviços no âmbito abordado, que sigam as orientações das normas e minimizem os erros de projeto e execução levando em conta evitar os prejuízos econômicos, ambientais, sociais e humanos, devido a sondagens negligentes. Uma outra forma de garantia desse serviço, seria a fiscalização da norma pelo órgão competente.

REFERÊNCIAS

ABBAD, Gustavo Panciera. **Estudo de pré-viabilidade na especificação de fundação do tipo estaca escavada ou sapata isolada em edificação multifamiliar**. 2014. 116 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em: http://www.ct.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2014/TCC_GUSTAVO%20PANCIERA%20ABBAD.pdf. Acesso em: 10 ago. 2022.

ALÉM DA INÉRCIA, 2021. Disponível em: <https://alemdainercia.com/2016/08/09/entenda-uma-sondagem-spt/>. Acesso em 05 out. 2022

ANDRADE, Ricardo Fernandes de. **Mapeamento geotécnico preliminar em escala de semi-detalhe (1:25.000) da área de expansão urbana de uberlândia-mg**. 2005. 132 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia Faculdade de Engenharia Civil, Uberlândia, 2005.
Disponível em: http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp010489.pdf. Acesso em: 04 ago. 2022.

ARANTES, Lucas Macedo. **Critérios que interferem nos resultados de sondagens à percursão – tipo standard penetration test (spt)**. 2017. 61 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Unievangélica, Anápolis, 2017. Disponível em: http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/933/1/20172_TCC_Lucas_E_Matheus.pdf. Acesso em: 07 ago. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Solo Sondagem de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 8036**: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações 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: 09 out. 2022.

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.

CÂMARA, Kadson Ranniere da Rocha. **Análise de perfis de sondagem spt e caracterização geotécnica de solos do município de natal**. 2005. 16 f. Tese (Doutorado) - Curso de Tecnologia em Produção na Construção Civil, Instituto Federal de Educação,

Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2005. Disponível em: https://www.redalyc.org/pdf/4815/481549263005.pdf. Acesso em: 04 ago. 2022

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

CAVALCANTE, Erinaldo Hilário. **Investigação Teórico-Experimental Sobre o SPT**. 2002. 445 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

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.

DICIONÁRIO GEOTÉCNICO, 2021. Disponível em: <http://www.dicionariogeotecnico.com.br/album/geotecnia/ensaios/spt/images/image/DG%20-%2015%20-%20Amostrador%20Bipartido%20Aberto.jpg>. Acesso em 19 set. 2021.

FLETCHER,G.F.A. (1965**), "Standard Penetration Test: Its Uses and Abuses"**, Journal os the Soil Mechanics and Foundation Division – ASCE – vol. 91, n. SM4, pp. 67-75.

FERREIRA, Marlon Queiroz. **Adaptação do ensaio SPT para determinação de parâmetros adicionais para o dimensionamento de fundações**. 2016. 79 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-13052016-113414/publico/dissertacao_marlon.pdf. Acesso em: 13 ago. 2022.

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

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

PALMER. D.J. & STUART. J.G. (1957), **"Some Observations on the Standart Penetration Test and the Correlations of the Test in-situ with a New Penetrometer"**, In: Proceedings of the VI ICSMFE, vol. 1, pp. 231-236, Londres.

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

RIBEIRO, Daniela. **Sondagem SPT: Processo executivo e dicas importantes.** 2018. Disponível em: https://www.engenhariaconcreta.com/sondagem-spt/. Acesso em: 12 out. 2022.

SCARABEL, Danilo. **Estudo da aplicação da nbr 6484-01 por construtoras de campo mourão e região trabalho de conclusão de curso campo mourão 2012**. 2012. 43 f. Tese (Doutorado) - Curso de Tecnologia em Materias de Construção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2012. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5616/2/CM_COMAC_2012_1_02.pdf. Acesso em: 29 ago. 2022.

SILVA, Edimar dos Santos da. **Medição de altura de queda e velocidade de impacto do martelo no spt**. 2015. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: https://silo.tips/download/universidade-federal-do-rio-de-janeiro-mediao-de-altura-de-queda-e-velocidade-de. Acesso em: 03 nov. 2022.

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

SILVA, Carlos, P. L. da. **Cartografia geotécnica de grande escala Estudo de caso Brasília - Área tombada pela Unesco**. 2007. 121f Dissertação (Mestrado em Geotecnia) Departamento de engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007. Disponível em: <http://repositorio.bce.unb.br/handle/10482/2534>. Acesso em: 29/08/2022.

SOUZA, Eduardo Gimenez de. **Colapso de edifício por ruptura das estacas: estudo das causas e da recuperação**. 2003. 115 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: http://sistemas.set.eesc.usp.br/static/media/producao/2003ME_EduardoGimenezdeSouza.pdf. Acesso em: 07 ago. 2022.

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

VELLOS, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas I**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 583 p.

TORRES GEOTECNIA, (2017). Disponível em: <http://www.torresgeotecnia.com.br/wp-content/uploads/sites/155426/2017/03/RELAT%C3%93RIO-DE-SONDAGEM-%C3%80-PERCUSS%C3%83O.pdf>. Acesso em: 05 out. 2022.

WANDERLEY, Giovanna Souto Maior. **Desenvolvimento de aplicativo para relatório de sondagem spt na plataforma android**. 2017. 55 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/13747. Acesso em: 04 ago. 2022.