

UTILIZAÇÃO DA SONDAGEM COM PENETRÔMETRO SUL AFRICANO (DCP) PARA ANÁLISE DOS SOLOS EM BAIRROS RESIDENCIAIS DE SINOP-MT

DANIELE VELOSO NUNES¹
BRUNO RODRIGUES DOS SANTOS²

RESUMO: Sabe-se que para que uma estrutura se mantenha em rígida e intacta, é preciso analisar todas as condições de equilíbrio estático de uma estrutura, as cargas de incidência, condições de relevo, estudar forças acidentais que podem ocorrer e deve-se se analisar todas as características do solo que servira como apoio, buscando solucionar características negativas, como recalque, compressibilidade, porosidade entre outros aspectos que possam afetar a obra. Na atualidade, existem diversos equipamentos e ensaios que podem ser utilizados para a determinação das características do solo. O presente trabalho, buscou entender as características de formação do solo, os tipos de solo existente, as propriedades físicas dos solos e a sua importância na concepção de projetos de engenharia. Foi realizado uma análise do solo em bairros residenciais de Sinop-MT, utilizando a sondagem do penetrômetro sul africano (DCP), para a investigação do solo e posteriormente o estudo táctil-visual. A utilização desse equipamento foi realizada de forma simples e apresentou dados satisfatórios em relação as características dos solos. Com a realização desse experimento, observou-se que as características dos solos variam conforme a região onde estão localizados, mesmo se dentro do mesmo município. Os solos investigados apresentaram composições de argila e areia, tendo características de plasticidade e compressibilidade diferentes, conforme a localização do experimento.

PALAVRAS-CHAVE: Características dos solos; Ensaio de Solo; Investigação DCP; Solos de Sinop; Tipos de Solo.

USE OF THE SOUTH AFRICAN PENETROMETER SURVEY (DCP) FOR SOIL ANALYSIS IN SINOP-MT RESIDENTIAL NEIGHBOURHOODS

ABSTRACT: It is known that for a structure to remain rigid and intact, it is necessary to analyse all conditions of static equilibrium of a structure, incidence loads, significant conditions, study accidental forces that may occur and all characteristics of the soil used as support should be analysed, seeking to solve negative characteristics, such as recalculation, compressibility, porosity among other aspects that may affect the work. At present, there are several equipment and tests that can be used to determine soil characteristics. The present work sought to understand soil formation characteristics, existing soil types, the physical properties of soils and their importance in designing engineering projects. A soil analysis was conducted in residential districts of Sinop-MT, using the South African penetrometer (DCP) survey, for soil research and later the tactile-visual study. The use of such equipment was carried out in a simple manner and provided satisfactory data on soil characteristics. With the realization of this experiment, it was observed that the characteristics of the soils vary according to the region where they are located, even if within the same municipality. The soils investigated presented clay and sand compositions, with different plasticity and compressibility characteristics, depending on the location of the experiment.

KEY-WORDS: Investigation DCP; Sinop soils; Soil characteristics; Soil Tests; Soil Types

1. INTRODUÇÃO

A construção civil vem prosperando cada ano que se passa, crescendo e movimentando a economia de empresas regionais e nacionais do segmento, comércios locais também lucram com a rotatividade do montante gerado pelas obras onde as mesmas são executadas, contribuindo com a economia local sendo pessoa jurídica ou física, em 2014 teve uma média de 10% de crescimento e obteve uma expansão na contribuição ao Produto Interno Bruto nacional nos últimos de 10 anos de 4,7% para 5,7%, gerando empregos diretos e indiretamente movimento a economia nacional com todo seu crescimento e prosperidade, (FIALHO ROMERO *et.al*, 2014).

Na construção civil se faz necessário vários estudos para que o projeto se torne o mais executável e econômico possível, sempre levando em consideração o custo benefício que é o que qualquer projeto tem como princípio básico, para que o projeto não fique superdimensionado e também atenda a todas as normas vigentes.

Por essa razão, os autores Velloso e Lopes (2010) comentam que, deve-se realizar estudos com o solo e o subsolo, buscando avaliar as suas características e levantar dados importantes para o dimensionamento de projetos de edificações.

É necessário se conhecer o solo onde será executado o projeto em estudo, visto que o mesmo possui características que devem ser classificadas e levadas em consideração no dimensionamento e futura execução de qualquer obra, devido a forma que o mesmo se comporta enquanto está em seu estado natural e posterior movimentações, com isso se faz necessário o conhecimento da resistência do terreno em análise. Estudos como: percussão (SPT), Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL), o penetrômetro sul africano (DCP) entre outros, analisam características da superfície terrestre para que se tenha as informações mais detalhadas possível do terreno e possa assim fazer corretamente o dimensionamento do projeto (TORRES, 2017).

Para evitar possíveis patologias nas fundações de uma edificação, deve-se prioritariamente realizar análises e estudos prévios do solo onde a obra será executada. Porém, o estudo do solo muitas vezes é desconsiderado, devido ao custo para se realizar as sondagens.

Uma alternativa para os estudos de sondagem, é a utilização do DCP ou penetrômetro sul africano. Esse método de sondagem possui equipamentos leves e de fácil manuseio, é considerado de baixo custo quando comparado aos demais métodos de investigação. Para o dimensionamento de projetos confiáveis, a utilização do DCP pode ser a solução de problemas relacionados com a investigação do solo, pois é de fácil execução e fornece resultados em menor tempo comparado a outros métodos de sondagem (BENEVIDES, 2012).

É possível perceber em diversas partes do mundo, alguns problemas relacionados ao solo, como recalques imediatos, recalques progressivos, falta de resistência, nível superficial do lençol freático entre outras patologias que influenciam diretamente no bem estar da edificação.

Em obras residenciais, nem sempre são feitas investigações e sondagens dos solos, devido ao alto custo para o estudo. Pensado nisso, é possível encontrar um recurso de sondagem que tenha baixo custo em relação aos métodos de sondagens mais comumente utilizados? Quais os benefícios de se investigar o solo?

O objetivo geral desse trabalho é a verificação das características do solo de um bairro residencial de Sinop-MT, com a utilização dos equipamentos de ensaio de solo sul africano, chamado de DCP. Serão realizadas sondagens em alguns bairros de Sinop-MT e os solos serão analisados tátil-visualmente para verificação das características do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Solos e suas definições

A história do solo é relativamente jovem. Apesar de um elemento crucial e presente em nossa vida, suas características por muito tempo foram ignoradas, passando a ser utilizada através de ferramentas características ligadas a química, física e biologia aplicando seus conceitos em caracteres agrícolas ou ambientais. Contudo, a evolução de seus preceitos levou a necessidade específica de analisar suas propriedades de forma mais aprofundada o que conseqüentemente possibilitou a criação de uma ciência voltada propriamente para seu estudo caracterizada em subdisciplinas (PASTORE; FONTE, 1998).

Os autores Reinert e Reichert (2006), dizem que o solo é composto por uma variável de partículas sólidas de natureza orgânica e mineral, possuindo uma variável de formas e composições podendo gerar várias configurações possíveis. Assim, pode-se afirmar que o solo possui diversas formas de porosidade e suas partículas se arranjam formando esse elemento.

Pode-se dizer que solo é uma estrutura que compõe a paisagem, presente em todas as partes do mundo, constituindo assim a superfície terrestre. Os solos passaram a ser estudados à medida que o homem o utilizava para plantar seus alimentos. Nos primórdios, o solo servia apenas para uso doméstico e era subdividido em solo bom e ruim para cultivo. Os autores comentam ainda que, podem existir diversas definições para a palavra solo. Nas áreas de estudo da agronomia, o solo pode ser entendido como um material que serve como base e suporte para o cultivo de plantas e suas características químicas devem ser estudados a fundo. Já para um geólogo, a definição de solo está ligada à sua origem, formação e as características dos elementos que produziram aquele substrato (GONÇALVES; CONSTÂNCIO, 2019).

A engenharia civil entende como significado de solo, uma mistura de diversos minerais e matéria orgânica, sendo o suporte e o alicerce para o desenvolvimento das obras. Um solo firme é constituído basicamente por minerais e oferece boas características de resistência para fundações. Já os solos que possuem grandes quantidades de matéria orgânica, são solos considerados colapsáveis e com baixa resistência. Para desenvolver projetos confiáveis, busque-se conhecer as características dos solos e estudar suas condições de equilíbrio (VARGAS, 1977).

2.2 A formação dos solos

Sabe-se que os solos são formados a partir das rochas, e as rochas por sua vez, são formadas a partir do resfriamento do magma e do agrupamento de diversos minerais. De acordo com Teixeira *et. al* (2000), as rochas possuem classificações quanto a sua formação na natureza, podendo ser magmáticas, sedimentares e metamórficas.

2.2.1 Rochas magmáticas ou ígneas

Tudo se inicia em processos de fusão e combinação de minerais no interior da Terra em altas temperaturas. Esse material formado, tende a expandir e se deslocar para a superfície da terra, em formato de magma vulcânico. Quando esse material começa a se deslocar, ocorre mudanças de temperatura, esfriando o magma e formando as rochas magmáticas (WERNICK, 2004).

As rochas magmáticas ainda podem ser classificadas como intrusivas e extrusivas. As rochas intrusivas são rochas ígneas resfriadas ainda no interior da Terra, no processo de deslocamento para a superfície. Já as rochas extrusivas, são rochas ígneas resfriadas na superfície da Terra. Um exemplo de rocha ígnea, é o Granito. (WERNICK, 2004).

2.2.2 Rochas sedimentares

As rochas sedimentares são aquelas formadas pelos sedimentos dispostos na superfície da Terra. São rochas em formadas por camadas de sedimentos de várias outras rochas pré-existentes, minerais soltos e até mesmo de matéria orgânica. As rochas sedimentares podem ser formadas por outras rochas sedimentares, por rochas metamórficas e ígneas. Para a ocorrência da formação de rochas sedimentares, é preciso um agente de formação, que pode ser físico ou químico. Exemplos desse tipo de rocha temos: Arenito e Calcário (TEIXEIRA, *et. al*, 2000).

2.2.3 Rochas metamórficas

Os solos são constituintes dos diferentes tipos de rochas e minerais, porém a maior parte do solo é constituído por rochas metamórficas. As rochas metamórficas são formadas pela transformação do material de outras rochas, sejam elas sedimentares ou ígneas. Para que isso ocorra, é necessário a exposição desse tipo de mineral á condições elevadas de temperatura e pressão. São exemplos desse tipo de rocha: Granito e Gnaisse (GONÇALVES; CONSTÂNCIO, 2019).

2.3 Agentes formadores do solo

Todo o solo que cobre o planeta terra, é formado por agentes de transformação, denominados de intemperismo. O autor Caputo (1988) comenta que para a formação do solo aconteça, devem existir condições ambientais favoráveis e conceitua intemperismo, como o fenômeno de desintegração física e química sofrida pelas rochas.

Para Teixeira *et. al* (2008), o intemperismo químico é tido como, a modificação das propriedades químicas das rochas, devido a ação da água e de possíveis produtos químicos que promovem a degradação da rocha sã em fragmentos menores. O autor comenta ainda que, intemperismo físico é classificado como a ação de agentes físicos como a água, o vento e a gravidade, sob a superfície de uma rocha, provocando ações de contato que degradam, corroem, fragmentam e desbastam a rocha em fragmentos menores. Também podem ser classificados como agentes físicos, a temperatura, a pressão e a ação de seres vivos e de vegetais.

Existem ainda, fatores que influenciam na formação do solo. Primeiramente destaca-se a rocha de origem sendo a responsável por determinar os tipos de minerais que serão encontrados no solo, de acordo com a sua própria formação. Os micro-organismos e organismos vivos também tem seu papel na formação do solo. São eles que agem de forma direta com a degradação do solo, seja por atrito ou pela reação de agentes químicos carregados por eles (GONÇALVES; CONSTÂNCIO, 2019).

O clima, o relevo e o tempo também são fatores decisivos na formação dos solos. De acordo com Gonçalves *et. al* (2019), o clima é responsável pela ação das chuvas e da temperatura, bem como regula a intensidade com que esses fatores agirão sobre as rochas. O relevo é um agente que auxilia a velocidade do escoamento das águas, consequentemente, regula a velocidade com que a água age sobre a superfície das rochas. Já o tempo é o fator que liga todos os outros fatores, pois, para que aconteça o intemperismo, é necessário tempo.

2.4 Características dos solos

O solo é um material constituído por minerais e por matéria orgânica, formados a partir da ação do intemperismo físico e químico, que atuam nas superfícies das rochas a milhares de anos. Esse material pode ser classificado de acordo com a sua formação, podendo ser residual e sedimentar. A autora comenta ainda que, a classificação do solo é de grande interesse na engenharia civil, pois estuda as características do solo relacionadas à sua formação que,

consequentemente estão relacionadas com a resistência, a permeabilidade e a profundidade do solo (ZIMBACK, 2003).

2.4.1 Solos residuais

Solo residual é o material degradado da rocha mãe, por ações de intemperismo físico ou químico, onde suas partículas continuam depositadas sob o material de origem. Nesse caso, é comum perceber que a decomposição da rocha mãe é feita de forma acelerada, comparado com a remoção do solo. A ação de degradação da rocha ocorre de cima para baixo, obtendo assim, um perfil de solo em que a parte mais alta se parece com um pó e a parte mais baixa possua granulometria variada (GONÇALVES; CONSTÂNCIO, 2019).

2.4.2 Solos sedimentares

Os solos sedimentares, possuem sua formação dada pelo transporte de partículas de rochas e de minerais que foram depositados em locais diferentes de onde se originou. Forças do vento da água ou de gravidade são as principais colaboradoras para a formação desse tipo de solo (GONÇALVES; CONSTÂNCIO, 2019).

2.4.3 Textura do solo

De acordo com Reinert e Reichert (2006), a textura do solo resume-se na distribuição dos tamanhos das partículas nele existente. A textura do solo é formada com a ação do intemperismo, que por sua vez, demora muito tempo para forma-la.

Existem classificações para a textura dos solos, que são normatizadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, pela NBR 6502 (1995) “Rochas e Solos”. A ABNT classifica a textura do solo como “à aparência da rocha, quando se consideram, em conjunto, o tamanho, forma, arranjo e o modo pelo qual os minerais que a compõem se acham unidos”.

Dentro da NBR 6502 (1995), é possível classificar a textura do solo de acordo com os tamanhos das partículas, como mostrado no quadro a seguir.

Quadro 1: Classificação da textura dos solos

Classe de textura	Tamanho da partícula
Pedregulho	$2,0 < D < 60,0$ mm
Areia Grossa	$0,60 < D < 2,0$ mm
Areia média	$0,20 < D < 0,60$ mm
Areia fina	$0,06 < D < 0,20$ mm
Silte	$0,002 < D < 0,06$ mm
Argila	$D < 0,002$ mm

Fonte: Adaptado de Gonçalves e Constâncio (2019), *apud* ABNT NBR 6502 (1995).

2.4.4 Permeabilidade do solo

A permeabilidade do solo é outra característica que merece ser estudada. Para Cavalcante (2006), permeabilidade é a “Capacidade que tem o solo de permitir o escoamento de água através de seus vazios”.

A partir da coleta de um solo e ensaios laboratoriais, é possível descobrir a permeabilidade do solo. Essa característica contribui para a engenharia civil, de modo a ser relevante em estudos prévios para compactação de solo, utilização de solo para reforço e outros aspectos que envolvam obras utilizando o solo (REINERT; REICHERT, 2006).

2.4.5 Porosidade e coesão

De acordo com Sousa Pinto (2016), a porosidade é uma propriedade que o solo tende a possuir poros em seu interior. Esses poros podem ser originários de sua formação ou pelo ângulo de suas partículas, e tem ligação com o índice de vazios do solo que são os vazios preenchidos por ar e por água.

Para Gonçalves *et. al* (2019), a coesão é a força de atração, promovida por agentes cimentantes, que ocorre entre as partículas do solo. Essa força tem origem natural e pode ser desfeita com processos de escarificação e ação de agentes químicos.

2.4.6 Resistência a compressão

Com o passar do tempo, o solo vai se depositando em camadas na superfície, adquirindo diversas propriedades que são importantes fatores a serem estudados para o dimensionamento e implementação de projetos (FIORI, 2016).

Uma das características principais do solo, é a sua capacidade de suportar as cargas provenientes das edificações. Essas cargas geralmente são forças axiais de compressão, quem comprimem a estrutura com o solo. Os solos por sua vez, recebem essas forças e distribuem em áreas de maior escala. O autor comenta ainda que, solos com a presença de material orgânico, são descartáveis pela engenharia civil, pois possuem características negativas no quesito de resistência. Já solos uniformes sem a presença orgânica, são considerados solos firmes e resistentes. (PELACANI, 2010).

De acordo com os estudos de Reinert e Reichert (2006), o quadro 2 a seguir, mostra as características dos solos grossos e solos finos.

Quadro 2: Características dos solos grossos e solos finos

SOLOS GROSSO	SOLOS FINOS
Maior porosidade	Menor porosidade
Menor micro e maior macro porosidade	Maior micro e menor macro porosidade
Menor plasticidade	Maior plasticidade
Baixa coesão	Alta coesão
Maior suscetibilidade à erosão	Maior resistência à erosão
Menor densidade	Maior densidade
Maior resistência à compactação	Maior suscetibilidade à compactação
Maior permeabilidade	Menor permeabilidade
Baixa retenção de água	Alta retenção de água

Fonte: Gonçalves e Constâncio (2019) *apud* Reinert e Reichert (2006).

2.5 Investigação do Solo e a importância na Engenharia Civil

As estruturas desenvolvidas pela engenharia, são verdadeiras obras de arte e demonstração de evolução das tecnologias de construção e inovação. Com o passar do tempo, vê-se obras mais esbeltas e robustas ao mesmo tempo, obras desafiadora e incríveis obras que são verdadeiros monumentos históricos (PELACANI, 2010).

À medida que as construções foram se tornando mais desafiadoras e as técnicas construtivas foram evoluindo, houve a preocupação com diversos elementos e forças que atuam diretamente na estabilidade da estrutura. Exemplos desses elementos são: a força do vento, o deslocamento do solo, a força das águas, o peso da estrutura e as forças acidentais extraordinárias (GONÇALVES; CONSTÂNCIO, 2019).

Um projeto seguro, é aquele dimensionado corretamente considerando todas as possíveis forças que podem atuar na estrutura. É preciso muito estudo e atenção aos detalhes das combinações de forças que, muitas vezes, atuam juntas e podem abalar uma estrutura (MARANGON, 2009).

O comportamento das cargas de uma estrutura, comportam-se de forma hierárquica de cima para baixo em cargas de compressão e de um lado para o outro em cargas de tração. As cargas de uma cobertura são descarregadas sobre as lajes, e essas por sua vez descarregam suas cargas nas vigas, as vigas descarregam nos pilares e os pilares descarregam nas fundações. As fundações, recebem todas as cargas e descarregam no solo e o solo tende a resistir a esses esforços (MARANGON, 2009).

Os autores Schnaid e Odebrecht (2012), comentam que o solo é um fator primordial em uma edificação, é importante realizar ensaios e estudos sobre ele, visando entender seu funcionamento para posteriormente dimensionar e projetar de forma correta. Os estudos com o solo, vem sendo aplicados desde os primórdios da humanidade e se tornaram mais avançados com o tempo.

A fase de investigação do solo, é um importante fator que deve ser respeitado e reconhecido. É nessa fase que se busca a avaliação das características do solo, como coesão, densidade, origem, espessura das camadas, resistência a compressão, percolação de água e outros fatores que influenciam diretamente na estabilidade da estrutura que será construída (SCHNAID; ODEBRECHT, 2012).

Quando as investigações dos solos são falhas e/ou insuficientes, podem gerar problemas estruturais como recalque das fundações, fissuras e trincas, desaprumo de portas e janelas, ou até mesmo o colapso da estrutura. Um caso muito comum sobre uma investigação falha do solo, é o da Torre de Pisa, na Itália.

De acordo com Cintra *et. al* (2013), diz que “o edifício circular de mármore, com 294 degraus até a cúpula e altura de 55,9m, levou 200 anos para ser construído, de 1173 á 1350. Sua base, com diâmetro externo de 15,5m e interno de 7,4m, está apoiada sobre fundação direta”. A figura q a seguir, mostra a torre de Pisa na atualidade, que permaneceu em pé e se tornou um monumento histórico.

Comenta ainda que a torre está situada acima de um solo em camadas alternadas de argila e de areia, e que não é um solo uniforme em todas as direções. A falta com o estudo geotécnico do local, levou ao quase colapso da estrutura dessa torre, porém com muitos estudos, entre os anos de 1990 e 2001, a torre foi interditada para manutenções e reforços nas fundações.

Figura 1: Torre de Pisa na Itália



Fonte: Portal de notícias UOL (2020).

Outro exemplo fatídico sobre a falta de investigação do solo, são os edifícios na Orla de Santos em São Paulo no Brasil. Esses edifícios foram construídos por volta de 1950 e a partir do ano de 1970, começaram a apresentar recalques, deixando-os inclinados. Esse solo apresentava camadas de areia e de argila e as estacas foram executadas em aproximadamente 10 metros da superfície. Contudo, a parte resistente do solo se encontrava a metros da superfície. Em 2012 começaram obras de recuperação e alinhamento dos prédios. A figura 2, mostra a inclinação dos prédios de Santos-SP (MELO *et.al*, 2019).

Figura 2: Recalque do solo na Orla de Santos-SP



Fonte: Fecci Engenharia (2018).

2.6 Ensaios de campo e investigação de solo

É de grande importância na engenharia, o estudo e investigação dos solos para evitar possíveis patologias futura. Tendo isso em mente, existem ensaios de investigação de solo que são comumente utilizados na atualidade. São eles: Ensaio SPT, Ensaio CPT e Ensaio DPL (GONÇALVES; CONSTÂNCIO, 2019).

2.6.1 Ensaio SPT

De acordo com Pereira (2015), o ensaio de *Standard Penetration Test*, ou ensaio a percussão é um processo mais utilizado entre os meios de análise que parte da perfuração do solo e apresenta dados característicos do tipo de solo atravessado, como resistência, nível de profundidade da água entre outros.

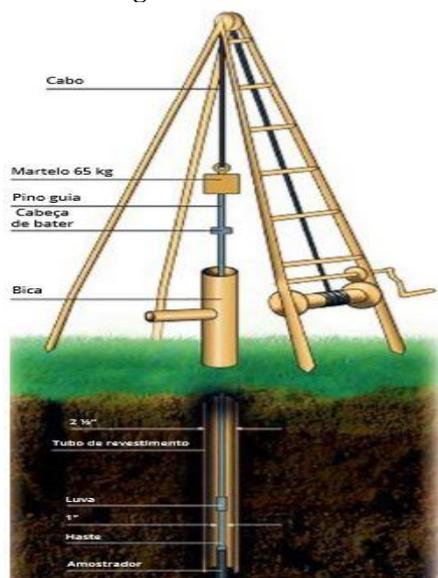
Esse ensaio é padronizado pela ABNT NBR 6484 “Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio (2001)”, que consiste na escavação inicial de 1m de terra com um trado manual e posteriormente, na cravação no solo de um amostrador de 5cm de diâmetro e de 45 cm de comprimento, a partir do impacto de um martelo de 65 kg, a uma altura de 75cm. Esse ensaio busca definir o N_{spt} , que é o número necessário de golpes para cravar 30cm do amostrador, após os primeiros 15 cm serem cravados e descartados os números de golpes.

De acordo com Pereira Filho (2016), a norma NBR 6484 (ABNT, 2011), o ensaio de SPT é finalizado quando:

- O número total de golpes para a cravação dos 15 cm iniciais for de 30 ao longo de 3 metros seguidos.
- O número total de golpes para a cravação dos 30 cm iniciais for de 50 ao longo de 4 metros seguidos.
- O número total de golpes para a cravação dos 45 cm iniciais for de 50 em 5 metros sucessivos.
- O avanço do amostrador for menor que 50 mm após 10 minutos de injeção de água.
- Até atingir a profundidade estabelecida em projeto.

O amostrador que está sendo cravado no solo, tem cavidade vazada afim de ser coletado o solo nas alturas dos ensaios. Esse solo então é coletado e levado para laboratório, para serem feitas análises e ensaios laboratoriais para designação das características do solo. A figura 3 a seguir, mostra os equipamentos para a realização do ensaio do SPT.

Figura 3: Ensaio SPT



Fonte: Gonçalves; Constâncio, 2019 *apud* Schnaid e Odebrecht (2012).

2.6.2 Ensaio CPT

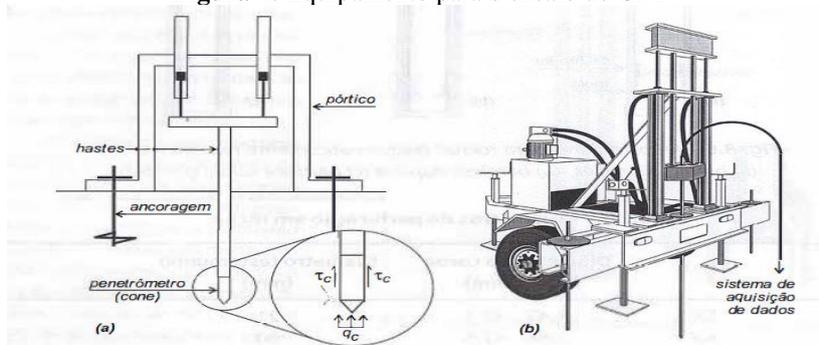
O CPT é conhecido como ensaio do cone ou ensaio estático. De acordo com Schanid e Odebrecht (2012), esse ensaio consiste na cravação de uma haste com ponteira cônica padronizada de 35mm e angulação de 60°, a uma velocidade também padronizada de 20mm/s. Esse ensaio busca medir a resistência a cravação da ponteira no solo e também a resistência lateral oferecida por ele.

Segundo Hachich *et. al* (1998), o ensaio CPT possui como vantagem a rapidez e a confiabilidade nos dados obtidos das camadas perfuradas. Esse tipo de ensaio oferece conforto para a vizinhança, pois não gera vibrações e desconforto auditivo.

Como desvantagem, o autor menciona que não há normas regulamentadoras brasileiras, utilizando como base a ASTM D-344 (Standard test method for deep quasi-static, cone and friction-cone penetration tests of soils - Método de ensaio padrão para ensaios de penetração em quase-estática profunda, cone e fricção-cone dos solos). Outra desvantagem do ensaio, é a necessidade de mão de obra especializada para

A figura 4, demonstra no item “a” a ponteira cônica sendo cravada no solo e o item “b” mostra o equipamento que faz as medições e transforma em relatório de sondagem.

Figura 4: Equipamento para o ensaio do CPT



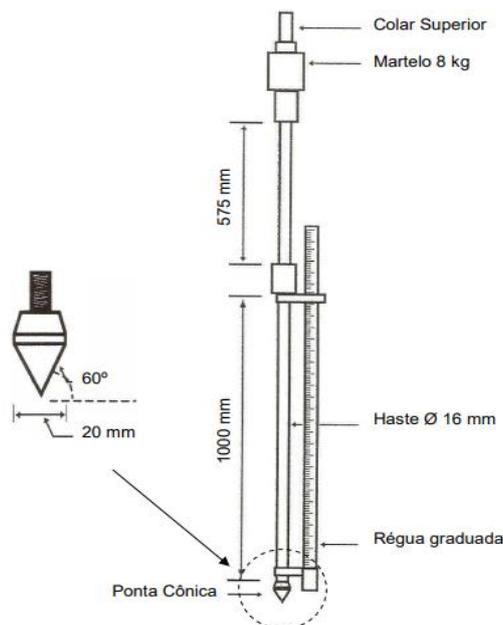
Fonte: Velloso e Lopes (2010).

2.6.3 Ensaio DCP

O ensaio do *Dynamic cone Penetrometer* ou ensaio de penetração dinâmica e cone, conhecido como DCP ou penetrômetro sul africano é um equipamento utilizado para aferição das características do solo em locais de difícil acesso, mas que também pode ser utilizado como fonte alternativa para obtenção de dados do solo (SOUZA, 2019).

Esse ensaio busca avaliar a compactação do solo por meio da cravação de uma haste metálica com uma ponteira metálica cônica, com a ação de queda livre de um martelo guiado por uma haste. Esse tipo de ensaio não é padronizado pela ABNT, porém, existe uma norma americana que padroniza, essa norma é ASTM D-6951 “*Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications*” (BENEVIDES, 2012).

A seguir, será apresentada a figura 5 que representa o equipamento DCP que será utilizado para a execução desse projeto. O martelo utilizado para o procedimento de ensaio possui 8kg e sua altura de queda é de 575mm. A haste possui 16mm de diâmetro e a ponteira cônica possui 20mm de diâmetro e angulação de 60°.

Figura 5: Equipamento de sondagem DCP

Fonte: BENEVIDES, 2012

Após posicionar o equipamento verticalmente no ponto em que se deseja realizar o ensaio, inicia-se uma sucessão de golpes com o martelo. À medida que a ponteira vai afundando, são anotadas quantas batidas de martelo foram necessárias para a cravação de “n” centímetros no solo. Posteriormente é utilizada a equação 1 para a verificação do índice de penetração dinâmica, ou DPI (CARVALHO *et.al*, 2006, *apud* BENEVIDES, 2012).

Equação 1: Número de DPI

$$DPI = \frac{Ln - Li}{n - 1}$$

Onde:

Ln – Deslocamento executado pelo enésimo golpe;

Li – Deslocamento executado pelo primeiro golpe;

n – Enésimo golpe

2.7 Análise Táctil-Visual do solo

Na análise Táctil-visual, busca-se apontar as primeiras características do solo que está sendo estudado. Primeiramente, destaca-se a procedência do solo em análise, destacando a região que ele foi coletado, sua cor e seu cheiro. Com base nessa análise, os solos são levados para laboratório e realizados os demais testes e ensaio cabíveis (PASTORE; FONTES, 1998).

Com base nos estudos de Gonçalves e Constâncio (2019), nessa análise visual, são verificadas as presenças de granulometrias diferentes em uma porção de solo. Por exemplo, a presença de grãos menores como argila, silte e areia, grãos maiores como pedregulhos e areia grossa. Busca-se manusear o solo com os dedos, identificando superfícies ásperas como as das areias, ou superfícies lisas como os das argilas e dos siltes.

Outro aspecto que pode ser observado, é a plasticidade do solo. Para a verificação desse aspecto, passa-se o solo em uma peneira de número 40 buscando deixar apenas as proporções finas dos solos passarem. Adiciona-se água no material que passou pela peneira, até a formação de uma pasta. Rola-se essa pasta na mão afim de formar um filamento e depois balança-se esse filamento com os dedos até ele romper. Com esse ensaio, é possível saber previamente se o solo é fraco, médio, rígido ou duro em relação a sua plasticidade (GONÇALVES; CONSTÂNCIO, 2019).

O ensaio de dilatância, consiste em pegar na mão uma porção da pasta, virar a mão para cima e com a outra mão, bater nas costas da mão com a pasta. Com esse ensaio é possível verificar a formação de rachaduras no solo e a presença de água na superfície do mesmo. Em seguida verifica-se a velocidade com que a água será absorvida pelo solo. Com isso, é possível determinar a absorção e mobilidade da água nesse solo, considerando como rápido, médio e lento (STANCAT; NOGUEIRA, 1981).

A resistência a compressão pode ser norteadada por esse ensaio táctil-visual. Forma-se cubos 1 cm³ com a pasta e deixa-os secarem por 24 horas. Em seguida, pega-se esses cubos com os dedos polegar e indicador, afim de pressionar o cubo e rompe-lo. A resistência pode ser considerada como muito baixa, baixa, média, alta e muito alta (GONÇALVES; CONSTÂNCIO, 2019).

Os ensaios Táteis-visuais, servem para nortear os próximos ensaios que devem ser realizados em laboratório de forma calma e normatizada. Deve-se sempre procurar entender como o solo funciona e suas características, a fim de promover confiabilidade nos projetos que serão executados (STANCAT; NOGUEIRA, 1981).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho será desenvolvido de forma a avaliar o solo, a partir do método de investigação DCP Ensaio de penetração dinâmica de cone, ou penetrômetro Sul-africano. O estudo em questão, será realizado no município de Sinop-MT, pelo Centro Universitário UNIFASIPE.

Para o dimensionamento correto de projetos de edificações, faz-se necessário o estudo prévio do solo em que esta edificação será executada. Motivo esse relacionado as características diversas que o solo pode apresentar, e a principal delas é a sua resistência a compressão, pois é o solo quem irá resistir a todos as cargas e esforços provindos da estrutura.

O município de Sinop-MT, cresce em grandes proporções todos os anos. A busca por qualidade de vida e por crescimento intelectual com formação acadêmica, são fatores que levam aos investimentos em Sinop.

Na atualidade, existem diversas construções residenciais e comerciais sendo executadas. As obras residenciais crescem em maior número quando comparadas a qualquer outro tipo de obra. Contudo, muitas vezes os estudos relacionados aos solos são negligenciados ou realizados de maneira errônea, pois promovem um custo adicional nos orçamentos das obras.

Fato esse que deveria ser totalmente o contrário, pois Sinop apresenta um solo colapsível composto na sua maioria por areia e argila. O fato de serem solos que não apresentam muita resistência, leva a possíveis instabilidades na estrutura como um todo.

Os estudos de sondagem de solo mais comuns e confiáveis são os de SPT. Porém, esses possuem alto custo quando se fala de obras residenciais unifamiliares. Contudo, existe um estudo de sondagem de solo que pode ser tão efetivo quanto o SPT, ele é o DCP.

O ensaio de penetração dinâmica cônica (DCP), pode ser uma alternativa para as obras em bairros residenciais de Sinop, pois ele apresenta resultados promissores e utiliza equipamentos que podem ser manuseados por uma ou duas pessoas.

Para o início desse projeto, serão feitas pesquisas em bibliografias relacionadas ao solo e a sondagem do mesmo, buscando aprofundar os conhecimentos. Em seguida, serão realizados os ensaios de sondagem de solo e avaliação táctil visual do solo, com o uso do DPL e das informações coletadas.

A sondagem do solo será realizada em alguns pontos de bairros residenciais de Sinop-MT, utilizando o equipamento de sondagem DCP que será emprestado do laboratório de Engenharia Civil da Unifasipe.

Serão escolhidos locais estratégicos onde estão se iniciando as fases iniciais de construção de um canteiro de obras. Em seguida, serão demarcados pontos no solo onde serão feitas as sondagens com o DCP. Realizadas as sondagens, será feita a análise tátil-visual do solo, buscando apontar as características do mesmo.

Posteriormente os dados coletados em campo serão analisados e processados, com o auxílio de ferramentas computacionais. Serão desenvolvidos tabelas e gráficos para os processamentos dos dados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a execução dos ensaios, foram demarcados 7 pontos em locais diferentes em um terreno. Foram realizados ao total 14 ensaios, 7 ensaios foram feitos no bairro Jardim Milão e 7 no bairro Residencial Paris, ambos no município de Sinop/MT.

Os locais definidos para a realização dos ensaios, são bairros residenciais e em formação, distanciados cerca de 12km entre um e outro. Foram definidos esses bairros para verificação da resistência dos solos, considerando que pertencem ao mesmo município, porém em locais diferentes.

A tabela 1 a seguir, representa os dados coletados a partir dos ensaios de solo realizados com o equipamento DCP, ou penetrômetro Sul-Africano, no bairro Residencial Paris.

Tabela 1: Resultados dos ensaios de solo com equipamento DCP – Bairro Residencial Paris – Sinop/MT

Ensaio realizado no bairro Residencial Paris em Sinop-MT							
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	Ensaio 7
Nº golpes	Cravação (cm)						
1	~	~	~	~	~	~	~
2	~	~	~	~	~	~	~
3	~	~	~	~	~	~	~
1	3	2	2	2	3	3	2
2	6	4	4	3	4	4	4
3	8	6	6	5	6	7	6
4	11	8	8	6	9	9	8
5	13	10	9	9	10	12	10
6	15	12	11	11	11	13	11
7	17	14	12	12	14	15	14
8	19	16	14	14	15	16	16
9	21	18	15	17	18	18	18
10	23	20	17	19	19	19	20
11	25	22	19	20	22	23	22
12	26	24	20	22	25	25	23
13	28	26	22	23	27	27	25
14	29	28	24	27	28	28	27
15	31	30	26	30	29	29	29
16	32	31	27	31	31	32	31
17	33	33	28	33	34	34	33
18	35	34	29	34	35	35	35
19	36	36	31	35	36	36	37
20	38	38	32	37	39	39	39
21	39	40	34	39	41	40	40
22	40	41	36	41	44	41	42
23	42	43	38	42	47	44	44
24	43	45	40	44	48	45	46
25	45	46	42	45	49	47	48
26	47	48	45	47	50	48	50

27	49	49	47	49	52	51	52
28	51	50	52	50	54	53	55
29	53	51	55	52	56	55	57
30	56	53	58	55	59	56	59
31	58	55	61	56	60	57	61
32	61	57	64	59	63	59	63
33	64	59	68	62	66	62	65
34	67	61	72	66	69	65	67
35	70	64	75	69	72	66	69
36	74	67	78	73	75	67	72
37	78	70	81	77	79	70	75
38	82	73	83	80	81	73	78
39	85	77	85	82	84	76	81
40	88	81	87	84	86	79	85
41	90	84	88	86	90	83	87
42	~	86	90	89	~	85	90
43	~	88	~	90	~	88	~
44	~	90	~	~	~	90	~

Fonte: Arquivo Próprio (2020).

Já a tabela 2 representa o resultado do ensaio de solo com a utilização do equipamento DCP, realizado no bairro Jardim Milão, no município de Sinop/MT.

Tabela 1: Resultados dos ensaios de solo com equipamento DCP – Bairro Jardim Milão – Sinop/MT

Ensaio realizado no bairro Jardim Milão em Sinop-MT							
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	Ensaio 7
Nº golpes	Cravação (cm)						
1	~	~	~	~	~	~	~
2	~	~	~	~	~	~	~
3	~	~	~	~	~	~	~
1	2	2	3	1	1	1	1
2	5	4	5	2	3	2	3
3	7	6	8	4	5	4	5
4	10	8	10	5	8	6	8
5	12	10	12	7	9	8	9
6	15	13	15	9	10	9	10
7	18	15	17	11	11	11	12
8	20	18	20	13	15	14	15
9	25	22	26	19	17	16	18
10	28	24	29	21	18	17	21
11	30	26	32	24	22	19	24
12	33	29	36	26	26	21	26
13	35	31	40	29	31	22	30
14	38	34	45	32	34	25	34
15	43	40	54	37	36	27	38
16	46	43	60	40	39	31	44
17	48	46	66	42	43	34	47
18	52	50	72	45	46	39	50
19	54	53	78	48	50	44	55
20	57	57	85	52	54	47	59
21	61	61	89	56	57	52	63
22	64	66	90	59	61	55	67
23	67	71	~	63	65	59	71
24	71	75	~	66	69	62	75

25	74	79	~	70	71	66	79
26	78	84	~	74	75	70	84
27	84	87	~	78	77	74	88
28	90	90	~	79	81	76	90
29	~	~	~	83	86	80	~
30	~	~	~	86	89	84	~
31	~	~	~	89	90	87	~
32	~	~	~	90	~	90	~

Fonte: Arquivo Próprio (2020).

Afim de obter melhores resultados, sem que haja interferência do aterramento e compactação do solo, o DCP foi instalado e iniciado os testes onde, os três primeiros golpes foram descartados, iniciando a contagem a partir do 4º golpe.

Analisando as duas tabelas, pode-se notar que houve uma diferença de resistência entre os solos ensaiados. Enquanto no bairro Jardim Milão foram necessários até 32 golpes de martelo para a cravação da ponteira cônica a uma profundidade de 900mm, no bairro Residencial Paris foram necessários até 44 golpes de martelo para se obter o mesmo valor de cravação da ponteira cônica.

As tabelas 3 seguir, representa as médias ponderadas entre o número de golpes e a profundidade da cravação da ponteira cônica, nos bairros Residencial Paris e Jardim Milão, respectivamente.

Tabela 3: Média entre golpes e cravação da ponteira cônica – Bairro Residencial Paris e Jardim Milão– Sinop/MT

Nº golpes	Média ponderada da profundidade cravada entre os ensaios (cm)	
	Residencial Paris	Jardim Milão
1	2	2
5	10	10
10	20	23
15	29	39
20	37	59
25	46	73
30	57	86
32	61	90
35	69	~
40	84	~
44	90	~

Fonte: Arquivo Próprio (2020).

De acordo com a tabela 3, pode-se perceber que o solo do Residencial Paris apresenta características com maior resistência a penetração da ponteira, com um solo mais compacto em relação ao solo do Jardim Milão, que aparenta ser um solo com menor resistência a penetração da ponteira e menos compacto. Enquanto a média de profundidade foi de 90cm com 32 golpes no Jardim Milão, a profundidade foi de 61cm no Residencial Paris.

Comparando os dados das tabelas 1, 2 e 3, observa-se que com a mesma quantidade de golpes nos ensaios, as profundidades da penetração da ponteira cônica, foram diferentes. Quando analisado a quantidade de 5 golpes, percebe-se que, nos ensaios realizados no Jardim Milão, a profundidade variou entre 7 e 12cm. Comparando com os ensaios do Residencial Paris, as profundidades alcançadas ficaram entre 9 e 12cm. Isso indica que as camadas iniciais dos solos apresentam características semelhantes de compactação.

As diferenças entre os solos dos bairros ficam mais evidentes quando comparados os resultados a partir de 15 golpes, apresentando profundidades médias de 29cm para o Residencial Paris e de 39cm para o Jardim Milão. Este fator indica que o solo do bairro Residencial Paris

apresenta características com maior rigidez e/ou maior fator de compressibilidade, quando comparado com o bairro Jardim Milão, que apresenta um solo mais mole e solto.

Outro ponto que pode ser verificado, é que para a cravação de 45cm da ponteira cônica (equivalente à metade do ensaio), foram necessários 25 golpes para o Residencial Paris e cerca de 17 golpes para o Jardim Milão. Esse é mais um fator que indica que os solos possuem características distintas, mesmo pertencendo ao mesmo município.

Juntamente com os ensaios de solo com o DCP, foram realizados os ensaios táteis visuais para os dois bairros. Como o ensaio tátil visual depende muito da avaliação de quem está manuseando o solo, a seguir estão apresentadas na tabela 4, as características observadas em relação aos solos analisados de cada bairro.

Tabela 4: Características táteis visuais dos solos ensaiados

Localização	Características táteis visuais observadas durante o ensaio					
	Sensação ao tato	Compactação	Cor	Cheiro	Dispersão em Água	Plasticidade
RESIDENCIAL PARIS	Sensação aveludada com baixa aspereza	Mais compacto	Marrom avermelhado	Terroso	Água turva com baixa deposição no fundo	Moldável sem muitas rachaduras
JARDIM MILÃO	Aspereza com leve sensação aveludada	Menos compacto	Marrom claro	Sem cheiro	Água levemente turva com deposição rápida no fundo	Pouco Moldável com várias rachaduras

Fonte: Arquivo Próprio (2020).

Com os ensaios táteis visuais foi possível perceber a presença de areia e argila em ambos os bairros. No Residencial Paris, a presença de argila foi maior que a presença de areia, tornando um solo misto e com características mais compactas, resistentes a cravação do DCP. A presença elevada de argila pode ser visível quando realizados os ensaios de plasticidade e de dispersão em água, tendo uma coloração acentuada na palma da mão e pouca dispersão na água.

Já no Jardim Milão, a sensação ao toque no solo foi de aspereza e uma coloração com tons mais claros. Esse solo apresentou baixa plasticidade e quando disperso em água, houve baixa coloração na água e rápida deposição ao fundo do recipiente.

5. CONCLUSÃO

Realizados os ensaios com o equipamento DCP e os ensaios táteis visuais, pode-se avaliar os solos em diferentes localizações do município de Sinop/MT, com a finalidade de compara-los verificando suas resistências a cravação do DCP e suas características visíveis.

A utilização do DCP como uma forma alternativa de avaliação do solo, se demonstrou satisfatória quando se observa as características do solo. Esse equipamento pode ser utilizado para realizar ensaios em locais com baixa taxa de mobilidade e de acessibilidade.

Apesar de estarem localizados na mesma cidade, os solos dos diferentes bairros apresentam características comuns e distintas ao mesmo tempo. Os solos ensaiados apresentaram características arenosas e argilosas ao mesmo tempo, porém no bairro Residencial Paris a taxa de argila encontrada no solo, é maior e sua compactação também é maior.

Já no bairro Jardim Milão, a presença de areia é predominante, com leves sensações aveludadas de argila. Esse tipo de solo apresenta menores características compressíveis e maior suscetibilidade a interferências das ações externas para com o solo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6502: **Rochas e solos**. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6484: **Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos**. Rio de Janeiro. 2001.

BENEVIDES, Larissa Dantas. **Avaliação do uso do DCP em areias para controle da capacidade de carga em fundações diretas e controle de compactação de aterros**. 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: Fundamentos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1988. 244 p.

CARVALHO, Leila Maria Coelho *et al.* Proposta de Aplicação de Resultados de Sondagens com Martelo Leve (DPL) em Projetos de Fundações para Pequenas Cargas. **XVI ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**, [s. l.], 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323265857_Proposta_de_Aplicacao_de_Resultados_de_Sondagens_com_Martelo_Leve_DPL_em_Projetos_de_Fundacoes_para_Pequenas_Cargas. Acesso em: 30 maio 2020.

CARVALHO, R.; VERTAMATTI, Eugênio; LIMA, Luiz Carlos. Estabelecimento de Correlações DCP x CBR para Solos Lateríticos e Não-Lateríticos de Textura Fina. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, XIII, Curitiba**. 2006.

CAVALCANTE, Erinaldo Hilário. **mecânica dos solos ii. Aracaju-SP: Universidade Federal de Sergipe, Centro de ciências exatas e tecnologia, Departamento de engenharia civil**, 2006.

CINTRA, José Carlos A. et al. **Fundações: ensaios estáticos e dinâmicos**. Oficina de Textos, 2013.

DE SOUSA PINTO, Carlos. **Curso básico de Mecânica dos Solos**. Oficina de Textos, 2016.

FIALHO, Karlo Eugênio Romero et al. Aspectos econômicos da construção civil no Brasil. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO-ENTAC**, v. 15, 2014.

FIORI, Alberto Pio. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas**. Oficina de Textos, 2016.

GONÇALVES, Flávia; CONSTANCIO, Mateus Amarante. **Caracterização, propriedades geotécnicas e exploração do solo**. 1. ed. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019. 148 p.

HACHICH W. et al. **Fundações: Teoria e Prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. 762 p.

MARANGON, Marcio. Geotecnia de fundações. **Disponibilizado pela Universidade Federal de**, 2009.

Matos, Y. M. P. (2015). **Verificação da aplicação de sondagens com o Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL) em projetos de fundações para pequenas edificações**. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade de Fortaleza, Fortaleza.

MELO, João Paulo Ferrari Guedes de; MELLO, Maria Rita Monteiro de. **Recalque de grandes estruturas: prédios de Santos**. 2019.

NILSSON, T. Comparações entre DPL Nilsson e SPT. **Geosul 2004–IV Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul**, 2004.

PASTORE, Eraldo Luporini; FONTES, Rita Moura. Caracterização e classificação de solos. **Antônio Manoel dos Santos Oliveira e Sérgio Nertan Alves de Brito. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, SP**, 1998.

PELACANI, Valmir Luiz. Responsabilidade na construção civil. **Caderno do Crea-Pr**, n. 7, 2010.

PEREIRA FILHO, Edgar. **Sondagem a percussão metodologia executiva**. AP&L Geotecnia e Fundações – Montes Claros/MG, 2016.

PEREIRA, Caio. Tipos de Sondagem de Solo. Escola Engenharia, 2015. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-sondagem/>. Acesso em: 18 de maio de 2020.

REINERT, Dalvan José; REICHERT, José Miguel. Propriedades físicas do solo. **Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria**, 2006.

SCHNAID, Fernando; ODEBRECHT, Edgar. **Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações: 2ª edição**. Oficina de Textos, 2012.

SOUZA, Bruma Morganna Mendonça de. **Estudo de correlação entre os índices de DCP e CBR de solos típicos da cidade de Natal/RN**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

STANCAT, G.; NOGUEIRA, J. B.; VILAR, O. M. **Ensaio de Laboratório em Mecânica dos Solos**. EESC – USP – Departamento de Geotecnia. São Carlos, 1981.

TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 558 p.

TORRES, Hugo Gabriel Barbosa. Ensaio estático de estacas em solos argilosos. 2016.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1977, 509 p

VELLOSO, D.A.; LOPES, F.R.– **Fundações. v. 2**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

VETTORI, Leandro. **Métodos de análise de solo**. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, Ministério da Agricultura, 1969.

WERNICK, Eberhard. **Rochas magmáticas conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica**. UNESP, 2004.

ZIMBACK, Célia Regina Lopes. Formação dos solos. **GEPAG. Botucatu-SP**, 2003.