



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

EFFENSON CAYRO MENDES DEODATO

**ENSAIOS DE ANÁLISE DO SOLO E A APLICAÇÃO DE CORRELAÇÕES PARA
OBTENÇÃO DE SUAS CARACTERÍSTICAS A PARTIR DO ENSAIO SPT**

MOSSORÓ

2022

EFFENSON CAYRO MENDES DEODATO

**ENSAIOS DE ANÁLISE DO SOLO E A APLICAÇÃO DE CORRELAÇÕES PARA
OBTENÇÃO DE SUAS CARACTERÍSTICAS A PARTIR DO ENSAIO SPT**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: John Eloi Bezerra, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

D418e DEODATO, EFFENSON CAYRO MENDES.
ENSAIOS DE ANÁLISE DO SOLO E A APLICAÇÃO DE
CORRELAÇÕES PARA OBTENÇÃO DE SUAS CARACTERÍSTICAS
A PARTIR DO ENSAIO SPT / EFFENSON CAYRO MENDES
DEODATO. - 2022.
69 f. : il.

Orientador: John Eloi Bezerra.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2022.

1. SPT. 2. Correlações. 3. Ensaio. 4. Solos.
5. Fundações. I. Bezerra, John Eloi, orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

EFFENSON CAYRO MENDES DEODATO

**ENSAIOS DE ANÁLISE DO SOLO E A APLICAÇÃO DE CORRELAÇÕES PARA
OBTENÇÃO DE SUAS CARACTERÍSTICAS A PARTIR DO ENSAIO SPT**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 17 / 06 / 2022.

BANCA EXAMINADORA

John Eloi Bezerra, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Marcelo Tavares Gurgel, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

João Paulo Matos Xavier, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Dedico este trabalho a minha família, que tanto me ajudou e me apoiou, nunca poderei demonstrar o quão grato sou por tudo, muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo agradeço a Deus por todas as pessoas e coisas boas que foram colocadas em minha vida, elas foram essenciais para a minha formação pessoal e profissional. Também pela saúde, disposição e perseverança concedidas, itens fundamentais sem os quais eu não teria chegado até aqui.

Agradeço imensamente o apoio incondicional dos meus pais: Francisco Deodato Filho e Maria de Fátima Mendes Sousa Deodato e meu irmão Jefferson Jayro Mendes Deodato, que estiveram do meu lado mesmo antes da minha iniciação na universidade e em todos os momentos difíceis que se sucederam. Também no momento em que parei de trabalhar para me dedicar exclusivamente aos estudos, porque não era mais possível conciliar ambas as atividades e em todos os outros momentos de alegrias e dificuldades em que nos mantivemos unidos. Por toda compreensão nos momentos em que não passamos juntos, afastados tanto do ponto de vista geográfico, quanto pela falta de atenção pela minha dedicação ao estudo, trabalhos e provas. Prometo que darei o meu melhor para compensá-los por tudo isso e deixá-los sempre orgulhosos.

Agradeço a todos os meus professores pelo excelente trabalho de me tornarem um engenheiro civil, acredito que logo vocês verão que fizeram um ótimo trabalho. Um agradecimento especial aos nomes mais marcantes nessa jornada: Raimundo Gomes de Amorim Neto, Francisco Rosendo Sobrinho, Valder Adriano Gomes de Matos Rocha.

Ao meu orientador, Professor Dr. John Eloi Bezerra, minha profunda gratidão por toda a atenção dedicada, todo o conhecimento transmitido, por ser alguém com quem sempre pude contar e por ser esse profissional competente, por quem tenho enorme admiração, e com quem tive o privilégio de aprender muito no decorrer do curso.

Minha gratidão se entende também a alguns estimados colegas que dividiram comigo uma infinidade de momentos nessa trajetória. De desconhecidos passaram a grandes companheiros e espero de coração que se tornem amigos de toda a vida, cita-se: Francisco Charles Carvalho da Cruz, Raul Lopes Rodrigues, Renato Sousa Barros, Luan Araújo Bezerra, Anderson Geovany de Lucena Silva, Guilherme Nogueira Santos, Jesmiel Héber Freire de Carvalho, Gabriel de Sousa Diniz, Alison Costa Gomes, Lara Ohrana Oliveira Nunes, Yalanna Pinheiro Bezerra Diniz e a todos os demais colegas de curso que me ajudaram me incentivaram e contribuíram com a minha formação.

Sou imensamente grato à universidade que me concede o título de engenheiro civil, pelo acolhimento, pela oportunidade de estudar de forma gratuita em um curso de alto nível, padrão

5 estrelas do MEC. Também a todos que indiretamente contribuíram para isso, desde os bibliotecários que gentilmente nos emprestavam os livros até as tiazinhas da limpeza que nos proporcionaram um ambiente mais saudável, agradável e limpo para estudar. A toda a comunidade UFERSA meu muito obrigado.

Agradecimentos especiais são devidos ainda a Antony Lucas Ferreira Mendes, meu filho, que talvez nem imagine, mas é um dos meus maiores incentivadores para seguir sempre em frente, superar quaisquer dificuldades e buscar uma vida com um pouco mais de conforto para nós e nossa família, espero ser um exemplo para você sempre.

E finalmente agradecimentos mais que especiais para Jessyka Lange de Lima Marques, essa pessoa maravilhosa que tanto contribuiu de tantas diferentes maneiras para o meu sucesso nessa jornada, não há como descrever o quanto sou grato por todo o seu amor, carinho, compreensão e companheirismo. Espero poder retribuir tudo isso na mesma medida para você.

Agradecimentos também à prefeitura municipal de Limoeiro do Norte – CE, que gentilmente cedeu os resultados dos ensaios de solo SPT realizados no local determinado para brevemente sediar o prédio do DETRAN no município.

“O que sabemos é uma gota; o que ignoramos é um oceano”.

Isaac Newton

“Se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro dos gigantes.”

Isaac Newton¹.

¹ Adaptação do trecho de uma carta de Newton para Robert Hooke, 5 de fevereiro de 1676, baseado numa metáfora atribuída a Bernardo de Chartres.

RESUMO

O ensaio SPT (*Standart Penetration Test*) é um dos mais simples e versáteis ensaios para determinação das características mecânicas do solo, fornecendo informações fundamentais a seu respeito para o projeto de fundações. O presente trabalho tem como principal objetivo fazer uma análise das correlações que podem ser empregadas de modo a expandir ainda mais essa quantidade de informações a respeito do solo que podem ser obtidas a partir do resultado do SPT. Através de uma revisão de literatura foram captadas várias correlações, que aplicadas a uma planilha eletrônica fornecem de forma automatizada todas as características a respeito do solo que se é possível obter através dos resultados desse ensaio. O estudo objetiva ainda, abordando-se os dois cenários, considerar o que ocorre em empreendimentos que se utilizam de ensaios de solo para fundamentação de seus projetos e também onde esses ensaios não são aplicados. Como resultado dessa análise constatou-se que é equivocada a ideia que existe alguma economia em não se contratar a execução de ensaios de solo, visto que dessa forma bem maiores serão os custos para a correção de patologias que ocorrem em decorrência disso, além do fato que maiores precisarão ser os coeficientes de segurança aplicados nas fundações devido a essa condição de desconhecimento do solo, aumentando ainda mais o custo do empreendimento. Ademais fica comprovado que importantes características acerca do solo empregadas nos projetos, como: coesão, ângulo de atrito, módulo de elasticidade, coeficiente de Poison, peso específico do solo, índice de compacidade, tensão admissível e até mesmo a resistência de ponta para fundações profundas podem ser obtidas a partir das correlações aplicadas aos resultados obtidos no ensaio SPT sem a necessidade de uma maior quantidade de ensaios para determinar todas essas características.

Palavras-chave: SPT. Correlações. Ensaios. Solos. Fundações.

ABSTRACT

The SPT test (Standart Penetration Test) is one of the simplest and most versatile tests for determining the mechanical characteristics of the soil, providing fundamental information about it for the design of foundations. The main objective of the present work is to analyze the correlations that can be used in order to expand even more this amount of information about the soil that can be obtained from the SPT result. Through a literature review, several correlations were captured, which, applied to an electronic spreadsheet, provide in an automated way all the characteristics about the soil that it is possible to obtain through the results of this test. The study also aims, approaching the two scenarios, to consider what happens in projects that use soil tests to support their projects and also where these tests are not applied. As a result of this analysis, it was found that the idea that there is some economy in not contracting the execution of soil tests is wrong, since in this way the costs for the correction of pathologies that occur as a result of this will be much greater, in addition to the fact that that the safety coefficients applied to the foundations will need to be higher due to this condition of unfamiliarity with the soil, further increasing the cost of the enterprise. In addition, it is proven that important characteristics about the soil used in the projects, such as: cohesion, friction angle, modulus of elasticity, Poison's coefficient, specific soil weight, compactness index, allowable tension and even the tip strength for deep foundations can be obtained from the correlations applied to the results obtained in the SPT test without the need for a greater number of tests to determine all these characteristics.

Keywords: SPT. Correlations. Essay. soils. foundations.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Origem dos problemas patológicos em obras civis.</i>	17
<i>Figura 2 - A constituição do solo.</i>	23
<i>Figura 3 - Percepção das diferentes características do solo</i>	25
<i>Figura 4 - Presença de vegetação muito próxima à vegetação: A ação das raízes no solo.</i>	27
<i>Figura 5 - A incidência de matacões e o número insuficiente de ensaios</i>	29
<i>Figura 6 - Ocorrência de zonas cársticas no solo.</i>	30
<i>Figura 7 - Relação de tamanho homem/cavidade</i>	30
<i>Figura 8 - Formação de aquíferos em zonas cársticas.</i>	31
<i>Figura 9 - Mossoró: zona urbana. localização geográfica.</i>	31
<i>Figura 10 - Equipamento de ensaio triaxial.</i>	34
<i>Figura 11 - Representação dos intervalos de execução do ensaio SPT.</i>	36
<i>Figura 12 - Componentes necessários ao ensaio SPT.</i>	37
<i>Figura 13 - Resultado do ensaio SPT.</i>	37
<i>Figura 14 - Ensaio SPT realizado em Mossoró - RN.</i>	38
<i>Figura 15 - Patologias causadas por recalque diferencial.</i>	41
<i>Figura 16 - Enorme fenda causada pela ação do recalque diferencial no solo.</i>	43
<i>Figura 17 - Estimativa da compacidade em função de NSPT (Skempton (1986)).</i>	44
<i>Figura 18 - Ilustração dos diferentes índices de compacidade dos solos.</i>	46
<i>Figura 19 - Estimativa do ângulo de atrito efetivo do solo, em condição drenada (ϕ')</i>	49
<i>Figura 20 - Preços de mercado para alguns ensaios de solo.</i>	56
<i>Figura 21 - Custos unitários para demolição de revestimentos.</i>	57
<i>Figura 22 - Custos unitários para reconstrução de revestimentos.</i>	57
<i>Figura 23 - Custos unitários para aquisição de esquadrias.</i>	57
<i>Figura 24 - Custo para tratamento de trincas ou fissuras.</i>	58

LISTA DE QUADROS

<i>Quadro 1 - Países onde o SPT é utilizado e em que escala significativa.</i>	35
<i>Quadro 2 - Problemas típicos em edificação que ocorrem após a sua execução</i>	43
<i>Quadro 3 - Correlação entre $(N1)_{60}$ e ID.</i>	47
<i>Quadro 4 - Relação entre I_d, q_c e ϕ com o $NSPT$ para solos granulares sem coesão.</i>	50

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Parâmetros do solo obtidos por correlações.</i>	45
<i>Tabela 2 – Determinação do peso específico do solo</i>	49
<i>Tabela 3 - Determinação da coesão.</i>	50
<i>Tabela 4 - Determinação da constante empírica α.</i>	51
<i>Tabela 5 - Determinação da constante empírica K.</i>	51
<i>Tabela 6 – Valores para o coeficiente de Poisson (ν) segundo o tipo de solo.</i>	52
<i>Tabela 7 - Parâmetros do solo obtidos através de suas correlações</i>	55
<i>Tabela 8 - Tabela desenvolvida para obtenção dos parâmetros do solo a partir</i>	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Dr	Doutor
Prof	Professor
SAA	Sistema Aquífero Apodi
SPT	<i>Standart Penetration Test</i>
CIB	Conselho Internacional da Construção
ISC	Índice de Suporte Califórnia
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
FS	Fator de Segurança
CPT	<i>Cone Penetration Test</i>
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SEINFRA	Secretaria da Infraestrutura

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
\$	Cifrão
$\emptyset$	Ângulo de atrito do solo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	19
2.1 GERAL	19
2.2 ESPECÍFICOS.....	19
3 JUSTIFICATIVA	20
4 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	21
4.1 TIPO DA PESQUISA.....	21
4.2 UNIVERSO DA PESQUISA	22
4.3 MÉTODOS DE ANÁLISES E LEVANTAMENTO DE DADOS	22
5 REFERENCIAL TEÓRICO	23
5.1 O SOLO	23
5.2 PROBLEMAS RELACIONADOS ÀS CARACTERÍSTICAS DO SOLO.....	26
5.2.1 Vegetação e mudanças volumétricas no solo.....	26
5.2.2 Solos colapsíveis:.....	27
5.2.3 Solos expansíveis.....	28
5.2.4 Matacões	29
5.2.5 Zonas cársticas	29
5.3 ENSAIOS DE SOLO	33
5.4 O ENSAIO SPT	34
5.4.1 A execução do ensaio.....	36
5.4.2 Critérios de parada do ensaio	38
5.5 A CULTURA DE NÃO ENSAIAR	39
5.6 CONSEQUÊNCIAS	40
5.7 OBTENÇÃO DE PARÂMETROS POR CORRELAÇÕES.....	44
5.7.1 Dados fornecidos pelo ensaio SPT	45
5.7.2 Índice de compactação.....	46
5.7.3 Ângulo de atrito do solo	47
5.7.4 Peso específico do solo.....	49
5.7.5 Coesão do solo.....	50
5.7.6 Módulo de elasticidade	51
5.7.7 Coeficiente de Poison	52
5.7.8 Tensão admissível no solo	52

5.7.9 Determinação da resistência de ponta.....	53
6 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS.....	54
6.1 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DESENVOLVIDA.....	54
6.2 LEVANTAMENTO DE CUSTOS.....	56
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
8 CONCLUSÕES.....	61
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
REFERÊNCIAS	63
ANEXOS	68
ANEXO A – Relatório de ensaios SPT realizados para projeto da nova sede do DETRAN em Limoeiro do Norte – CE.....	68

1 INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca em escala global por sua construção civil, pois apesar de ser um país de tamanho continental e de grande população, aqui a construção civil a muito se tornou um dos principais motores da economia nacional. Isso se comprova com os números relacionados a essa atividade no país: “Segundo o Conselho Internacional da Construção (CIB), mais de um terço dos recursos naturais extraídos no Brasil são para a indústria da construção e 50% da energia gerada abastecem a operação das edificações” (FAYH, 2021).

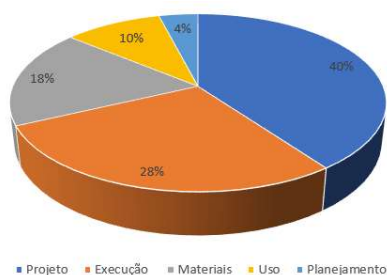
Contudo, apesar dessa indústria de grande importância no cenário nacional, todo o seu *Know-how* e *expertise* observa-se também uma ocorrência muito expressiva de patologias de obras, especialmente no setor residencial.

De acordo com Milititsky, Console e Schnaid (2015), tanto em âmbito nacional quanto internacional, a ocorrência de patologias em obras vem sendo reportada com maior frequência nos últimos anos, e uma grande parte delas ocorre devido a problemas relacionados ao solo.

A ausência de investigação do subsolo leva necessariamente a um dimensionamento inadequado dos dispositivos de fundações por subdimensionamento ou por superdimensionamento, e conseqüentemente a iminentes problemas estruturais, estéticos ou de desconforto, devido ao primeiro ou um elevado aumento de custos com as fundações devido ao segundo.

Segundo Helene (2003), as principais patologias que ocorrem em obras civis são decorrentes de erros de projeto, e esse número chega a 40%, ou seja, assume quase a metade de todas as causas. Os erros com relação à execução somam 28%, dessa forma os erros relacionados ao projeto e execução da obra resultam em 68% de todos os problemas. Portanto antes que a edificação fique pronta, antes mesmo que alguém passe a morar nelas, em mais que 2/3 dos casos, problemas estão fadados a ocorrer com suas causas devido a erros de projeto ou construção. O gráfico apresentado na Figura 1 abaixo, representa todas as causas apontadas pelo autor e sua relação percentual com o todo:

Figura 1 - Origem dos problemas patológicos em obras civis.



Fonte: Autoria própria

A caracterização do ambiente físico, visando sua utilização futura, é primordial para a mitigação de falhas, erros e custos adicionais nos projetos civis. Dada a importância de se obter as características geotécnicas, geológicas e geomorfológicas do meio físico, faz-se necessário a investigação através da aplicação de técnicas e procedimentos de ensaios (ODEBRECHT e SCHNAID, 2012).

Embora imprescindíveis, pois de acordo com Schwirck (2005), todos os projetos de engenharia com elementos enterrados ou em contato com o solo e água devem considerar as ações dos elementos naturais sobre os materiais das fundações e obriga à verificação da existência de materiais agressivos e seus possíveis efeitos. Contudo, muitas vezes nenhum ensaio de investigação do subsolo é empregado, mesmo para a obtenção do mínimo conhecimento das características e propriedades acerca do solo (Koga, *et al.*, 2017).

Esse tipo de situação, que leva a uma infinidade de problemas, poderia ser facilmente evitado com a utilização do ensaio SPT, que fornece diretamente os parâmetros de resistência do solo e com a utilização de correlações matemáticas, também vários outros parâmetros do solo como ângulo de atrito, módulo de elasticidade, coeficiente de Poison, coesão e peso específico do solo e ainda outros mais. Dessa forma, este ensaio poderia ser utilizado com excelência como método para estudo de viabilidade das características do solo do local da obra e melhor dimensionamento das fundações projetadas.

Estabelecendo comparações não apenas de situações nos diferentes cenários como também financeiras, demonstrando os custos da execução do Ensaio SPT, seu impacto na redução do custo de um projeto de fundação melhor fundamentado e ainda os custos com manutenções e correções necessárias em patologias que comumente ocorrem em obras onde não ocorre o estudo do solo ou isso ocorre de forma ineficiente.

Portanto, este estudo demonstra o conjunto de informações complementares a respeito do solo que se pode obter a partir de correlações e demonstra através das comparações de custo que não ensaiar o solo antes da execução das obras pode ser muitas vezes maior que o valor que seria gasto no emprego dos ensaios SPT.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Demonstrar como a partir da execução de um único ensaio de solo é possível determinar um grande número de parâmetros do solo e dessa forma implementar um projeto de fundações mais barato e seguramente mais eficiente. Assim como analisar os benefícios e os custos de se desenvolver, em obras residenciais, o estudo do solo através do ensaio SPT, assim como os problemas comumente observados como consequência da ausência do estudo de solo para a fundamentação dos projetos de fundação.

2.2 ESPECÍFICOS

- Apontar a importância do estudo e análise do solo para a elaboração de projetos melhor dimensionados.
- Demonstrar através de uma ferramenta implementada em Microsoft Excel a aplicação de correlações para a obtenção de parâmetros do solo a partir dos resultados obtidos no ensaio SPT.
- Descrever as patologias que podem ser ocasionadas pela falta de estudo e conhecimento das características do solo no local da obra.
- Comparar os custos de se executar ensaios SPT para estudo do solo com os custos para solução de problemas decorrentes da falta desta análise.

3 JUSTIFICATIVA

A ideia dessa pesquisa se desenvolveu pela percepção da necessidade da aplicação de ensaios de investigação do solo em oposição à realidade existente em muitos empreendimentos de ignorar essa etapa e implementar projetos e construções no completo desconhecimento desses parâmetros.

É possível afirmar de forma muito contundente que a execução de ensaios no solo para a obtenção de informações básicas a respeito de sua composição e características é muito importante e possui um grande impacto no bom dimensionamento e na eficiência dos projetos de fundações. Entretanto, uma prática muito comum é justamente o oposto disso, ou seja, solicitar um projeto de fundações sem contratar qualquer ensaio de solo, ou utilizando-se em vez disso, parâmetros de solo genéricos, ou mesmo valores de outros estudos, realizados em outros locais para embasar o projeto. Situação essa que se intensifica mais ainda em se tratando de obras residenciais de médio e baixo padrão e na atuação de pequenas empresas de projeto e de construção.

O problema nisso tudo é que sem o correto embasamento das características do solo no local da obra, o projeto de fundações acaba por se tornar obsoleto em via as suas solicitações, ou condições específicas do solo no local de implantação do empreendimento, ou ainda acaba tornando-se bem mais caro devido às premissas de segurança adotadas devido à falta de conhecimento preciso sobre o solo que abrigará as fundações.

Um fato adicional é que a partir de problemas recorrentes no solo de fundação, como acomodação natural, recalques e outros mais acabam por surgir patologias como trincas, rachaduras, excentricidades e outros problemas que comprometem a estética o bem estar e até mesmo a segurança da edificação e de seus usuários.

Em face desse cenário, a pesquisa baseia-se em um estudo para verificar as vantagens, desvantagens da utilização de ensaios para obtenção de características do solo local e ainda a consolidação de relações matemáticas construídas e publicadas por vários autores ao longo dos anos que possibilitam a obtenção de várias dessas valiosas informações a partir do resultado de um único ensaio, o SPT.

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Os métodos de pesquisa tratam da forma específica de análise que será feita do objeto de estudo que irá determinar como será conduzida a pesquisa.

4.1 TIPO DA PESQUISA

O estudo foi conduzido inicialmente por uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de melhor compreender o tema abordado, assim como fornecer arcabouço teórico e conceitual que fundamentasse a problemática envolvendo todos os aspectos abordados: O solo, os ensaios de solo e as patologias das edificações ocasionadas por problemas decorrentes direta ou indiretamente da ausência ou deficiência de informação acerca do solo no local do empreendimento.

Em complementação à pesquisa bibliográfica desenvolveu-se uma pesquisa exploratória, parte bibliográfica com a captação de correlações físicas desenvolvidas por diversos autores, e parte autoral tanto quantitativa, quanto qualitativa na busca de alcançar os objetivos propostos através da elaboração de uma planilha que condensasse de forma prática, organizada e automatizada todas as características a respeito do solo que é possível se obter através dos resultados do ensaio SPT.

Adiante, quanto a abordagem, caracterização e elaboração de solução para o problema, o estudo busca através da construção de elementos como tabelas e gráficos explicitar de forma quantitativa a qualidade, a tensão admissível do solo e outros parâmetros do solo analisado assim como busca de forma qualitativa classificar os resultados obtidos além do fato de apontar problemas relacionados ao solo que podem implicar irremediavelmente em patologias nas construções que comprometem o conforto, a segurança da edificação e até mesmo podem levá-la à ruína em casos mais drásticos. Portanto por tratar de temas tanto quantitativos quanto qualitativos do problema a pesquisa é qualificada formalmente como revisão bibliográfica, exploratória, qualitativa e quantitativa.

4.2 UNIVERSO DA PESQUISA

Quanto ao universo da pesquisa, este trata no campo teórico da busca e extração em fontes diversas de equações físicas que possibilitem a caracterização e definição de padrões físicos do solo.

No campo prático, a pesquisa desenvolve-se na construção de planilha eletrônica automatizada no software Microsoft Excel que forneça ao usuário de forma intuitiva e a partir de pouquíssimos parâmetros de entrada, as informações do solo necessárias ao dimensionamento e projeto das edificações, compreendendo o setor de construção residencial, como destaque entre as demais áreas da construção civil, para estudo e análise dos objetivos propostos.

4.3 MÉTODOS DE ANÁLISES E LEVANTAMENTO DE DADOS

Este trabalho condensa informações a respeito de diversas correlações com parâmetros de solo e os valores da variável (N) obtida nos ensaios SPT. Traz à luz a versatilidade do ensaio SPT (*Standart Penetration Test*) para a identificação do solo e a capacidade de proporcionar uma gama de informações diretas e indiretas que possibilitam um melhor dimensionamento das fundações.

O processo de revisão bibliográfica do estudo, constituiu-se das informações acerca do tema abordado em livros, revistas especializadas, normas, dissertações e artigos publicados a nível de graduação, mestrado e doutorado além de estudos de caso sobre o tema específico. Os dados obtidos foram enriquecidos por registros fotográficos autorais e observações vivenciadas pelo autor.

Os valores relativos a custos financeiros terão como bibliografia as plataformas públicas de levantamento de preços mais populares e difundidas para orçamentos: SINAPI, elaborado pela Caixa Econômica Federal e SEINFRA-CE pela Secretaria estadual de Infraestrutura do Estado do Ceará e SBC, que possui a maior coleção de composições do país, de forma a obter valores precisos de custos conforme a maioria das obras são de fato orçadas.

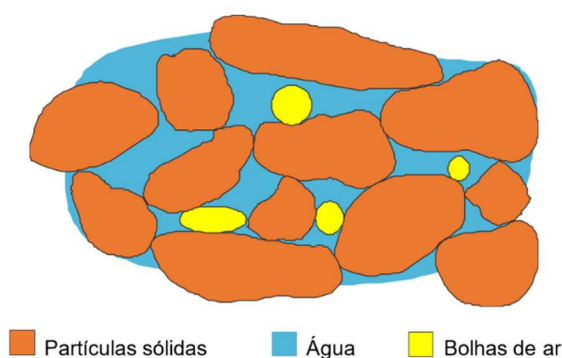
5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 O SOLO

O solo é composto em sua essência por fragmentos da decomposição das rochas, portanto, o produto de um processo gradual, lento e natural que ocorre a todo instante e vem ocorrendo desde a formação do nosso planeta. O processo de formação pode se dar de diferentes maneiras e assim os solos são classificados em grupos de acordo com essa formação.

Assim como vários outros compostos que conhecemos, o solo possui três fases na sua constituição: sólido líquido e gasoso. Enquanto as partículas provenientes da erosão das rochas compõem as partículas que mais caracterizam o solo como o conhecemos, essas partículas abrigam muitos espaços vazios entre si devido a sua acomodação naturalmente imperfeita. A representação da constituição do solo é ilustrada na Figura 2, a seguir.

Figura 2 - A constituição do solo.



Fonte: Suporte (s/ data).

Devido a isso, esses espaços costumam abrigar água, infiltrada, escoada ou presente nos lençóis freáticos, matéria orgânica e ainda compostos gasosos provenientes de reações químicas no próprio solo, da liberação de bolsões gasosos em zonas de elevada pressão nas camadas mais inferiores do subsolo e até mesmo da ação de bactérias e outros micro-organismos que modificam o solo onde vivem (MENDONÇA, s/ data).

Assim como sob o aspecto biológico, o solo tem um importante papel estrutural em uma edificação pois ele quem vai suportar e absorver ao longo de sua extensão todas as cargas recebidas dos elementos de fundação advindos tanto do peso próprio da edificação, que pode chegar a dezenas de toneladas, quanto as cargas eventuais e acidentais aplicadas a ela que acabam por se dissipar também no solo.

Além da sua parte sólida, outras fases importantes do solo são os componentes em estado líquido, representada geralmente pela água, que pode variar de inexistente e chegar até mesmo ao estado de saturação do solo, onde se alteram completamente algumas de suas características, a principal delas a coesão, e assim podem causar diversos problemas, entre elas o escorregamento de encostas, maciços em contenção ou mesmo obras construídas em aterros.

Leão (2021) aponta o seguinte sobre os problemas relacionados à engenharia de solos:

Os problemas relacionados à engenharia de solos são vastos. Os solos apresentam distintas gêneses e ocorrem sob várias circunstâncias natureza. Muitos tipos de solos podem ser encontrados simultaneamente em um mesmo local e variar metricamente ou mesmo centimetricamente em profundidade (LEÃO, 2021).

O solo é um elemento estrutural complexo e muitas vezes de difícil análise. Isso se dá porque diferente do que se pensa, o solo é uma mistura heterogênea de diversos componentes, que podem ser os mais variados, que se forma de forma organizada ou aleatória, sofrem constantemente a ação da aplicação de cargas que podem ser constantes ou variáveis e ainda ter sua magnitude elevada ou reduzida ao longo do tempo. Tudo isso favorece a difícil caracterização do solo e ainda a formação da imensa quantidade de solos com características mais distintas.

Como bem cita Borba de Lemos (2019), devido a essa heterogeneidade nossa compreensão acerca das características do solo e especialmente sua capacidade de suporte são dificultadas, que sem falsa modéstia é possivelmente a principal característica do solo para a engenharia.

Outro ponto bastante significativo acerca do solo é que além de sua composição microscópica particular em cada lugar que se analise, macroscopicamente o solo tem diferentes características de acordo com sua profundidade. Como já citado, o solo é um produto formado ao longo do tempo e por diferentes processos e com isso existe uma heterogeneidade também no seu perfil vertical de constituição devido a isso. Para melhor compreender e analisar o solo o dividimos em camadas e as classificamos segundo suas características. Essas camadas ao serem estudadas nos fornecem importantes informações acerca da identidade do solo analisado. Veja o que cita Leão (2018) a respeito desse tema:

A presença desses produtos mistos do intemperismo, ou seja, dessas camadas geológicas compostas por solos e rochas (transicionais) fornece um comportamento geomecânico anisotrópico, isto é, diferente em função da direção que analisamos, acarretando grandes problemas geotécnicos caso não exista um claro entendimento sobre essa característica (LEÃO, 2018).

A figura 3 abaixo mostra um exemplo dessa condição, observado no município de Limoeiro do Norte – CE.

Figura 3 - Percepção das diferentes características do solo de acordo com a profundidade em local de erosão natural causada pela água.



Fonte: Acervo do autor (2022).

Entretanto, buscando contornar essas dificuldades e tornar o nosso conhecimento mais palpável sob os aspectos quantitativo e qualitativo do solo, vários ensaios foram desenvolvidos e aperfeiçoados ao longo do tempo e nos dão boas estimativas acerca dos parâmetros que são necessários verificar antes que se indique o assentamento das fundações da edificação projetada sobre o solo existente, ou mesmo a recomendação da substituição do solo por um outro, com melhores parâmetros de suporte.

5.2 PROBLEMAS RELACIONADOS ÀS CARACTERÍSTICAS DO SOLO

As condições do solo que podem levar a sérios problemas nas construções, ou em casos extremos até mesmo leva-las a ruína, são de várias e diversas naturezas e vão de características pontuais de condição geográfica, de adensamento do solo, sua exposição ou não a pré-carregamentos, defeitos de formação geológica, heterogeneidade, excesso de umidade e outras várias condições que geralmente favorecem o recalque excessivo.

Como já mencionado, o solo é um composto de características complexas e ímpares, obtidas de forma singular de acordo com sua localização, seu processo de formação, com os materiais que lhe deram origem e etc. Para mostrar a importância do conhecimento dessas características para a elaboração do projeto de fundações e posteriormente para a construção da edificação, com garantias de conforto e estabilidade da estrutura, elencam-se abaixo as principais anomalias que podem haver no solo, provenientes de diferentes naturezas e que podem causar uma série de problemas às edificações, chegando até mesmo a inviabilizar a execução da obra em seu local planejado.

Muitos coeficientes de segurança são aplicados ao solo justamente pelo nosso pouco conhecimento sobre ele e outrossim sobre os dados o que é preciso estimar por não ser possível aferir precisamente mesmo com a execução de ensaios.

5.2.1 Vegetação e mudanças volumétricas no solo

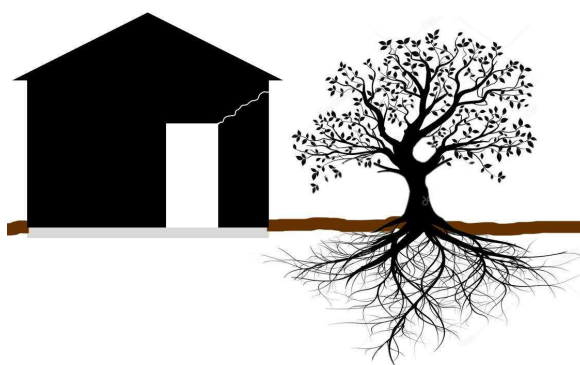
A vegetação embora não seja um componente da constituição do solo, acaba estando intimamente ligada a muitos dos problemas nas edificações advindas de problemas no solo.

A vegetação tanto pode causar patologias pelo deslocamento ou aplicação de tensão vertical para cima na estrutura como ainda pela ação de retirar umidade do solo, afetando assim vários de seus parâmetros. É importante ressaltar que especialmente as argilas são afetadas por essa perda de umidade, causando uma mudança volumétrica do solo que movimenta as fundações, favorece a ocorrência de recalques que modificam a distribuição de tensões na estrutura, fato que por consequência leva a ocorrência de trincas, fissuras, rachaduras, exposição da armadura e aceleração da sua degradação.

Outro fator importante a se considerar é a degradação orgânica. Pois a presença de raízes no solo além de modificar a capacidade de suporte da edificação, modifica sua coesão,

densidade, umidade, etc. Adicionalmente, a degradação dessas raízes por remoção da vegetação ou mesmo por sua morte natural levará a degradação de sua matéria orgânica, transformando-a em compostos líquidos, gasosos e outras partículas sólidas que tanto modificam a constituição e as características do solo quanto podem passar a deixar de fazer parte do solo, sendo carreados para outros locais aumentando a quantidade de vazios do solo, reduzindo sua compactação, densidade, capacidade de suporte e mesmo a coesão das camadas acima deste ponto. Entenda melhor observando a Figura 4 abaixo.

Figura 4 - Presença de vegetação muito próxima à vegetação: A ação das raízes no solo.



Fonte: Gonzalez (2020).

Diante de tudo isso, percebe-se que presença de vegetação muito próxima às edificações é uma condição indesejável.

5.2.2 Solos colapsíveis:

Segundo Gonzalez (2020) solos colapsíveis: “São solos sujeitos a sofrer um rearranjo radical de suas partículas, causando uma grande redução em seu volume devido a sua saturação”. Uma condição muito indesejável que pode levar a capacidade de suporte desses solos ao colapso em condições onde eles estejam parcialmente saturados e com tensões que possam levar ao rompimento de seus elementos cimentícios.

Os maiores acidentes causados por solos colapsíveis ocorrem quando ocorre uma brusca variação na umidade, fato comum quando ocorre algum tipo de vazamento ou liberação de água em grande quantidade no terreno.

A variação de volume do solo pode ser medida por meio de ensaios edométricos (ensaios de adensamento), que são capazes de calcular o potencial de colapso “problemático a partir de

5% e extremamente problemático se mais de 20%”. Outras maneiras são a utilização de ensaios de placa ou mesmo ensaios pressiométricos. Esses solos não são muito comuns, mas já foram identificados em todas as regiões do Brasil, a exceção da região Norte (GONZALEZ, 2020).

Conforme exposto, solos colapsíveis constituem-se de uma condição bastante instável do solo e a construção de uma edificação em um solo assim, independentemente de sua magnitude ou módulo de carga, sem o prévio estudo e análise do solo pode tornar o projeto de fundações, realizado com parâmetros comuns ou genéricos do solo, completamente obsoleto para uma condição assim, tornando a fundação ineficiente e podendo até mesmo levar a estrutura à completa ruína caso o solo chegue a sua condição crítica, seja por vazamentos do solo ou pela ação de um período chuvoso mais intenso.

5.2.3 Solos expansíveis

Solos expansíveis são aqueles que apresentam argilominerais expansivos que variam de volume com a presença de umidade, contudo diferentemente dos solos colapsíveis, a variação de seu volume é positiva devido a sua expansão, uma condição bastante incomum aos solos, mas que pode causar vários inconvenientes.

A maior parte dos solos expansivos são solos residuais ou coluviais, que são formados a partir do intemperismo de rochas sedimentares. No Brasil, os solos expansíveis são mais comumente encontrados no litoral do Nordeste, no Sertão nordestino e também nos estados de: São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul (GONZALEZ, 2020).

A presença de solos expansíveis não tem grande influência em fundações profundas, contudo as fundações superficiais são bastante suscetíveis a sua influência de forma inversamente proporcional às suas dimensões e massa. Ou seja, blocos robustos de fundações rasas são menos suscetíveis, enquanto as fundações mais esbeltas são altamente suscetíveis.

As soluções adotadas para a implementação de construções nestes tipos de solos são o isolamento do material expansível através de materiais deformáveis como isopor entre o solo e o concreto das fundações para mitigar a variação volumétrica (GONZALEZ, 2020).

Uma outra solução é a substituição do solo a profundidades determinadas em projeto ou ainda através da incorporação de areia verde de fundação residual ao solo existente, visando reduzir a magnitude de seus efeitos negativos e melhoria de suas características de suporte (SANTOS, 2015).

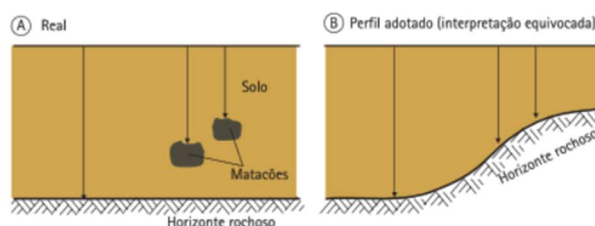
5.2.4 Matacões

A ocorrência de matacões no solo é um problema tanto comum por sua ocorrência na superfície quanto no subsolo.

Matacões são fragmentos de rocha de tamanho variado, citados e classificados pela NBR 6502/2022 – Solos e Rochas, que define os materiais terrestres, rochas e solos para engenharia geotécnica de cimentações e obras em terra, de acordo com seu diâmetro, que pode variar de 20 a 100 centímetros (1 metro).

É importante salientar que matacões são blocos constituídos necessariamente de rocha, não decompostos e alojados em solos residuais. Sua ocorrência costuma causar problemas de interpretação dos resultados das sondagens, por sugerir um leito rochoso de elevada resistência, quando na verdade se trata de uma condição pontual exclusiva daquele local e profundidade onde o ensaio foi realizado, conforme mostra a Figura 5 a seguir.

Figura 5 - A incidência de matacões e o número insuficiente de ensaios levou o projetista a confundir o perfil do leito rochoso.



Fonte: Milititsky (2015).

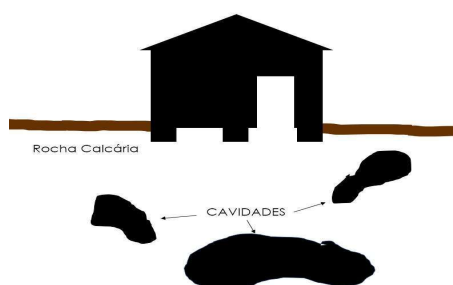
Embora sejam constituídos por rocha matriz, os matacões frequentemente estão alocados sobre porções de solo residual, sujeito, portanto, a elevados recalques. Dessa forma os matacões se constituem de um duplo embaraço ao projeto de fundação por sua ocorrência: o risco de má interpretação do perfil geológico do solo pelos resultados obtidos com os ensaios, com uma grande sujeição a recalques maquiada pela sua ocorrência e características, e ainda a dificuldade provocada por ele e se conhecer a parcela de solo que o sustenta e de fato irá recalcar.

5.2.5 Zonas cársticas

As zonas cársticas são porções do subsolo formadas de rochas com presença de carbonatos de cálcio e magnésio em sua constituição (rochas calcárias ou dolomíticas). Isto

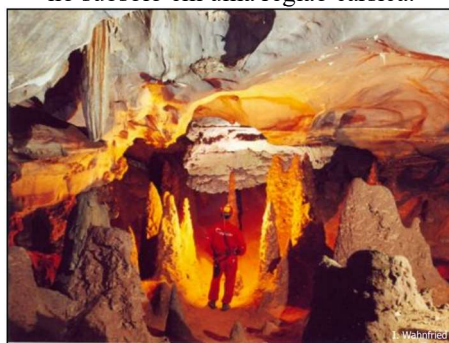
constitui-se particularmente de um problema porque esses compostos são solúveis em águas ácidas, mesmo que levemente ácidas e o resultado disso é que o contato desses compostos acaba por ocasionar porosidade nessas rochas e cavidades de grandes dimensões. As Figuras 6 e 7 a seguir ilustram esse fenômeno.

Figura 6 - Ocorrência de zonas cársticas no solo.



Fonte: Gonzalez (2020).

Figura 7 - Relação de tamanho homem/cavidade no subsolo em uma região cárstica.



Fonte: INPA (s/ data).

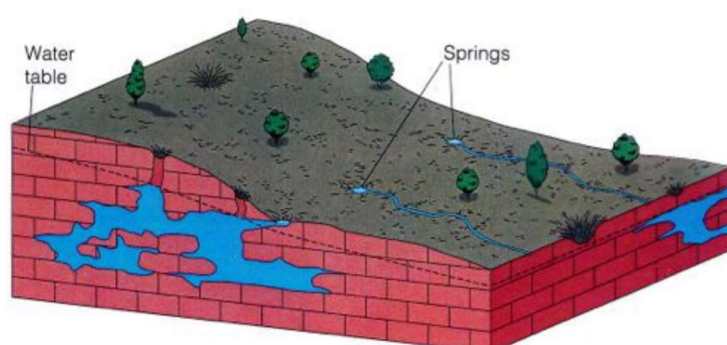
Um outro problema relacionado a este tipo de solo é que essas cavidades formadas geralmente encontram-se escondidas por uma camada de rochas com menor profundidade que não possuem essa característica, constituída por sedimentos não solúveis e também por solos residuais, dando uma falsa impressão de segurança (GONZALEZ, 2020).

As cavidades são formadas rapidamente, pois as rochas calcárias e dolomíticas são dinâmicas e mudam conforme as condições do ambiente. Sendo assim, é impossível prever quando, ou até mesmo onde, ocorrerá a formação das cavidades.

Em locais onde há possibilidade de ocorrência dessas rochas é necessário realizar um detalhado programa de investigação do subsolo para determinar os pontos de fragilidade do substrato. Após o reconhecimento do terreno, as cavidades existentes devem ser preenchidas com *soil grouting* para conter a solubilização da rocha e deve ser realizado um controle do fluxo de água subterrâneo e superficial. Dependendo da condição do substrato, pode até ser necessário alterar o local da construção, para garantir a segurança (GONZALEZ, 2020).

Pelo aspecto positivo, as zonas cársticas acabam por tornar-se uma boa parte das reservas de água doce disponível no subsolo, tanto para fins de consumo humano, quanto para agricultura e pecuária. Mossoró – RN é um exemplo de município que se localiza sobre subsolo com atestadas zonas cársticas, o município abriga o Sistema Aquífero Apodi (SAA), uma caudalosa rede de aquíferos onde destacam-se: o aquífero Jandaira, aquífero Açú, aquíferos Barreiras e Aquitardo² Quebradas. A formação de aquíferos em zonas cársticas é ilustrada na Figura 8 logo abaixo.

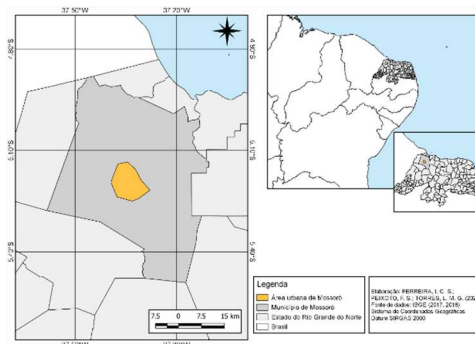
Figura 8 - Formação de aquíferos em zonas cársticas.



Fonte: INPA (s/ data).

A captação hídrica do SAA localizado abaixo da cidade constitui 70% da quantidade de água consumida pela cidade de Mossoró, “A cidade de Mossoró possui 70% da matriz hídrica composta por água subterrânea captada na própria área urbana” (DA SILVA PEIXOTO, 2021) e constitui-se assim de um importante recurso para a subsistência da população e desenvolvimento do município. A localização e outros parâmetros geográficos são mostrados na Figura 9 a seguir.

Figura 9 - Mossoró: zona urbana. localização geográfica.



Fonte: Da Silva Peixoto (2021).

² Aquitardo ou aquitarde: qualquer estrato ou formação geológica que contenha quantidades apreciáveis de água, mas a transmita de forma muito lenta, fazendo com que sua exploração seja economicamente inviável. Sob condições especiais permite a recarga vertical de outros aquíferos (INPA, s/ data).

Mesmo situando-se sob edificações, as zonas cársticas chegam a não apresentar qualquer risco estrutural quando localizadas a grandes profundidades ou sob rochas de elevada capacidade de suporte, entretanto, quando à baixas profundidades e/ou sob empreendimentos de grandes dimensões e carregamentos, a situação é completamente diferente, constitui-se de uma condição de estabilidade demasiado preocupante com risco à segurança do empreendimento e também a vida das pessoas. Vale ressaltar que em todos os casos é imprescindível uma investigação do subsolo e análise e verificação da condição específica local por um geólogo ou outro profissional qualificado para atestar a segurança na estabilidade do solo e na construção da edificação em um solo dessa natureza.

5.3 ENSAIOS DE SOLO

Militistky et al. (2015) faz questão de frisar que:

Deve-se ressaltar que a estimativa de parâmetros geotécnicos representativos das condições de subsolo constitui-se uma área específica de conhecimento. Em obras de maior porte e/ou complexidade, faz-se necessário o cruzamento de dados provenientes de ensaios de campo e laboratório para aumentar a confiabilidade das previsões de projeto. (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2015).

O autor cita não somente a importância dos ensaios, da compreensão e representação das condições do subsolo para que seja possível analisá-lo e até mesmo da necessidade da combinação de seus resultados para obter a confiabilidade do projeto da edificação.

Vários são os ensaios de solo aplicáveis à obtenção direta e indireta dos índices físicos e das características mecânicas do solo. Entre os quais podemos citar: o ensaio de cisalhamento direto, ensaio de placa, ensaio normal de proctor (ensaio de compactação), ensaio de análise granulométrica do solo, o Índice de Suporte California (ISC), mais popularmente conhecido como ensaio CBR (*California Bearing Ratio*) e ainda o mais completo de todos, o ensaio triaxial de solo além de inúmeros outros mais.

Vários parâmetros do solo podem ser verificados com a aplicação desses ensaios e a combinação dos resultados de vários deles em um mesmo solo constitui uma verdadeira mina de ouro para um projetista de fundações que comumente se depara com uma condição de trabalho bem mais precária.

Entre toda essa gama de ensaios podemos citar como os mais comuns: o cisalhamento direto para os casos de solos com texturas arenosas principalmente, o ensaio triaxial para o caso de solos argilosos e o SPT, aplicável a ambos.

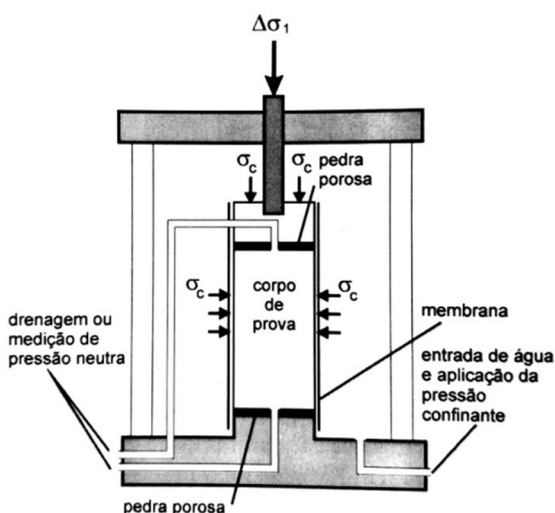
O SPT é amplamente utilizado no mundo todo e é um ensaio de execução relativamente simples. Embora seu custo seja calculado de acordo com a profundidade ensaiada, esse valor é completamente irrisório em vista o valor da obra, ainda que se execute vários desses ensaios no local da edificação.

O ensaio de cisalhamento direto é comumente empregado para determinar a resistência do solo ao cisalhamento, além de outros índices importantes que são imprescindíveis para fundamentar o projeto de fundações da edificação, como bem citado pelo portal SUPORTE; Sondagens e Investigações (s/ data):

O Ensaio de Cisalhamento Direto é de fundamental importância pois garante, aos projetistas, a determinação dos parâmetros geotécnicos: coesão e ângulo de atrito, dados indispensáveis para subsidiar estudos geotécnicos. Como por exemplo, a coesão e o ângulo de atrito, são parâmetros "de entrada" para calcular o Fator de Segurança (FS) de Taludes (análise de estabilidade); e/ou elaborar Projetos de Contenção; e também para possibilitar a Análise de Estabilidade de Fundações (SUPORTE, s/ data).

Para solos argilosos, um ensaio bastante completo é o ensaio triaxial, que calcula a resistência em amostras de solos argilosos, determinando a tensão admissível do solo através da sua carga de ruptura. O ensaio triaxial é um dos mais precisos ensaios para a determinação das propriedades de tensão-deformação e resistência dos solos em laboratório, é executado por um equipamento de laboratório bastante sofisticado que mantém a amostra em um estado de confinamento triaxial e possui ainda a versatilidade de permitir que a tensão desviadora possa ser trativa ou compressiva. A Figura 10 abaixo possibilita a melhor compreensão dos equipamentos que constituem e a forma como é conduzido o ensaio.

Figura 10 - Equipamento de ensaio triaxial.



Fonte: Pinto (2006).

5.4 O ENSAIO SPT

Para Schnaid (2000), o ensaio SPT é atestadamente o mais popular ensaio de investigação do subsolo em praticamente todo o mundo, veja Quadro 1 que contém levantamento publicado de utilização do SPT por Politano, 1999 e citado por Afonso, 2016. Ele tem a capacidade de identificar a densidade de solos granulares assim como a consistência de

solos coesivos e ainda por cima determina a posição do lençol freático e muitas vezes a cota do leito rochoso, e tudo isso a um custo bem modesto em relação a outros ensaios de solo. (POLITANO, 1999 *apud* AFONSO, 2016).

Quadro 1 - Países onde o SPT é utilizado e em que escala significativa.

País	Emprego	
	Ampla	Ocasional
África do Sul	•	
Alemanha	•	
Argentina	•	
Austrália	•	
Bélgica		•
Brasil	•	
Canadá	•	
China	•	
Cingapura	•	
Espanha	•	
Estados Unidos	•	
Filipinas	•	
França		•
Grécia	•	
Hong Kong	•	
Índia	•	
Israel	•	
Itália	•	
Japão	•	
Malásia	•	
Marrocos		•
Nigéria	•	
Noruega		•
Paraguai	•	
Polónia		•
Portugal	•	
Reino Unido	•	
Suécia		•
Tailândia	•	
Ex-Tchecoslováquia		•
Turquia	•	
Venezuela	•	

Fonte: Politano, 1999 *apud* Afonso, 2016.

O ensaio SPT, também é conhecido como sondagem a percussão, sondagem de simples reconhecimento ou mesmo, teste de penetração padrão, que seria a tradução literal para a expressão original em inglês. O SPT é um método de investigação que mede a resistência do solo ao longo de sua profundidade. O ensaio busca a obtenção de 3 informações fundamentais:

- Os tipos de solo existentes em suas respectivas profundidades;
- A altura do nível da água, quando presente, e
- Os índices de resistência à penetração (N) a cada metro, onde N representa o número de golpes aplicados.

5.4.1 A execução do ensaio

O ensaio é realizado em etapas sucessivas, de metro em metro, o primeiro dos intervalos, no entanto não é considerado no resultado ensaio. A partir da cota de 1,00 m são contados os golpes aplicados ao equipamento para que obtenha penetração de 45 cm, divididos em intervalos de 15cm. Então, utiliza-se o trado helicoidal ou a injeção de água pressurizada para que o furo atinja a profundidade de 2,00 m, onde o procedimento é então reiniciado até atingir a profundidade de 2,45m e assim sucessivamente. A Figura 11 a seguir mostra de forma ilustrativa as etapas do ensaio.

Figura 11 - Representação dos intervalos de execução do ensaio SPT.

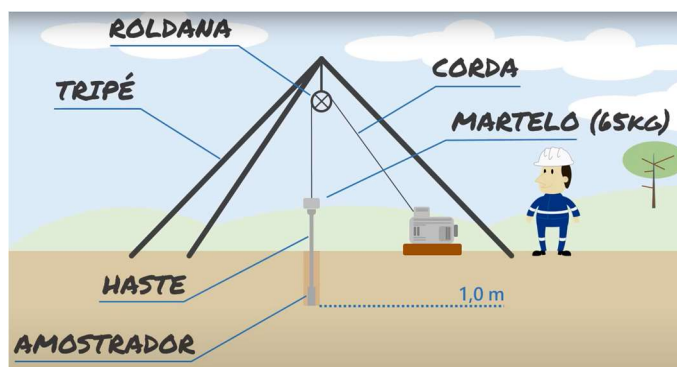


Fonte: Bússola do engenheiro, 2020.

O equipamento necessário ao ensaio constitui-se de um tripé metálico, para suporte do aparato de ensaio, uma haste com amostrador padrão, roldana, corda ou cabo metálico, trado helicoidal ou mecanismo de injeção de água pressurizada e um martelo metálico com massa definida pela NBR 6484/2020: Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio, como 65 Kg, que posicionado a 75 cm da haste é liberado em queda livre sob a ação da gravidade, constituindo dessa forma os golpes que serão contabilizados no decorrer do ensaio.

A Figura 12 a seguir mostra o equipamento montado com todos os seus componentes.

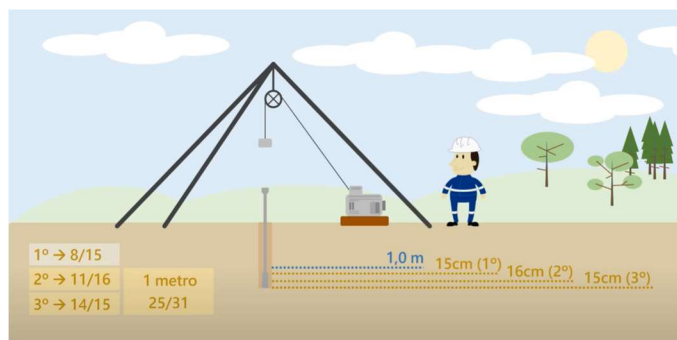
Figura 12 - Componentes necessários ao ensaio SPT.



Fonte: Bússola do engenheiro, 2020.

É importante esclarecer que os intervalos de 15 cm podem não ser alcançados precisamente, isso é normal, o valor real obtido imediatamente após alcançada essa medida deve ser registrado e dado prosseguimento ao ensaio. Pode ocorrer ainda de serem atingidos os 15 cm em um único golpe, a depender do solo ensaiado. Na figura 13, logo abaixo, é melhor ilustrada a interpretação do resultado de um ensaio de SPT realizado hipoteticamente.

Figura 13 - Resultado do ensaio SPT.



Fonte: Bússola do engenheiro, 2020.

O índice de resistência do solo a penetração (N) é dado pela quantidade de golpes executados nos últimos 30cm de cada ciclo, os golpes realizados nos 15cm iniciais são desprezados pela possibilidade de terem sofrido influência do procedimento de aprofundamento do furo pelo trado helicoidal ou pela injeção de água pressurizada.

Logo abaixo, na Figura 14 é mostrada a execução de um ensaio SPT na cidade de Mossoró - RN:

Figura 14 - Ensaio SPT realizado em Mossoró - RN.



Fonte: Acervo do autor, 2022.

5.4.2 Critérios de parada do ensaio

A NBR 6484/2020: Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio, determina ainda algumas situações onde a cravação pode ser interrompida antes dos 45 centímetros de penetração, determina-os da seguinte maneira:

- Em qualquer dos segmentos de 15 cm onde o número de golpes ultrapassar 40 unidades;
- Se o amostrador padrão não obtiver qualquer avanço durante a aplicação de 5 golpes sucessivos do martelo.

5.5 A CULTURA DE NÃO ENSAIAR

É de conhecimento geral que a identificação e análise do solo é imprescindível para o projeto de fundações e para o bom desempenho do empreendimento. Todavia, no Brasil existe uma cultura generalizada de ignorar essa etapa do projeto e substituí-la por suposições empíricas que não raramente são bastante equivocadas, e embora que de forma imediata pareça ter o efeito de proporcionar uma economia financeira pela sua não execução. Entretanto, essa ausência de ensaios de solo poderá se converter em uma série de novos gastos que seriam desnecessários para manter o bem estar dos usuários e a estabilidade da estrutura, assim como o impedimento de sua maior degradação pela ação da intensificação das patologias e/ou condições de instabilidade no contato solo-fundação.

É bastante comum observar artigos publicados com estudos de caso do tema tratado, assim como construções em andamento ao nosso redor onde essa “cultura” pode ser evidenciada.

Silva Filho, 2018 também relata em seu estudo de caso que: “O número de patologias em edificações no Vale São Patrício [Goiás] devido à instabilidade do solo e a falta de aplicação de tecnologias existentes no estudo prévio do solo beneficiou a escolha e realização da pesquisa”, condições que poderiam ser melhoradas, solucionadas ou contornadas caso houvesse uma análise do solo, contudo, o que mais observamos em nosso país é essa cultura de procurar corrigir o que não está mais funcionando ao invés de estudar, analisar e prevenir os problemas antes que eles apareçam.

A ausência de investigação do subsolo é típica em obras de pequeno e médio porte, em geral por motivos econômicos. Contudo a ausência de investigação nestes casos é uma prática inaceitável. (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2005).

É interessante observar que essa situação citada pelo autor, baseada na lógica de economizar na fase inicial de projeto em não estudar e analisar o subsolo, acaba não se refletindo em economia na prática, uma vez que diversos problemas construtivos acabam ocorrendo, instabilidades e patologias acabam por surgir e causar custos ainda maiores que seriam os ensaios e com uma ocorrência que pode se estender por toda a vida útil da edificação.

Um outro aspecto que acaba por desfavorecer a utilização dessa cultura, que na realidade acaba por tornar mais cara a obra com a prática de não promover a execução de ensaios do solo, é que a magnitude dos coeficientes de segurança utilizados, que poderiam ser substancialmente reduzidos com um maior conhecimento acerca do solo e uma maior quantidade de informações

e parâmetros disponíveis sobre dele. E mesmo em adotando-se maiores coeficientes de segurança, isto acaba por não garantir de fato a segurança porque tudo depende da assertividade das premissas adotadas.

Explana Alonso (2011) que mesmo a determinação do coeficiente de segurança não assegura o desempenho adequado da fundação, pois é necessário o estudo aprofundado do local onde será levantada a estrutura, verificando a topografia do terreno, o tipo de solo, os dados geológicos e geotécnicos e inclusive o tipo de construção, para enfim determinar os deslocamentos admissíveis que poderão ocorrer, satisfazendo as condições de funcionalidade (KOGA *et al.* Apud. ALONSO, 2011).

Dessa forma, podemos compreender de forma muito evidente que se mesmo com a execução de ensaios físicos de solo e até mesmo com a combinação de vários deles pode ser difícil determinar os parâmetros necessários a um bom dimensionamento de fundações, imagina-se então como é complicado projetar fundações em meio a um completo desconhecimento do solo que abrigará essas fundações.

5.6 CONSEQUÊNCIAS

De diversas maneiras o solo tem uma influência direta no comportamento e no eventual aparecimento de patologias nas edificações.

As fundações são uma parte importante do projeto e têm um papel essencial na edificação: receber e distribuir ao solo todos os carregamentos da estrutura, isso envolve não apenas seu peso próprio como também sobrecargas, carregamentos acidentais e cargas devido a ação do vento e outras mais.

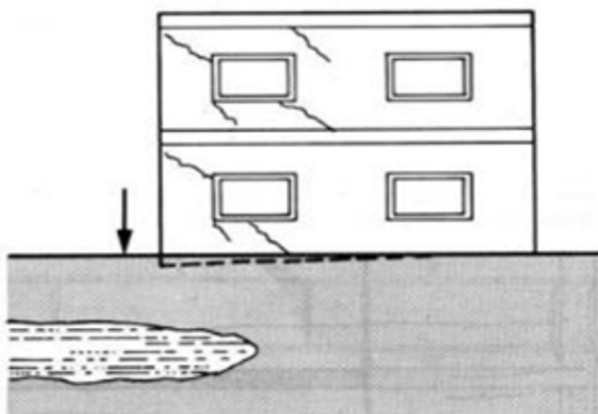
As fundações são geralmente dispositivos robustos, constituídos de concreto e aço que devem de maneira imprescindível ser corretamente dimensionados. O grande problema nesse aspecto é que muitas vezes o projetista não tem o conhecimento necessário a respeito do solo, o que o leva necessariamente a duas situações ruins: Ou projetar uma fundação mais robusta que o necessário, objetivando a segurança e a durabilidade do empreendimento ou, a adoção de premissas de cálculo que não raramente levam a um subdimensionamento ou mesmo um dimensionamento inadequado, que não atenderá de maneira satisfatória à relação das características do solo com cargas demandadas pela edificação e assim causará problemas que

vão desde leves desconfortos funcionais a problemas estruturais sérios que podem até mesmo levar a estrutura à ruína.

Algumas das consequências mais comuns às edificações projetadas em solos desconhecidos são desempenho inadequado das fundações, o aparecimento de fissuras que logo evoluem para rachaduras e fendas que expõem das armaduras que comprometem mais ainda o estado de conservação e de serviço das estruturas acelerando o avanço das patologias.

Provavelmente o mais comum dos problemas das edificações relacionados ao solo é o recalque. Quando por diversos motivos o solo passa a ceder e melhor se acomodar, sendo o principal motivo para isso a ação da aplicação de cargas que excedem a capacidade de suporte do solo na área das fundações, comumente executadas em sapatas ou blocos em construções residenciais de porte convencional. Em consequência disso o solo passa a ser muito comprimido e assim vai reduzindo seu volume, o que é particularmente danoso à edificação por que com o solo, passam a ceder também as fundações, ver Figura 15 abaixo, favorecendo acúmulos de tensão nos pontos mais frágeis da estrutura, criando momentos e elevando as tensões de trabalho à tração no caso do aço e à flexão e compressão no caso do concreto.

Figura 15 - Patologias causadas por recalque diferencial.



Fonte: Oliveira, 2012.

Essas tensões comumente acabam por refletir-se em trincas e fissuras no concreto, que expõe as armaduras diretamente à ação dos agentes patológicos, reduzindo substancialmente sua vida útil e também a capacidade estrutural das peças. As alvenarias também passam a ser afetadas e a apresentar os mesmos defeitos que prejudicam não apenas a estética e o bem estar como causam diversos tipos de desconforto aos usuários. A título de exemplos de situações causadas em decorrência do recalque é possível citar:

- inclinação incomum do piso que pode descaracterizar completamente o sentido da drenagem;
- Problemas para abrir e fechar portas e janelas, tanto no sentido do aparecimento de excentricidade entre as chaves e as fechaduras, quanto no choque em algum dos cantos da esquadria com as suas forras;
- Portas de vidro podem ser trincadas ou quebradas pelo desalinhamento do piso ou das vergas sobre si e ainda;
- O aparecimento de trincas e fissuras com os mais diversos padrões, devido à natureza do recalque experimentado pela edificação, seja nos revestimentos, cerâmicas e azulejos localizados no piso e nas paredes.

As fissuras causam uma série de problemas e essas patologias devem ser corrigidas o quanto antes, visando impedir o seu aumento e maiores degradações na edificação. Não a toa cita Lima (2015) que as fissuras se constituem da principal das patologias encontradas nas edificações.

Várias patologias podem ser encontradas em alvenaria, como fissuras, desnivelamento de superfícies, entre outros. No entanto, o defeito de maior importância entre todos é a fissura, devido a aspectos fundamentais, como o comprometimento da obra em serviço (estanqueidade à água, isolamento térmico e acústico, durabilidade, etc.), o constrangimento e preocupação psicológicos que a fissuração do edifício exerce sobre seus usuários devido a um eventual estado de perigo para a estrutura, etc (LIMA, 2015).

Uma condição especialmente preocupante é o Recalque diferencial, patologia que ocorre principalmente pela falta de homogeneidade do solo (contudo outras causas podem também ser apontadas), que com capacidades de cargas diferentes acabam por deformar-se de maneira desigual sob a ação das cargas da edificação, causando um desalinhamento estrutural nos elementos da fundação ou da própria edificação. Maia (s/ data) nos apresenta uma explanação muito precisa acerca desse tema:

O recalque diferencial ocorre quando há o rebaixamento de uma edificação devido ao adensamento ou deformação do solo sob sua fundação, podendo provocar desequilíbrio de cargas e esforços solicitantes imprevistos em suas bases, [...]. Dentre as principais causas para a ocorrência de recalque, se encontram: a aplicação de cargas estruturais subdimensionadas, o rebaixamento do lençol freático ocasionando vazios

no solo, o colapso do solo por inundação de água, o inchamento do solo de tipo expansivo e a deterioração estrutural da própria fundação. (MAIA, s/ data).

Mediante todos esses problemas a que são sujeitas as edificações, seus custos decorrentes para correção e todos os inconvenientes envolvidos, pode-se evidenciar a importância dos ensaios de solo para o projeto de fundações e para a melhor conservação e vida útil da edificação, visto que a não execução dos ensaios de solo pode levar a danos muitas vezes mais dispendiosos que a contratação dos ensaios, como podemos observar na Figura 16 a seguir.

Figura 16 - Enorme fenda causada pela ação do recalque diferencial no solo.



Fonte: Silva Filho, 2018.

No quadro 2 logo abaixo são condensados todos os principais problemas típicos que ocorrem em virtude da ausência de investigação do solo e destacados ainda de acordo com o tipo de fundação desenvolvida no projeto.

Quadro 2 - Problemas típicos em edificação que ocorrem após a sua execução causados devido à ausência de investigação do solo.

Tipo de Fundação	Problemas Típicos Decorrentes
Fundações Rasas	Tensões de contato excessivas, incompatíveis com as reais características do solo, resultando em recalques inadmissíveis ou ruptura.
	Fundações em solos/aterros heterogêneos, provocando recalques diferenciais.
	Fundações sobre solos compressíveis sem estudos de recalques, resultando grandes deformações.
	Fundações apoiadas em materiais de comportamento muito diferente, sem junta, ocasionando o aparecimento de recalques diferenciais.
	Fundações apoiadas em crosta dura sobre solos moles, sem análise de recalques, ocasionando a ruptura ou grandes deslocamentos da fundação.
Fundações Profundas	Estacas de tipo inadequado ao subsolo, resultando mau comportamento.
	Geometria inadequada, comprimento ou diâmetro inferiores aos necessários.
	Estacas apoiadas em camadas resistentes sobre solos moles, com recalques incompatíveis com a obra.
	Ocorrência de atrito negativo não previsto, reduzindo a carga admissível nominal adotada para a estaca.

Fonte: Milititsky, Consoli e Schnaid (2005).

5.7 OBTENÇÃO DE PARÂMETROS POR CORRELAÇÕES

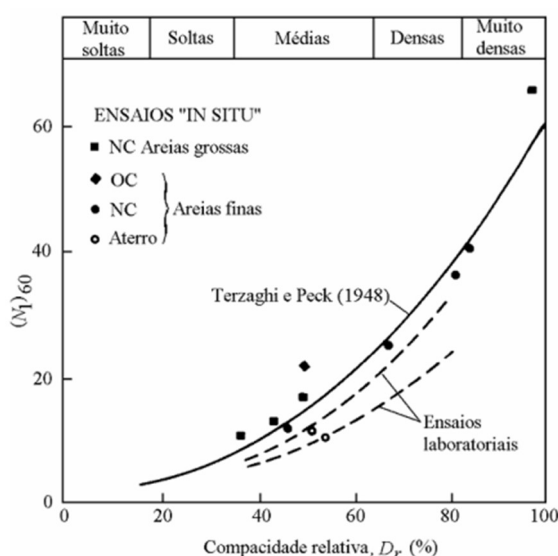
A grande utilização e aplicabilidade do SPT o torna um bom candidato a nos fornecer vários parâmetros geotécnicos adicionais a respeito do solo através da aplicação de correlações, além dos parâmetros já fornecidos diretamente pelo próprio ensaio.

Todavia, é necessário que se esclareça que embora a aplicação de correlações aos resultados obtidos com o SPT seja capaz de nos fornecer vários parâmetros adicionais sobre o solo, isto não ocorre com o mesmo grau de precisão quantitativa dos ensaios de caráter exclusivo para cada um desses parâmetros, que foram desenvolvidos especificamente para esse fim.

Logo, os resultados devem ser encarados mais de forma qualitativa que quantitativa, uma vez que o processo de cravação durante o ensaio promove um elevado nível de perturbação ao solo, o que compromete a obtenção precisa de certos parâmetros. Portanto é necessário que se compreenda que a utilização de correlações é capaz de nos fornecer boas aproximações desses valores, no entanto não estimativas tão precisas quanto os valores obtidos com metodologias específicas dos ensaios elaborados detalhadamente para esse fim (Santos, 2008).

Skempton (1986) aponta essa comparação e nos apresenta de forma bastante objetiva essa relação aproximada, mas não exatamente precisa entre os valores de compacidade do solo obtidos por correlação a partir dos resultados de ensaios SPT e os resultados obtidos de ensaios laboratoriais específicos para obtenção da compacidade relativa. O resultado é mostrado no gráfico da Figura 17 abaixo.

Figura 17 - Estimativa da compacidade em função de NSPT (Skempton (1986)).



Fonte: Afonso (2016).

Dessa forma é necessário que se esclareça que a aplicação é recomendada para a obtenções desses parâmetros acerca do solo quando a execução dos ensaios específicos para tal não puder ser realizada, fornecendo boas estimativas para isso, contudo o ideal e o mais indicado é que o solo seja ensaiado corretamente por todos os ensaios específicos recomendados pelo projetista e assim melhor conhecido e avaliado, com parâmetros mais precisamente possível dos seus reais índices físicos.

5.7.1 Dados fornecidos pelo ensaio SPT

Como já se sabe, o ensaio SPT nos fornece apenas as informações básicas de profundidade do solo, o número de golpes necessários ao aparato para atingir a profundidade aferida e uma descrição sucinta acerca das características visuais da amostra de solo obtida, contudo a partir dessas informações é possível obter diversas outras características do solo. A partir do número de golpes podemos obter várias características adicionais do solo através de equações que as correlacionam fisicamente e em uma planilha de Excel é possível criar uma tabela associando cada um desses parâmetros ao número de golpes obtidos a sua devida profundidade e dessa forma melhor caracterizar o solo ao longo de toda a profundidade ensaiada em um intervalo de metro a metro.

Dessa maneira podemos obter uma valiosa quantidade de informações extras sobre o solo, que nos fornecem um aparato de sustentação bem mais robusto para a correta e precisa análise do solo e elaboração do dimensionamento e *design* das fundações para as estruturas projetadas de acordo com as características do terreno de suporte. A Tabela 1 a seguir ilustra o que está sendo exposto.

Tabela 1 - Parâmetros do solo obtidos por correlações.

Profundidade	nº de golpes	ângulo de atrito	Módulo de elasticidade	Coefficiente de Poisson	Resistência de ponta	Coesão	Peso Específico do solo
H	NSPT	ϕ (°)	E (Mpa)	ν	q_c (Mpa)	c (tf/m ²)	γ_s (tf/m ³)
1 m	3	26,1	6,30	0,20	0,90	1,00	1,70
2 m	3	26,1	6,30	0,20	0,90	1,00	1,70
3 m	6	28,6	12,60	0,20	1,80	1,00	1,70
4 m	2	24,9	4,20	0,20	0,60	1,00	1,70
5 m	0	20,0	0,00	0,45	0,00	1,75	1,70
6 m	5	27,8	16,50	0,40	5,50	0,00	2,00
7 m	34	40,4	112,20	0,40	37,40	0,00	2,00
8 m	14	33,1	37,80	0,40	12,60	0,00	2,10
9 m	28	38,5	75,60	0,40	25,20	0,00	2,10
10 m	32	39,8	40,00	0,40	8,00	3,00	1,80
11 m	39	41,9	48,75	0,40	9,75	3,00	1,80
12 m	49	44,5	61,25	0,40	12,25	3,00	1,80

Fonte: Autoria própria, 2021.

Para determinar as características do solo analisado de acordo com as informações do relatório de sondagem SPT, recorreu-se a literatura na busca de correlações existentes para determinar estes parâmetros.

Várias são as correlações existentes com este objetivo, apontadas por vários autores. Devido a isto, este trabalho propõe sintetizar todas essas informações em um único artigo e divulgá-lo a público de forma a promover a disseminação do conhecimento da possibilidade de melhor poder caracterizar o solo e ainda obter tais informações a partir da elaboração de uma planilha simples em Microsoft Excel que proporcionará de forma automática todas as informações necessárias apenas ao inserir os dados do número de golpes inseridos no ensaio.

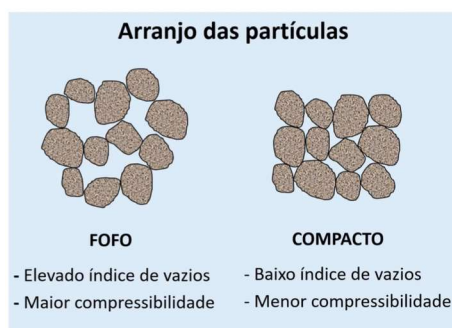
Os parâmetros de escolha das equações adotadas foram:

- Os métodos mais aclamados e aceitos pela mecânica dos solos e a geotecnia;
- As equações mais atualizadas³;
- Os métodos que abrangem a maior faixa de solos aplicáveis;

5.7.2 Índice de compactidade

O índice de compactidade, I_D , é habitualmente utilizado para quantificar o grau de empacotamento (imbricamento) das partículas do solo, este é um parâmetro que fornece informação a respeito da compressibilidade de um determinado solo (FONSECA, 1996). A Figura 18 abaixo mostra dois arranjos de solo bem distintos, ilustrando a influência da compactidade nas características do solo.

Figura 18 - Ilustração dos diferentes índices de compactidade dos solos.



Fonte: *Geoteaching* (2020).

³ Eventualmente as equações matemáticas e físicas que descrevem as características e o comportamento do solo são revisadas por autores mais modernos a partir de estudos mais aprofundados, específicos ou mesmo a partir da obtenção de dados que só foram alcançados mais recentemente devido a ampliação do conhecimento acerca do tema e ao avanço tecnológico aplicado a área em questão.

A compactidade do solo é um parâmetro aplicável às areias e aos pedregulhos, uma vez que essa mesma análise em argilas e siltes é melhor avaliada com o grau de compactação.

Terzaghi e Peck (1948) publicaram a primeira correlação entre os valores retirados do SPT e o índice de compactidade, [...], válida para areias quartzosas, sendo posteriormente modificada por Skempton (1986) para ter em conta as normalizações do valor de N , $(N_1)_{60}$, [...] válida para areias normalmente consolidadas.

Esta é das correlações mais usadas entre a compactidade dos solos arenosos e os valores do ensaio. O intervalo de valores normalizados do ensaio SPT deve ser limitado a $(N_1)_{60} < 60$, devido ao facto de acima deste valor poder ocorrer esmagamento dos grãos devido às elevadas forças de compressão dinâmica. (FONSECA, 1996).

Os valores de correlação adotados por Skempton (1986) para esses parâmetros são amplamente replicados na literatura e ainda hoje tidos como uma relação bastante precisa entre esses parâmetros. Ver o quadro 3 logo abaixo.

Quadro 3 - Correlação entre $(N_1)_{60}$ e I_D .

$(N_1)_{60}$	Compactidade	I_D (%)
0-3	Muito solta	0-15
3-8	Solta	15-35
8-25	Medianamente densa	35-65
25-42	Densa	65-85
>42	Muito densa	85-100

Fonte: Skempton (1986) *Apud* Afonso (2016).

5.7.3 Ângulo de atrito do solo

O ângulo de atrito do solo (ϕ) é uma característica demasiado importante acerca do conhecimento sobre o solo e muito particular, podendo variar bastante de um lugar para outro ou mesmo de uma profundidade a outra, ainda que sob a mesma coordenada geográfica. Sua determinação relativamente dispendiosa, pode ser realizada através do ensaio de cisalhamento direto, referenciado pela Norma internacional ASTM D3080-04 (*Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*) que exige um equipamento apropriado e uma análise numérica para obtenção da envoltória de Mohr-Coulomb correlacionando diretamente a tensão cisalhante na ruptura e a tensão normal. Dado a isso, é

bastante usual que se utilize os dados obtidos no ensaio SPT para a determinação desse parâmetro (SUPORTE, 2018).

O ângulo de atrito do solo é um importante parâmetro, principalmente ao tratar-se de encostas ou contenções, pois é determinante para a verificação das condições de segurança quanto ao escorregamento tanto dos maciços de solo, quanto das estruturas de contenção que eventualmente os sustentam. “A elaboração de mapas de suscetibilidade é um meio de avaliar previamente áreas que podem sofrer escorregamentos e, para tanto, é necessário conhecer alguns índices físicos do solo como os valores de coesão e o ângulo de atrito” (VAZ, 2018).

Diversas correlações diretas entre o valor de N_{SPT} e o ângulo de atrito foram propostas por diversos autores, entre eles Muromachi, 1974 sugere:

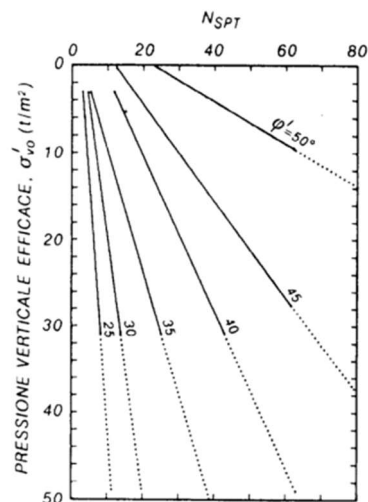
$$\phi = 20 + 3,5 \times \sqrt{N} \quad (1)$$

Onde: ϕ = Ângulo de atrito do solo (°);

N = nº de golpes obtidos no ensaio SPT para determinada profundidade (und);

Existem ainda outros autores e relações sugeridas, no entanto a relação estabelecida por (Muromachi, 1974) é particularmente interessante por não necessitar de variáveis adicionais na formulação do modelo (Apenas a quantidade de golpes obtida no ensaio SPT inserida na equação já é capaz de fornecer o valor do ângulo de atrito do solo) e sua abrangência em diversidade de solos analisados. Em contrapartida outros autores com métodos até mais assertivos possuem a limitação de caracterizar apenas faixas limitadas de amplitude de valores. A exemplo De Mello (1971) propôs a relação do ábaco ilustrado abaixo, na Figura 19, contudo somente aplicável a solos com pressão vertical efetiva não superior a 10 kPa ($\sigma_{v0} < 10$ kPa) sob pena de obtenção de valores sobrestimados de ângulo de atrito do solo (ϕ).

Figura 19 - Estimativa do ângulo de atrito efetivo do solo, em condição drenada (ϕ') em função de NSPT e da tensão efetiva vertical.



Fonte: De Mello, 1971 *Apud* por IGEOTEST, 2004.

5.7.4 Peso específico do solo

Para determinação do peso específico do solo utilizou-se da tabela de dimensionamento do software TQS, especializado em dimensionamento estrutural. Adotou-se, portanto, a relação mostrada na Tabela 2 logo abaixo, onde verificamos uma ampla variedade de solos contemplando pedregulhos, areias, siltes e argilas.

Tabela 2 – Determinação do peso específico do solo

Descrição do solo	Compacidade/Consistência	Peso Específico (tf/m³)	
		Natural	Saturado
Areia	Fofa (SPT≤4)	1,8	2,0
Areia	Pouco compacta (4<SPT≤8)	1,8	2,0
Areia	Mediana/ compacta (8<SPT≤18)	1,9	2,1
Areia	Compacta (18<SPT≤40)	1,9	2,1
Areia	Muito Compacta (40<SPT)	1,9	2,1
Areia	Conforme SPT	*	*
Argila	Mole (SPT≤5)	1,7	1,7
Argila	Média (5<SPT≤10)	1,8	1,8
Argila	Rija (10<SPT≤19)	1,9	1,9
Argila	Dura (19<SPT)	2,2	2,2
Argila	Conforme SPT	*	*
Pedregulho	Limpo	1,6	2,0
Pedregulho	Grosso anguloso	1,8	2,1
Silte	Muito argiloso	1,7	1,7
Silte	Argiloso	1,8	1,8

Fonte: TQS (s/ data).

5.7.5 Coesão do solo

A análise de solos granulares e sem coesão foi fundamentada nas bases de estudo de Terzaghi e Peck (1967) para dedução do índice de compactidade (I_d), complementados por outros parâmetros apontados por Meyerhof (1956), citada em Lopes (2001), mostrada no quadro 4 abaixo, apontando a relação entre o número de golpes do ensaio SPT (N), Ângulo de atrito (ϕ) e a resistência de ponta (q_c) do CPT (*Cone Penetration Test*), sendo apontadas dessa forma uma das primeiras correlações entre os ensaios SPT e o CPT.

Quadro 4 - Relação entre I_d , q_c e ϕ com o N_{SPT} para solos granulares sem coesão.

Compacidade	I_d	N_{SPT}	ϕ	q_c (kg/cm ²)
Muito solto	<0,2	<4	<30	<20
Solto	0,2-0,4	4-10	30-35	20-40
Médio	0,4-0,6	10-30	35-40	40-120
Denso	0,6-0,8	30-50	40-45	120-200
Muito denso	>0,8	>50	>45	>200

Fonte: Meyerhof (1956) *apud* Lopes (2001)

Entretanto no desenvolvimento deste estudo optou-se pela utilização dos parâmetros de coesão do solo a tabela de dimensionamento do software TQS (Mostrada logo abaixo na Tabela 3), por possuir um maior espectro de detalhamento, contemplando uma maior quantidade de características do solo e portanto nos levando a resultados mais precisos e também pelo fato de considerar no dimensionamento exatamente os mesmos valores que são utilizados nos softwares de projeto, facilitando dessa forma o fluxo de dados e ainda e contribuindo com uma melhor interpretação para o tipo de solo em análise pelo projetista.

Tabela 3 - Determinação da coesão.

Descrição do solo	Compacidade/Consistência	Coesão (tf/m ²)	
		Efetiva	Não-Drenada
Areia	Fofa (SPT≤4)	0,0	0,0
Areia	Pouco compacta (4<SPT≤8)	0,0	0,0
Areia	Mediana/ compacta (8<SPT≤18)	0,0	0,0
Areia	Compacta (18<SPT≤40)	0,0	0,0
Areia	Muito Compacta (40<SPT)	0,0	0,0
Areia	Conforme SPT	*	*
Argila	Mole (SPT≤5)	1,0	1,75
Argila	Média (5<SPT≤10)	2,0	3,75
Argila	Rija (10<SPT≤19)	2,5	7,5
Argila	Dura (19<SPT)	2,5	45
Argila	Conforme SPT	*	*
Pedregulho	Limpo	0,0	0,0
Pedregulho	Grosso anguloso	0,0	0,0
Silte	Muito argiloso	1,0	1,75
Silte	Argiloso	0,0	3,0

Tabela 3.4 – Valores de coesão do solo

Fonte: TQS (s/data).

5.7.6 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade foi calculado conforme sugerido por Teixeira e Godoy (1996), que na ausência de ensaios de laboratório específicos para determinação do módulo de elasticidade, utiliza-se da equação a seguir para determinação desse parâmetro com elevada aproximação de precisão:

$$E = \alpha \times K \times N_{SPT} \quad (2)$$

Onde: E = Módulo de Elasticidade do solo (N);

α = Constante para o tipo de solo segundo a tabela 4;

K = Constante para o solo segundo a tabela 5;

N_{SPT} = nº de golpes obtidos no ensaio SPT (und);

Ressalta-se que α e K são constantes empíricas calculadas pelo autor e apresentadas na forma das tabelas 4 e 5 a seguir, tomando como referência o tipo de solo analisado.

Tabela 4 - Determinação da constante empírica α .

Solo	α
Areia	3
Silte	5
Argila	7

Fonte: Teixeira e Godoy (1996).

Tabela 5 - Determinação da constante empírica K.

Solo	K (MPa)
Areia com pedregulhos	1,10
Areia	0,90
Areia siltosa	0,70
Areia argilosa	0,55
Silte arenoso	0,45
Silte	0,35
Argila arenosa	0,30
Silte argiloso	0,25
Argila siltosa	0,20

Fonte: Teixeira e Godoy (1996).

Exemplificando, suponhamos que para um determinado ensaio tenha-se obtido um N_{SPT} médio = 4 em um solo do tipo aterro argiloso pouco arenoso. De acordo com as tabelas 4 e 5 para o solo analisado temos que: $a = 7$ e $K = 0,30$. Portanto estima-se que o solo nesta profundidade, segundo as características obtidas, tenha o seguinte módulo de elasticidade:

$$E = 7 \times 0,30 \times 4$$

$$E = 8,4 \text{ MPa ou } E = 8.400 \text{ kN/m}^2$$

5.7.7 Coeficiente de Poisson

Para determinação do coeficiente de Poisson (ν), também se utilizou das correlações diretas sugeridas por Teixeira e Godoy (1996), podendo-se determinar esse parâmetro de acordo com o tipo de solo segundo a Tabela 6 a seguir.

Tabela 6 – Valores para o coeficiente de Poisson (ν) segundo o tipo de solo.

Solo	ν
Areia pouco compacta	0,2
Areia compacta	0,4
Silte	0,3 – 0,5
Argila saturada	0,4 – 0,5
Argila não saturada	0,1 – 0,3

Fonte: Teixeira e Godoy (1996).

A depender da experiência e do grau de reserva do projetista é comum selecionar valores médios para solos siltosos ou argilosos com coeficiente de Poisson (ν) definidos não por um número, mas por um intervalo. Portanto, de acordo com a tabela 6 para a análise de solos em argila saturada, por exemplo, é natural assumir que o coeficiente de Poisson seria igual a 0,45.

5.7.8 Tensão admissível no solo

Para obtenção da tensão admissível do solo utilizou-se a correlação sugerida por Teixeira (1996), e mencionada em Sivelli (2018, p. 51), conforme a Equação 1 abaixo:

$$\sigma_{adm} = 20 \cdot \bar{N}_{SPT} \quad (\text{kPa}) \quad (3)$$

Dessa forma, obtemos facilmente a Tensão admissível em cada profundidade relativa do solo direto em valores de kilopascal (kPa) através do número médio de golpes $\bar{N}_{SPT}$ obtido de acordo com a profundidade pelo ensaio realizado.

Um método alternativo seria utilizar a equação 4 abaixo, citada em (CAMPOS, 2012):

$$\sigma_{adm} = \sqrt{SPT} - 1 \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (4)$$

Onde: σ_{adm} = Tensão admissível no solo (kg/cm²);

N_{SPT} = n° de golpes obtidos no ensaio SPT (und);

Entretanto a utilizou-se de fato a equação 3 mesmo para obtenção da capacidade de carga do solo através de sua correlação com os resultados do ensaio N_{SPT} , por ser mais amplamente utilizada para este fim e também por atestadamente apresentar um grau de aproximação bem elevado com a medição direta deste parâmetro.

5.7.9 Determinação da resistência de ponta

Segundo Teixeira e Godoy (1996), a resistência de ponta para estacas profundas (q_c), geralmente obtidas pelo ensaio CPT (*Cone Penetration Test*) pode também ser obtida por sua correlação com o valor de N_{SPT} obtido do solo.

Podendo ser determinado pela Equação abaixo em função do número de golpes N_{SPT} fornecidos pela sondagem.

$$q_c = K \cdot N_{SPT} \quad (\text{MPa}) \quad (3)$$

Onde: q_c é a resistência de ponta do ensaio CPT (MPa);

K = Constante para o tipo de solo também segundo a tabela 5;

N_{SPT} = número de golpes fornecidos pela sondagem de campo SPT (und).

Todos esses valores característicos do solo obtidos e também os valores resultantes obtidos na tabela elaborada para análise do solo foram inseridos na planilha para auxiliar o projetista no dimensionamento otimizado no que se refere o dimensionamento das fundações da edificação, sejam elas do tipo rasa, como blocos e sapatas retangulares ou quadradas, ou mesmo no projeto de fundações profundas do tipo estacas ou tubulões.

6 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Após a fase de pesquisa mediante revisão bibliográfica, buscando a coleta de diferentes maneiras de se obter índices físicos do solo a partir unicamente dos dados obtidos a partir dos resultados do ensaio SPT, partiu-se para a elaboração de uma planilha em Microsoft Excel. Buscou-se desenvolver uma ferramenta que pudesse de forma simples e organizada condensar o resultado de todas essas relações matemáticas e físicas do solo, de modo a fornecer a um usuário comum a possibilidade de obter todos os parâmetros possíveis acerca do solo estudado, para a elaboração otimizada de um projeto de fundações a partir da inserção dos dados básicos do ensaio SPT.

A partir da implementação das equações criou-se um ambiente virtual intuitivo onde a partir da inserção dos dados de solo obtidos no ensaio SPT realizado, encontram-se automaticamente os valores de vários outros importantes parâmetros do solo.

Buscou-se também quantificar os valores de custo para a execução de ensaios de solos e para a correção de patologias típicas que ocorrem em edificações realizados sem prévia investigação do subsolo, para melhor fundamentar a importância da execução dos ensaios e justificar que a sua não execução acaba por não resultar em economia como se pensa.

6.1 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DESENVOLVIDA

Para melhor compreensão da solução desenvolvida ela foi aplicada de modo a se obter as características do solo de fundação da sede do DETRAN a ser construído na cidade de Limoeiro do Norte – CE. No local foram realizados ensaios SPT pela empresa LCB Mendes no período de 13 a 16 de dezembro de 2021 e os resultados foram gentilmente cedidos pela prefeitura municipal de Limoeiro do Norte – CE. Os relatórios de sondagem encontram-se expostos no Apêndice 01.

Como é possível observar os relatórios mostram a quantidade de golpes necessários para o equipamento vencer a profundidade de 45 cm a cada 1 metro, descartando-se os primeiros 15 cm, conforme já explicitado. Aplicando esses valores na planilha desenvolvida obteve-se um raio-x do solo em questão com todos os parâmetros percorridos a partir apenas desses dados de entrada: O número de golpes (N) e a caracterização do solo contida nos ensaios. Na Tabela 7 a seguir pode ser observado o resultado da aplicação para o ensaio 1:

Tabela 7 - Parâmetros do solo obtidos através de suas correlações
com os valores de NSPT obtidos *in situ*.

Profundidade	nº de golpes	Compacidade do solo (Áreas)	Índice de Compacidade médio (%)	ângulo de atrito	Peso Específico do solo		Coesão		Módulo de elasticidade	Coefficiente de Poisson	Tensão admissível do solo	Resistência de ponta
H	NSPT	Io (%)	Io (%)	ϕ (°)	γ_s (tf/m³)	γ_s (kN/m³)	c (tf/m²)	c (kPa)	E (Mpa)	ν	σ_{adm} kPa	qc (Mpa)
1 m												
2 m	12		50,5	32,1	1,90	19,00	2,50	25,00	16,80	0,20	240,00	2,40
3 m	13	Medianamente densa	50,5	32,6	1,90	19,00	0,00	0,00	35,10	0,20	260,00	11,70
4 m	16	Medianamente densa	50,5	34,0	1,90	19,00	0,00	0,00	43,20	0,20	320,00	14,40
5 m	12	Medianamente densa	50,5	32,1	2,10	21,00	0,00	0,00	32,40	0,20	240,00	10,80
6 m	19	Medianamente densa	50,5	35,3	2,10	21,00	0,00	0,00	51,30	0,20	380,00	17,10
7 m	21	Medianamente densa	50,5	36,0	2,10	21,00	0,00	0,00	56,70	0,20	420,00	18,90
8 m	21	Medianamente densa	50,5	36,0	2,10	21,00	0,00	0,00	56,70	0,20	420,00	18,90

Fonte: Autoria própria.

O conjunto de informações que se tinha a respeito do solo, contido nas duas primeiras colunas da Tabela 7, agora, no entanto, com a utilização das correlações passou a ser um conjunto de dados substancialmente maior.

6.2 LEVANTAMENTO DE CUSTOS

Para melhor relacionar os custos relativos à execução do ensaio SPT, assim como os custos de correção de danos, patologias e prejuízos causados comumente em edificações com estudo de solo ineficiente ou mesmo inexistente, foi realizada uma pesquisa para levantar alguns dos custos relacionados tanto aos ensaios de solo, quanto à correção de patologias típicas em projetos realizados sem prévia investigação do subsolo.

Como parâmetro de análise para a valoração dos serviços utilizou-se as bases de dados: SINAPI, SEINFRA-CE e SBC. Para condensação dos resultados e simulação do orçamento utilizou-se a plataforma de Orçamentos SEOBRA⁴.

É possível observar na Figura 20 o preço de alguns ensaios mecânicos de solo, repara-se que a sondagem a percussão (Ensaio SPT) pode ser executado em furos de diferentes diâmetros, com custos que variam de R\$ 122,42 para o furo de 2 1/2" (2,5 polegadas) a R\$ 156,00 para o furo de 6" (6 polegadas) ao metro, com seu valor final portanto a depender da profundidade necessária.

Figura 20 - Preços de mercado para alguns ensaios de solo.



#	Código	Nome	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
1.1	I042245 SBC	SONDAGEM DE PERCUSSÃO 2 1/2"	M	1,00	R\$ 122,42	R\$ 122,42
1.2	I042246 SBC	SONDAGEM DE PERCUSSÃO 4"	M	1,00	R\$ 132,00	R\$ 132,00
1.3	I042247 SBC	SONDAGEM DE PERCUSSÃO 6"	M	1,00	R\$ 156,00	R\$ 156,00
1.4	I013814 SBC	ENSAIO DE SOLO - TEOR DE UMIDADE NATURAL	UN	1,00	R\$ 40,03	R\$ 40,03
1.5	I013803 SBC	ENSAIO AGREGADOS TEOR DE UMIDADE (SONDAGEM)	UN	1,00	R\$ 44,95	R\$ 44,95
1.6	I070177 SBC	ENSAIO DE LIMITE DE LIQUIDEZ - SOLOS NBR 6459	UN	1,00	R\$ 60,00	R\$ 60,00
1.7	I013808 SBC	ENSAIO EM AGRAGADO GRAUADO E MIUDO - GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO MASSA UNITÁRIA MATERIAL PUERULENTO - TORRÕES DE ARGILA	UN	1,00	R\$ 1.696,00	R\$ 1.696,00

Fonte: SEOBRA (2022)

A seguir, na Figura 21, é possível observar o custo de demolição de revestimentos para a correção de patologias considerando elementos constituídos simplesmente de argamassa e também com aplicação de cerâmicas. O custo final deste serviço é obtido pelo produto dos valores unitários informados pelo somatório das áreas comprometidas a serem consertadas. Vale ressaltar que o custo trata apenas do serviço de demolição, sendo necessário ainda que se contabilize os custos para a reconstrução desses revestimentos.

⁴ Disponível em: <https://www.seobra.com.br/seobra/login>

Figura 21 - Custos unitários para demolição de revestimentos.

2.1. DEMOLIÇÃO (R\$ 52,88)							
#	Código	Nome	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total	
2.1.1	C1070 SENIRA	DEMOLIÇÃO DE REVESTIMENTO C/ARGAMASSA	M2	1,00	R\$ 8,81	R\$ 8,81	
2.1.2	C1074 SENIRA	DEMOLIÇÃO DE REVESTIMENTO C/CERÂMICAS	M2	1,00	R\$ 44,07	R\$ 44,07	

Fonte: SEOBRA (2022)

Portanto para a correção dessas patologias deveriam ser considerados ainda os custos de todos os itens contidos na Figura 22 abaixo, multiplicados pela área a ser recuperada.

Figura 22 - Custos unitários para reconstrução de revestimentos.

2.2. RECONSTRUÇÃO (R\$ 130,15)							
#	Código	Nome	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total	
2.2.1	C0219 SENIRA	ARMADURA DE TELA DE AÇO	M2	1,00	R\$ 23,36	R\$ 23,36	
2.2.2	87908 SINAPI	CHAPISCO APLICADO EM ALVENARIA (COM PRESEÇA DE VÃOS) E ESTRUTURAS DE CONCRETO DE FACHADA, COM EQUIPAMENTO DE PROJEÇÃO, ARGAMASSA TRAÇO 1:3 COM PREPARO EM BETONEIRA 400 L. AF_06/2014	M2	1,00	R\$ 6,44	R\$ 6,44	
2.2.3	C3028 SENIRA	REBOCO C/ ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA PENEIRADA, TRAÇO 1:3	M2	1,00	R\$ 43,26	R\$ 43,26	
2.2.4	89170 SINAPI	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) DO SERVIÇO DE REVESTIMENTO CERÂMICO PARA PAREDES INTERNAS, MEIA OU PAREDE INTEIRA, PLACAS TIPO ESMALTADA EXTRA DE 20X20 CM, PARA EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS UNIFAMILIAR (CASAS) E EDIFICAÇÕES PÚBLICAS PADRÃO. AF_11/2014	M2	1,00	R\$ 57,09	R\$ 57,09	

Fonte: SEOBRA (2022)

É de conhecimento geral que algumas vezes as patologias das construções afetam até mesmo as esquadrias. Sendo elas de madeira, provavelmente as mais comumente utilizadas, existem muitas maneiras corretivas de consertá-las e reaproveitá-las. Contudo, quando essas esquadrias são constituídas de vidro ou alumínio o dano pode ser irreparável, e exigir a substituição por um novo componente, veja na Figura 23 abaixo o preço dessas esquadrias tomando como unidade o metro quadrado de sua área.

Figura 23 - Custos unitários para aquisição de esquadrias.

3. ESQUADRIAS E FERRAGENS (R\$ 1.679,03)							
#	Código	Nome	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total	
3.1	023301 SBC	FORNECIMENTO PORTA ALUMINIO UMA FOLHA DE ABRIR	M2	1,00	R\$ 1.197,00	R\$ 1.197,00	
3.2	94570 SINAPI	JANELA DE ALUMINIO DE CORRER COM 2 FOLHAS PARA VIDROS, COM VIDROS, BATENTE, ACABAMENTO COM ACETATO OU BRILHANTE E FERRAGENS, EXCLUSIVE ALIZAR E CONTRAMARCO. FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2019	M2	1,00	R\$ 482,03	R\$ 482,03	

Fonte: SEOBRA (2022).

A título de exemplo, uma porta nova de alumínio com a descrição citada contendo dimensões de 0,80 x 2,10 m, uma medida bastante comum para tal, possui 1,68 m² e custaria, portanto: R\$ 2.110,96. Um valor bastante considerável para um custo que poderia ser evitado.

Logo abaixo, na Figura 24, é apresentada a estimativa de custo para um serviço bastante comum nas edificações com projetos de fundação mal elaborados ou construídos sobre solos de baixa qualidade, a correção de trincas e fissuras.

Figura 24 - Custo para tratamento de trincas ou fissuras.

#	Código	Nome	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
4.1.1	160386 sec	TRATAMENTO DE TRINCAS E FISSURAS EM ESTRUTURA	M2	1,00	R\$ 1.193,36	R\$ 1.193,36

Fonte: SEOBRA (2022)

Por fim, vale salientar que poderiam ser elencados ainda outros serviços destinados ao mesmo fim. Correção de patologias, que muitas vezes acabam também por se tornar necessárias, mas que, todavia, não possuem uma precificação direta calculada, como as mais comuns citadas acima. Por serem serviços mais específicos e de maior complexidade é possível afirmar que custam valores bem mais significativos que os citados até aqui. Entre estas cita-se: reparos de armaduras, recuperação de fundações, encamisamento de elementos de concreto, macaqueamento de estruturas de concreto e reforço do solo por preenchimento de vazios à alta pressão e muitos outros mais.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A solução proposta à esta problemática foi desenvolver uma planilha no software Microsoft Excel onde, aplicadas as relações matemáticas e físicas de correlação acerca dos parâmetros do solo relacionados aos resultados obtidos em um ensaio SPT, calcule-se os parâmetros do solo em todas as profundidades do solo com intervalos regulares de 1 metro, até a profundidade final de execução do ensaio, de acordo com os valores obtidos no perfil geológico da sondagem disponibilizado pelo ensaio realizado, é possível visualizar o resultado na Tabela 8 abaixo.

Tabela 8 - Tabela desenvolvida para obtenção dos parâmetros do solo a partir de suas correlações com os valores de NSPT do solo.

Profundidade	nº de golpes	Compacidade do solo (Areias)	Índice de Compacidade médio (%)	ângulo de atrito	Peso Específico do solo		Coesão		Módulo de elasticidade	Coefficiente de Poisson	Tensão admissível do solo	Resistência de ponta
H	NSPT	Id (%)	Id (%)	ϕ (°)	γ_s (tf/m³)	γ_s (kN/m³)	c (tf/m²)	c (kPa)	E (Mpa)	ν	σ_{adm} kPa	q_c (Mpa)
1 m												
2 m												
3 m												

Fonte: Autoria própria.

De posse da ferramenta desenvolvida, a única tarefa necessária ao usuário é digitar na planilha os valores do número de golpes (N) obtidos para cada profundidade e classificar o tipo de solo identificado.

Portanto, a partir da inserção do número de golpes obtidos no ensaio SPT e da descrição das características sucintas do solo descritas no ensaio, a planilha determina instantaneamente a compacidade do solo, no caso das areias, o índice de compacidade, o peso específico do solo, a coesão, o módulo de elasticidade, o coeficiente de Poisson, a tensão admissível e até mesmo a resistência de ponta do solo para a aplicação de fundações em estacas.

Vale destacar que para os parâmetros de coesão e peso específico do solo são disponibilizados, em seus respectivos valores, em duas unidades diferentes, fato que auxilia engenheiros e projetistas tanto na verificação, quanto do desenvolvimento de projetos segundo as unidades de sua preferência ou já pré-determinadas por outros projetistas, sem a necessidade de utilização de cálculos de conversão.

O presente estudo obteve êxito ao demonstrar o objetivo a que se propôs, que é possível e proveitoso utilizar a execução e de um único ensaio de solo, de baixo custo e em complemento à utilização de correlações matemáticas e físicas para obtenção de uma grande quantidade de informações a respeito do solo.

Com tudo que foi explanado e com as tabelas de custos apresentadas comprova-se que a alternativa de não executar ensaios mecânicos para a investigação do solo pode resultar em elevados custos em reparos de diversas naturezas, que além do aspecto financeiro, trarão também como desvantagem o tempo de execução dos serviços, os inconvenientes da execução da obra (poeira, barulho e etc) além da possibilidade de precisar ausentar-se da residência.

Conforme exposto, a utilização de investigação do subsolo unicamente com o ensaio SPT em complemento com a utilização de correlações para obtenção de parâmetros adicionais, embora não seja a solução mais adequada em vista a utilização de ensaios específicos e complementares a este, mostra-se extraordinariamente viável tanto do ponto de vista financeiro quanto do metodológico para a fundamentação do projeto de fundações. Uma vez que consegue estimar diversas informações adicionais a respeito do solo e com elevado grau de precisão.

Embora pouco utilizado e muitas vezes negligenciado, frente a necessidade de investigar o solo antes da elaboração de um projeto de fundações, o ensaio SPT tem um baixo custo, baixa complexidade de execução e ainda assim fornece parâmetros de grande importância para análise do solo. O desconhecimento do solo em determinados locais, ou sob determinadas características pode inviabilizar completamente a obra ou mesmo comprometer a sua segurança estrutural ou a vida dos seus usuários.

Pelas estimativas de custo básicas realizadas comprovou-se que a execução dos ensaios não tem um alto custo, nem em termos financeiros nem em valores percentuais no custo da obra e ainda que a correção de patologias que tipicamente ocorrem em obras realizadas sem a prévia investigação do solo somadas tem um custo bem superior, sem contar ainda todos os inconvenientes da execução de obras de reparo e o tempo necessário para tal ação.

8 CONCLUSÕES

- O ensaio SPT tem um baixo custo, baixa complexidade de execução e ainda assim fornece parâmetros de grande importância para análise do solo.
- A utilização de correlações mostrou-se uma excepcional ferramenta para obtenção de uma grande quantidade de parâmetros adicionais a respeito do solo.
- A investigação do subsolo unicamente com o ensaio SPT em complemento com a utilização de correlações, mostra-se extraordinariamente viável tanto do ponto de vista financeiro quanto do metodológico para a fundamentação do projeto de fundações.
- A ausência de ensaios de solo pode levar à ocorrência de diversas patologias e danos que demandam reparos estéticos, funcionais e estruturais da edificação.
- A alternativa de não executar ensaios mecânicos para a investigação do solo pode resultar em custos ainda mais elevados.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise entre os cenários comparativos da execução ou não de ensaios que determinem as características mecânicas dos solos, evidenciou-se que é importante e fundamental a utilização de ensaios para caracterizar e verificar a existência de problemas relacionados ao solo ou falhas geológicas que podem comprometer seriamente a estabilidade e segurança da obra. Os estudos indicaram que a utilização de correlações para a partir dos dados obtidos com o ensaio SPT enriquecem de forma substancial a quantidade de características que podem ser obtidas a partir do solo e enriquece muito a fundamentação do projeto de fundações e chega até mesmo a reduzir seu custo, devido à necessidade de menores coeficientes de segurança quanto ao grau de desconhecimento do solo. Ressalta-se que a adoção de correlações para a obtenção de características e índices físicos do solo constitui-se de estimativas aproximadas e devido a heterogeneidade desse elemento e variedade de solos existentes, a maneira mais efetiva e precisa de obtenção desses dados seria a utilização de ensaios de solo específicos, executados *in situ* determinando as características específicas do solo local a serem analisados por um engenheiro, geólogo ou outro profissional capacitado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6484**: Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.gedweb.com.br/visualizador-lite/Viewer2.asp?ns=2743&sig> . Acesso em: 07 mai. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6502**: Solos e rochas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.gedweb.com.br/visualizador-lite/Viewer2.asp?ns=7933&sig>. Acesso em: 07 mai. 2022.

AFONSO, André Filipe Gonsalves. **Correlações entre resultados de ensaios *in situ* de penetração dinâmica DP com o ensaio standard *penetration test***. Tese (Mestrado em engenharia da construção) – Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão. p. 13, p. 27. Bragança - Portugal. 2016. 121 p.

BORBA DE LEMOS, Mariane; MARINHO, Antônio Medeiros. **Ensaio Triaxiais Multi-Estágios em Solo Residual**. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2019. 185 p.

BÚSSOLA DO ENGENHEIRO. **SONDAGEM SPT - O que é e como é realizada?** Youtube. 2020. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Mv3AiTQ_LgU . Acesso em 09 jun. 2022.

CAMPOS, I. M. **Tipos de solo e investigação do subsolo: entenda o ensaio a percussão e seu famoso índice SPT**. IBDA – Instituto Brasileiro do Desenvolvimento da Arquitetura: Fórum da construção. 2012. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=9&Cod=126>. Consultado em: 03 jun. 2022.

CARSOSO; Felipe Matias do Nascimento. **Contribuição ao estudo de patologias e reforço estrutural de concreto armado**: Estudo de caso em um condomínio residencial em São Luís

– MA. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Maranhão.

São Luís – MA. 2018. Disponível em:

<https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/3013/1/FELIPE-CARDOSO.pdf>.

Acesso em: 04 jun. 2022.

CENBAM / PPBio. **Conceitos básicos, tipos e classes de aquíferos**. Centro de Estudos Integrados da Biodiversidade Amazônica / Programa de Pesquisa em Biodiversidade. s/ data.

Disponível em:

<https://ppbio.inpa.gov.br/sites/default/files/Aula%20%20Conceitos%20Basicos%20Tipos%20e%20Class%20Aquif.pdf>. Acesso em 03 jun. 2022.

DA SILVA PEIXOTO, Filipe et al. **Uma cidade sobre as águas: Uso e qualidade das águas subterrâneas em Mossoró/RN**. GEOSABERES: Revista de Estudos Geoeducacionais, v. 12, n. 1, p. 294-307, 2021. Disponível em:

<https://www.redalyc.org/journal/5528/552866526021/html/>. Acesso em 03 jun. 2022.

DOS SANTOS, Lucas Coelho; DOS SANTOS, L.C. **Estudo da estabilização de um solo expansivo através da incorporação de areia verde de fundição residual**. Dissertação (Graduação em engenharia civil). UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville - SC, 2015, volume único, 80p. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/157265>. Acesso em 03 jun. 2022.

FAYR, Marcelo. **Brasil é o 5º País no Mundo com Maior Número de Construções ESG**. *The Capital Advisor*. 2021. Disponível em: <https://comoinvestir.thecap.com.br/brasil-e-o-5-pais-no-mundo-com-maior-numero-de-construcoes-esg> . Acesso em: 15 jun. 2022.

FONSECA, António Joaquim Pereira Viana da. **Geomecânica dos solos residuais do granito do Porto**: Critérios para dimensionamento de fundações directas. Tese de doutorado. cap 2. (doutorado em engenharia civil) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 847 p. Portugal. 1996. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/11101>. Acesso em: 04 jun 2022.

GEOTEACHING. **Compacidade dos solos granulares**. Youtube. 2020. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=3eVYWex7Bl8>. Acesso em: 07 jun. 2022.

GODOY, N. S; TEXEIRA, A. T. **Análise, Projeto e Execução de Fundações Rasas.**

Livro. Fundação: Teoria e Prática. Cap. 7, p.227-264. Ed. Pini. São Paulo. 1996.

GONZALEZ, Fabrício. **5 principais causas de problemas nas fundações e como evitá-las.**

Fabrício Gonzalez Engenharia de Fundações. 2020. Disponível em:

<https://fabriciogonzalez.com.br/blog-causas-patologias-fundacoes>. Acesso em: 03 jun. 2022.

HELENE, Paulo Roberto Lago. **Manual de reabilitação de estruturas de concreto, reparo, reforço e proteção.** p. 25. São Paulo: Editora Múltipla, 2003. 718 p.

KOGA, Leticia Midori; *Et Al.* **Patologias das fundações.** Revista Engenharia em Ação

UniToledo, v. 2, n. 1, p. 16-31. 2017. Disponível em:

<http://www.ojs.toledo.br/index.php/engenharias/article/viewFile/2543/148>. Acesso em: 04 jun. 2022.

LEÃO, Marcio. **A Formação dos Solos e seu Papel na Engenharia Geotécnica.** Instituto

Minere. 2021. Disponível em: <https://institutominere.com.br/blog/formacao-dos-solos-geotecnica>. Acesso em: 02 jun. 2022.

LEÃO, M. F. **Fundamentos em Mecânica dos Solos.** 1. ed. Campinas: Kroton, v. 1. 250p. 2018.

LIMA, Bruno Santos de. **Principais manifestações patológicas em edificações residenciais**

multifamiliares. Dissertação. (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria – RS. 2015. Disponível em:

http://www.ct.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2015/TCC_BRUNO%20SANTOS%20DE%20LIMA.pdf Acesso em: 07 jun. 2022.

MAIA, Gustavo; COSTA, Isabela. **Tecnologias para Recalques – Macaqueamento de**

Placas. GMaia Construtora. 2017. Disponível em: <http://www.g-maia.com.br/tecnologias-para-recalques-macaqueamento-de-placas/#:~:text=O%20recalque%20diferencial%20ocorre%20quando,%2C%20assim%2C%20as%20patologias%20citadas>.

Acesso em: 07 jun. 2022.

MENDONÇA, Gustavo Henrique. **Geografia Física - Solo**. Mundo Educação. s/ data. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/o-solo.htm>. Acesso em: 06 jun. 2022.

MEYERHOF, G. G. *Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils*. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, v. 82, n. 1, p. 866-1-866-19, 1956.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SHNAID, F. **Patologia das Fundações**. Livro. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar; SCHNAID, Fernando. **Patologia das fundações**. Livro. 2. ed. Revista e ampliada. São Paulo. Oficina de Textos, 243p. 2015. Disponível em: <http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/Patologia-das-fundacoes-2ed-DEG.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2022.

MUROMACHI, T.; OGURO, I.; MIYASHITA, T. *Penetration testing in Japan: Conference*. 18F, 3T, 15R. PROC. EUR. SYMP. PENETRAT. TEST. STOCKHOLM, JUNE 1974, V1, P193–200. In: *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*. Pergamon, p. A111. 1976.

PINTO, Carlos de Sousa. Livro. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. p. 266. São Paulo: Oficina de Textos. 2006. 363 p.

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

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. Editora Cortez, São Paulo. 2007.

SILVA FILHO, Admilson Luiz da *et al.* **Importância do Engenheiro Civil no Estudo dos Solos para Evitar Patologias em Construções de Pequeno Porte no Vale São Patrício**. Dissertação (Graduação em engenharia civil). UniEvangélica – Universidade evangélica de Goiás. 2018. Disponível em:

<http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/1526/1/RESUMO%20EXPANDIDO%20Admilson%2C%20Natan%2C%20Nayara%2C%20Rosenair%2C%20Wandercleia.pdf>. Acesso em: 03 jun 2022.

SIVELLI, Marcell Godoi. **Interação solo-estrutura no projeto estrutural de edifícios de múltiplos andares**. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil). UFU - Universidade Federal De Uberlândia. 2018. Disponível em:
<http://repositorio.ufu.br/handle/123456789/22080>. Acesso em: 08 mai. 2022.

Skempton, A.W. *Standart Penetration Test Procedure and Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Overconsolidation*. (p. 411–412) *Geotechnics*, Volume 37, Edição 3, 1º de setembro de 1986

SUPORTE; Sondagens e Investigações. **Ensaio de Cisalhamento Direto - Ensaios Geotécnicos - O Objetivo e a Finalidade**. 2018. Disponível em:
<https://www.suportesolos.com.br/blog/ensaio-de-cisalhamento-direto-ensaios-geotecnicos-o-objetivo-e-a-finalidade/73/>. Acesso em: 04 jun 2022.

TERZAGHI, K; PECK, R. *Soil Mechanisms Engineering Practice*. New York: Editora: John Wiley & Sons, 1948.

TQS. **Interação Solo-Estrutura - Teoria - Capacidade de Carga - Sapatas**. TQSDocs. s/data. Disponível em: <https://docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=3826&language=pt-br>. Acesso em: 22 mai 2022.

VAZ, Ana Paula *et al.* **Métodos de obtenção de valores de ângulo de atrito e coesão: Comparação entre o ensaio de cisalhamento direto e cálculo baseado no SPT**. Boletim Paranaense de Geociências. Volume 74-1. p. 1-10. 2018.

ANEXOS

**ANEXO A – Relatório de ensaios SPT realizados para projeto da nova sede do
DETRAN em Limoeiro do Norte – CE.**

PERFIL INDIVÍDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO

CLIENTE: Prefeitura Municipal de Limoeiro do Norte - CE INÍCIO: 13/12/2021 FURO SPT01
OBRA: Sistema Rodoviário Limoeiro do Norte - CE TÉRMINO: 16/12/2021
LOCAL: As margens da CE 266, saída para Tabuleiro CE COTA: 0

REV.	COTA N.A. (m)	PROFUNDIDADE (m)	PERFIL GEOLOGICO N° DE AMOSTRA	REVESTIMENTO = 63.5 mm AMOSTRADOR { Ø INTERNO = 34.9 mm Ø EXTERNO = 50.8 mm PESO = 65 kg - ALTURA DE QUEDA = 75 cm CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL	ENSAIO PENETRO-MÉTRICO			RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		PENETRAÇÃO (GOLPES)				
					1º	2º	3º	30 cm INICIAIS	30 cm FINAIS	COMPACIDADE - SOLOS (SPT)				
AVANÇO TC/TH/CA										FOFA	POU. C.	MED. COMP.	COMPACTA	MUITO COMP.
										4	8	18	40	
Avanço por circulação de fluido a partir de 0,30 m	Nível do lençol freático encontrado aos 4,80 m.	1,00	1	Argila siltosa friável, cor cinza escuro										
		2,00	2	Areia média friável, cor amarela	4 15	6 15	6 15	10	12					
		3,00	3	Areia média friável, cor amarela	6 15	6 15	7 15	12	13					
		4,00	4	Areia média friável, cor amarela	6 15	7 15	9 15	13	16					
		5,00	5	Areia média friável, cor amarela	6 15	6 15	6 15	12	12					
		6,00	6	Areia média friável, cor amarela	8 15	9 15	10 15	17	19					
		7,00	7	Areia média friável, cor amarela	12 15	10 15	11 15	22	21					
		8,00	8	Areia média friável, cor amarela	10 15	12 15	9 15	22	21					
		-10,00												
		-15,00												

OBS.: > SONDAGEM EXECUTADA CONFORME NORMAS DA "ABNT", NBR-6484 E NBR-7250. OBEDECENDO A CRITÉRIOS PREESTABELECIDOS PELA "ABNT".
> N.A. ENCONTRADO COM 4,80 m.
> PARALIZAÇÃO AOS 8,00 m.

2	5	10	19
M. MOLE	MOLE	MEDIA	RIJA
			DURA

CONSISTÊNCIA - SOLOS ARGILOSOS (SPT)

MÉTODO EXECUTIVO			
AVANÇO DO FURO	Ø	PROFUNDIDADE (m)	
TRADO CAVADEIRA	4"	0,00	0,30
TRADO HELICOIDAL	2 1/4"	-	-
CIRCULAÇÃO DE ÁGUA	2"	0,30	8,00
REVESTIMENTO	2 1/2"	0,00	2,00
SPT	2"	0	ENSAIOS

TABELA DO NÍVEL D'ÁGUA			
DATA	HORA	N.A. (m)	PROF. FURO (m)
30/11/2021	10:40	4,80	8,00

FOLHA:	ESCALA:	COORDENADAS:	SONDADOR: FRANCISCO DAS CHAGAS	APROVADO:
01 / 01	SEM ESCALA	No relatório	EQUIPE DE AUXILIARES NILSON	Eng. Civil: José Wellington Mendes Costa CREA-RN: 210788648-2