



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA**  
**CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**EFEITOS DA UMIDADE EM ENSAIOS SPT E NA RESISTÊNCIA AO**  
**CISALHAMENTO DE SOLO EM BARREIRAS/BA**

**AFONSO ALVES TEIXEIRA**

**BARREIRAS-BA**  
**SETEMBRO-2024**

**AFONSO ALVES TEIXEIRA**

**EFEITOS DA UMIDADE EM ENSAIOS SPT E NA RESISTÊNCIA AO  
CISALHAMENTO DE SOLO EM BARREIRAS/BA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal do Oeste da Bahia, como requisito à obtenção  
do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: D.Sc. José Luiz Ernandes Dias Filho

Coorientador: D.Sc. Vinícius Oliveira Kuhn

**BARREIRAS-BA  
SETEMBRO - 2024**

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Universitária do Centro das Ciências Exatas e das  
Tecnologias da Universidade Federal do Oeste da Bahia

### FICHA CATALOGRÁFICA

---

T266 Teixeira, Afonso Alves.

Efeitos da umidade em ensaios SPT e na resistência ao cisalhamento de solo em Barreiras/BA. / Afonso Alves Teixeira. – 2024.

117f.

Orientador: Prof. D.Sc. José Luiz Ernandes Dias Filho.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. Barreiras, BA, 2023.

1. Sondagem SPT. 2. Resistência do solo. 3. Umidade. 4. Ensaio de cisalhamento.  
I. Dias Filho, José Luiz Ernandes. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia - Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD 624

---

**Biblioteca Universitária de Barreiras - UFOB**

**AFONSO ALVES TEIXEIRA**

**EFEITOS DA UMIDADE EM ENSAIOS SPT E NA RESISTÊNCIA AO  
CISALHAMENTO DE SOLO EM BARREIRAS/BA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial à  
obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Aprovada em 02 de Setembro de 2024.

**Banca Examinadora**

Orientador: \_\_\_\_\_  
Prof. D.Sc José Luiz Ernandes Dias Filho  
Universidade Federal do Oeste da Bahia

Coorientador: \_\_\_\_\_  
Prof. D.Sc Vinícius Oliveira Kuhn  
Universidade Federal do Oeste da Bahia

\_\_\_\_\_  
Prof. M.Sc Alice Souza Caires Junqueira  
Universidade Federal do Oeste da Bahia

\_\_\_\_\_  
Prof. D.Sc Luis Gomes Carvalho  
Universidade Federal do Oeste da Bahia

*À minha esposa Patricia e meus filhos Victoria e Jesuino.*

## AGRADECIMENTOS

Ao Eterno por ter permitido que eu chegasse até este momento.

À minha esposa Patricia pelo seu amor, companheirismo, amizade, suporte, compreensão, nada teria acontecido sem você.

À minha filha Victoria e ao meu filho Jesuino, que me ajudaram muito em vários momentos deste trabalho.

Ao Prof. José Luiz Ernandes Dias Filho, pela orientação, ajuda, ensinamentos, correções e valiosa orientação.

Ao Prof. Vinicius Oliveira Kuhn, pelo ensinamento, apoio, sugestões, críticas, correções, ajuda e inestimável orientação e coorientação.

Aos Professores Luis Gomes Carvalho e Alice Souza Caires Junqueira por aceitarem participar desta banca, pelo quanto é valioso seu tempo, dedicação e atenção dispensada a mim e a este trabalho.

Ao Professor Luis Gustavo Henriques do Amaral pelo apoio, ajuda, ensinamentos e suporte sempre que precisei.

Ao Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias (CCET) da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), por ter proporcionado condições de desenvolver este trabalho.

A todos os Professores da UFOB que muito me ensinaram, corrigiram e me incentivaram em todo este longo caminho.

A toda equipe de apoio ao ensino da UFOB, reitorias, colegiados, técnicos, servidores, terceirizados e prestadores de serviços, o trabalho de vocês é inestimável.

A empresa ArcGeo Prospect e seu proprietário geólogo Diego Patric Castro de Souza, por apoiar alunos da UFOB, por ceder gentilmente os equipamentos de SPT, realizar os

ensaios SPT com sua equipe profissional: a geóloga Thais Rodrigues Barbosa, e os sondadores Lucas, Valtemir, Mauricio, Marcos, Maicon, Gabriel, o trabalho de vocês, empenho, dedicação e ensinamentos, foram fundamentais para que este trabalho acontecesse.

Ao Inácio Coelho, por gentilmente ceder os serviços de retroscavadeira, essencial para a realização deste trabalho.

A todos colegas de UFOB pela convivência fraterna, que nunca deixaram de ajudar quem procurava ajuda, e me ajudaram inúmeras vezes.

A todas as pessoas que lutaram para criar a UFOB e as outras IFES espalhadas pelo Brasil, e ainda lutam para mantê-los, sem vocês nada seria realidade.

## RESUMO

Este trabalho avaliou a interferência da umidade, nos resultados do índice de resistência à penetração  $N_{SPT}$  realizados em campo e na resistência ao cisalhamento realizado em laboratório. Para isto foram executadas seis sondagens pelo método SPT, Sondagem de Simples Reconhecimento (*Standard Penetration Test* – SPT), sendo uma campanha de 3 sondagens em um período de clima seco e 3 sondagens em um período de clima chuvoso. O local escolhido foi uma área de 19 m<sup>2</sup> no Campus Reitor Edgard Santos da UFOB (Universidade Federal do Oeste da Bahia) em Barreiras – BA. Além da realização das SPTs foi escavada uma trincheira e realizada a coleta de três amostras de solo indeformadas nas profundidades de 1m, 2m e 3m para realização de ensaios de cisalhamento direto e ensaios de caracterização dos solos. Os ensaios de cisalhamento direto foram realizados na condição de umidade natural e inundado, submetidos às tensões normais de 50 kPa, 100 kPa e 200 kPa, totalizando 18 ensaios. Na campanha do período chuvoso, foram realizadas medições da capacidade de infiltração nos pontos das sondagens, pelo método dos anéis concêntricos para aumentar o teor de umidade. Com as leituras de capacidade de infiltração obteve-se como resultado altas taxas de infiltração e VIB (velocidade de infiltração básica). Os resultados das análises granulométricas indicaram areias argilosas com alto teor de finos e distribuição granulométrica com inexistência de pedregulhos e areia grossa, 3 a 4% de areia média, 55 a 61% de areia fina, 4 a 8% de silte e 31 a 37% de argila, com classificação SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos) SC (Sand-Clay ou areia-argilosa) e Índice de plasticidade de 12 a 13%. Nos ensaios de cisalhamento direto as amostras com umidade natural apresentaram altas coesões, ângulo de atrito e tensões de ruptura elevadas. Nos ensaios inundados diminuem as tensões de ruptura e ângulos de atrito e quase desaparecem as coesões. Notou-se a redução dos resultados de  $N_{SPT}$  das sondagens realizadas em solo com alto teor de umidade no período de chuvas, comparadas com as sondagens em período seco e com solo com baixo teor de umidade. É proposto uma equação que relaciona o  $N_{SPT}$  com ângulo de atrito no local de estudo. Dada a importância do ensaio SPT para engenharia, é recomendado a realização de ensaios sempre na estação chuvosa na região. Recomenda-se ainda que a metodologia aplicada nesse estudo seja realizada em outros locais da região de modo a expandir as análises e garantir maior segurança a obras de engenharia.

**Palavras-chave:** sondagem SPT, resistência do solo, umidade, ensaio de cisalhamento

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	10
1.2 OBJETIVO GERAL.....	12
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
2.1 ENSAIOS DE CAMPO EM SOLOS.....	13
2.2 SONDAGEM SPT .....	14
2.3 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO.....	24
2.4 SOLOS NÃO SATURADOS .....	25
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO .....	29
3.2 ENSAIO DE INFILTRAÇÃO.....	33
3.3 ENSAIOS SPT .....	36
3.4 COLETA DE AMOSTRAS APÓS ENSAIO SPT .....	38
3.5 COLETA DAS AMOSTRAS INDEFORMADAS .....	39
3.6 ENSAIO DE LABORATÓRIO.....	41
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>46</b>
4.1 ENSAIO SPT .....	46
4.2 PERFIL DE UMIDADE.....	51
4.3 ENSAIO DE INFILTRAÇÃO.....	53
4.4 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO .....	57
4.5 ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO .....	59
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>65</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>75</b>
METODOLOGIA DE EXECUÇÃO DO ENSAIO SPT .....	75
<b>ANEXO A.....</b>	<b>80</b>
LAUDO DE SONDAGEM DOS ENSAIO SPT EM TEMPO SECO .....	80
<b>ANEXO B.....</b>	<b>92</b>
LAUDO DE SONDAGEM DOS ENSAIO SPT EM TEMPO UMIDO .....	92
<b>ANEXO C.....</b>	<b>109</b>
LAUDO DE SONDAGEM - PAVILHÃO DE AULAS 2.....	109
<b>ANEXO D.....</b>	<b>113</b>
LAUDO DE SONDAGEM - RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO E CENTRO DE CONVIVÊNCIA..	113

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Barreiras é um importante município baiano, centro de negócios e serviços no extremo oeste da Bahia, no Território da Bacia do Rio Grande (NASCIMENTO, BAQUEIRO e FERREIRA, 2020). Suas atividades econômicas são baseadas na agropecuária, comércio e serviços educacionais e de saúde. É a cidade polo de uma região agrícola brasileira denominada MATOPIBA, que é um acrônimo referente a uma região de territórios contíguos formados por quatro estados do Brasil, Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Essa região é a maior fronteira agrícola do Nordeste brasileiro na produção de grãos e fibras em área de cerrado. A área do município de Barreiras é de 8.051,274 km<sup>2</sup>, o que o coloca como 10º maior município do estado, possui uma população de 159.734 habitantes e PIB per capita de R\$ 44.221,63. Segundo o censo demográfico do IBGE já em 2010, 90,04% da população vivia no espaço urbano de 31,72 km<sup>2</sup> (IBGE, 2021). Esta combinação de atividade econômica, e limitado espaço urbano gera considerável pressão por crescimento.

A demanda por construção de moradias dentro do espaço urbanizado, eleva os preços dos terrenos no mercado imobiliário. Altos valores de terrenos provocam uma tendência de arquiteturas construtivas verticalizadas, buscando mais habitações no mesmo espaço horizontal. Pavimentos sobrepostos nas edificações resultam em aumento de cargas nas fundações implicando em maior responsabilidade nestes elementos.

Através de sua estrutura e fundações, as construções transmitem ao solo suas cargas de peso próprio e de utilização, além das demais forças externas aplicadas nelas, como por exemplo, as ações do vento. A eficiência do sistema estrutural e fundações implica em o solo ser capaz de absorver e dissipar todas as cargas e se comportar com variabilidade admissível durante a vida útil da obra, e se isto não ocorrer, haverá patologias que podem levar à ruína e colapso. Isto também vale quando o solo é usado como material de construção e estrutura da obra, que é o caso de barragens, pavimentos rodoviários e aterros, para se atingir os objetivos da engenharia de maximizar a durabilidade, segurança e estabilidade, e de minimizar custos e consumo de recursos naturais, é fundamental o conhecimento prévio das características de resistência e comportamento do solo (LORENZI, 2022)

O solo é um material natural que apresenta uma variabilidade quanto à composição e comportamento quando submetido a cargas, alívios de tensões ou alteração de seu estado físico como o teor de umidade (SCHNAID, 2014). Por esta afirmação, torna-se arriscado

considerar resistências idênticas para solos vizinhos, já que é possível haver grande variação mesmo dentro de um único terreno. A cada nova construção deve-se previamente realizar análise do maciço de solos que suportará a edificação. Por isto, é estabelecido em norma técnica brasileira, NBR 6122 – Projeto e execução de fundações, que para qualquer edificação deve ser feita uma campanha de investigação geotécnica preliminar (ABNT, 2019). Isto envolve ensaios de campo com objetivo de obter dados de profundidade e espessura de cada camada do solo, sua extensão na direção horizontal, resistência dos solos e a profundidade do nível d'água (NA). A falta desta investigação, sua insuficiência e interpretação inadequada, contribuem para falhas de projeto, atrasos, custos imprevistos, gastos com patologias, além de risco de colapso da estrutura e litígio subsequente (SCHNAID, 2014).

O ensaio de campo para realização de sondagens mais utilizado no Brasil e no mundo, em função do seu custo, simplicidade de execução e rapidez de resultados é o de sondagem de simples reconhecimento com SPT (*Standard Penetration Test*), normatizado pela ABNT (2020). Com o SPT, obtém-se amostras deformadas a cada metro da perfuração, identificação do NA e obtenção de um índice de resistência à penetração dinâmica ( $N_{SPT}$ ).

Deve-se ter em mente que o ensaio SPT é dinâmico, realizando penetração através de golpes com impactos sucessivos, enquanto as cargas reais das estruturas serão transmitidas pelas fundações ao solo, de forma constante e crescente na medida que a edificação é construída e ocupada, por isto a resistência a penetração do SPT não é capaz de indicar diretamente a capacidade de carga que se deseja conhecer. Quanto maior o número de golpes necessários para a penetração, maior é a capacidade de suporte do solo.

No entanto, diversos fatores além da condição natural do solo, como granulometria, porosidade e estrutura, podem influenciar na resistência ao cisalhamento. A condição de umidade (e sua respectiva sucção) afeta a resistência ao cisalhamento dos solos influenciando nos resultados obtidos (FREDLUND, RAHARDJO e FREDLUND, 2012). Apesar disso, o impacto dessa influência ainda é pouco estudado em solos da região Oeste da Bahia, seja por meio de ensaios de laboratório, seja por meio de ensaios de campo.

Diferentemente de outras regiões do país, em que o regime de chuvas é bem distribuído, na região Oeste da Bahia tem-se um período de seca prolongada de maio a outubro com baixos ou ausentes índices de pluviosidade, seguido de estação chuvosa mais intensa entre dezembro e março, conforme dados disponibilizados pelo INMET (2024). Isto pode levar à uma variação significativa da umidade do solo no decorrer do ano e consequentemente na sua resistência ao cisalhamento.

## **1.2 OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem como objetivo geral verificar a influência da umidade nos ensaios de campo tipo SPT e na resistência ao cisalhamento obtida em laboratório em solo da cidade de Barreiras-BA.

## **1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Como objetivos específicos tem-se:

- Realizar ensaios tipo SPT em período de seca e em períodos chuvosos no campus da UFOB na cidade de Barreiras;
- Avaliar a infiltração de água no solo do local escolhido;
- Coletar amostras deformadas e indeformadas em 3 diferentes profundidades;
- Realizar ensaios de caracterização do solo;
- Realizar em laboratório ensaios de cisalhamento direto nas amostras de solo nas condições de umidade natural e inundadas.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

Este capítulo apresenta a revisão dos principais tópicos presentes no tema deste trabalho. Primeiramente foi realizado uma revisão dos principais ensaios de campo para caracterização dos solos, destacando em seguida o ensaio SPT. Posteriormente, foram apresentados um resumo dos ensaios de laboratório e, com maior atenção, foi dado ênfase ao ensaio de cisalhamento. Para finalizar, apresentou-se um tópico sobre solos não saturados e os ensaios para este solo tropical, os quais caracterizam a região do estudo, a fim de dar um embasamento nas análises dos resultados.

### **2.1 ENSAIOS DE CAMPO EM SOLOS**

Para a elaboração de projetos de fundações e de obras de contenção seguros e econômicos é básico e necessário, o conhecimento das condições de subsolo. O custo envolvido na realização das sondagens de reconhecimento de solos, varia entre de 0,2% a 0,5% do custo total da obra (SCHNAID, 2014). Porém, os custos diretos ou cessantes em danos causados por patologias, provenientes de desconhecimento ou descaso para com o solo, podem ultrapassar 100% do custo da obra. E há o risco de colapsos que podem provocar perda de vidas humanas, danos ambientais e financeiros incalculáveis.

Existem vários tipos de ensaios de campo e de laboratório que se adequam as várias necessidades, a depender do porte da obra, natureza dos carregamentos atuantes, as características do subsolo, as propriedades a serem medidas, localização etc. Quando feitos no campo, permitem reconhecer os materiais envolvidos, identificar e avaliar seu estado e as vezes coletar amostras para ensaios em laboratório. A principal vantagem nos ensaios de campo é que se pode observar o comportamento do solo em sua condição natural e dinâmica e os de laboratório proporcionam uma análise mais controlada das propriedades físicas e mecânicas das amostras. São ensaios menos precisos, porém a amostragem é quase integral e todas as camadas são reconhecidas, por outro lado, em laboratório são mais precisos, todavia como são poucas amostras tem menor representatividade do todo.

Quanto as sondagens de campo, os principais e mais utilizados são:

- Sondagem de simples reconhecimento: geralmente é realizada a trado, obtendo os tipos de solos, identificando a presença do lençol freático e permitindo a coleta de amostras deformadas. A sondagem a trado é normatizada pela NBR 9603- Sondagem a trado — Procedimento (ABNT, 2023);

- *Standard Penetration Test* (SPT): que será apresentado detalhadamente no próximo tópico, faz o reconhecimento inicial, fornece a estratigrafia das camadas, colhe amostras, encontra nível d'água (i.e., lençol freático) se ocorrer ao longo do furo e com as correlações simples indica compacidade e consistência do solo. É um procedimento excelente para o primeiro reconhecimento geotécnico de um terreno. Apesar de simples, é massivamente utilizado, tanto nos Estados Unidos da América (EUA) onde foi criado, como no Brasil e demais países;
- Dilatômetro de Marchetti (DMT) ou Ensaio dilatométrico: fornece a estratigrafia das camadas, mede resistência e deformabilidade do solo;
- Ensaio de penetração de cone estático (CPT) e piezocone (CPT-U, cone com medição de poro-pressões): um cone é empurrado no solo a uma velocidade constante, medindo-se a resistência de ponta, o atrito lateral e a pressão de poro, identifica a estratigrafia das camadas do subsolo, mede resistência, deformabilidade do solo e tempo de adensamento, e para a previsão da capacidade de carga das fundações;
- Ensaio de palheta (Vane Test): nesse ensaio uma palheta é inserida no solo e girada, medindo-se o torque necessário para cisalhar o solo. Determina a resistência ao cisalhamento não drenado ( $S_u$ ) de solos argilosos e a sensibilidade;
- Ensaio Pressiômetro de Ménard (PMT): um cilindro expansível é inserido em um furo no solo e expandido, medindo-se a pressão e a deformação resultante, avalia a resistência in situ e a deformabilidade;
- Sondagem rotativa: Quando a resistência do perfil estratigráfico aumenta muito tem-se a sondagem rotativa, que consiste no uso de um conjunto motomecanizado projetado para a obtenção de amostras contínuas de materiais rochosos através de ação perfurante dada por forças de penetração e rotação. São normalmente empregadas quando a sondagem de simples reconhecimento atinge extrato rochoso, matacões ou solos impenetráveis à percussão (DANTAS NETO, 2006),

## 2.2 SONDAGEM SPT

As sondagens no Brasil começaram com a criação da Seção de Estruturas e Fundações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), em 1935. No início, a consistência das argilas era estimada pelo exame táctil-visual das amostras, obtidas durante as sondagens. Nas areias, o processo táctil-visual não oferecia a estimativas confiáveis da compacidade (BELINCANTA, 1998).

As sondagens de simples reconhecimento com revestimento de 51mm de diâmetro tiveram início em 1938, com a criação da Seção de Solos e Fundações do IPT, após o retorno de Odair Grillo<sup>1</sup> da Universidade de Harvard. O IPT desenvolveu, assim, um amostrador próprio, conhecido como amostrador do tipo IPT, e começou a medir a sua resistência à penetração em 1943, sendo esta denominada Resistência à Penetração ou RP. Esta RP correspondia ao número de golpes de um martelo de 60kg, caindo de uma altura de 75cm, para cravação de 30cm do amostrador acoplado às hastes de rotativa do tipo G de aproximadamente 3,23kg/m (SOUZA, 2009). Essas medidas de RP de amostrador padrão começam a ser feitas no Brasil pelo IPT, em 1943, em forma experimental e, em 1944, em caráter sistemático (BELINCANTA, 1998).

Após vários anos e contribuição de diversos engenheiros e geólogos da Associação Brasileira de Mecânica dos Solos (ABMS), em 1977, a proposta de norma para o ensaio SPT foi enviada à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A proposta torna-se oficialmente a primeira norma brasileira, em 1979, com a denominação de "Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos", MB 1211/79, com a mudança posterior na numeração para NBR 6484/1980 (BELINCANTA, 1998). A norma brasileira passou por revisões, teve atualização em 2001 e atualmente a versão atualizada é a de 2020.

A ABNT elaborou e publicou a NBR 6484 (ABNT, 2020) a qual se encontra em vigor atualmente no Brasil e normatiza o método de execução de sondagens de simples reconhecimento de solos com o ensaio de SPT. A norma descreve dois sistemas de execução: o sistema de sondagem manual e o sistema de sondagem mecanizado. Ela tem por finalidade fornecer as seguintes informações: tipos de solos e suas respectivas profundidades de ocorrência; indicação da posição do nível de água (quando ocorrer) durante a execução de cada sondagem, e o índice de resistência à penetração N a cada metro (ABNT, 2020).

Entre os equipamentos utilizados no ensaio tem-se o amostrador normatizado apresentado na Figura 1 e as especificações encontram-se no Apêndice A. A importância de seguir o procedimento padrão é justamente minimizar as variáveis que podem surgir e, conseqüentemente, tornarem-se dúbios os resultados.

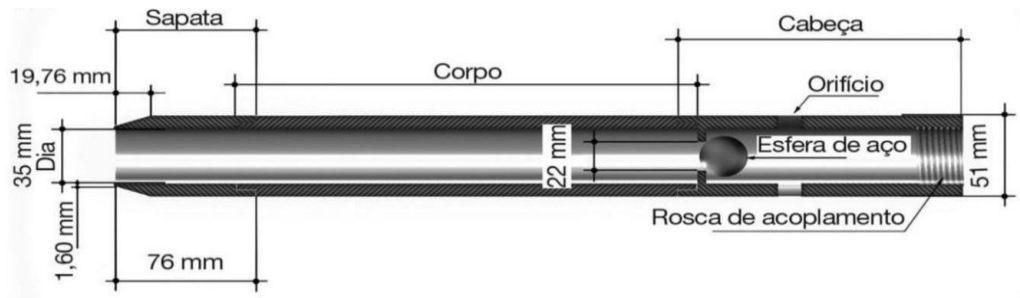
A sondagem manual, obviamente por menor custo de equipamento, é a mais comum de ser utilizada nos ensaios SPT. É realizada por um equipamento composto de uma torre de elevação (tripé), transportado em seguimentos que é montado no local, sendo um dos pés com apoio duplo para conter o sarilho, portanto, quatro apoios. O sarilho tem a função de

---

<sup>1</sup> <https://anebrasil.org.br/patronos/odair-grillo/>

enrolar uma corda ou cabo de aço, elevando ou abaixando o martelo, assim como elevar e retirar o tubo de cravação e o revestimento do furo. Arma-se o tripé no alinhamento do furo, certifica-se este alinhamento com um peso na corda ou cabo de aço que irá elevar o martelo. Na Figura 2 pode-se ver o princípio de funcionamento mecânico do ensaio SPT assim como um diagrama da contagem de golpes (LORENZI, 2022).

Figura 1 – Dimensões do amostrador padrão.



Fonte: Schnaid (2014)

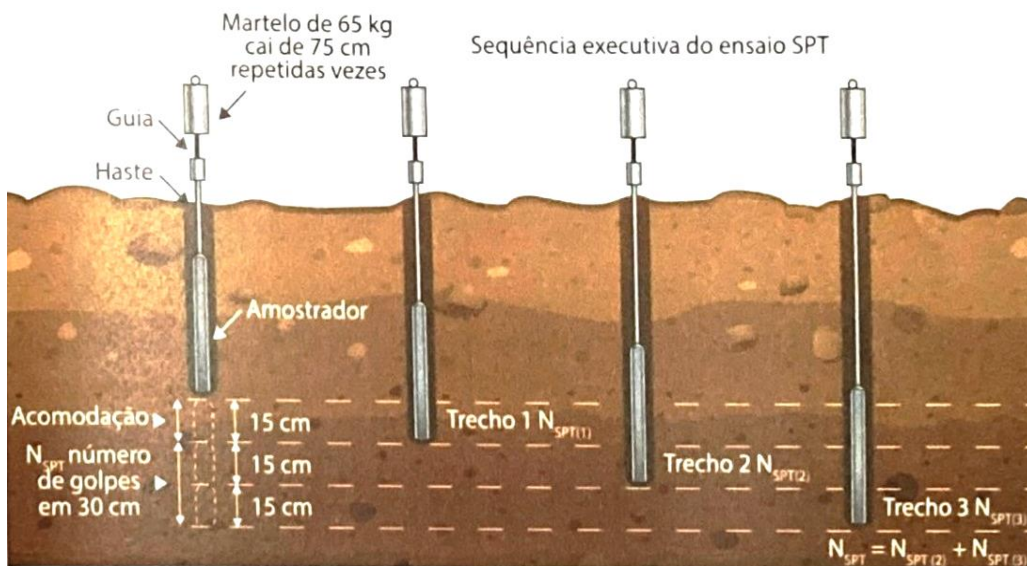
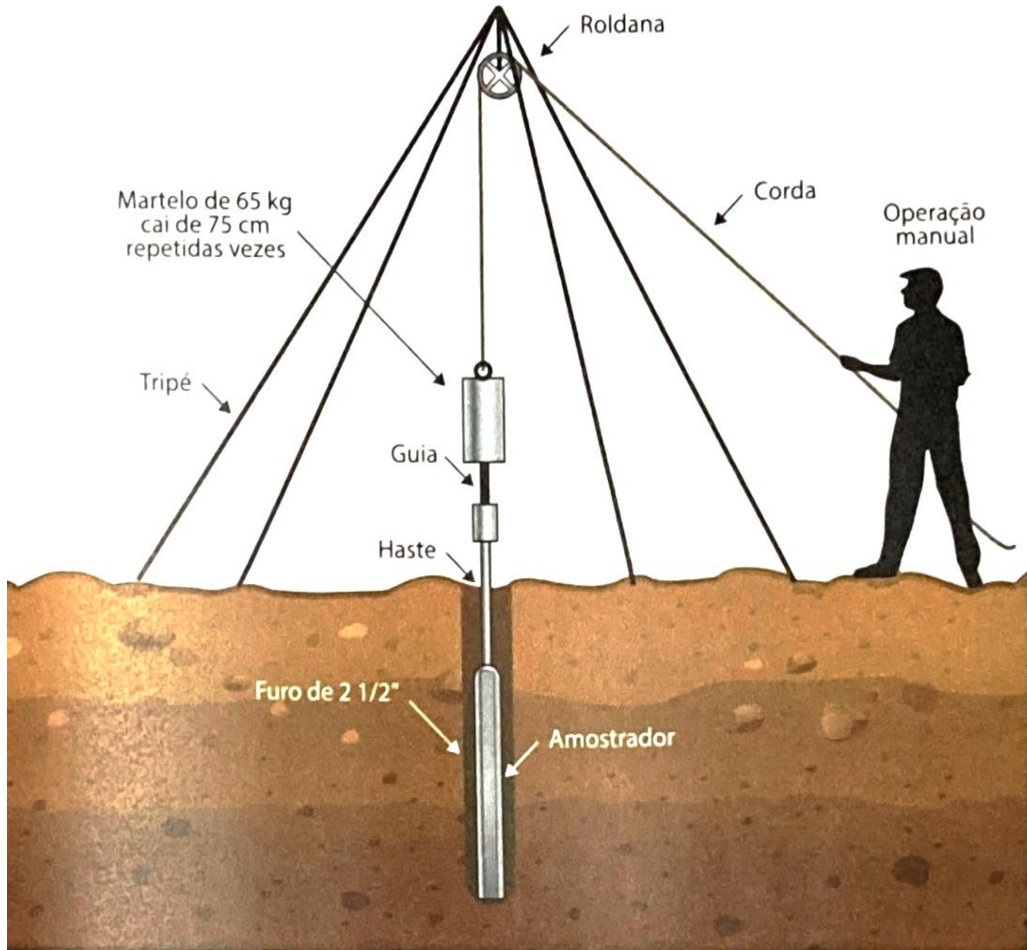
Resumidamente, após a escavação do primeiro metro com amostragem de solo (PINTO, 2013), as análises serão realizadas em duas etapas (CINTRA *et al*, 2013). A primeira é de cravação do amostrador padrão por meio de golpes do martelo de 65 kg que cai de uma altura de 75cm, sendo anotado o número de golpes de 3 trechos de 15 cm. O número de golpes para cravar os últimos 30cm é o  $N_{SPT}$ . Realiza-se o avanço de 55cm com trado manual, ou com lavagem utilizando bomba de água abaixo do NA ou quando não é possível avançar com o trado manual (REBELLO, 2008). O procedimento finaliza até a profundidade desejada ou atingir o impenetrável. Ao longo da perfuração irá se identificar o NA e a profundidade do mesmo será conferido após 12h da execução do ensaio completo. (BOTELHO, 2016).

Para definição da quantidade de furos a serem investigados, a NBR 8036 - Programação de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos para Fundações de Edifícios (ABNT, 1983), normatiza o número mínimo de sondagens a serem executadas de acordo com a área de projeção da edificação conforme Tabela 1.

Com relação à profundidade de sondagem, elas devem ser levadas até onde o solo não seja mais significativamente solicitado pelas cargas estruturais, onde o acréscimo de pressão seja menor que 10% da pressão geostática efetiva (ABNT, 1983). Na prática esta profundidade é considerada igual a 1,5 vezes o valor do maior lado da sapata em fundação direta previamente determinada (REBELLO, 2008).

As sondagens devem ser desenhadas na escala de 1:100. O perfil geotécnico integra o relatório de sondagem conforme Figura 3, acompanhado da localização dos furos de sondagem na área investigada.

Figura 2 – Sistema mecânico e de contagem de golpes do ensaio SPT.



Fonte: Lorenzi (2022)

Tabela 1 – Número mínimo de ensaios por edificação conforme NBR 8036 (ABNT, 1983)

Área da projeção da edificação em m <sup>2</sup>	Quantidade mínima de ensaios
0 à 200	2
200 à 400	3
0 à 1200	1 para cada 200 m <sup>2</sup>
1200 à 2400	1 para cada 200 m <sup>2</sup> até 1200 m <sup>2</sup> e 1 para cada 400 m <sup>2</sup> que exceder dos 1200 m <sup>2</sup>
2400 à acima	A definir pelo projeto

Fonte: ABNT (1983)

Figura 3 – Exemplo de perfil geotécnico parte do relatório de resultado do ensaio SPT.

Cota (m)	Profund. (m)	N. A.	S P T	Descrição	Convenção
781,0	0		8	Areia fina, média e grossa, argilosa e siltosa, amarela	
	- 2,0		11		
	- 5,0		7	Argila siltosa, pouco arenosa, consistência média, variegada	
	- 8,0		9		
775,0	- 8,0	(7/7/94) - 8,0	8	Argila siltosa, pouco arenosa, consistência rija, amarela e cinza	
	- 10,0		21		
	- 10,0		17	Areia fina e média, pouco argilosa, compacta, cinza amarelada	
	- 10,0		15		
	- 10,0		20	Argila siltosa, pouco arenosa, dura, cor variegada	
	- 10,0		31		
770,0	- 10,0		41	Argila siltosa, pouco arenosa, dura, cor variegada	
	- 10,0		48		
	- 10,0		61	Argila siltosa, pouco arenosa, dura, cor variegada	
	- 10,0		57		
	- 10,0		58	Argila siltosa, pouco arenosa, dura, cor variegada	
	- 10,0		30/15		
765,0	- 10,0		30/14	Argila siltosa, pouco arenosa, dura, cor variegada	
	- 10,0		30/12		
	- 10,0		30/14	Argila siltosa, pouco arenosa, dura, cor variegada	
	- 10,0		30/10		
	- 10,0		30/11	Argila siltosa, pouco arenosa, dura, cor variegada	
	- 10,0		Lavagem		
760,0	- 21,0	(10/7/94)		Limonita (concreções)	
	- 22,0	- 22,30		Areia fina e média, com algumas lentes de limonita, siltosa, compacta, amarela e vermelha	
	- 22,0		30/16	Areia fina e média, com algumas lentes de limonita, siltosa, compacta, amarela e vermelha	
	- 22,0		30/12		
	- 22,0		30/8	Areia fina e média, com algumas lentes de limonita, siltosa, compacta, amarela e vermelha	
	- 22,0		Lavagem		
755,0	- 26,0			Areia fina e média, com algumas lentes de limonita, siltosa, compacta, amarela e vermelha	

Fonte: Pinto (2013).

O índice de resistência a penetração  $N_{SPT}$  é fundamental para a prática da engenharia de fundações. Uma das vantagens do ensaio SPT com relação aos demais são obtenção de deste valor numérico de ensaio, que pode ser relacionado por meio de propostas não sofisticadas, mas diretas, com regras empíricas de projeto (SCHNAID, 2014).

Existem duas abordagens distintas para interpretação de resultados. Os métodos indiretos com os resultados do ensaio SPT são utilizados na previsão de parâmetros constitutivos, representativos do comportamento do solo. E os métodos diretos com os resultados do ensaio SPT são aplicados diretamente na previsão da capacidade de carga ou

recalque de um elemento de fundação, sem a necessidade de determinar parâmetros intermediários (SCHNAID, 2014).

No escopo da NBR 6484 (2020) (Tabela 2) tem-se a correlação entre o índice  $N_{SPT}$  e o estado de compactidade e consistência dos solos.

Tabela 2 – Estado de compactidade e consistência.

<b>Solo</b>	<b>Índice de resistência à penetração <math>N_{SPT}</math></b>	<b>Designação*</b>
Areias e siltes arenosos	$\leq 4$	Fofa(o)
	5 a 8	Pouco compacta(o)
	9 a 18	Medianamente compacta(o)
	19 a 40	Compacta(o)
	$> 40$	Muito compacta(o)
Argilas e siltes argilosos	$\leq 2$	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média(o)
	11 a 19	Rija(o)
	20 a 30	Muito rija(o)
	$> 30$	Dura(o)

\* As expressões empregadas para a designação da compactidade das areias (fofa, compacta etc.) são referências à deformabilidade e à resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não podem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compactidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na mecânica dos solos.

Fonte: ABNT (2020)

### Fatores que afetam o resultado do NSPT

É imediato concluir que assim como qualquer tipo de ensaio, a inexistência de qualidade na execução e a não observância de normas, afetará o resultado do índice de penetração  $N_{SPT}$ . Caso o martelo suba menos que os 75 cm, implicará em maior quantidade de golpes para penetrar os 15 cm, já se elevar o mesmo acima de 75 cm, implicará em menor quantidade de golpes. A composição de cravação será submetida a energias diferentes.

Mesmo considerando que ensaios sejam feitos com a mesma acurácia e perfeição pelos operadores, ainda existem intervenientes que afetam o resultado e estes são objetos de estudos de vários pesquisadores desde a normatização do ensaio SPT. São fatores que explicam por que, no mesmo local, duas sondagens realizadas segundo a técnica recomendada podem resultar em valores desiguais. As diferentes metodologias de ensaio ao redor do mundo que causam desuniformidade de significância dos resultados de  $N_{SPT}$  são o método de perfuração, tipo do fluido estabilizante, diâmetro do furo, mecanismo de levantamento e liberação de queda do martelo, rigidez das hastes, geometria do amostrador, método de cravação, características e condições do solo (SCHNAID, 2014).

A seguir são explanados alguns dos principais fatores que afetam o  $N_{SPT}$ .

### • **Limpeza do furo de sondagem**

A perfuração e uso de ferramentas inadequadas, deixam resíduos de perfuração no fundo do furo. Podem obstruir os orifícios e válvula existentes na cabeça do amostrador, que tem a função de drenar a água e manter a amostra em seu interior. A consequência é o aumento da pressão interna e impedimento para cravação do amostrador, aumentando assim o número necessário de golpes. Existem ainda situações contrárias em que o solo é enfraquecido ou mesmo desestruturado, perdendo a sua resistência natural e, portanto, diminuindo o número de golpes à cravação do amostrador (BELINCANTA, 1998).

### • **Uso d'água na perfuração acima do lençol freático**

O uso d'água na perfuração acima do lençol freático, que deveria ocorrer por avanço a trado, pode falsear os resultados do ensaio, não só pela desagregação exagerada, mas também pela destruição da estrutura natural do solo, principalmente nos casos de areias finas e de siltes. Além disto, a umidade pode ter um efeito deletério na resistência do solo (BELINCANTA, 1998).

### • **Presença de água**

Conforme Schnaid (2014) um outro item que pode ser incluso nas condições do solo é a presença d'água que segundo Meyerhof (1965), *apud* Palacios (1977), se reflete diretamente no valor de  $N_{SPT}$ .

Cintra (1998) em estudos de solos colapsíveis discute o processo de inundação. Descreve a necessidade e falta de disponibilidade técnica para promover a saturação controlada em todos os níveis do solo para o monitoramento de variação de capacidade de carga antes e durante o processo de inundação.

Em solos colapsíveis, a capacidade de carga de uma fundação pode variar com a natural oscilação do teor de umidade (ou da pressão de sucção) do terreno, em períodos de secas mais ou menos acentuadas ou de chuvas mais ou menos intensas (CINTRA, 1998).

Cintra (1998) afirma que seria de grande interesse a realização de ensaios *in situ*, dos tipos SPT e CPT, em diferentes condições de umidade, com a simultânea monitoração do teor de umidade em função da profundidade, para quantificar a variação da resistência do solo em função do teor de umidade ou da pressão de sucção.

Cintra (1998) menciona que trabalhos de Reginatto (1971), Ferreira *et al.* (1989), Lobo (1991) e Ferreira (1994), mostram grande variação do SPT quando as sondagens são realizadas em condições extremas de umidade (época de secas ou de chuvas intensas).

Ainda sobre a resistência de solos não saturados, Cintra *et al.* (2013) fazem uma importante observação, que para solos colapsíveis, os valores de  $N_{SPT}$  são afetados pelo teor de umidade (ou de sucção matricial) da data de ensaio. Em épocas de seca, com teores de umidade mais baixos e, conseqüentemente, níveis de sucção matricial mais elevados, os valores de  $N_{SPT}$  são maiores que em períodos chuvosos (CINTRA E AOKI, 2009).

- **Pressão neutra**

A pressão neutra sobre solos finos densos dilata e aumenta a resistência; em contrapartida em solos finos muito fofos podem liquefazer no ensaio. Areias finas ou siltes quando compactos e abaixo do nível d'água, desenvolvem pressão neutra negativa, aumentando sua resistência e o valor de  $N_{SPT}$ . Todavia, areias ou siltes, quando no estado fofo, tendem a se contrair, gerando pressões neutras positivas e conduzindo a um baixo valor de  $N_{SPT}$  ou mesmo à liquefação. (TERZAGHI e PECK, 1948; MELLO, 1971; SCHMERTMANN, 1978 *apud* SCHNAID, 2014; BELINCANTA, 1998).

- **Desequilíbrio hidrostático**

Quando da perfuração abaixo do lençol freático, é importante manter a carga hidráulica, no interior da perfuração, igual ou superior à natural do terreno, evitando o desbalanceamento hidrostático desfavorável à estabilidade do solo na cota do ensaio. Recomenda-se, em muitos casos, o uso de lama de estabilização (BELINCANTA, 1998).

- **Altura de queda do martelo**

Qualquer tipo de martelo que dependa de marca na haste guia para controle de altura de queda, resulta uma altura de queda maior do que a predeterminada. No entanto se o martelo for acionado manualmente, por corda com roldana fixa na torre de sondagem, a altura de queda do martelo, que é superior à predeterminada no início da jornada, passa a ser inferior no final dela. O efeito de qualquer desvio na altura de queda do martelo se faz sentir

diretamente no número de golpes. Quanto menor a altura de queda, menor a energia portanto, maior o número de golpes necessários para cravar o amostrador (BELINCANTA, 1998).

- **Excentricidade na guia do martelo**

A guia do martelo, quando é mal posicionada ou fica empenada, apresenta uma excentricidade que conduz a um mal contato do martelo com a cabeça de bater no instante do impacto, contribuindo com o aumento das perdas de energia e, portanto, resultando no aumento no número de golpes (BELINCANTA, 1998).

- **Amortecimento do martelo**

O martelo deveria ter uma queda livre de 75 cm, mas isto raramente acontece, por existirem atritos na guia e no sistema corda-roldana. Um outro fator de amortecimento é a inércia do sistema ainda mais quando se utiliza de tambor em rotação. A inércia do sistema amortece suscintamente a queda (BELINCANTA, 1998).

- **Tipo e comprimento de hastes**

A variações implicadas pelo comprimento das hastes, bem como de sua rigidez, alteram a massa por metro linear do equipamento. Isto afeta o peso próprio da composição além de transmitir a energia do martelo até o amostrador. Porém com 60m os resultados de SPT já não são mais confiáveis (BELINCANTA, 1998).

- **Peso próprio do solo e compactidade relativa das areias**

Na década de setenta; já era muito clara a influência das tensões efetivas no valor  $N_{SPT}$ , bem como as condições de pré-adensamento. Gibbs e Holtz (1957) e Bazaraa (1967) realizaram uma extensa pesquisa para verificar a influência da pressão geostática de um solo arenoso e de sua compactidade relativa sobre o valor  $N_{SPT}$ .

Também as condições de tensões horizontais influem muito no valor de  $N_{SPT}$ . Naturalmente quanto mais densa for urna areia maior será o valor de  $N_{SPT}$  porém mantendo a mesma densidade, o valor de  $N_{SPT}$  é crescente com o valor da pressão vertical existente. Este fato deve ser considerado quando o SPT é realizado antes de uma escavação, pois a

remoção do solo conduzirá a um forte alívio de pressão vertical nas cotas de instalação das futuras fundações (SCHNAID, 2014).

- **Índice de vazios**

A redução do índice de vazios aumenta a resistência à penetração e há um aumento do  $N_{SPT}$ , o que facilmente se pode notar pelas inúmeras correlações existentes com a compacidade relativa das areias (SCHNAID, 2014).

- **Tamanho médio da partícula e coeficiente de uniformidade**

As areias uniformes apresentam baixos valores de  $N$  quando comparados com as graduadas. O  $N_{SPT}$  é crescente com o aumento do tamanho médio dos grãos, enquanto solos uniformes apresentam menor resistência à penetração (PINTO, 2013).

- **Nível de tensões**

Acréscimo de tensão vertical ou horizontal eleva a resistência. Com o aumento da tensão octaédrica eleva-se o  $N_{SPT}$ , que não só é sensível à pressão vertical, mas mais ainda às pressões laterais (DÉCOURT, 1989; SCHMERTMANN, 1978; JAMIOLKOWSKI *et al.*, 1988 *apud* SCHNAID, 2014; BELINCANTA, 1998).

- **Idade**

Aumento da idade do depósito eleva a resistência. O efeito do envelhecimento é muito pronunciado sobre o valor de  $N_{SPT}$  (SCHNAID, 2014). Para as argilas tem-se os fatores: o pré-adensamento, e em decorrência, as próprias tensões laterais; a estrutura, muitas vezes expressa pela própria sensibilidade, e a cimentação, entre outras. Schmertmann (1991) trata com muita ênfase o envelhecimento nas argilas, estudando inclusive o seu mecanismo. Já é de domínio que em solos coesivos, a resistência à penetração é em função da resistência não drenada ( $S_u$ ). A cravação é controlada pela plasticidade, a sensibilidade e a fissuração da argila, motivo pelo qual existem relações diferentes entre  $S_u$  e  $N_{SPT}$  na literatura. Deve-se levar em conta que a resistência não drenada depende da trajetória de tensões imposta no processo do ensaio. Não se caracterizando uma propriedade do solo.

- **Amostrador sem condição de uso**

A sapata do amostrador e mesmo os demais componentes do amostrador, se danificados pelo uso excessivo ou mau uso, sem biselamento e com cortes deteriorados pelo efeito abrasivo das areias e pedregulhos. Isto exigirá maior número de golpes para a penetração, falseando resultados (BELINCANTA, 1998).

- **Angulosidade das partículas e cimentação**

O aumento da angulosidade aumenta a resistência à penetração. Segundo Pinto (1966) a angulosidade e rugosidade de superfície dos grãos de areia tendem a aumentar o  $N_{SPT}$ . Nessa mesma linha de raciocínio, a Cimentação também conduz ao aumento de  $N_{SPT}$ .

### 2.3 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

A resistência ao cisalhamento do solo é a tensão cisalhante que ocorre no plano de ruptura no instante da falha. Ou seja, é a máxima tensão cortante que um solo pode suportar sem rompimento, onde a ruptura é um estado de tensões arbitrário, o qual é escolhido na curva tensão x deformação. Assim sendo, estados de tensão inferiores aos da envoltória correspondem a situações de estabilidade. A região acima da envoltória corresponde a estados de tensão impossíveis de ocorrer (GERSCOVICH, 2010).

Pinto (2013) afirma que esta característica resistente dos solos se deve principalmente ao atrito entre as partículas. Entretanto uma atração química entre elas atua como um adesivo provocando uma parcela de resistência independente da tensão normal, chamada coesão. Segundo Gerscovich (2012), a oposição ao cisalhamento é função de resistência entre partículas e imbricamento. A resistência entre as partículas depende do atrito entre os grãos e da presença de ligações físico-químicas entre as partículas (coesão). A resistência ao atrito é calculada por uma função que depende da tensão normal ( $\sigma$ ), porém a coesão independe.

O critério de resistência ao cisalhamento mais utilizado para descrever a condição saturada é o critério de Mohr-Coulomb (PINTO, 2013), que considera a coesão e o ângulo de atrito das partículas, relaciona a tensão cisalhante ( $\tau$ ) com a tensão normal efetiva ( $\sigma'$ ):

$$\tau = c' + (\sigma - uw) \tan \varphi' \quad (1)$$

em que:

$\tau$	=	resistência ao cisalhamento, em unidade de pressão;
$c'$	=	coesão efetiva, em unidade de pressão;
$\sigma$	=	tensão normal total, em unidade de pressão;
$uw$	=	pressão da água nos vazios do solo, em unidade de pressão;
$\varphi'$	=	ângulo de atrito efetivo, adimensional;
$\sigma'$	=	tensão normal efetiva, em unidade de pressão.

Como nos solos não saturados os poros estão preenchidos com dois fluidos distintos, o ar e a água, que entram em equilíbrio em tensões diferentes, têm-se a complexidade na transmissão dessa energia entre os grãos. Por não equacionar as tensões efetivas com uma única variável de estado de tensões, a contribuição das tensões totais e da sucção para a resistência ao cisalhamento, vários autores passaram a tratar como duas variáveis independentes (OLIVEIRA, 2004).

A resistência ao cisalhamento de solos não saturados pode ser retratada com base no equacionamento de tensões efetivas ou em variáveis de estado de tensão. Acrescentando-se o efeito da sucção, que altera o estado de tensão do solo que agrega resistência, causando um enrijecimento de sua estrutura. Num modelo usando o conceito de variáveis de estado de tensão, a equação de Mohr-Coulomb é modificada para incluir o efeito da sucção matricial (diferença entre a pressão da água e a pressão do ar nos poros) (FREDLUND E MORGENSTERN, 1977),

$$\tau = c' + (\sigma - ua) \tan \varphi' + (ua - uw) \tan \varphi b \quad (2)$$

em que:

$\varphi b$	=	parâmetro que considera o ganho de resistência em relação ao aumento da sucção ou ângulo de atrito relacionado à sucção, adimensional.
-------------	---	--

A interceptação do plano  $\tau$  com o plano  $(\sigma - ua)$  resulta no parâmetro  $c$ , o qual representa a coesão aparente total, definida pela Equação (19).

$$c = c' + (ua - uw) \tan \varphi b \quad (3)$$

## 2.4 SOLOS NÃO SATURADOS

A Mecânica dos Solos originou-se a partir de observações do comportamento de solos sedimentares, típicos de regiões de clima temperado e considerando a premissa do solo ser um sistema estrutural bifásico, encontrando-se saturado e formado por partículas sólidas

e água. Uma mistura de partículas sólidas e ar constitui um solo seco, enquanto uma mistura de partículas sólidas e água constitui o solo saturado. Porém a condição não saturada somada à diferenciação estrutural dos solos residuais apresenta comportamento diferenciado. As quantidades de água e ar podem variar, a evaporação pode eliminar água e substituí-la por ar, assim como uma carga aplicada sobre o solo pode expulsar o ar e reduzir os seus vazios aumentando a sua resistência. Quando os vazios entre as partículas sólidas de um solo estão parcialmente ocupados por água e parcialmente por ar é considerado não saturado.

Segundo Fredlund, Rahardjo e Fredlund (2012), os estudos de solos não saturados são essenciais por diversas obras de terra em que são aplicados. Principalmente levando em conta que a condição de não saturação ocorre em grande extensão do planeta, já que regiões de clima árido e semiárido representam cerca de 60% dos países do mundo e em países de clima tropical, como o Brasil, ocorrem longos períodos secos, suficientes para causar a dessaturação do solo.

Fredlund e Morgenstern (1977), com base na definição de fase, sugerem que se deve considerar uma quarta fase independente, denominada interface ar-água (película contrátil) (BURGOS e CONCIANI, 2015). Conforme Burgos e Conciani (2015), a característica mais importante da película contrátil é a possibilidade de ela exercer uma tensão de tração nos materiais contíguos, denominada tensão superficial. Devido à ação dessa tensão, a interface ar-água comporta-se como uma membrana elástica. Se a fase gasosa for contínua, tal membrana interage com as partículas sólidas, influenciando o comportamento mecânico do solo (FREDLUND e RAHARDJO, 1993).

A pressão isotrópica negativa da água intersticial gera uma sucção, fruto de condições físico-químicas, que faz com que o sistema água-solo absorva ou perca água dependendo das condições ambientais, aumentando ou reduzindo o grau de saturação. Ela ocorre nas camadas de solo acima do lençol freático, onde a presença de umidade pode ser decorrente de infiltração da água da chuva ou de ascensão capilar. Esta pressão negativa na água altera o comportamento mecânico dos solos não saturados, aumentando sua resistência (CARMINATI, 2018).

O estudo para o entendimento de comportamento dos solos não saturados e suas complexas interações com o meio é de fundamental importância para a engenharia civil, pois a variação do teor de umidade e da sucção ao longo do tempo pode afetar a capacidade de carga das fundações. A sucção, por exemplo, contribui para a estabilidade de taludes. O conhecimento do perfil de umidade, por sua vez, é fundamental para o projeto de sistemas de drenagem, bem como sua a variação do teor de umidade que pode induzir processos de

expansão e colapso em solos, entre outras demandas da engenharia geotécnica (FREDLUND e RAHARDJO, 1993).

O perfil de umidade e sucção de um solo não saturado representa a distribuição vertical da umidade e da sucção ao longo de seu perfil, sofre variações significativas ao longo do ano, sendo influenciado por fatores climáticos como precipitação e evapotranspiração (FREDLUND E RAHARDJO, 1993).

No período chuvoso, a infiltração da água no solo aumenta o teor de umidade nos níveis superiores do perfil. A sucção diminui devido ao aumento da pressão de poro positiva. Os solos absorvem água rapidamente até um certo ponto de saturação. Os solos não ficam completamente saturados devido à capacidade limitada de infiltração e ao escoamento superficial. A umidade do solo pode ser medida através de tensiômetros ou sensores, que mostram como a água se distribui no perfil do solo (GITIRANA JUNIOR *et al.*, 2012)

Segundo Gerscovich (2010), a distribuição de poropressão é função das condições ambientais e nível d'água. No período de estiagem, a evapotranspiração causa a perda de água do solo, reduzindo o teor de umidade, principalmente nos níveis superficiais. Consequentemente a sucção varia com o tempo que aumenta durante as épocas secas, em virtude da taxa de evaporação, e reduz nas épocas de chuva, face a processos de infiltração.

Além da variação pluviométrica sazonal, outros fatores influenciam o perfil de umidade e sucção de um solo, tais como tipo de solo, a textura, a estrutura e a mineralogia do solo influenciam a capacidade de retenção de água e a permeabilidade; a cobertura vegetal que influencia o ciclo hidrológico e a evapotranspiração; a topografia em que a inclinação do terreno impacta na infiltração e o escoamento superficial; a posição geográfica se em local de talvegue ou áreas mais elevadas; além de obras antrópicas que podem alterar o regime hídrico. Segundo Gerscovich (2010), qualquer alteração na sucção afeta o equilíbrio da massa de solo. Mudando tanto a compressibilidade quanto a resistência do solo.

Existem técnicas de medir a sucção nos solos, métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos são: placa de sucção, tensiômetros, centrífuga e membrana de pressão; e os métodos indiretos: dessecador de vácuo, célula de gesso, psicrômetro, papel filtro, condutividade térmica e condutividade elétrica.

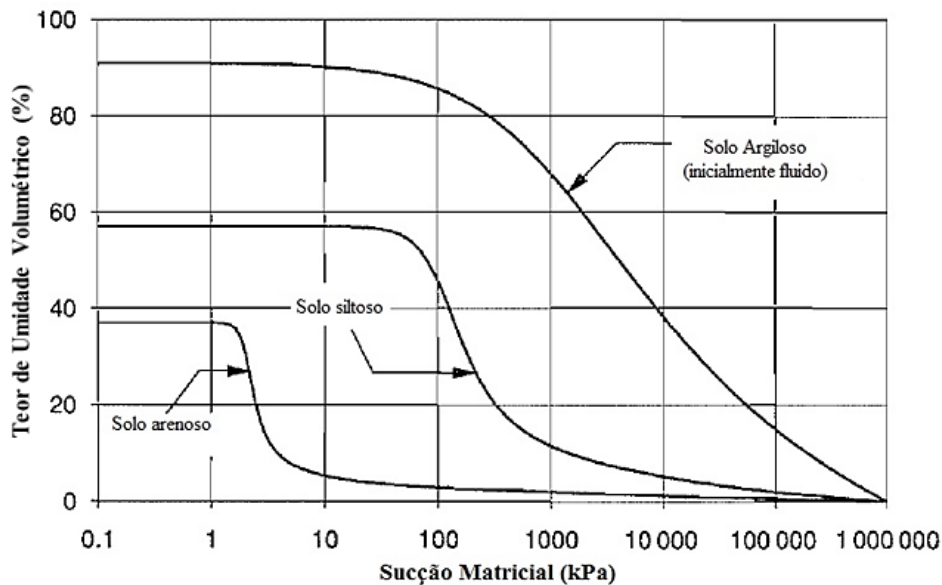
De acordo com Oliveira *et al.* (2015), qualquer que seja o método de leitura da sucção, o sistema deve entrar em equilíbrio com o sensor ou com o aparato de modo que se possa inferir a relação entre a quantidade de água no solo e o estado de tensão da água. As curvas de retenção de solo-água também conhecidas como curvas características solo-água (CCSA), são representações gráficas que mostram a relação entre o conteúdo de água nos

poros de um solo e a energia com que essa água é retida pelas partículas do solo. Elas ilustram a capacidade do solo de armazenar água em diferentes níveis de umidade.

Conforme Kühn (2014), a CCSA permite interpretar e estimar propriedades dos solos não saturados, tais como permeabilidade e resistência ao cisalhamento. Dois pontos são fundamentais na CCSA: o valor de entrada de ar, sucção em que o solo começa a dessaturar e o ar começa a entrar em seus maiores poros; e a sucção residual, a partir da qual é necessário um grande incremento na sucção para que seja possível retirar água do solo.

A Figura 4 apresenta a CCSA de um solo arenoso, um siltoso e um argiloso em consistência de lama. Observa-se que o solo arenoso diminui a quantidade de água armazenada com sucções mais baixas que solos siltosos e argilosos, isto é, dessaturando com maior facilidade. Os solos argilosos por sua vez possuem maior capacidade de retenção de água e necessitam de maiores sucções para remoção dessa água.

Figura 4 – Curva característica solo-água de um solo arenoso, siltoso e um argiloso.



Fonte: modificado de Fredlund e Xing (1994).

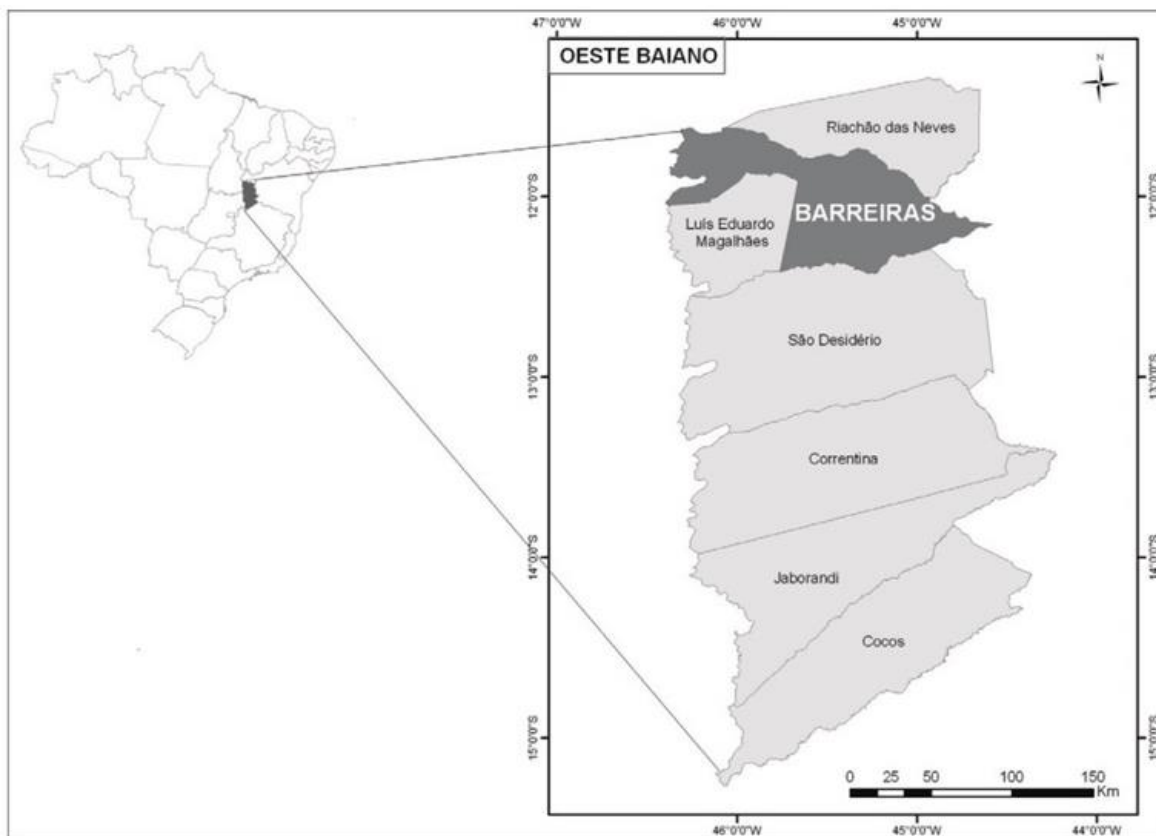
### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

##### Caracterização Regional

Barreiras está inserida na mesorregião do extremo Oeste Baiano (Figura 5), entre as coordenadas  $11^{\circ}37'$  e  $12^{\circ}25'$  S e  $44^{\circ}34'$  e  $46^{\circ}23'$  W. Limita-se a oeste com o Estado do Tocantins e o Município de Luís Eduardo Magalhães, a Leste com os municípios de Angical e Catolândia, ao norte com o Município de Riachão das Neves e ao sul com o Município de São Desidério e Luís Eduardo Magalhães (PASSO *et al.*, 2010).

Figura 5 – Localização do município de Barreiras-BA e do oeste Baiano.



Fonte: Passo *et al.* (2010)

##### Clima

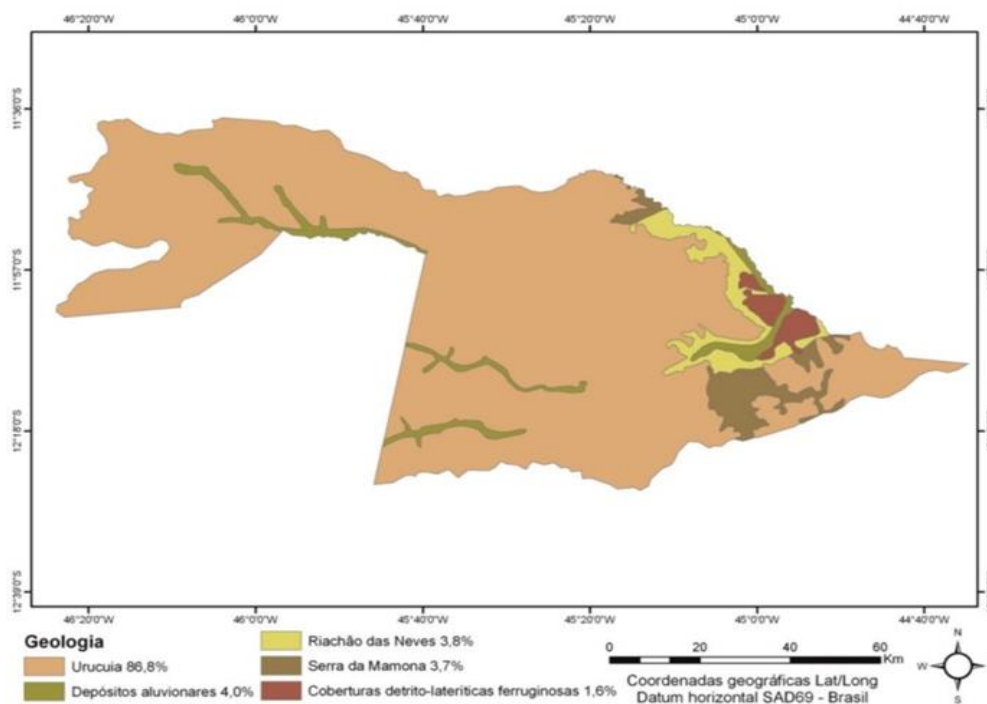
Segundo Batistella *et al.* (2002) *apud* Passo *et al.* (2010), duas estações climáticas são bem definidas na área de estudo: a estação seca e fria (maio a setembro) e a estação

chuvosa e quente (outubro a abril). Com exceção das áreas mais elevadas, onde as temperaturas são mais amenas, a forte radiação solar em função de sua posição geográfica assegura temperaturas elevadas durante boa parte do ano. As temperaturas médias máximas e mínimas da região variam entre 26 °C e 20 °C, respectivamente. A pluviosidade anual varia no sentido Leste-Oeste de 800 mm a 1.600 mm, concentrando-se nos meses de novembro a março. A umidade relativa média do ar é de 70%, sendo a máxima de 80% em dezembro e a mínima de 50% em agosto.

## Geologia

A geologia do município de Barreiras-BA apresenta-se com as seguintes unidades geológicas (Figura 6): Grupo Urucuia abrangendo 86,8% da área; Depósitos Aluvionares, 4,0%; Formação Riachão das Neves, 3,8%; Formação Serra da Mamona, 3,7% e Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas abrangendo 1,6%. O Grupo Urucuia constituído por arenitos, pelitos e arenitos conglomeráticos. Os Depósitos aluvionares são constituídos de areia e cascalho. A Formação Riachão das Neves é constituída por metarcóseo e metassiltito. A Formação Serra da Mamona por mármore, ardósia, metarenito, metassiltito e metamarga, e as Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas são formadas por aglomerados, areia, argila e laterita (CPRM, 2008 *apud* Passo *et al.*, 2010).

Figura 6 – Mapa das unidades geológicas do município de Barreiras – BA.



Fonte: Passo *et al.* (2010)

## Solos

Conforme Moraes (2003), os solos predominantes nas chapadas de Barreiras são Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, Neossolo Quartzarênico e solos hidromórficos associados às Veredas. Em geral, de textura média e (ou) arenosa, saturados com alumínio trocável e relacionados aos arenitos. Já, nas depressões, há associações de Cambissolos e Latossolos de textura argilosa (MORAES, 2003).

## Localização da área de estudo

O local escolhido para a sondagem, encontra-se no Campus Reitor Edgard Santos da Universidade Federal do Oeste da Bahia (CRES-UFOB), 655 m distante da margem direita do Rio de Ondas e 12 m acima de seu nível (Figura 7). Já em relação a foz do Rio de Ondas no Rio Grande, os pontos locados para as sondagens da Figura 6 situa-se a 1400 m de distância e diferença de nível de 14 m.

Figura 7 – Local das sondagens indicando distância e desnível em relação ao Rio de Ondas.



Fonte: Imagem extraída do software Google Earth® em 22 ago. 2024 adaptada pelo autor.

A urbanização de Barreiras que se consolidou historicamente no vale do Rio Grande. Conforme a classificação taxonômica geomorfológica realizada por Passo *et al.* (2010), o Campus UFOB está na unidade geológica Depósitos Aluvionares, nas coordenadas  $-12^{\circ} 8' 54.63''$ ,  $-45^{\circ} 1' 24.5''$ , em Planície Interplanáltica, onde os processos de sedimentação superam os de erosão. Os solos representados nessa planície são hidromórficos, representados por Gleissolos e Neossolos Quartzarênicos (PASSO *et al.*, 2010).

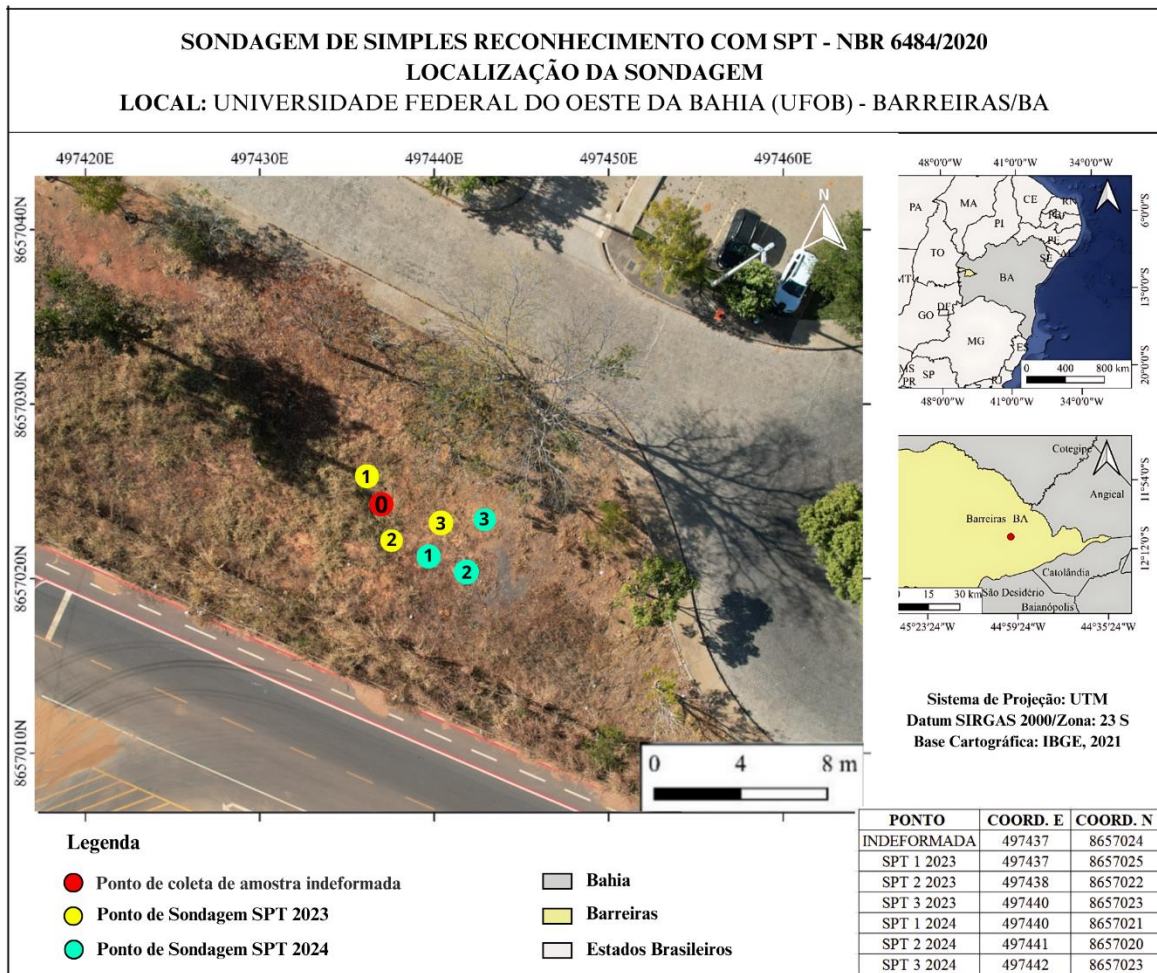
Como o Campus UFOB está inserido na área urbana do município, que está se expandindo na direção sul, pode-se considerar seu solo característico de interesse da engenharia geotécnica e de fundações. Portanto o resultado de ensaios neste local tem potencial de ser representativo.

A partir do objetivo de verificar a influência da umidade do solo no resultado do índice de resistência a penetração  $N_{SPT}$ , o desejável seria que fosse possível, cravar o amostrador exatamente no mesmo ponto em duas situações de umidades diferentes. Obviamente que isto é impraticável, pois a perfuração, cravação ou escavação é única. Todo o perfil é removido à medida que o amostrador avança, e jamais este perfil poderá ser reconstituído ou mesmo reproduzido fielmente suas características, por nenhuma técnica. Para buscar a repetição do perfil do solo em nova perfuração, a variação das camadas do perfil é indesejada, portanto, quanto mais próximo são os furos, maior similaridade terá. Porém a perfuração causa uma desestabilização e alívio de tensões laterais na proximidade do perímetro do furo em toda a sua extensão. Um furo muito próximo poderá ser influenciado por estas mudanças na estrutura de entorno indicando menor  $N_{SPT}$ . A NBR 6484 (ABNT, 2020) estabelece que em caso do procedimento de ensaio antes de atingir a profundidade de 3 m, o amostrador padrão não avançar com a aplicação de cinco golpes sucessivos do martelo (item 5.2.3.11.b), a sondagem deve ser deslocada no mínimo duas vezes para posições diametralmente opostas a 2 m da sondagem inicial (item 5.2.4.7). Portanto a distância mínima de 2 m entre os furos, garante que não haverá perturbação no solo provocada pela furação vizinha.

A realização de uma sondagem SPT pode levar dois dias por furo a depender da profundidade e do tipo de solo, exige a mobilização de uma equipe de até 4 operadores, veículo para transporte e equipamento pesado, isto representa um custo considerável. Em função disto o número de ensaios numa campanha de sondagens deve ser representativo, mas não inviável economicamente. A NBR 8036 (ABNT, 1983) estabelece que em quaisquer circunstâncias o número mínimo de sondagens deve ser de dois para área de projeção em planta do edifício até 200 m<sup>2</sup> e três para área entre 200 m<sup>2</sup> e 400 m<sup>2</sup>. Adotado o

número de três sondagens por evento atendendo a NBR para um hipotético edifício de até 400 m<sup>2</sup>. Conforme a Figura 8 de locação das sondagens, os furos estão concentrados numa área de 19 m<sup>2</sup>. O posicionamento planejado para as sondagens foi de três pontos não colineares com distância mínima de 2 m entre eles.

Figura 8 – Disposição e distâncias entre as sondagens realizadas nas duas campanhas.



Fonte: ArcGeo (2024), adaptado pelo autor.

O número de 3 sondagens para cada situação de umidade atendeu o propósito do trabalho. Apesar da possibilidade de variabilidade de resultados, devido a fatores já citados no Capítulo 2, usar três medições forneceu uma média representativa e permitiu identificar valores discrepantes.

### 3.2 ENSAIO DE INFILTRAÇÃO

Conforme Gitirana Junior *et al.* (2012) os solos que infiltram estão, na maioria das situações, na condição não saturada. A infiltração é promovida por: a) a proximidade com a

superfície do terreno, submetido à evaporação; b) os gradientes de carga hidráulica que determinam o regime de fluxo, especialmente o gradiente correspondente à carga altimétrica; c) a posição do lençol d'água, muitas vezes profundo; d) a não saturação do solo provocada pela sazonalidade pluviométrica anual. Conforme Collischonn e Dornelles (2021), um perfil de solo entre a zona saturada e a superfície está sujeita a processos de infiltração, percolação, ascensão capilar, evapotranspiração e redistribuição interna. A redistribuição interna inclui fluxos verticais e laterais.

Para aumentar o quanto possível o teor de umidade no solo nas sondagens em período chuvoso, realizou-se ensaio de medição da capacidade de infiltração pelo método do infiltrômetro de anéis concêntricos (CAUDURO e DORFMAN, 1990 *apud* COLLISCHONN, 2021). Este ensaio tem objetivo de medir a capacidade de infiltração do solo, mas como efeito direto promove a umidificação do perfil de solo. O equipamento é constituído de dois anéis de chapa metálica com diâmetros variando entre 16 e 40 cm, que são cravados verticalmente no solo a uma profundidade de 15 cm. Aplica-se água em ambos os cilindros mantendo uma lâmina líquida pré-ajustada, sendo que no cilindro interno mede-se o volume aplicado e o nível de água a intervalos fixos de tempo. O cilindro externo tem a função de impedir que a água infiltrada pelo cilindro externo tenha uma percolação lateral (COLLISCHONN, 2021).

Os infiltrômetros utilizados possuíam abastecimento automático dos anéis por um sistema de boias e reservatórios elevados desenvolvidos pela área de Hidrologia da UFOB. Tanto o anel externo de diâmetro 40 cm, como o anel interno de diâmetro 25 cm, foram abastecidos por válvulas boias de caixas d'água. As válvulas boias estando ligadas a reservatórios independentes, tanto abasteceram como controlaram o nível da lâmina de água no interior do anel. O reservatório do anel interno de 25 cm, feito com tubo de PVC diâmetro 150 mm, tem uma escala graduada milimétrica e mangueira de nível externa, que permitiu a leitura do nível de água no interior do mesmo. As leituras da posição do menisco de água na mangueira da escala graduada, a cada intervalo de tempo, geraram uma curva de infiltração. Uma vez que a área do infiltrômetro é conhecida e constante, os dados de volume foram convertidos em lâmina de água. Resultando uma curva da taxa de infiltração da lâmina em função do tempo.

Para aumentar a eficiência do sistema de abastecimento por gravidade foi construído um tripé metálico desmontável, com flanges de sustentação, para cada reservatório graduado. O objetivo do tripé foi de elevar a linha piezométrica do sistema e permitir maiores vazões para atender maiores taxas de infiltração; oferecer maior estabilidade e equilíbrio ao

reservatório principalmente quando montado em terrenos inclinados e/ou ocasiões com ventos acentuados.

Na véspera de iniciar da sondagem do período chuvoso, foi montado o infiltrômetro na posição de cada furo, conforme apresentado na Figura 9. Foi realizado a infiltração e leituras durante 170 minutos e, em seguida, foram deixados os reservatórios reabastecidos, infiltrando sem acompanhamento de taxa de infiltração em cada um deles.

Figura 9 – Infiltrômetros posicionados nos pontos de perfuração das sondagens no período chuvoso.



Fonte: o autor (2024)

Durante realização da sondagem, enquanto já estava sendo executada a sondagem do ponto 1, continuou-se a infiltração nos pontos 2 e 3, apresentados nas Figura 10, e que foram apresentadas suas disposições na Figura 8.

Como a sondagem do ponto 2 só foi concluída no dia seguinte, continuou-se a infiltração no ponto 3 até a eminência do início da execução da sondagem neste ponto.

Não foi realizada a medição de capacidade de infiltração durante a sondagem no período de estiagem para promover a maior diferença de teor de umidade possível entre os dois períodos.

Cabe ressaltar que segundo Sharma *et al.* (1980) *apud* Collischonn (2021), locais com o mesmo tipo de solo e a apenas alguns metros de distância podem apresentar alta variação na capacidade de infiltração de água no solo. Isto se deve a existência de macroporosidade criada por raízes ou organismos vivos.

Figura 10 – Continuação da infiltração nos pontos 2 e 3 e sondagem no ponto 1 em andamento.



Fonte: o autor (2024)

### 3.3 ENSAIOS SPT

Foram feitas duas campanhas de 3 sondagens SPT em épocas distintas (Figura 11). Três “sondagens de seca” no final do período da estação seca em setembro de 2023. Três “sondagens de chuva” final do período da estação chuvosa em março de 2024.

Figura 11 – Ensaio SPT em andamento no CRES-UFOB.



Fonte: o autor (2023)

Os pontos escolhidos para as sondagens foram dispostos em posição não colinear descrevendo um alinhamento triangular em planta (Figura 8). Nas duas campanhas os ensaios foram conduzidos conforme NBR 6484 (ABNT, 2020). O Apêndice A apresenta mais detalhes sobre a metodologia de execução do ensaio.

Para a garantia do teor de umidade natural do solo durante toda a sondagem, foi planejado que todas as sondagens fossem realizadas com o avanço a trado sem circulação de água até atingir o nível de água do lençol freático. E para obter um perfil com maior gradiente de umidade e maior quantidade de dados, que a profundidade fosse até 10 m. Porém a partir do primeiro metro da primeira sondagem o perfil de solo mostrou-se impenetrável para o trado manual tal a sua resistência. Tentou-se o uso do trado mecânico e também não houve sucesso. Conforme a NBR 6484 (ABNT, 2020) quando o avanço da perfuração com emprego de trado helicoidal for inferior a 50 mm após 10 minutos de operação, passa-se ao método de perfuração por circulação de água, também chamado de lavagem. Adotou-se a partir disto o avanço com circulação de água para continuação desta sondagem e todas as demais sondagens subsequentes.

Também na primeira sondagem (“seca” 1), ao atingir a profundidade de 7 m mostrou-se impenetrável à cravação, interrompida a cravação neste ponto, retomado o avanço com circulação de água e continuada a amostragem a partir de 8 m. Finalizada a sondagem “seca” 1 com 10,45 m. Porém no momento de sacar a composição, provavelmente pelos esforços recebidos, uma haste quebrou na rosca ficando retidos no subsolo parte da composição, que foram 3 hastes de cravação de 2 m e o amostrador padrão. Em função deste ocorrido, já cientes da resistência elevada oferecida pelo solo à cravação e para preservar os equipamentos foi redefinida a profundidade a ser atingida de 6 m para os ensaios seguintes.

No interesse da engenharia de fundações, considerando uma hipotética fundação direta por sapata, com carga de 20 tf/m<sup>2</sup> e o lado menor (B) com 2 m, a profundidade de investigação de 6 m, atende a necessidade investigativa se os perfis apresentem  $N_{SPT} \geq 8$ , atentando para a profundidade máxima de 2 m para que seja viável economicamente conforme Rebello (2019). E no interesse do presente trabalho, como os solos não saturados apresentam perfis mais drenados quanto mais próximos da superfície, foi esperado que neste perfil de 6 m é que se encontre maiores variações de teor de umidade entre as estações climáticas do ano, não comprometendo o propósito da pesquisa.

### 3.4 COLETA DE AMOSTRAS APÓS ENSAIO SPT

Em cada metro avançado do amostrador do SPT, foi interrompida cravação, desrosqueado o amostrador da haste, desrosqueada a sapata do amostrador, aberto o amostrador e resgatada a amostra. A amostra foi imediatamente separada em duas partes e colocada em sacos plásticos conforme Figura 12. Uma parte menor seguiu para identificação tátil-visual. Uma maior parte de cerca de 150 g, teve o saco lacrado e colocado dentro de uma caixa térmica. Foi importante para amostra não aquecer e preservar a umidade até o momento do teste de teor de umidade.

Figura 12 – Amostras coletadas do amostrado condicionadas em saco para preservar umidade



Fonte: o autor (2023)

A coleta de amostra, seu preparo e determinação do teor de umidade, seguiu os ditames da NBR 6457 – Solos – Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade (ABNT, 2024). Em laboratório da UFOB, no mesmo dia da coleta em campo, foi efetuada três determinações de umidade por amostra (Figura 13a). Cada recipiente previamente pesado recebeu solo na umidade natural de forma que o conjunto massa de solo e recipiente ficaram em torno de 39 g. Levado ao forno com temperatura de 105° e nele mantidas por no mínimo 24 horas (Figura 13b).

Para cada metro de profundidade do perfil de solo foi coletada uma amostra. Cada amostra teve três partes de cerca de 30g pesadas para se obter média do teor de umidade.

Após o período de secagem em estufa as amostras foram pesadas novamente para verificar a variação correspondente a perda de água, determinou-se assim o teor de umidade com a média dos 3 ensaios realizados por metro de perfil da cravação do SPT.

Figura 13 – Determinação do teor de umidade das amostras



(a) divisão das porções de solo

(b) amostras em estufa

Fonte: o autor (2023)

### 3.5 COLETA DAS AMOSTRAS INDEFORMADAS

Após a primeira sondagem “seca” 1, foi aberto uma trincheira de 3 m de profundidade para a coleta de 3 amostras de solo indeformadas para ensaios de caracterização e de resistência ao cisalhamento direto em laboratório. Coletadas 3 amostras na profundidade de 1 m (Figura 14), 2 m e 3 m, conforme NBR 9604 (ABNT, 2016).

Figura 14 – Coleta de amostra indeformada



(a) profundidade de um metro

(b) etapa de preservação da amostragem

Fonte: o autor (2023)

O ponto da coleta da amostra foi identificado por “0” na cor vermelho na Figura 8. Quando feita a escavação, com auxílio de um trator retroescavadeira (Figura 15), para coleta de amostras indeformadas, conseguiu-se resgatar as três hastes de cravação e amostrador do equipamento que haviam ficados retidos no subsolo do primeiro ensaio executado.

Figura 15 – Escavação para coleta de amostra indeformada auxiliada por retroescavadeira.



Fonte: o autor (2023).

Conforme a Figura 8 e 16, a menor distância entre as sondagens da estação seca foi de 3,39 m e a maior foi de 5,50 m. A menor distância entre as sondagens da estação chuvosa foi de 2,62 m e a maior foi de 4,07 m. Na figura 8, os pontos representados de 1 a 3 na cor amarela foram executados na estação seca e os pontos de 1 a 3 na cor verde foram executados na estação chuvosa.

Figura 16 – Foto aérea do local de sondagens com marcação de todos os pontos.



Fonte: o autor (2024).

Nas sondagens executadas na estação chuvosa, apesar do solo já estar com perfil naturalmente úmido pela própria infiltração de água de chuva, aumentou-se a carga hidráulica de infiltração, dentro da taxa de máxima capacidade de infiltração através do ensaio de infiltração descrito no item 3.2.

## **3.6 ENSAIO DE LABORATÓRIO**

### **3.6.1 Preparação das amostras e ensaios de caracterização**

Foram realizados ensaios de caracterização para as três amostras coletadas das profundidades de 1 m, 2 m e 3 m. Os ensaios de caracterização englobaram: granulometria, massa específica dos grãos, limites de liquidez e plasticidade.

As amostras foram preparadas e separadas conforme a NBR 6457 (ABNT, 2024) sem secagem previa. Foram separados 2 kg de solo. Contando que foram necessários em termos de peso bruto máximo, em torno de 200 g para limite de liquidez e limite de plasticidade, 500 g para massa específica dos sólidos e 1kg para ensaio granulometria por peneiramento e sedimentação. Foram desmanchados os torrões no almofariz utilizando a mão de gral, não havendo quebra de grãos, e posteriormente as amostras foram homogeneizadas.

O ensaio de análise granulométrica foi realizado conforme NBR 7181 – Solo – Análise granulométrica (ABNT, 2016) por meio de peneiramento e sedimentação. 100% das amostras passaram pela peneira # 2,0 mm. Tomou-se 120 g do solo e transferiu-se para um béquer de 250 cm<sup>3</sup> e adicionado 125 cm<sup>3</sup> de solução defloculante de hexametáfosfato de sódio com a concentração de 45,7 g do sal por 1000 cm<sup>3</sup> de solução.

Executada toda a sedimentação conforme preconizado em norma com as devidas leituras densímetro no tempo estabelecido (Figura 17a), passou-se o material na peneira # 0,075 mm. O material foi seco em estufa por 24 horas e procedido o peneiramento fino (Figura 17b), além de determinação do seu teor de umidade.

Posteriormente foi calibrado o densímetro com a proveta de 1000 cm<sup>3</sup> e a mesma mistura de defloculante em água destilada. Realizadas as leituras nas temperaturas exigidas.

Foi realizado o ensaio de Limite de liquidez (LL) conforme a NBR 6459 – Solo – Determinação do limite de liquidez (ABNT, 2016), Figuras 18a e 18b, e o ensaio de Limite de plasticidade (LP) conforme NBR 7180 – Solo – Determinação do limite de plasticidade (ABNT, 2016), Figuras 18c e 18d.

Figura 17 – Ensaio de granulometria



(a) sedimentação



(b) peneiramento fino

Fonte: o autor (2024)

Figura 18 – Determinação dos limites de Atterberg



(a) preparação do LL

(b) execução do LL

(c) preparação do LP

(d) execução do LP

Fonte: o autor (2024)

O ensaio de massa específica dos sólidos foi realizado conforme NBR 6458 – Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água (ABNT, 2016), conforme Anexo B (da norma citada) – método de determinação da massa específica dos grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm, por meio de picnômetro (Figura 19).

Figura 19 – Determinação da massa específica dos grãos



(a) aplicação do vácuo  
Fonte: o autor (2024)

(b) adição de água e pesagem

(c) pesagem após repouso

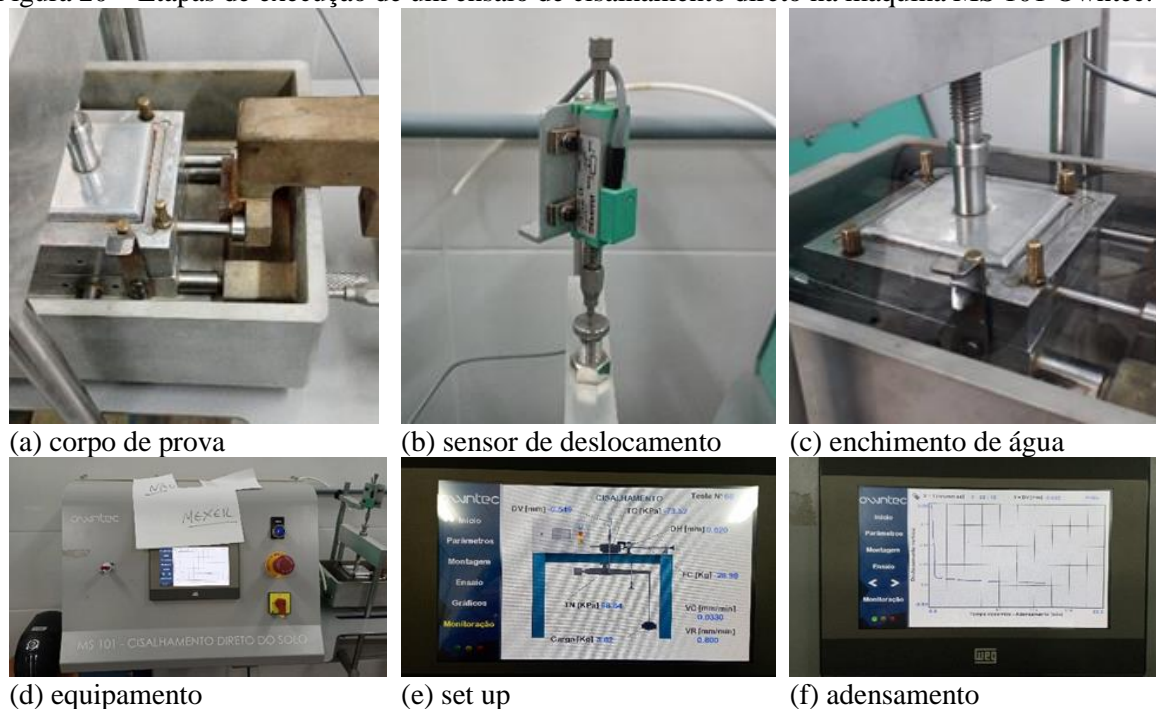
### 3.6.2 Ensaio de Cisalhamento Direto

Para a determinação da resistência ao cisalhamento do solo das amostras indeformadas foi realizado o ensaio de cisalhamento direto. Os ensaios foram executados no Laboratório de Solos da UFOB com o equipamento MS 101 – Aparelho de Cisalhamento Direto do Solo – Eletrônico da marca Owntec. A máquina é dotada de sensor de deslocamento horizontal e vertical e uma célula de carga para medir as forças aplicadas (Figura 20). As leituras de tensão e deslocamento são feitas de forma automática conforme o intervalo de tempo regulado na máquina.

Como este ensaio ainda não é normalizado pela ABNT seguiu-se a norma D3080/D3080M-11 - *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained* (Método padrão para Ensaio de Cisalhamento Direto de Solos Sob Condições de Drenagem Consolidada) da ASTM (2011)

Foi utilizado molde cortador de amostra com as dimensões de 60 mm x 60 mm x 20 mm. Com auxílio do molde, preparado o corpo de prova que foi talhado a partir do bloco original (Figura 21). O solo não apresentou plasticidade por estar muito seco, ofereceu uma certa dificuldade na preparação dos corpos de prova.

Figura 20 – Etapas de execução de um ensaio de cisalhamento direto na máquina MS 101 Owntec.



Fonte: o autor (2023)

Uma vez colocado o corpo de prova na máquina foi submetido ao adensamento com a tensão normal de ensaio por no mínimo 24 horas com leitura de deslocamento vertical. Isto gerou uma curva de deformação em função do tempo para cada ensaio.

Nos ensaios na condição inundada o corpo de prova foi submerso no início do adensamento. A velocidade de deslocamento horizontal, que é a taxa de cisalhamento, adotada para todos os ensaios foi de 0,033 mm/min, para que a poropressão pudesse dissipar e a condição fosse drenada.

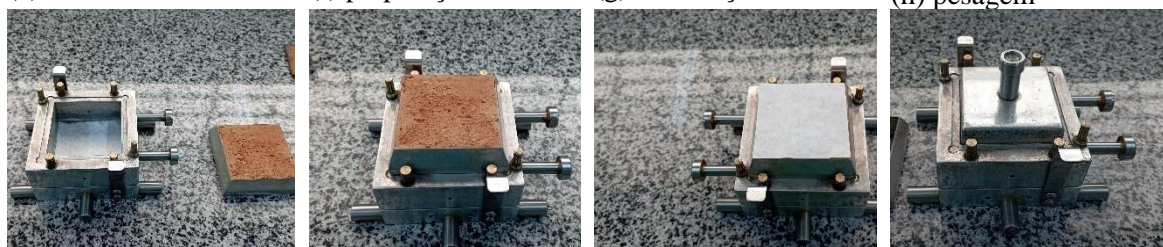
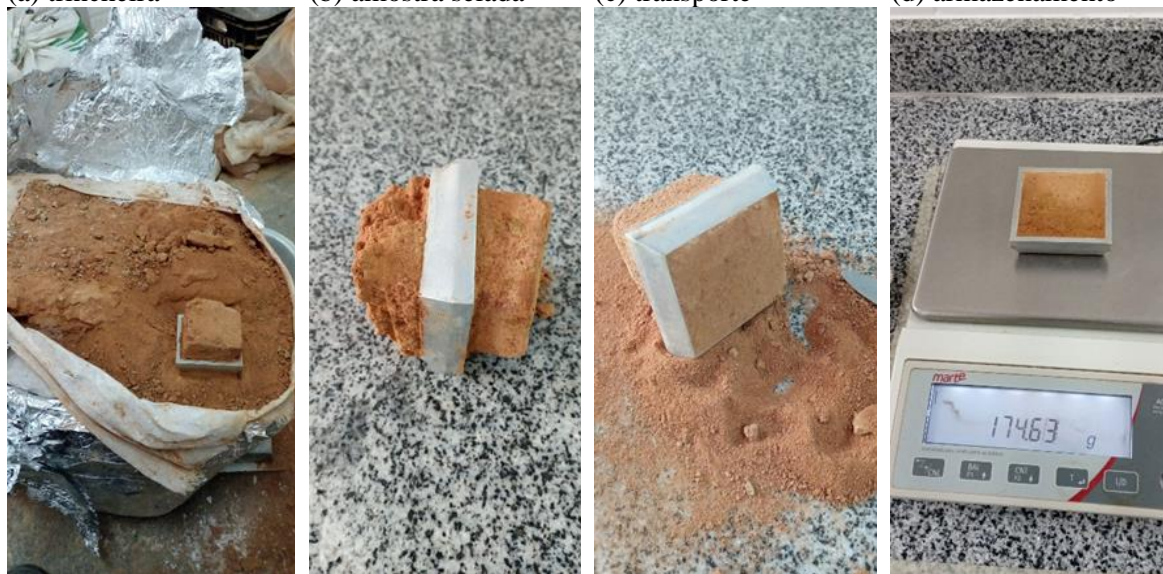
O curso horizontal de cisalhamento foi definido 12 mm, que corresponde a 20% da dimensão do corpo de prova, acima dos 10% mínimos.

O ensaio gerou 6 curvas de tensão deformação com tensão normal de 50 kPa, 100 kPa e 200 kPa, nas condições de umidade natural e inundado, para amostra indeformada de 1 m, 2 m e 3 m, totalizando 18 ensaios. Ou seja, foram obtidas um total de 6 envoltórias de resistência ao cisalhamento, sendo 3 na umidade natural e 3 na condição inundada.

As tensões normais aplicadas foram geradas por múltiplos pesos selecionados e colocados no conjunto para aplicação da carga estática da máquina. O braço de alavanca

amplifica em 10 vezes os pesos colocados e transmite verticalmente sobre o corpo de prova por um bloco de carregamento superior.

Figura 21 – Etapas de preparação de um corpo de prova de cisalhamento em amostra indeformada.



Fonte: o autor (2023)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados inicialmente pelos ensaios de campo tipo SPT e ensaios de infiltração e posteriormente ensaios de laboratório, englobando caracterização e resistência ao cisalhamento.

### 4.1 ENSAIO SPT

Nessa seção serão discutidos os tipos de solos encontrados a partir dos ensaios SPT, o perfil de resistência a penetração do amostrador padrão na estação seca e chuvosa (após ensaio de infiltrômetro de anel), bem como o efeito da umidade nos resultados. Os boletins de sondagem na íntegra são apresentados no Anexo A (estação seca) e Anexo B (estação chuvosa). Neles constam os resultados do  $N_{SPT}$  em cada cota do perfil, individualmente em cada 15 cm, a soma dos dois 15 cm iniciais e a soma dos 15 cm finais. Consta também o perfil geológico de acordo com análise tátil visual a partir da amostra retirada do amostrador e a forma como ocorreu o avanço entre as etapas de cravação e amostragem. Para todos os ensaios realizados não foi encontrado o nível d'água no furo, ou seja, o lençol freático do solo em nenhuma sondagem foi alcançado.

#### 4.1.1 Discussões sobre os tipos de solo

A Tabela 3 e Tabela 4 apresentam a classificação dos solos conforme análise tátil-visual dos furos na estação seca e chuvosa respectivamente. Observa-se a predominância de areia siltosa ou silte arenoso nas camadas superiores, de 0 a 1m, seguido de aumento de silte entre e argila de 1 a 5m.

Tabela 3 – Classificação dos tipos de solo conforme análise tátil-visual dos furos estação seca

<b>Perfil (m)</b>	<b>Tipo de solo furo 1</b>	<b>Tipo de solo furo 2</b>	<b>Tipo de solo furo 3</b>
0 a 0,5	Areia siltosa, fina a grossa	Silte arenoso	Areia siltosa, média a grossa
0,5 a 1	Areia siltosa, fina a média	Silte arenoso	Areia siltosa, média a grossa
1 a 2	Areia silto argilosa	Silte argilo arenoso	Areia silto argilosa
2 a 3	Areia silto argilosa	Argila siltosa	Areia silto argilosa
3 a 4	Silte areno argiloso	Argila siltosa	Areia silto argilosa
4 a 5	Areia siltosa, média a grossa	Argila siltosa	Areia silto argilosa
5 a 6	Areia siltosa, média a grossa	Silte argilo arenoso	Areia siltosa média
6 a 7	Areia grossa	Areia siltosa	Areia siltosa fina
7 a 8	Argila silto-arenosa		
8 a 9	Areia siltosa, média a grossa		
9 a 10	Areia siltosa, média a grossa		

Fonte: o autor (2024).

Tabela 4 – Classificação dos tipos de solo conforme análise tátil-visual dos furos estação chuvosa.

Perfil (m)	Tipo de solo furo 1	Tipo de solo furo 2	Tipo de solo furo 3
0 a 0,5	Areia fina a média	Areia siltosa média	Silte arenoso
0,5 a 1	Areia fina a média	Areia siltosa média	Silte arenoso
1 a 2	Silte argilo arenoso	Silte argilo arenoso	Silte arenoso argiloso
2 a 3	Silte argilo arenoso	Silte argiloso	Silte arenoso argiloso
3 a 4	Silte argilo arenoso	Silte areno argiloso	Silte arenoso argiloso
4 a 5	Silte argilo arenoso	Silte areno argiloso	Silte arenoso argiloso
5 a 6	Silte argilo arenoso	Areia siltosa, fina a média	Areia siltosa média
6 a 6,45		Areia siltosa, fina a média	Areia siltosa média

Fonte: o autor (2024).

A sondagem “3 úmida” ofereceu resistência acima das outras duas na mesma estação. Cabe ressaltar que as amostras que saíram do amostrador deste furo estavam mais drenadas e bastante compactas. Segue na Figura 22 da amostra dos perfis que saíram do amostrador ainda compacta e mais drenada, mostra também manchas como alterações de rocha.

Figura 22 – Amostras resgatadas bastante compactas e com machas de alteração de rocha.



(a) perfil 2,45 m

(b) perfil 3,45 m

(c) perfil 4,45 m

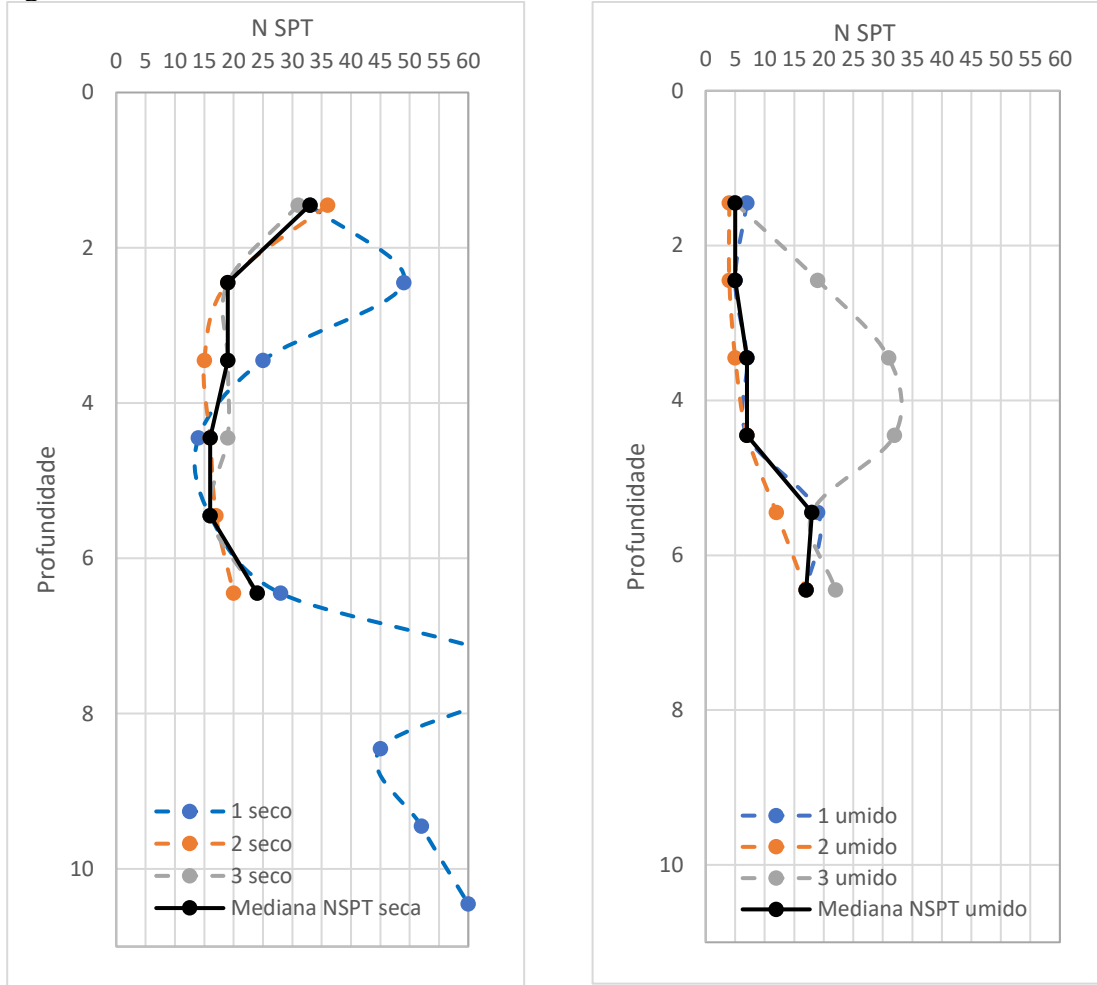
Fonte: o autor (2024).

#### 4.1.2 Resultados do $N_{SPT}$ e o efeito da umidade

Os resultados do número de golpes  $N_{SPT}$  de cada estação climática seca e chuvosa, são apresentados na Figura 23a e b respectivamente, com apresentação da mediana. A mediana foi utilizada pois é menos sensível a valores extremos, representa melhor a tendência central dos dados e utilizada principalmente quando podemos encontrar dados dispersos como pode ocorrer em solos naturais.

A Tabelas 5 e 6 com os resultados das sondagens e seu tratamento estatístico para a estação seca e chuvosa respectivamente,

Figura 23 – Resultados dos ensaios SPT



(a) estação seca

(b) estação chuvosa

Fonte: o autor (2024)

Tabela 5 – Resultados das sondagens em estação seca

z	SPT 1	SPT 2	SPT 3	$\mu$	Md	$\sigma^2$	$\sigma$	CV
1,45	33	36	31	33	33	4	2	6
2,45	49	19	19	29	19	200	14	49
3,45	25	15	19	20	19	17	4	21
4,45	14	16	19	16	16	4	2	13
5,45	16	17	16	16	16	0	0	3
6,45	28	20	24	24	24	11	3	14

Fonte: o autor (2024)

Tabela 6 – Resultados das sondagens em estação chuvosa

z	SPT 1	SPT 2	SPT 3	$\mu$	Md	$\sigma^2$	$\sigma$	CV
1,45	7	4	5	5	5	2	1	23
2,45	5	4	19	9	5	47	7	73
3,45	7	5	31	14	7	140	12	82
4,45	7	7	32	15	7	139	12	77
5,45	19	12	18	16	18	10	3	19
6,45	17	17	22	19	17	6	2	13

Fonte: o autor (2024)

em que:

$z$	=	Profundidade, em m;
$\mu$	=	Média em ( $N_{SPT}$ ), adimensional;
$Md$	=	Mediana em ( $N_{SPT}$ ), adimensional;
$\sigma^2$	=	Variância em ( $N_{SPT}$ ) <sup>2</sup> , adimensional;
$\sigma$	=	Desvio Padrão ( $N_{SPT}$ ), adimensional;
$CV$	=	Coeficiente de Variação, em %.

O fato de o nível d'água não ter sido encontrado em nenhuma sondagem indica que o lençol freático está mais profundo que as cotas da cravação. Abaixo da cota de 10,45 m na estação seca e abaixo da cota de 6,45 m na estação chuvosa. Esta indicação afere que todos os ensaios foram realizados no horizonte de solo não saturado, entre a superfície e a franja capilar acima do lençol freático.

Pode-se observar variação nos valores do índice de resistência a penetração  $N_{SPT}$  em todo o perfil. Na campanha de sondagem no período de clima chuvoso diminuiu, em relação a campanha no período seco (Figura 24). Isto ocorre pois no período seco a sucção é maior, aumentando a coesão entre as partículas e conseqüentemente aumentado a resistência ao cisalhamento. Comparando a Tabela 5 e 6 pode se observar que as diferenças entre a mediana do  $N_{SPT}$  na estação seca e chuvoso foi de 28 golpes na profundidade 1,45m, 14 golpes na profundidade de 2,45m e 12 golpes na profundidade de 3,45. Esses valores são bastante relevantes, indicando a importância de se realizar esses ensaios em períodos mais desfavoráveis, estação chuvosa.

No entanto, é importante destacar que em areias fofas saturadas a cravação do amostrador padrão do ensaio SPT pode ocasionar liquefação das areias gerando diminuição do  $N_{SPT}$ . O material encontrado na primeira camada apresenta uma compactidade mediana, o que pode ter impactado no  $N_{SPT}$  obtido. Para as demais profundidades o solo apresentou-se compacto ou rijo.

Silva et al (2016) realizaram diversos ensaios, dentre eles SPT com determinação da umidade na Via EPCT no Riacho Fundo, Distrito Federal, Brasil. Os autores observaram que o aumento da umidade está relacionado a diminuição do  $N_{SPT}$ , o que está relacionado a presença de solos colapsíveis na região.

Nota-se que as sondagens do período seco (Figura 24a) têm  $N_{SPT}$  inicial da cota 1,45 m próximos entre si: 33, 36 e 31. Da mesma forma, as sondagens do período chuvoso têm  $N_{SPT}$  inicial próximos entre si: 7, 4 e 5. A escavação da superfície até a cota 1,45 m foram todas executadas sem avanço de água com trado escavadeira manual.

Há um desvio na sondagem “1 seco” na cota de 2,45 m. Foi exatamente neste trecho, entre a cota 1,45 m após a primeira cravação e a cota 2 m ponto de início da segunda cravação, que a tentativa de avanço a trado mostrou-se inviável. Então por um período não controlado tentou-se avançar a trado, e após isto partiu-se para a circulação de água.

Observa-se uma descontinuidade na cota 7,45 m da sondagem “1 seco” isto representa um impenetrável ao amostrador. Os primeiros 15 cm desprezados na contagem para o  $N_{SPT}$ , deu 25 golpes, representados como 25/15 no relatório de sondagem, no segundo trecho de 15 cm após 5 golpes o avanço foi nulo e representados como 5/0, interrompeu-se a cravação e retomou a escavação por circulação de água até a próxima cota de 8 m.

Verifica-se no perfil da sondagem “1 seco” a partir da cota 5,45 m até a cota 10,45 m, um crescimento do índice de resistência a penetração diretamente proporcional a profundidade. Este crescimento relativo à profundidade se apresenta em todas as sondagens tanto no período seco como no período chuvoso. No período chuvoso as curvas são crescentes desde as primeiras cotas e no período seco a partir de 4,45 m.

Conforme Cintra et al. (2013) e Quaresma et al (1998), para correlações com o  $N_{SPT}$ , o índice de resistência à penetração deve ser corrigido para considerar o efeito de confinamento, principalmente em solos arenosos, adotando-se uma tensão confinante como referência. E Belincanta (1998) o aumento da tensão octaédrica provoca um aumento de  $N_{SPT}$ , que não só é sensível à pressão vertical, mas mais ainda às pressões laterais. A pressão geostática é diretamente proporcional com a profundidade e para solos homogêneos o aumento é linear.

Observando a linha de tendencia dos resultados entre os dois períodos, é notável que além da cota 6,45 m começam a convergir.

A título de comparação, buscou-se os outros ensaios SPT previamente realizados em locais próximos no CRES-UFOB. Na construção do Pavilhão de Aulas 2 houve campanha de sondagens SPT na data de 22/02/2008, final de uma estação chuvosa (INMET, 2024). Foram executados 3 ensaios, dois até 4,45 m e um terceiro até 3,45 m (Anexo C). Na construção do Restaurante Universitário e Centro de Convivência houve uma campanha de sondagens por SPT na data de 27/09/2014, no final de uma estação seca (INMET, 2024). E nesta campanha foram executados 5 ensaios, todos eles até 3,45 m (Anexo D).

As duas campanhas foram executadas pela mesma empresa sondadora. No relatório não há informações sobre a forma de avanço e não foi atingido o nível d'água. Em relação à área dos ensaios deste trabalho, a área do pavilhão de aulas encontra-se à 245 m de distância e -1 m de desnível, e a área do Restaurante Universitário e Centro de Convivência encontra-

se à 93 m de distância e 0,3 m de desnível. Considerando ainda a homogeneidade do solo do Campus é possível arbitrar que são dados correlatos.

A Tabela 7 apresenta os resultados do NSPT com resultado das duas campanhas. Notam-se dois comportamentos em comum com os ensaios anteriores:

- o crescimento do valor de  $N_{SPT}$  diretamente proporcional á profundidade, e
- o decréscimo do valor do  $N_{SPT}$  na estação chuvosa em relação a estação de seca.

Esses resultados contribuem para confirmar que os resultados obtidos nos ensaios realizados na campanha experimental desse trabalho e alertar para necessidade de realizar os ensaios SPT sempre no período chuvoso.

Tabela 7 – Resultado de sondagens durante duas obras civis na UFOB

z	Pavilhão de aulas 2					Restaurante Universitário e Centro de Convivência						
	22/02/2008 – Estação Chuvosa					27/09/2014 – Estação Seca						
	SPT1	SPT2	SPT3	$\mu$	Md	SPT1	SPT2	SPT3	SPT4	SPT5	$\mu$	Md
1,45	13	12	13	13	13	26	37	33	27	27	30	27
2,45	19	17	11	16	17	35	52	38	31	31	37	35
3,45	25	27	19	24	25	42	53	46	41	41	45	42

Fonte: o autor (2024)

## 4.2 PERFIL DE UMIDADE

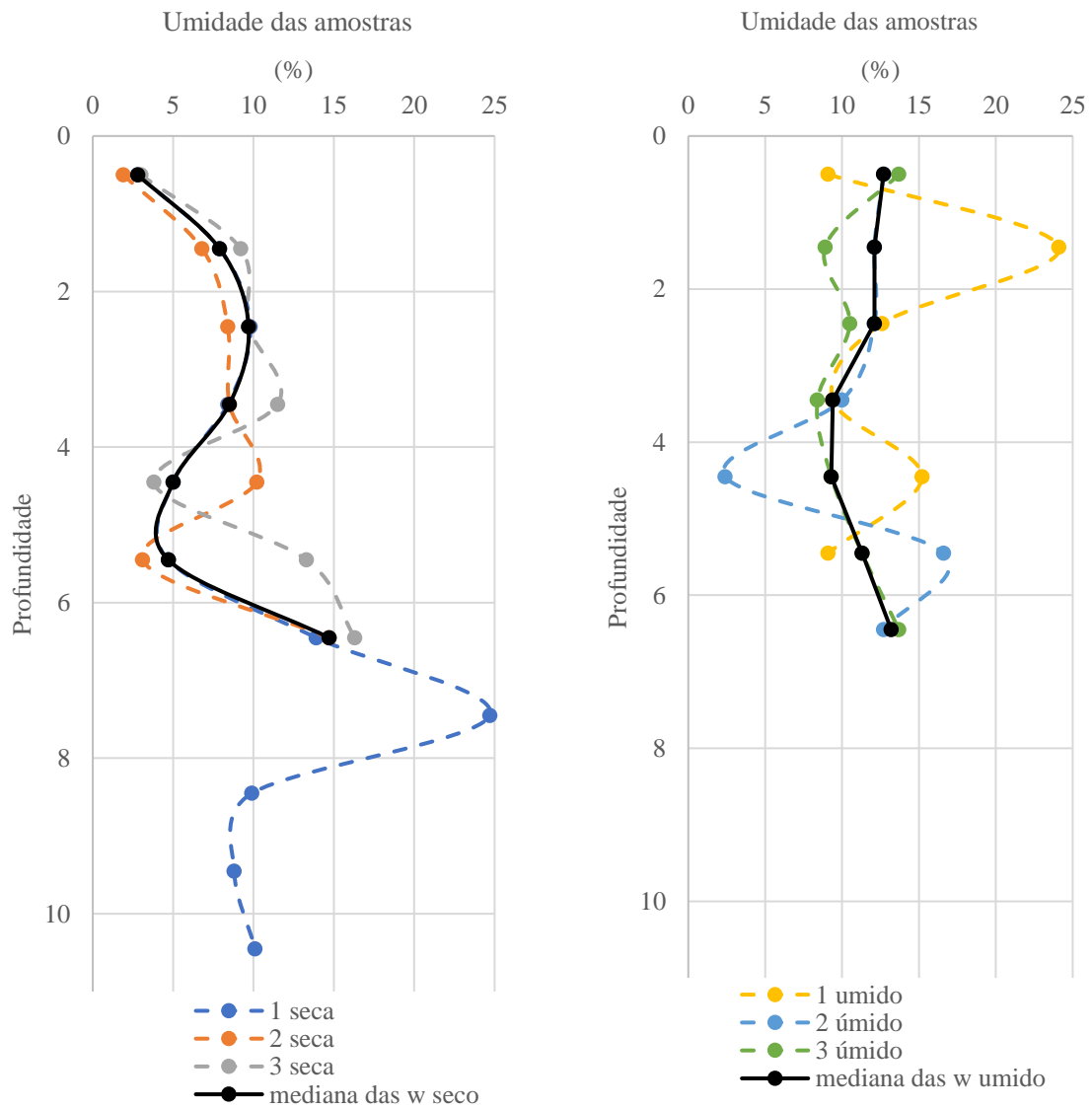
A Figura 24a e b apresenta os teores de umidade obtidos pelo método da estufa de amostras retiradas dos furos de sondagem SPT na estação seca e chuvosa respectivamente, com apresentação da mediana. Nota-se que as curvas de teor de umidade foram maiores no período chuvoso em relação ao período seco.

O ensaio “2 úmido” começou a ser escavado no dia 11/03/2024 e em função do horário foi paralisada a escavação na cota 3,45 m. Foi retomado e finalizado no dia 12/03/2024.

O entendimento e determinação exata do perfil de umidade pode terem ficados comprometidos a partir do uso de avanço por circulação de água acima do nível do lençol freático. Conforme Belincanta (1998) e Schnaid (2014), a circulação de água desagrega as estruturas do solo e altera o teor de umidade. Durante a execução do ensaio algumas amostras quase não puderam ser resgatadas do amostrador por ter muito pouco material em função do excesso de umidade. O avanço com água é defendido por Belincanta (1998) para que seja adotado inclusive como norma, com uso de lama bentonítica para selar os poros do solo na parede do furo. Quando se perde água da recirculação e muito rápido há necessidade de

reposição, é indicativo que no fundo do furo está havendo drenagem e sendo alterado a estrutura e o teor de umidade do solo. Esta influência é corrigida quando é desprezado os 15 cm iniciais da cravação do amostrador, mas em alguns casos, dependendo do tipo do solo e nível de tensões, a interveniência permanecerá. Conta a favor do avanço com a circulação de água que, na diminuição do  $N_{SPT}$ , trabalha a favor da segurança; pode diminuir os efeitos da coesão aparente; e em solos compactados ou coesos não há alternativa economicamente viável para realizar no ensaio.

Figura 24 – Resultados da umidade obtido nos furos SPT.



(a) estação seca  
Fonte: o autor (2024)

(b) estação chuvosa

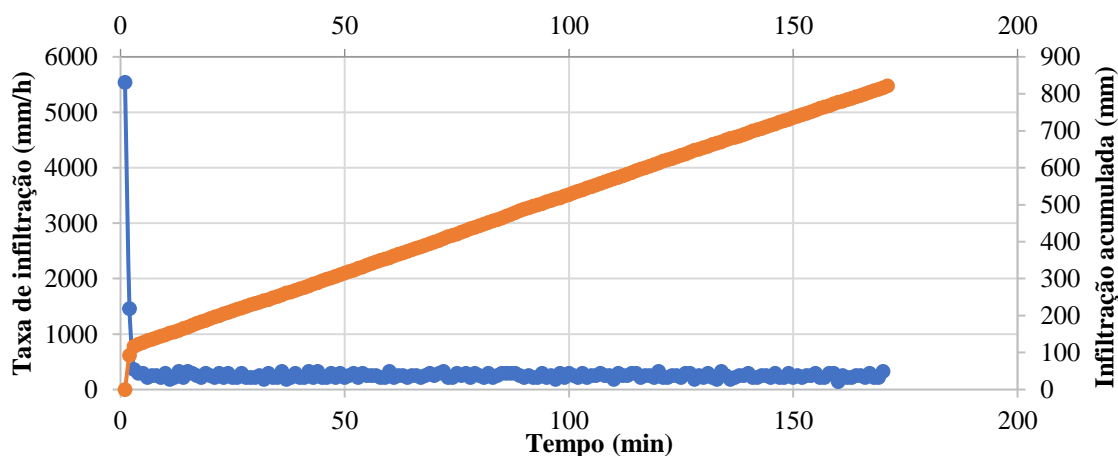
Observa-se que proximidade dos dados da estação seca e chuvosa na cota 6,45 m pode indicar que há menor interferência dos efeitos da infiltração a partir desta cota.

### 4.3 ENSAIO DE INFILTRAÇÃO

Nos ensaios de infiltração realizados previamente às sondagens na estação chuvosa, obteve-se os seguintes resultados aqui separados por pontos de infiltração. Aqui apresentado cada evento ou ensaio de infiltração, com a taxa de infiltração obtida (mm/h) e a Velocidade de Infiltração Básica (VIB), resultados objetivados na idealização deste ensaio. Este ensaio é ferramenta auxiliar na engenharia para avaliar a capacidade de infiltração, se o evento pluviométrico for de intensidade maior que esta capacidade, na presença de declividades do terreno, haverá início de escoamento superficial. A infiltração acumulada (mm) que é um efeito indireto, foi neste momento, o resultado objetivado na realização destes ensaios. A cada ensaio no mesmo ponto as lâminas foram acumuladas e se teve maior potencial e possibilidade de umidificação de um espaço tridimensional do solo. Como o processo de infiltração se dá em todos os sentidos, inclusive para cima por ascensão capilar (COLLISCHONN, 2021), o resultado desejado de infiltração na direção normal (direção da cravação) teve eficiência afetada por fatores como coeficiente de permeabilidade que não é constante em todas as direções. A anisotropia de solos sedimentares provoca permeabilidade na direção horizontal até 15 vezes maiores que na direção horizontal (PINTO, 2013).

As curvas dos gráficos das Figuras 25 a 30, foram construídas com os dados lidos presencialmente do volume infiltrado e do tempo percorrido. Todos os dias ao sair do local foram deixados os equipamentos plenos de água (reservatórios cheios). Este volume que foi também infiltrado na mesma velocidade básica, foi considerado na totalização da lâmina informada no texto. Porém pela ausência das leituras frequentes este volume adicional não entrou nos gráficos. Na Tabela 8, estão totalizadas todas as medições.

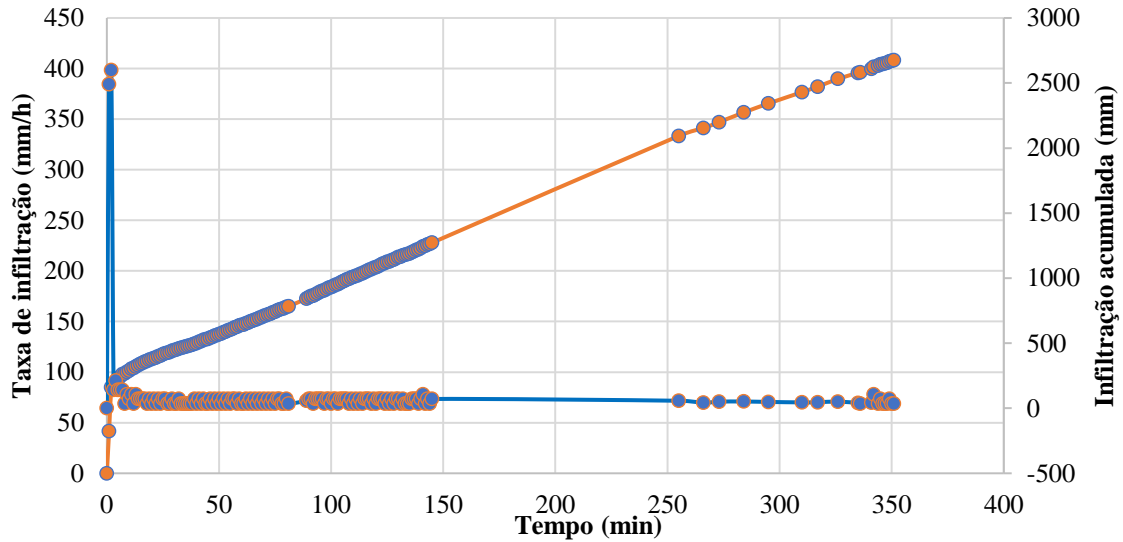
Figura 25 – Infiltração no SPT “1 úmido” dia 10/03/2024



Fonte: o autor (2024)

Taxa de infiltração média 4,2 mm/min e VIB de 250,5 mm/h  
Total infiltrado no ponto antes da sondagem “1 úmido” = 1495 mm.

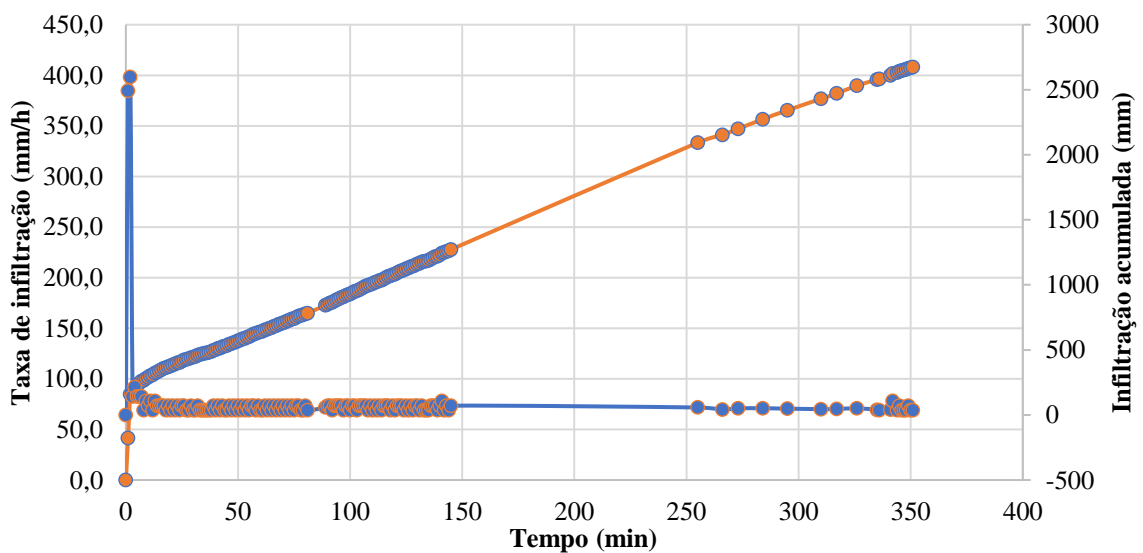
Figura 26 – Infiltração no SPT “2 úmido” dia 10/03/2024



Fonte: o autor (2024).

Taxa de infiltração média 1,1 mm/min e VIB de 66,3 mm/h.  
Total infiltrado neste ensaio = 927 mm.

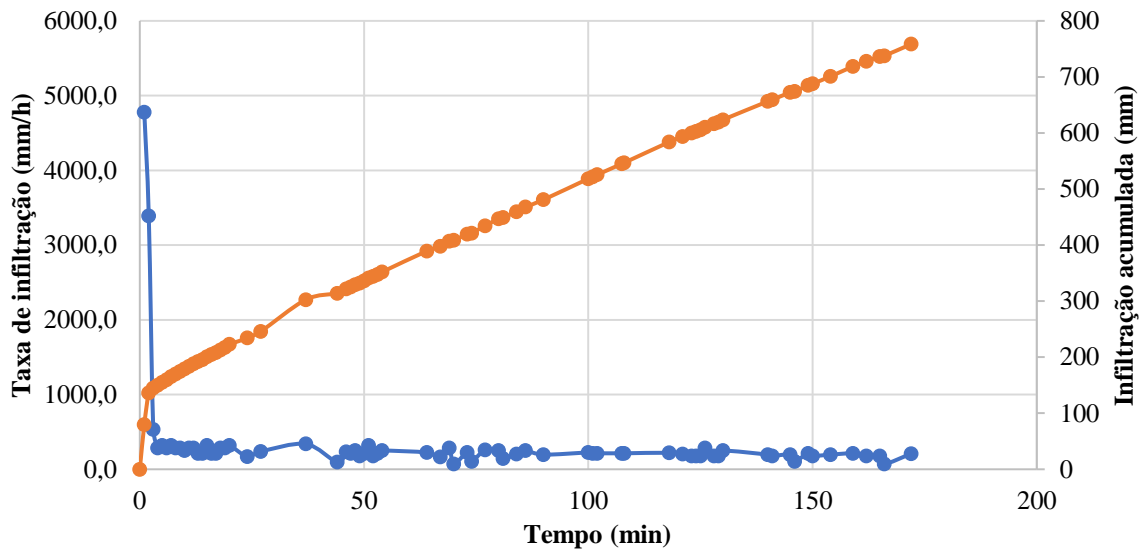
Figura 27 – Infiltração no SPT “2 úmido” dia 11/03/2024



Fonte: o autor (2024)

Taxa de infiltração média 10,9 mm/min e VIB 55,0 mm/h  
Total infiltrado neste ensaio = 494 mm.  
Total infiltrado antes da sondagem = 1421 mm

Figura 28 – Infiltração no SPT “3 úmido” dia 10/03/2024.

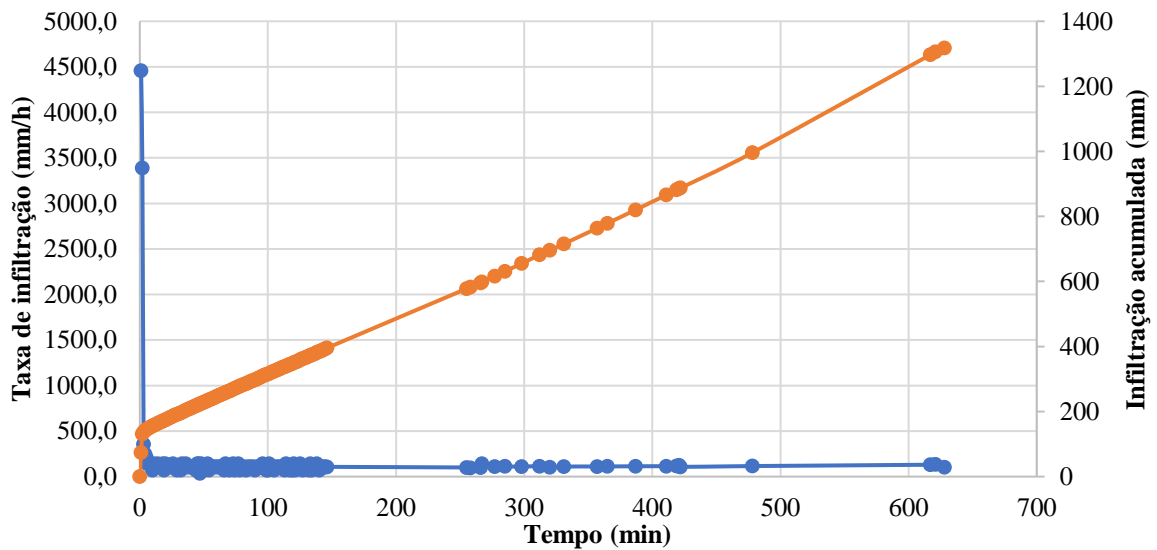


Fonte: o autor (2024).

Taxa de infiltração média 3,2 mm/min e VIB de 194,7 mm/h.

Total infiltrado neste ensaio = 1453 mm.

Figura 29 – Infiltração no SPT “3 úmido” dia 11/03/2024.

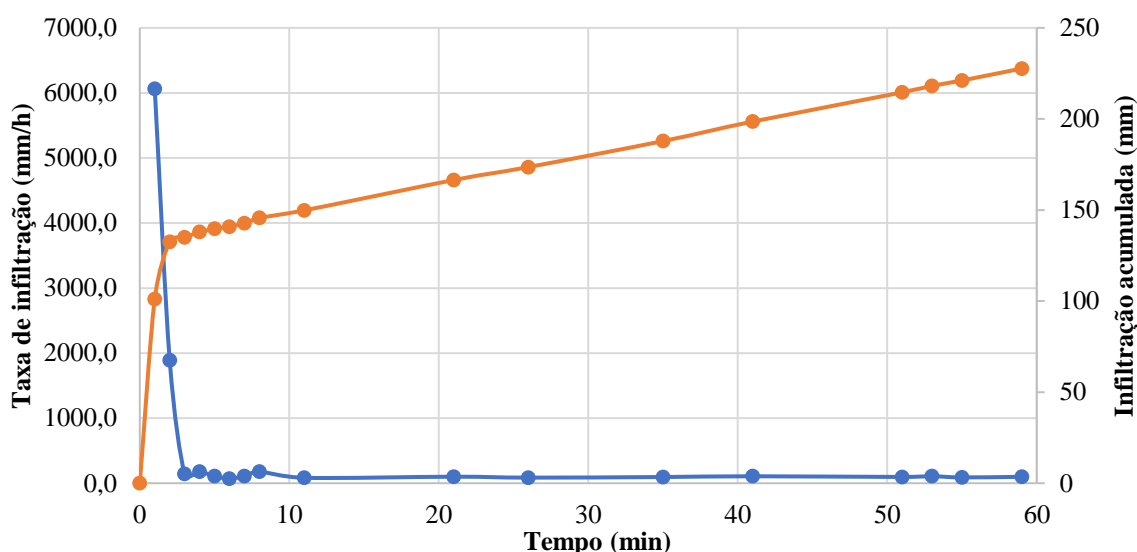


Fonte: o autor (2024).

Taxa de infiltração média 1,8 mm/min e VIB de 107,6 mm/h.

Total infiltrado neste ensaio = 2007 mm.

Figura 30 – Infiltração no SPT “3 úmido” dia 12/03/2024.



Fonte: o autor (2024)

Taxa de infiltração média 1,7 mm/min e VIB 101,9 mm/h

Total infiltrado neste ensaio = 348 mm.

Total infiltrado antes da sondagem = 3808 mm

Tabela 8 – Resultados obtidos com os ensaios de infiltração com infiltrômetro de anéis concêntricos.

Data do ensaio	Ponto SPT “1 úmido”		Ponto SPT “2 úmido”		Ponto SPT “3 úmido”	
	Lâmina aplicada (mm)	VIB (mm/h)	Lâmina aplicada (mm)	VIB (mm/h)	Lâmina aplicada (mm)	VIB (mm/h)
10/03/2024	1495	250,5	927	66,3	1453	194,7
11/03/2024			494	95,0	2007	107,6
12/03/2024					348	101,9
Total infiltrado	1495		1421		3808	

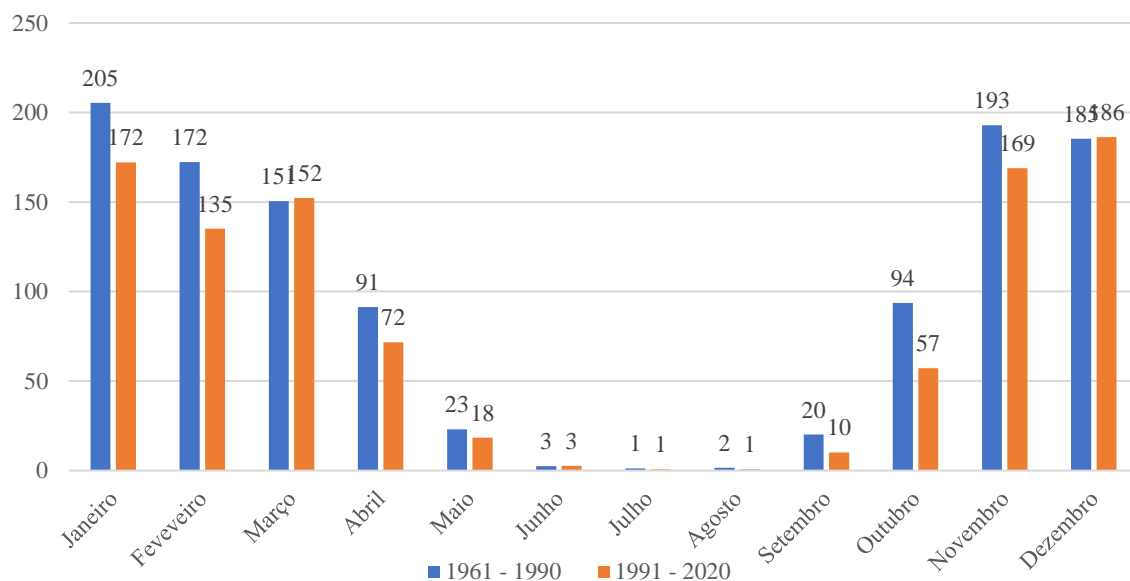
Fonte: o autor (2024)

A Figura 31 apresentamos os dados de precipitação média da estação pluviométrica Barreiras (INMET, 2024).

O maior acumulado de precipitação registrado em 24 horas foi de 153,2 milímetros (mm) em 26 de janeiro de 2015 (INMET, 2024).

As lâminas aplicadas nos três pontos foram superiores a lâminas anuais ou a de chuvas extremas. Mas foram lâminas pontuais num anel de tamanho reduzido. Portanto inferiores em volume do que é obtido com lâminas menores em áreas maiores, e com efeitos diferentes no subsolo.

Figura 31 – Precipitação média mensal em Barreiras – BA.



Fonte: INMET (2024).

O resultado de índice  $N_{SPT}$ , umidade de amostras, exame tátil-visual, e a lâmina aplicada no ensaio de infiltração, apontaram que no ponto de sondagem “3 úmido” teve-se uma baixa eficiência no processo de infiltração adotado.

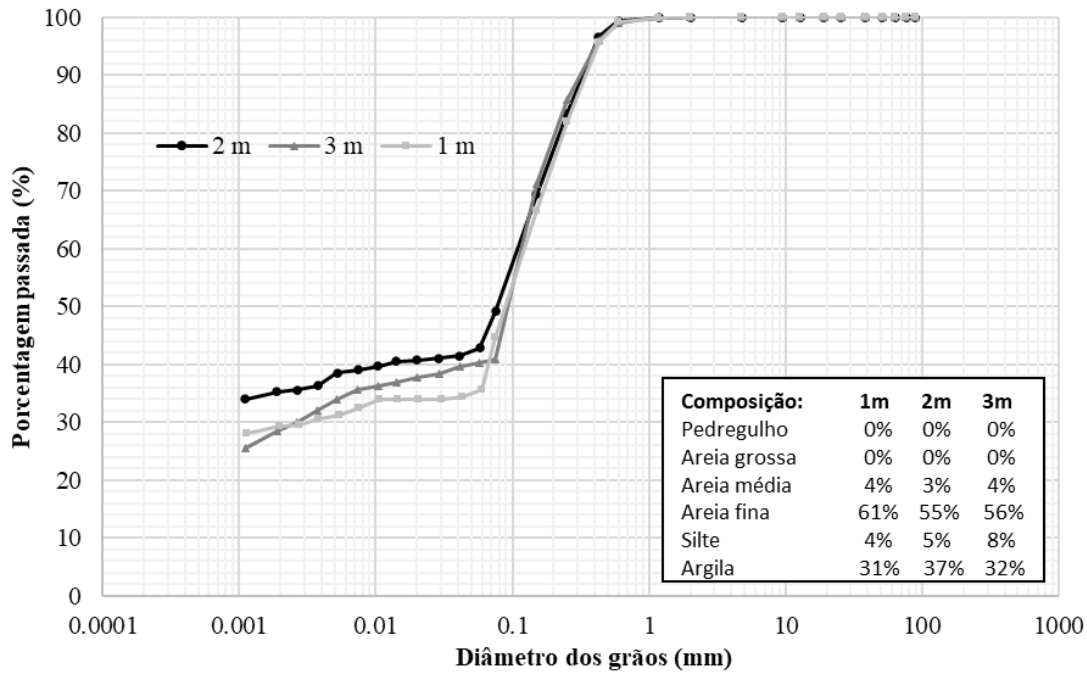
#### 4.4 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO

Foram caracterizados os solos obtidos através das três amostras indeformadas nas cotas de profundidade 1 m, 2m e 3 m. O ponto de coleta está no interior do espaço geométrico delimitado pelos 6 furos de sondagem SPT, marcado como ponto “0” no croqui da Figura 8. Com menor distância para os furos de sondagem 1,8 m e maior distância 6,1 m e dada a homogeneidade visual é esperado que as propriedades físicas sejam equivalentes ou muito próximas a todos os pontos no plano horizontal interceptado pelos furos.

A Figura 32 apresenta os resultados da análise granulométrica das três amostras. As amostras apresentam predominantemente areia fina com mais de 50% dos tamanhos de grãos do solo. Em seguida os grãos de argila se sobressaem em relação ao silte. De modo geral, as três amostras são muito semelhantes em termos de granulometria.

A Tabela 9 apresenta o Limite de liquidez, limite de plasticidade, massa específica dos grãos e classificação do Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS). Observa-se que as amostras são muito semelhantes em termos de índices de consistência, massa específica dos grãos e classificação SUCS.

Figura 32 – Curva granulométrica dos solos.



ABNT	Argila	Silte	Areia			Pedregulho			Pedra	Matacão
USCS	Argila	Silte	Areia			Pedregulho				
MIT	Argila	Silte	Areia			Pedregulho				

Fonte: o autor (2024).

Tabela 9 – Limites de Atterberg das amostras de solo

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)	$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	SUCS
1 m	25	12	13	2,69	SC
2 m	32	20	12	2,64	SC
3 m	29	16	13	2,64	SC

Fonte: o autor (2024)

A quantidade significativa de areia fina proporciona uma boa capacidade de drenagem, mas também pode levar a problemas de coesão se houver muita água. A porção argila é responsável pela plasticidade e pela retenção de água do solo. Essa proporção oferece oportunidade de mistura com a areia, obtendo tanto drenagem quanto coesão. Limite de Liquidez (LL) variando entre 25% e 32%, indica que o solo tem um comportamento plástico razoável em umidade elevada. Limite de Plasticidade entre 12% e 20%, significa plasticidade moderada. O índice de plasticidade (IP) variando entre 12% e 13%, sugere que o solo não é excessivamente plástico, o que é favorável para a construção civil, pois diminui o risco de deformações significativas, mas pode comportar-se de forma menos dúctil quando úmido.

A massa específica dos sólidos entre 2,64 g/cm<sup>3</sup> e 2,69 g/cm<sup>3</sup> está dentro da faixa típica para solos granulares, indicando que os sólidos são densos e bem compactados. Pode

proporcionar um bom equilíbrio entre drenagem e capacidade de suporte. Uma característica de solos SC é de ter boa resistência ao cisalhamento, especialmente quando secos, mas podem perder resistência quando saturados devido à argila. Solo arenoso com proporção com 20% a 40% de argila, possuem grande influência da fração fina no seu comportamento (PINTO, 2016).

#### **4.5 ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO**

Os resultados dos ensaios de cisalhamento direto estão na Figuras 34, 35 e 36 das amostras indeformadas de 1m, 2m e 3m em condição de umidade natural e inundado. São apresentadas as curvas tensão cisalhante x deslocamento horizontal, envoltória de resistência ao cisalhamento e curvas deslocamento vertical x deslocamento horizontal.

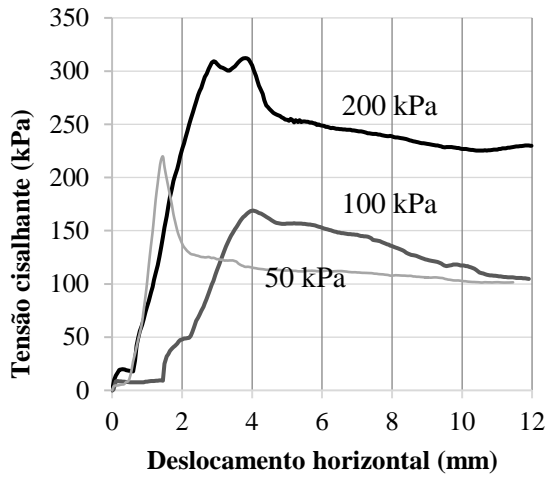
Nos resultados do ensaio de cisalhamento direto obtemos a curva de envoltória de resistência a partir de 3 ensaios com tensões confinante diferentes 50 kPa, 100 kPa e 200 kPa. A Tabela 10 apresenta os ângulos de atrito e as coesões para cada amostra na condição seca e saturada.

Pode-se verificar:

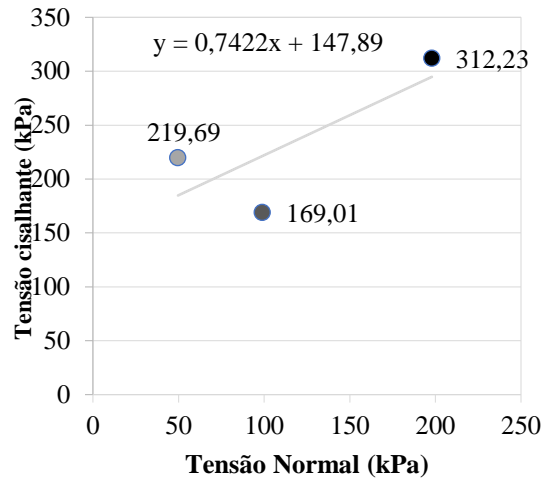
- aumento da resistência proporcional ao aumento da tensão normal;
- a coesão diminui da condição seca para condição inundada;
- os ângulos de atrito diminuem da condição seca para inundada;
- tensões de cisalhamento na condição seca diminuem na condição inundada;
- as curvas de tensão deformação na condição seca apresentam picos que desaparecem na condição inundada;
- as curvas de deslocamento vertical em função do deslocamento horizontal mostram dilatação na condição seca e compressão na condição inundada;
- Os valores de ruptura que forma a envoltória de resistência ao cisalhamento estão dispersos na condição seca quando comparados a condição inundada.

O aumento da resistência proporcional ao aumento da tensão normal é o que define o ângulo de atrito na envoltória de resistência Mohr-Coulomb. Este aumento de resistência é provocado pela maior interligação entre as partículas de solo, aumenta a fricção interna exigindo maior esforço no deslizamento entre as partículas, diminuindo os espaços vazios.

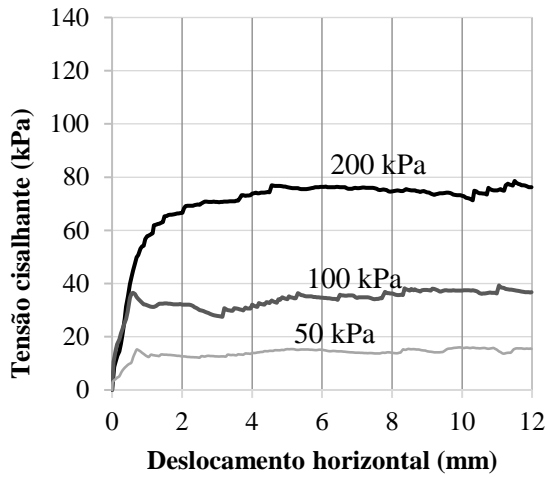
Figura 33 – Resultados dos ensaios de cisalhamento direto seco para 1m



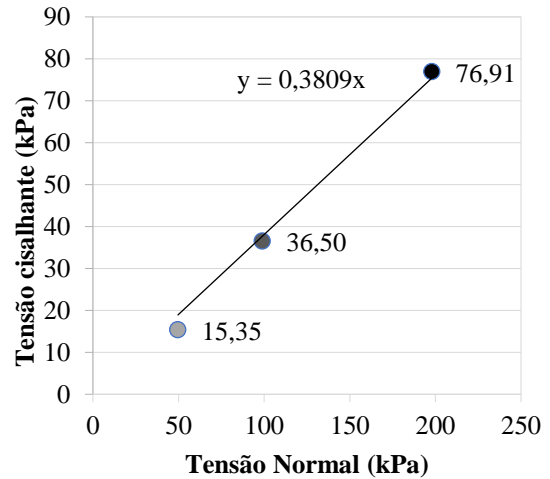
(a) curva tensão cisalhante x deslocamento horizontal seco



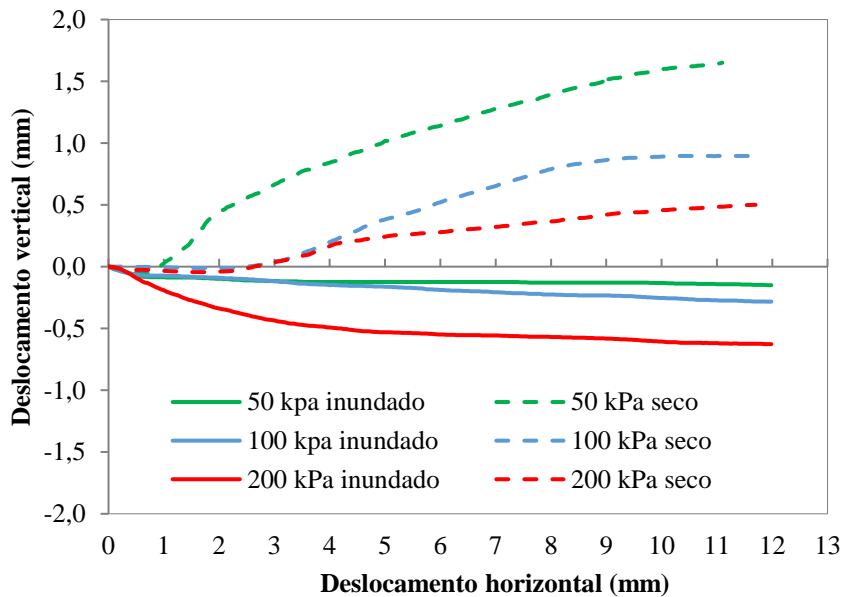
(b) envoltória de resistência seco



(c) curva tensão cisalhante x deslocamento horizontal inundado



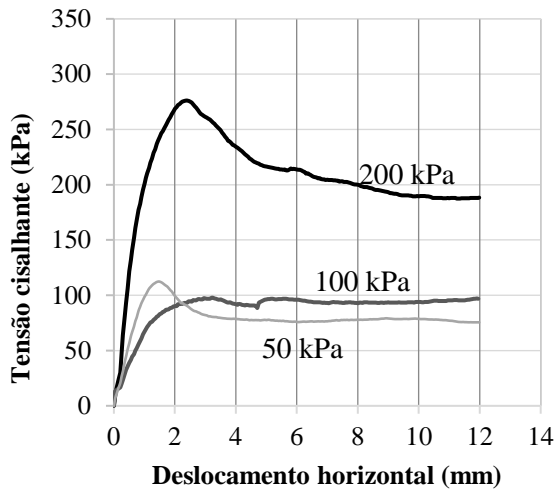
(d) envoltória de resistência inundado



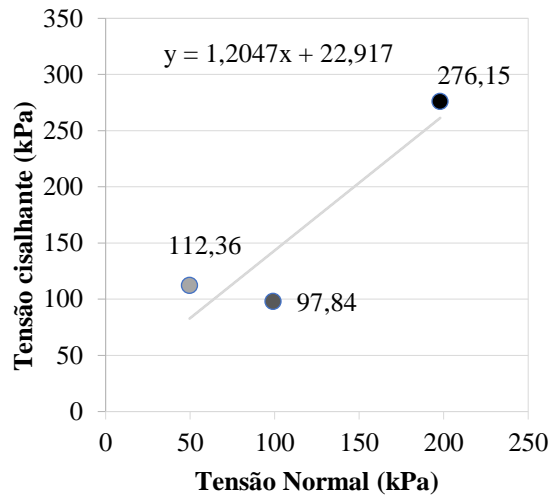
(e) deslocamento horizontal x deslocamento vertical seco e inundado.

Fonte: o autor (2024)

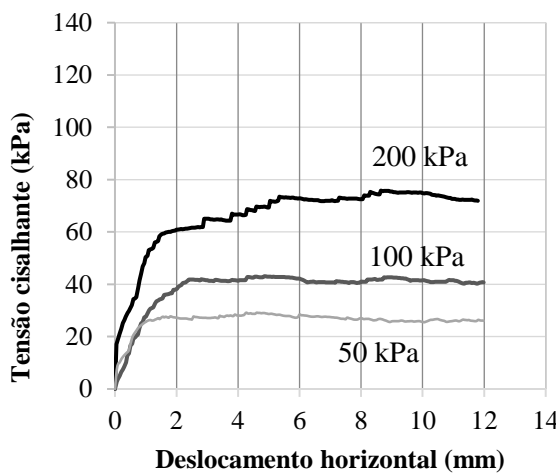
Figura 34 – Resultados dos ensaios de cisalhamento direto para 2m



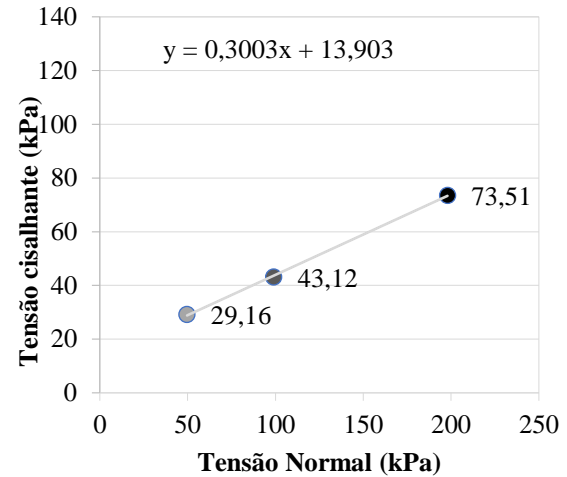
(a) curva tensão cisalhante x deslocamento horizontal seco



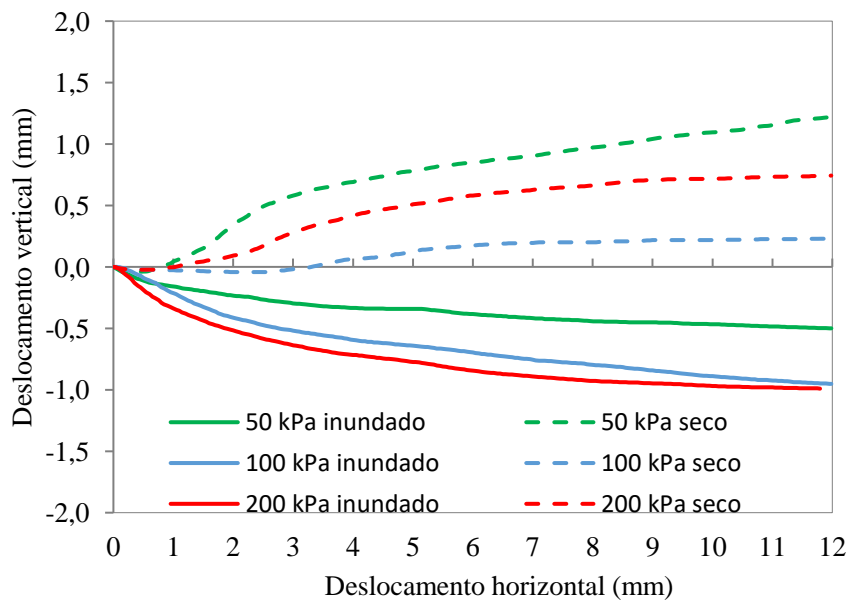
(b) envoltória de resistência seco



(c) curva tensão cisalhante x deslocamento horizontal inundado



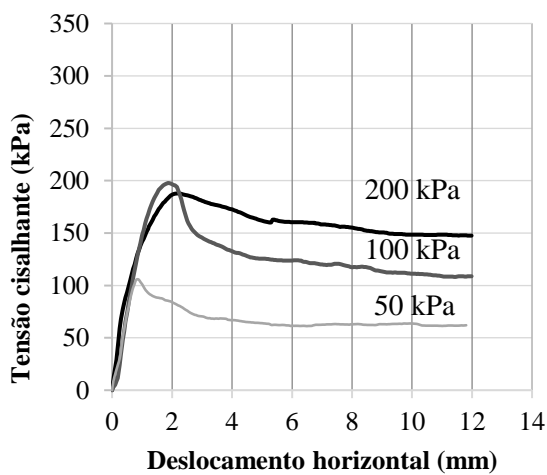
(d) envoltória de resistência inundado



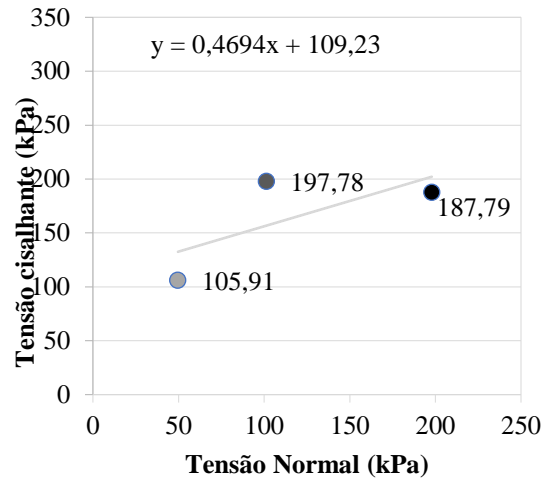
(e) deslocamento horizontal x deslocamento vertical seco e inundado.

Fonte: o autor (2024)

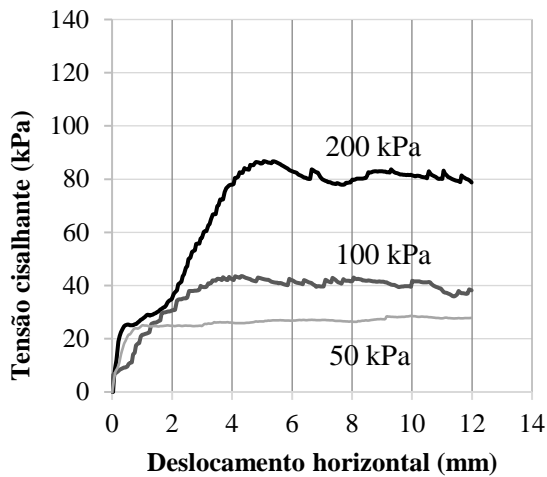
Figura 35– Resultados dos ensaios de cisalhamento direto para 3m



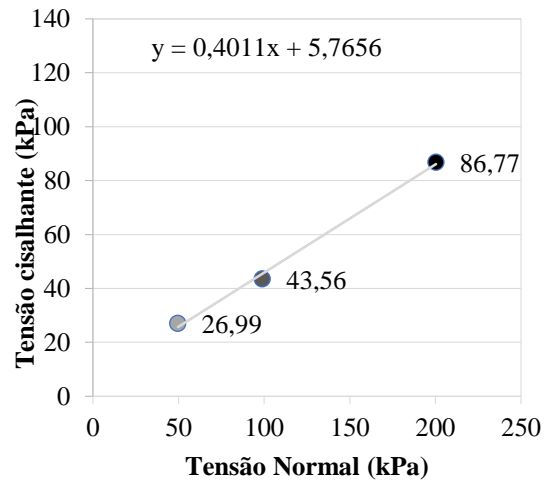
(a) curva tensão cisalhante x deslocamento horizontal seco



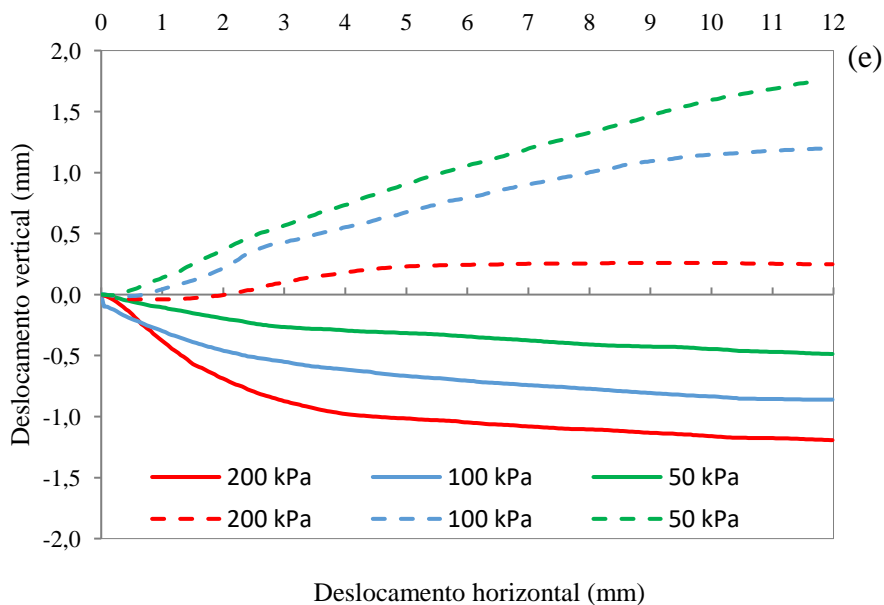
(b) envoltória de resistência seco



(c) curva tensão cisalhante x deslocamento horizontal inundado



(d) envoltória de resistência inundado



(e) deslocamento horizontal x deslocamento vertical seco e inundado.

Fonte: o autor (2024)

Tabela 10 – Coesão e ângulo de atrito obtidos no ensaio.

Amostra	Seca		Inundado	
	c (kPa)	$\varphi$ (°)	c (kPa)	$\varphi$ (°)
1 m	148	37	0	18
2 m	23	50	14	17
3 m	109	25	6	22

Fonte: o autor (2024)

Quando o solo está na condição inundada não há sucção, e não ocorre a película contráctil, pois os vazios estão preenchidos apenas com uma fase (água). Quando o solo se encontra não saturado os vazios estão preenchidos por água e ar, formando a película contráctil, responsável pela sucção. Esta por sua vez promove uma maior coesão entre as partículas, como pode ser observado na Tabela 24.

A reação da água com os minerais desfaz as ligações fracas estabelecidas da coesão aparente estabelecidas quando o solo estava seco. Uma pressão neutra negativa na água é a pressão de sucção que provoca uma tensão efetiva entre os grãos e permite ganho de resistência, temporário, desaparece com a saturação (PINTO, 2013).

Os picos na tensão de ruptura são característicos de areias compactas (PINTO, 2013), as tensões de ruptura crescem mais rapidamente até atingir um valor máximo, justamente por não ter espaços vazios para aceitar facilmente o deslocamento. Esta é também a razão do deslocamento vertical da amostra crescente quando seca por meio do aumento do volume, e quando saturada a falta da coesão permite diminuição os vazios gerando deslocamento negativo, ou seja, há uma compressão.

Os valores mais dispersos na condição seca, podem ser causados pelo ensaio ser feito sem controle da sucção, as ligações aparentes de poro pressão na condição da amostra indeformada pode ser muito representativa no resultado. Enquanto na condição saturada a diminuição das tensões matriciais e permite menor dispersão.

Pode-se comparar o resultado de ângulo de atrito obtido no ensaio de laboratório com o eles calculados a partir de correlações do  $N_{SPT}$  com ângulo de atrito, da equação 4 de Godoy (1983) e a equação 5 de Teixeira (1996) *apud* Schnaid (2014). Para os  $N_{SPT}$  medianos nas mesmas profundidades das amostras temos os resultados na Tabela 25.

$$\varphi = 28^\circ + 0,4 N_{SPT} \quad (4)$$

$$\varphi = \sqrt{20 \cdot N_{SPT}} + 15^\circ \quad (5)$$

Tabela 11 – Ângulos de atrito obtidos em ensaio de cisalhamento direto e por correlações com  $N_{SPT}$ .

Profundidade (m)	Ensaio em umidade natural			Ensaio inundado		
	ECD*	Godoy (1983)	Teixeira (1996)	ECD*	Godoy (1983)	Teixeira (1996)
1	37	41	41	23	30	25
2	50	36	34	17	30	25
3	25	36	34	22	31	27

ECD - Ensaio de Cisalhamento Direto

Fonte: o autor (2024)

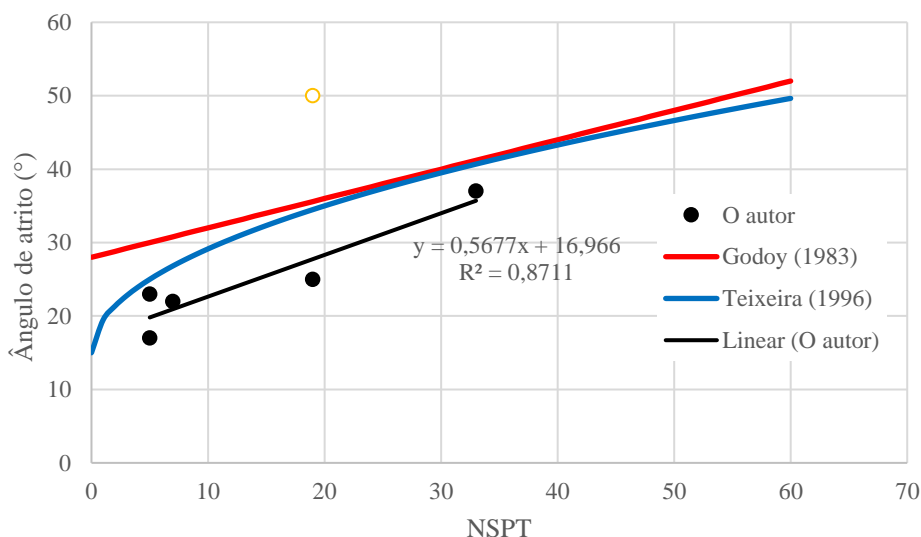
É possível observar que os valores obtidos nos ensaios de cisalhamento direto na condição inundada apresentam resultados sempre menores que das correlações. Na condição de umidade natural apenas uma amostra apresentou valores obtidos pelas correlações mais conservadores. Os resultados obtidos a partir da correlação de Godoy (1983) apresentaram resultados mais discrepantes na condição inundada. Na condição de umidade natural, tanto a equação de Godoy (1983) quanto de Teixeira (1996) apresentou resultados divergentes em relação aos resultados do ensaio de cisalhamento direto em laboratório.

Importante ressaltar que não foram utilizadas correções no valor do  $N_{SPT}$  quanto ao confinamento do solo, bem em termos da energia aplicada (SCHNAID, 2014).

Sendo assim, é apresentado na Figura 36 uma equação relacionando o  $N_{SPT}$  e ângulo de atrito para os dados deste trabalho e equações da literatura. Na equação proposta foi retirado o valor discrepante de ângulo de atrito de  $50^\circ$ , valor esse muito fora do esperado para o tipo de solo em estudo.

Ressalta-se que essa equação deve ser utilizada apenas para estudos prévios e não para dimensionamento, uma vez que a variabilidade de tipos de solos pode ser significativa. Não é recomendado também aplicar essa equação para outras localidades.

Figura 36 – Equação relacionando o  $N_{SPT}$  e  $\varphi$  para os dados deste trabalho e equações da literatura.



Fonte: o autor (2024)

## 5. CONCLUSÕES

Para que a engenharia possa realizar obras econômicas e seguras, a primeira condição é conhecer o solo onde a obra será assentada. Ou quando se tratar de obras de terra, conhecer a qualidade dos materiais com que as obras serão feitas e como se comportam com a presença de água. Prever e evitar catástrofes causadas por deslizamento de encosta e rompimento de barragens também está entre algumas das nobres funções da engenharia. As sondagens de campo complementadas com ensaios de laboratório é uma boa estratégia para identificar os solos e executar projetos de obras com eficiência, segurança e menor custo. Esse trabalho buscou avaliar o efeito da umidade em resultados de campo e laboratório em um solo da cidade de Barreiras, no Oeste da Bahia.

Foi observado que os valores de  $N_{SPT}$  foram significativamente menores na estação chuvosa em comparação com a estação seca. Esta diminuição da resistência á cravação foi provocada pelo aumento do teor de umidade no solo e diminuição da sucção. O fato de não encontrar o lençol freático nas sondagens indica claramente que temos solos não saturados no local. Desta forma, recomenda-se que os ensaios SPT nessa região sejam realizados sempre na condição mais crítica que é a estação chuvosa.

Os ensaios de laboratório mostraram que o material é bastante semelhante em termos dos ensaios de caracterização nas profundidades de 1, 2 e 3m. O material é uma areia argilosa (SC) com predominância de areia fina (entre 55 e 61%) e com IP entre 12 e 13%.

Foram realizadas medições da capacidade de infiltração nos pontos das sondagens no período chuvoso. Com as leituras de capacidade de infiltração obteve-se como resultado altas taxas de infiltração e VIB (velocidade de infiltração básica).

Os ensaios de resistência ao cisalhamento realizados por meio de cisalhamento direto em laboratório confirmam os resultados obtidos em campo. As amostras em condição de umidade natural apresentaram maior coesão e ângulo de atrito em comparação com as amostras em condição inundada. Além disso, as curvas tensão cisalhante x deslocamento horizontal apresentaram pico na umidade natural e dilatação. Em contrapartida a amostra inundada não apresentou resistência de pico e apresentou compressão durante a ruptura.

As correções entre o  $N_{SPT}$  e o ângulo de atrito não se mostraram adequadas para o solo em estudo, tendo em vista que os valores foram geralmente maiores do que os valores encontrados em laboratório. Sendo assim, não se recomenda a utilização dessas correlações sem a utilização de alguma correção prévia.

A partir dos resultados de campo e laboratório foi proposta uma equação que relaciona o  $N_{SPT}$  e o ângulo de atrito para o solo em estudo. Esta equação permite que o projetista avalie previamente a faixa de valores de ângulo de atrito que se espera para esse local. Essa equação não substitui a realização de ensaios de resistência ao cisalhamento em outros locais, não podendo ser utilizada diretamente no dimensionamento de estruturas.

Como sugestões para pesquisas futuras tem-se:

- Aplicar a mesma metodologia para outros locais da região oeste da Bahia, tendo em vista que os solos da região podem diferir consideravelmente do material estudado nessa pesquisa;
- Ampliar a equação proposta para outras localidades na região;
- Realizar os ensaios para solos mais profundos para verificar até que profundidade as diferenças de  $N_{SPT}$  podem ser significativas;
- São necessários mais estudos que envolvam concomitantemente outros métodos de sondagens, para aferir o grau de influência em diferentes métodos. Estudos para entender em quais situações cada método de sondagem é mais adequado ou como podem ser combinados.

Um estudo mais aprofundado pode provocar a recomendação de se fazer campanhas de sondagem preferencialmente em condições de solo úmido, ou seja, concentrados em época de chuvas ou logo após estas. Ou ainda, quando em época de seca elaborar alguma forma de correção a partir do teor de umidade encontrada no perfil.

## 6. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações.** Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 6457: Solos - Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade.** Rio de Janeiro, 2024.

\_\_\_\_\_. **NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 6484: Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2020.

\_\_\_\_\_. **NBR 6502: Solos e rochas – Terminologia.** Rio de Janeiro, 2022.

\_\_\_\_\_. **NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 7181: Solo – Análise granulométrica.** Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação.** Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **BR 7250: Identificação e descrição de amostras de solo obtidas em sondagem de simples reconhecimento dos solos.** Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_. **NBR 8036: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios.** Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_\_. **NBR 9603: Sondagem a trado — Procedimento.** Rio de Janeiro, 2023.

\_\_\_\_\_. **NBR 9604: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas.** Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 13441: Solos e rochas - Simbologia.** Rio de Janeiro, 2021.

ALONSO, U. R. **Exercícios de Fundações.** 2ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

ASTM - American Society for Testing and Materials. (2011). **D3080: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.** West Conshohocken, United States of America, 9 p

BELINCANTA, A. Avaliação dos fatores intervenientes no índice de resistência à penetração do SPT - Volume 1, Tese (Doutorado em Geotecnia, Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 137 p., 1998

BERBERIAN, D. **Sondagens e ensaios in situ para engenharia.** 8ª ed., Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro: COPE, 2012. ISBN: 85-7238-011-6

BICALHO, K. V.; MACHADO, S. L.; GERSCOVIC, D. M. S., Condutividade hidráulica e fluxo em solos não saturados, in: CARVALHO, J.C. et al. (ed.) Solos não saturados no contexto geotécnico. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – ABMS, Cap. 12, p., 2015

BORGES, J. J. DA S. et al. Estudo do efeito da inundação na variação de volume, na resistência de ponta e no módulo de elasticidade de um solo colapsível do Semiárido de Pernambuco. Revista Matéria, v. 21, n. 4, p. 996–1011, 1 out. 2016

BOTELHO, M. H. C. **Princípios da Mecânica dos Solos e fundações para construção civil.** São Paulo: Blucher, 2016.

BOTELHO, M. H. C.; CARVALHO, L. F. M. **Quatro edifícios, cinco locais e implantação, vinte soluções de fundações,** São Paulo: Blucher, 2018

BROMS, B.B.; FLODIN, N., - History of soil penetration testing: Proc 1st International Symposium on Penetration Testing, ISOPT-1, Orlando, 20–24 March 1988 V1, P157–220. Rotterdam: A A Balkema, 1988, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Volume 27, Issue 2, 1990, Page A91, ISSN 0148-9062, [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(90\)95075-C](https://doi.org/10.1016/0148-9062(90)95075-C).

BURGOS, P. C.; CONCIANI, W., Índices físicos, textura, consistência e classificação de solos, in: CARVALHO, J.C. et al. (ed.) Solos não saturados no contexto geotécnico. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – ABMS, Cap. 8, p., 2015

CAMPOS, T. M. P.; MOTTA, M. F. B., Resistência ao cisalhamento de solos não saturados, in: CARVALHO, J.C. et al. (ed.) Solos não saturados no contexto geotécnico. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – ABMS, Cap. 17, p, 2015

CINTRA, J. C. A. **Fundações em Solos Colapsíveis**. 1. ed. São Carlos: Serviço Gráfico da EESC/USP, 1998

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Projeto de Fundações em Solos Colapsíveis**. São Carlos: EESC-USP, 2009

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações por Estacas: Projeto Geotécnico**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. **Fundações Diretas: Projeto Geotécnico**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; TSUHA, C.H.C.; GIACHETI, H.L. **Fundações: ensaios estáticos e dinâmicos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2021

COSTA BRANCO, C.J.M. Notas de Aula – Fundações e Obras de Terra. 2017

CRAIG, R. F. **Mecânica dos Solos**. 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012

DANTAS NETO, Silvrano Adonias. Apostila: Fundações e Obras de Contenção. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2006

DAS, B. M.; SOBHAN, K. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 8ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2019

DAS, B. M. **Princípios de engenharia de fundações**, São Paulo: Cengage Learning, 2016

DÉCOURT, L.; QUARESMA, A. R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores SPT. **In: VI Congresso brasileiro de mecânica dos solos e engenharia de fundações, vol. 1, p.45-54**. Rio de Janeiro, 1978

FERREIRA, S.R.M.; OLIVEIRA J. T. R.; GONZÁLEZ, Y. V., Técnicas de amostragem e preparação de amostras, in: CARVALHO, J.C. et al. (ed.) Solos não saturados no contexto geotécnico. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – ABMS, Cap. 7, p., 2015

FREDLUND, D.G.; MORGENSTERN, N.R. Stress state variables for unsaturated soils. **Journal of the Geotechnical Engineering Division**. ASCE, USA, v. 103, p. 447–466. 1977.

FREDLUND, D. G., RAHARDJO, H., FREDLUND, M. D. (2012). Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley and Sons. 939 p.

FREDLUND, D. G., XING, A. (1994). Equations for the soil-water characteristic curve. **Canadian Geotechnical Journal**, 31 (4): 521-532

GITIRANA JUNIOR, G. F. N.; CARVALHO, J.C.; FERREIRA, S. R. M.; MASCARENHA, M. M. A, O comportamento de solos não saturados submetidos à infiltração, in: CARVALHO, J.C. et al. (ed.) Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais. Brasília: UNB, Cap. 9, p. ,2012

GITIRANA JUNIOR, G. F. N.; MARINHO, F. A. M.; SOTO, M. A. A., A curva de retenção de água de materiais porosos, in: CARVALHO, J.C. et al. (ed.) Solos não saturados no contexto geotécnico. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – ABMS, Cap. 9, p., 2015

GERSCOVICH, D. M. S. Resistência ao Cisalhamento. Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2010

GERSCOVICH, D. M. S. Resistência ao Cisalhamento de Solos não Saturados. Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2012

GERSCOVICH, D. M. S. Fluxo em Solos Saturados. Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2012

HACHICH, W.; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. O.; CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S. **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998.

HIGASHI, R. A. R. **Notas de aulas**. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Curso de graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2016. 161p

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Conheça cidades e estados do Brasil**. [s. l.], 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/barreiras/panorama>. Acesso em: 22 jul. 2022

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)**. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 20 ago. 2024

KÜHN, Vinicius Oliveira. **Resistência ao cisalhamento de um solo tropical não saturado considerando altas succões**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil) - Escola de Engenharia Civil (EEC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, p. 192, 2014

LOPES, Maria Bernadete Luciano. **Influência da sucção na resistência ao cisalhamento de um solo residual de filito de Belo Horizonte, MG.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil/ Rio de Janeiro: PUC, 175 f., 2006

LORENZI, V. **Fundações na Prática.** Cascavel: FSC Treinamentos em Engenharia Civil Ltda, 2022.

MARINHO, F. A. M.; SOTO M. A. A.; GITIRANA JUNIOR G. F. N., Instrumentação de laboratório e campo e a medição da curva de retenção, in: CARVALHO, J.C. et al. (ed.) Solos não saturados no contexto geotécnico. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – ABMS, Cap. 10, p, 2015

MORAES, L. S. **A ocupação e o uso do solo da Bacia do Rio de Ondas em Barreiras-BA: uma abordagem para o planejamento e Gestão Ambiental da Bacia.** 2003. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental) - Pró-reitoria de pós-graduação Stricto Sensu em Planejamento e Gestão Ambiental - Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2003.

NASCIMENTO, Paloma de Souza; BRANDÃO, Paulo Roberto Baqueiro; FERREIRA, Rubio José. A produção do espaço urbano de Barreiras (BA): reflexões sobre as implicações ambientais em áreas de expansão urbana. **Brazilian J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 83297-83310 oct. 2020. ISSN 2525-8761. DOI:10.34117/bjdv6n10-676

ODEBRECHT, E. **Medidas de energia no ensaio SPT.** 2003. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

OLIVEIRA, A. M. dos S; BRITO, S. N. A. de. Geologia de Engenharia. **ABGE, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia Ambiental.** São Paulo, 1998.

OWNTEC SOLUÇÕES EM ENGENHARIA LTDA. Manual MS101 – Aparelho de cisalhamento direto do solo - Eletrônico. Santa Cruz do Sul - RS: Owntec, 2021, 77 p

PASSO, D. P., MARTINS, É. D. S., GOMES, M. P., REATTO, A., CASTRO, K. B. D., LIMA, L. A. D. S., CARVALHO JUNIOR, O. A. & GOMES, R. A. T. (2010). Caracterização geomorfológica do município de Barreiras, Oeste Baiano, escala 1: 100.000. Embrapa Cerrados. Planaltina, DF, 2010.

PALACIOS, A. (1977) The theory and measurement of energy transfer during standard penetration test sampling. Florida. Dissertation for the degree of doctor in philosophy - University of Florida.

PINTO, C. S. (1966) Influência da granulometria das areias na capacidade de carga investigada por meio de modelos. São Paulo. 117p. Tese de doutorado, Escola Politécnica da USP.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 3ª edição São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

QUARESMA, A. R.; DÉCOURT, L.; QUARESMA PILHO, A. R.; ALMEIDA, M. S.S.; DANZIG, F. Investigações Geotécnicas in: HACHICH, W. et al. (ed.) **Fundações: Teoria e Prática**. São Paulo: Pini, Cap. 3, p. 119 – 162, 1998

REBELLO, Y. C. P. **Fundações - Guia Prático de Projeto, Execução e Dimensionamento**. São Paulo: Ziguarte, 2008

ROGERS, J. David - Gow, Mohr, Terzaghi, and the origins of the Standard penetration Test, 2009

SANTOS, Juliana Vieira dos - Aplicação de SIG para análise do perfil geológico geotécnico do campus sede da UFSC e elaboração de cartas de aptidão para fundações utilizando sondagem SPT- 2016

SCHNAID, F. **Ensaio de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**. São Paulo: Editora Oficina de textos, 2000. 189p. ISBN: 978-8-57975-059-5

SCHNAID, F., ODEBRECHT, E **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014

SOUSA, Bruna Oliveira; SOUZA, Lana Kainy Torres. Análise comparativa de ensaios laboratoriais de caracterização de solos e perfis de sondagem SPT (Standard Penetration Test) realizados na cidade de Goianópolis - Goiás. TCC, Publicação ENC. PF-001A/07, Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, GO, 71p. 2019.

SOUZA, Jefferson Murilo Santos de - A influência da compacidade das areias nas correlações entre os ensaios de cone e o SPT, 2009

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

TEIXEIRA, A. H.; GODOY, N. S. Análise, projeto e execução de fundações rasas, in: HACHICH, W. et al. (ed.) Fundações: Teoria e Prática. São Paulo: Pini, Cap. 7, p. 227 – 264, 1998.

VELLOSO, D. de A.; LOPES, F. de R. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004

## APÊNDICE A

### METODOLOGIA DE EXECUÇÃO DO ENSAIO SPT

A norma especifica toda a aparelhagem do ensaio, e indica os pesos e dimensões dos componentes que, não obedecendo estas especificações, interferirão diretamente nos resultados em função da alteração da energia dispendida durante a cravação, o que conseqüentemente falseará o  $N_{SPT}$  buscado. Destacam-se:

- Hastes de perfuração/cravação: tubos de aço ( $D_{ext.} = 33,4 \text{ mm} \pm 2,5 \text{ mm}$  e  $D_{int.} = 24,3 \text{ mm} \pm 2,5 \text{ mm}$ ) e massa teórica de 3,23 kg/m.
- Amostrador-padrão:  $D_{ext.} = 50,8 \pm 2 \text{ mm}$  e  $D_{int.} = 34,9 \pm 2 \text{ mm}$ . Composto por: cabeça com válvula de esfera e dois orifícios laterais, corpo inteiriço ou bipartido e sapata biselada, também conhecido do tipo “Raymond” conforme Figura A1.

Figura A1: Amostrador padrão bipartido aberto com amostra de solo e fechado.



Fonte: Schnaid (2014)

- Cabeça de bater: recebe o impacto direto do martelo, deve ser de tarugo de aço de  $(88 \pm 10) \text{ mm}$  de diâmetro,  $(90 \pm 10) \text{ mm}$  de altura e massa nominal entre 3,5 kg e 4,5 kg.
- Martelo para cravação do amostrador: massa de ferro de forma prismática ou cilíndrica, tendo encaixado, na parte inferior, um coxim de madeira dura (peroba rosa ou equivalente). Pode ser maciço ou vazado, o conjunto deve ter uma massa total de 65 kg.

O primeiro metro de perfuração é cavado a seco, manualmente com uso de trado tipo escavadeira manual de 10 cm de diâmetro, até a profundidade de um metro, é coletado cerca de 100 g de solo escavado para exame tátil-visual (PINTO, 2013).

Um tubo de revestimento de aço  $D_{int.}$  mínimo 63,5 mm á 165 mm pode ser instalado para evitar que o furo desmorone. Na sequência é colocada uma haste de cravação de 2 m (ou 2 x 1m) com o amostrador rosqueado em sua ponta, quando o amostrador padrão é apoiado suavemente no fundo do furo. É rosqueada a cabeça de bater na outra extremidade livre da haste de cravação para permitir que ela receba o impacto do martelo sem danos.

Com auxílio de uma trena, utilizando o tubo de revestimento ou outro ponto como referência, é feita 3 marcas com giz na haste de cravação indicando 15 cm, 30 cm e 45 cm (Figura A2).

Figura A2 – Preparação para cravação do SPT



(a) marcação com giz dos 3 trechos de 15 cm

(b) finalização da cravação de 45 cm

Fonte: o autor (2023)

O martelo é elevado pelo sistema de moitão e roldana presos ao tripé, cabo têxtil com diâmetro de 19 a 25 mm, a uma altura de 75 cm acima da cabeça de bater (Figura A3a). Estes 75 cm para o curso de elevação do martelo, está marcado na haste-guia do próprio martelo, através de um delgamento na circunferência, objetiva facilitar o controle visual na execução do ensaio. Para elevação do martelo, é desenrolada uma quantidade suficiente de cabo do sarilho que permita a descida em queda livre do martelo. A elevação é realizada por 2 ou 3 operadores puxando energicamente o cabo têxtil e assim que atingida a marca na haste-guia é soltado sincronizadamente pelos operadores que deixa cair em queda livre o martelo, que com o impacto na cabeça de bater realiza a cravação. Novos golpes devem ser realizados até atingir a cravação equivalente aos 45 cm marcados anteriormente. Devem ser anotados a quantidade de golpes para cada avanço de 15 cm. A soma do número de golpes dos últimos 30 cm nos dá o valor do índice de resistência a penetração N. Para a sondagem manual a norma não define a frequência dos golpes, porém para o ensaio mecanizado a norma define frequência mínima de 10 golpes por minuto e máxima de quarenta golpes por minuto. Após atingido os 45 cm, a composição é retirada para fora do furo e é recolhido o solo coletado

pelo amostrador para posterior caracterização (Figura A3b). Para avançar os próximos 55 cm de perfuração, estando acima do N.A. usa-se o trado manual e faz-se um avanço a seco. Porém se o solo se apresenta muito resistente, não permitindo o avanço do trado em mais de 50 mm durante 10 minutos de operação, passa-se ao método de avanço por circulação de água. Na circulação de água é substituído o amostrador por um trépano. Neste processo de avanço, o material escavado é removido por meio de circulação de água, realizada pela bomba d'água motorizada por meio da composição de perfuração. A composição, enquanto se está bombeando água através dela, é elevada manualmente pelo operador cerca de 30 cm do fundo do furo e na sua queda, que deve ser acompanhada de movimentos de rotação alternados (vai-vem). A água pressurizada, juntamente com os golpes do trepano em movimentos de vai e vem e de rotação, desagrega o solo que sobe para a superfície suspenso na água que está circulando, voltando para a caixa que alimenta a sucção da bomba.

Figura A3 – Visão geral do ensaio do SPT



(a) martelo batendo no cravador

(b) amostrador aberto com perfil do solo

Fonte: o autor (2023)

Assim que notada a presença de água no furo de sondagem a trado, a perfuração deve ser interrompida para a observação da posição do nível de água. Anota-se a posição do nível de água encontrada no furo de sondagem (ABNT, 2020).

Repete-se todo processo para o avanço de cada metro até a profundidade de investigação desejada.

O ensaio será interrompido caso:

- a) em qualquer dos três segmentos de 15 cm, o número de golpes ultrapassar 30;
- b) o amostrador-padrão não avançar durante a aplicação de cinco golpes sucessivos do martelo.

O ensaio continuará enquanto:

- a) avanço da sondagem até a profundidade estabelecida previamente;
- b) avanço da sondagem até a profundidade na qual tenham sido obtidos 10 m de resultados consecutivos indicando  $N_{SPT}$  iguais ou superiores a 25 golpes;
- c) avanço da sondagem até a profundidade na qual tenham sido obtidos 8 m de resultados consecutivos indicando  $N_{SPT}$  iguais ou superiores a 30 golpes;
- d) avanço da sondagem até a profundidade na qual tenham sido obtidos 6 m de resultados consecutivos indicando  $N_{SPT}$  iguais ou superiores a 35 golpes.

Decorridas no mínimo 12 h após o encerramento da sondagem e retirada do tubo de revestimento, e estando o furo não obstruído, deve ser indicada a posição do nível d'água no furo de sondagem, bem como a profundidade até onde o furo permanece aberto.

O nível de água de água é importante pois alguns tipos de fundações só podem ser executados acima dos mesmos (CINTRA et al, 2013).

Com as amostras obtidas a cada metro até a profundidade de interesse, pode-se identificar as camadas do maciço (tipo de solo e espessura) presentes ao longo do furo de sondagem. Com dois ou mais furos, com proximidade (exemplo a cada 20 m), obtêm-se os chamados perfis do subsolo, muito úteis para o projeto de fundações (CINTRA *et al*, 2013; PINTO, 2013).

Assim, o SPT é um ensaio de penetração dinâmica que consiste de três etapas: I) perfuração, II) amostragem; e III) ensaio penetrométrico. As etapas II e III são simultâneas, enquanto a I é alternada com II/III em cada metro da sondagem (CINTRA *et al*, 2013).

A NBR 6484/2020 determina os itens de uma lista de verificação que devem constar na expressão de resultados no relatório de campo.

Os elementos obtidos nas sondagens são apresentados em desenho denominado de perfil geotécnico, o qual é elaborado para cada furo de sondagem executado (Figura XX), ou em seções do subsolo, conforme for o caso, devendo conter:

- Nome da empresa executora, do interessado, e o visto do engenheiro ou geólogo responsável;

- Diâmetro do tubo de revestimento e do amostrador;
- Número do furo de sondagem;
- Cota da boca do furo;
- Posição das amostras coletadas;
- As profundidades em relação à boca do furo da transição entre camadas e do fim da perfuração;
  - Os índices de resistência à penetração, calculados como a soma de golpes aplicados durante os últimos 30 cm de cravação do amostrador;
  - Indicação dos solos amostrados;
  - Posição do nível d'água encontrado e a data de observação
  - Descrição gráfica dos solos que compõem as diferentes camadas do subsolo, conforme recomendação da NBR 6502/1995;
  - Data de início e fim da sondagem;
  - Indicação dos processos de perfuração empregados (TH – trado helicoidal, CA – circulação d'água) e dos respectivos trechos, bem como as posições sucessivas do tubo de revestimento

ANEXO A

LAUDO DE SONDAGEM DOS ENSAIO SPT EM TEMPO SECO

**CONSULTORIA TÉCNICA**

**Laudo Técnico de Sondagem SPT**  
*(Standard Penetration Test)*

**Contratante:** Afonso Alves Teixeira

**Local:** Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB) –  
Barreiras/BA

**Obra:** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia  
Civil



**ArcGEO**  
PROSPECT



# CONSULTORIA TÉCNICA

Laudo Técnico de Sondagem SPT  
(*Standard Penetration Test*)

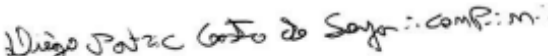
**Contratante:** Afonso Alves Teixeira

**Local:** Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB) –  
Barreiras/BA

**Obra:** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil

RESPONSÁVEL TÉCNICO

**Diêgo Patric Castro de Souza** -| Geólogo | CREA/BA89218



Diêgo P Castro de Souza  
Geólogo  
CREA/BA 89218

**Barreiras - BA, Setembro de 2023**

ARCGEO PROSPECT  
CNPJ: 39.610.064/0001-40  
Rua Planalto, 515, Sandra Regina, Barreiras – BA  
Tel.: (77) 9 9845-6725

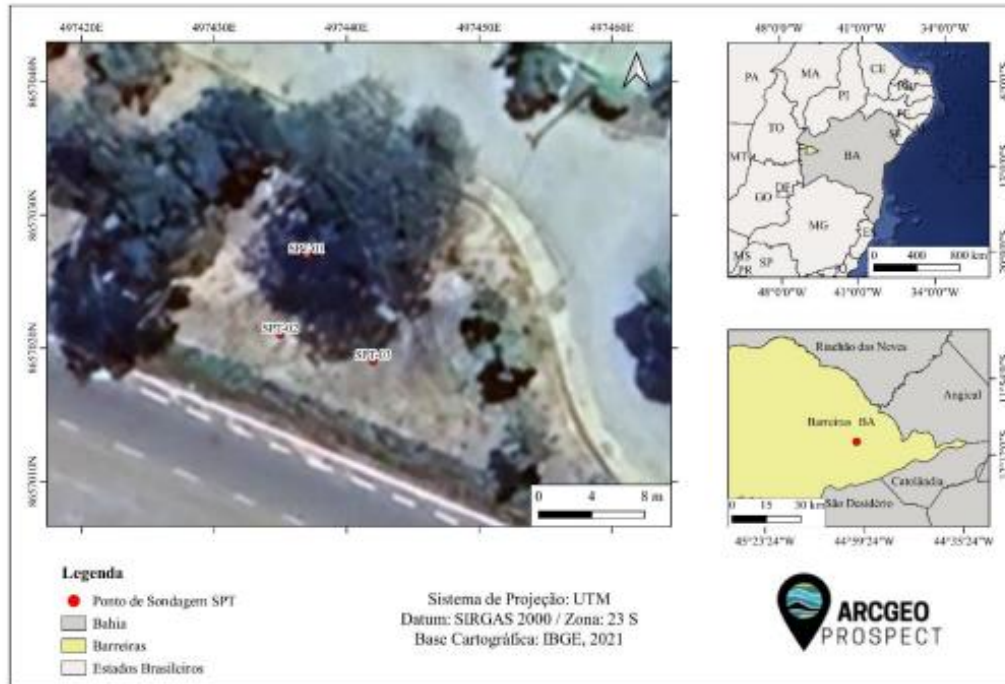
**SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT  
NBR 6484/2020**

**LOCALIZAÇÃO DA SONDAGEM**

**CLIENTE:** AFONSO ALVES TEIXEIRA

**OBRA:** TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA CIVIL

**LOCAL:** UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA (UFOB) - BARREIRAS/BA



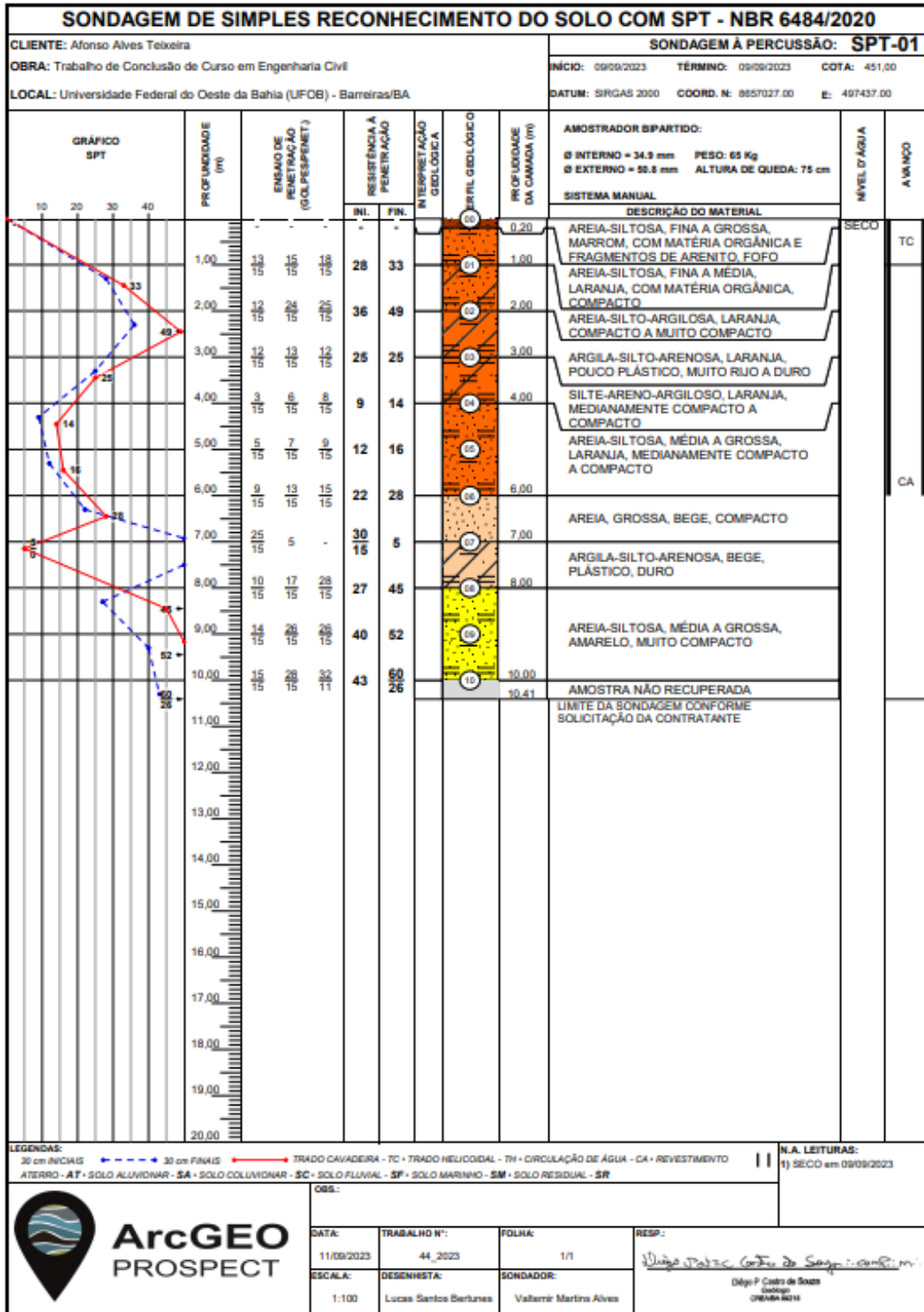
<b>SPT-01</b>	<b>COORD. E:</b> 497437.000	<b>COORD. N:</b> 8657027.000	<b>DATUM:</b> SIRGAS 2000
<b>SPT-02</b>	<b>COORD. E:</b> 497435.000	<b>COORD. N:</b> 8657021.000	<b>DATUM:</b> SIRGAS 2000
<b>SPT-03</b>	<b>COORD. E:</b> 497442.000	<b>COORD. N:</b> 8657019.000	<b>DATUM:</b> SIRGAS 2000



**ARCGEO PROSPECT**  
CNPJ: 39.610.064/0001-40

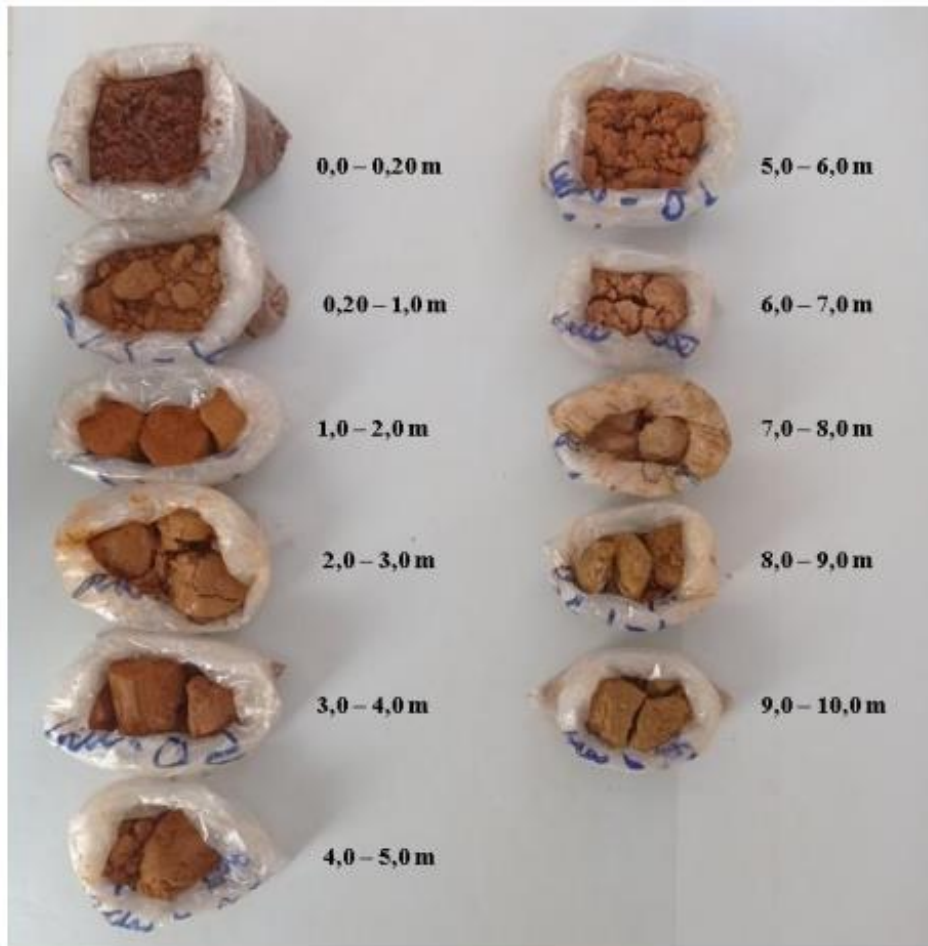
Rua Planalto, 515, Sandra Regina, Barreiras – BA.

Tel: (77) 9 9845-6725  
diego@arcgeoprospect.com



**SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT  
NBR 6484/2020**

<b>MEMORIAL FOTOGRÁFICO</b>			<b>SPT-01</b>
<b>CLIENTE:</b> AFONSO ALVES TEIXEIRA	<b>INÍCIO:</b> 09/09/2023	<b>TÉRMINO:</b> 09/09/2023	<b>COTA:</b> 451,00 m
<b>OBRA:</b> TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA CIVIL	<b>DATUM:</b> SIRGAS 2000	<b>COORD. E:</b> 497437.00	<b>COORD. N:</b> 8657027.00
<b>LOCAL:</b> UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA (UFOB) – BARREIRAS/BA			

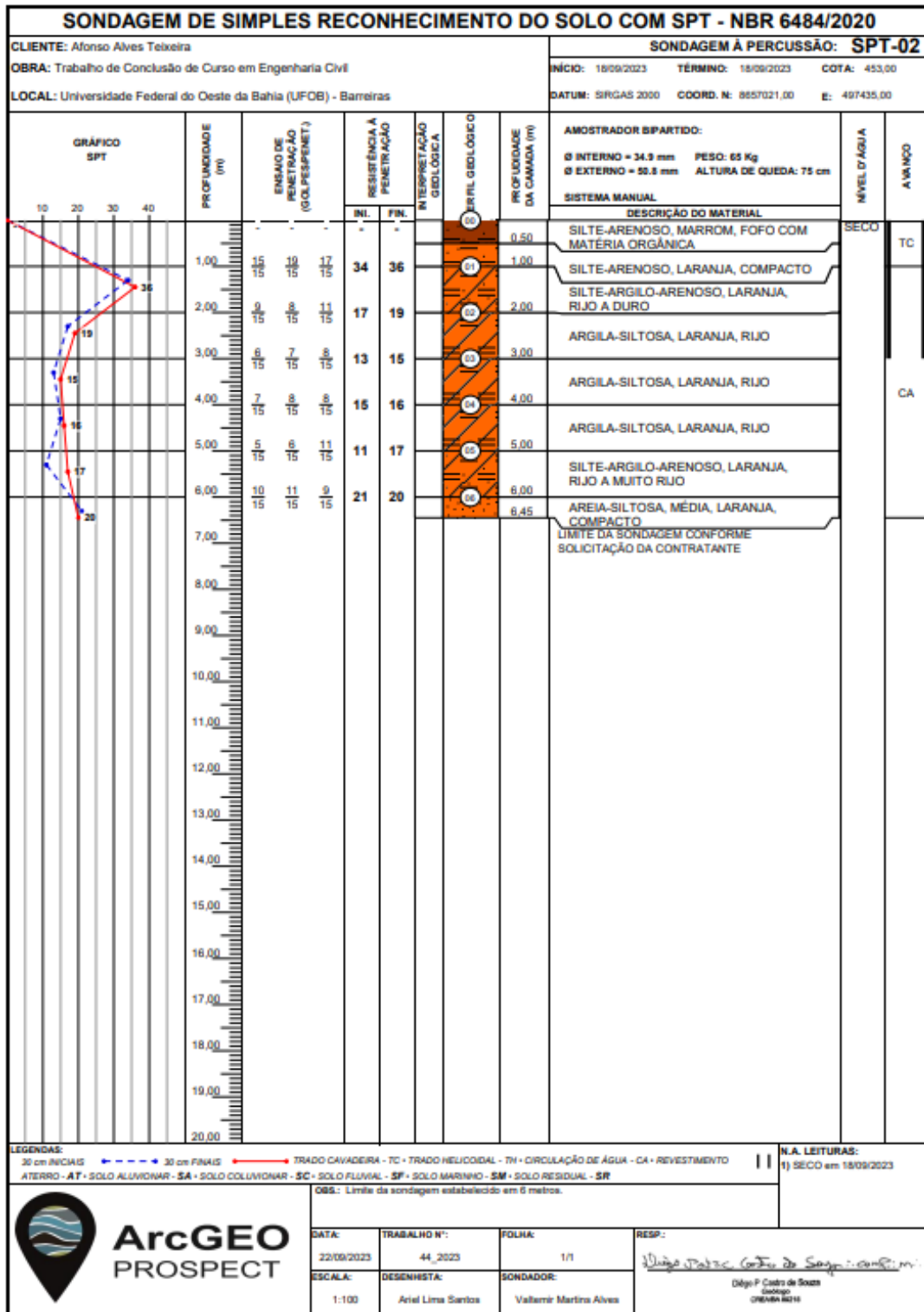


**ARCGEO  
PROSPECT**  
ARCGEO PROSPECT  
Rua Planalto, 515, Sandra Regina, Barreiras – BA.  
Tel: (77) 9 9845-6725  
diego@arcgeoprospect.com

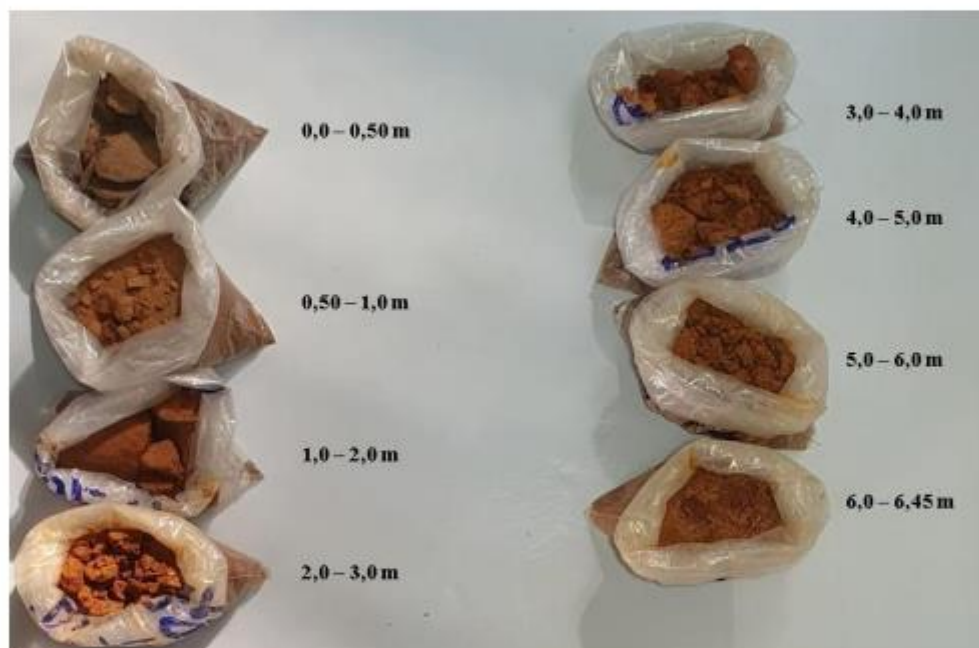
<b>SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT</b>			
<b>NBR 6484/2020</b>			
<b>MEMORIAL FOTOGRÁFICO</b>			<b>SPT-01</b>
<b>CLIENTE:</b> AFONSO ALVES TEIXEIRA	<b>INÍCIO:</b> 09/09/2023	<b>TÉRMINO:</b> 09/09/2023	<b>COTA:</b> 451,00 m
<b>OBRA:</b> TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA CIVIL	<b>DATUM:</b> SIRGAS 2000	<b>COORD. E:</b> 497437.00	<b>COORD. N:</b> 8657027.00
<b>LOCAL:</b> UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA (UFOB) – BARREIRAS/BA			



**ARCGEO  
PROSPECT**  
 ARCGEO PROSPECT  
 Rua Planalto, 515, Sandra Regina, Barreiras – BA.  
 Tel: (77) 9 9845-6725  
 diego@arcgeoprospect.com



<b>SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT</b>			
<b>NBR 6484/2020</b>			
<b>MEMORIAL FOTOGRÁFICO</b>			<b>SPT-02</b>
<b>CLIENTE:</b> AFONSO ALVES TEXEIRA	<b>INÍCIO:</b> 20/09/2023	<b>TÉRMINO:</b> 20/09/2023	<b>COTA:</b> 453,00 m
<b>OBRA:</b> TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA CIVIL	<b>DATUM:</b> SIRGAS 2000	<b>COORD. E:</b> 497435,00	<b>COORD. N:</b> 8657021,00
<b>LOCAL:</b> UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA (UFOB) – BARREIRAS/BA			



**ARC GEO**  
**PROSPECT**

ARC GEO PROSPECT

Rua Planalto, 515, Sandra Regina, Barreiras – BA

Tel: (77) 9 9845-6725

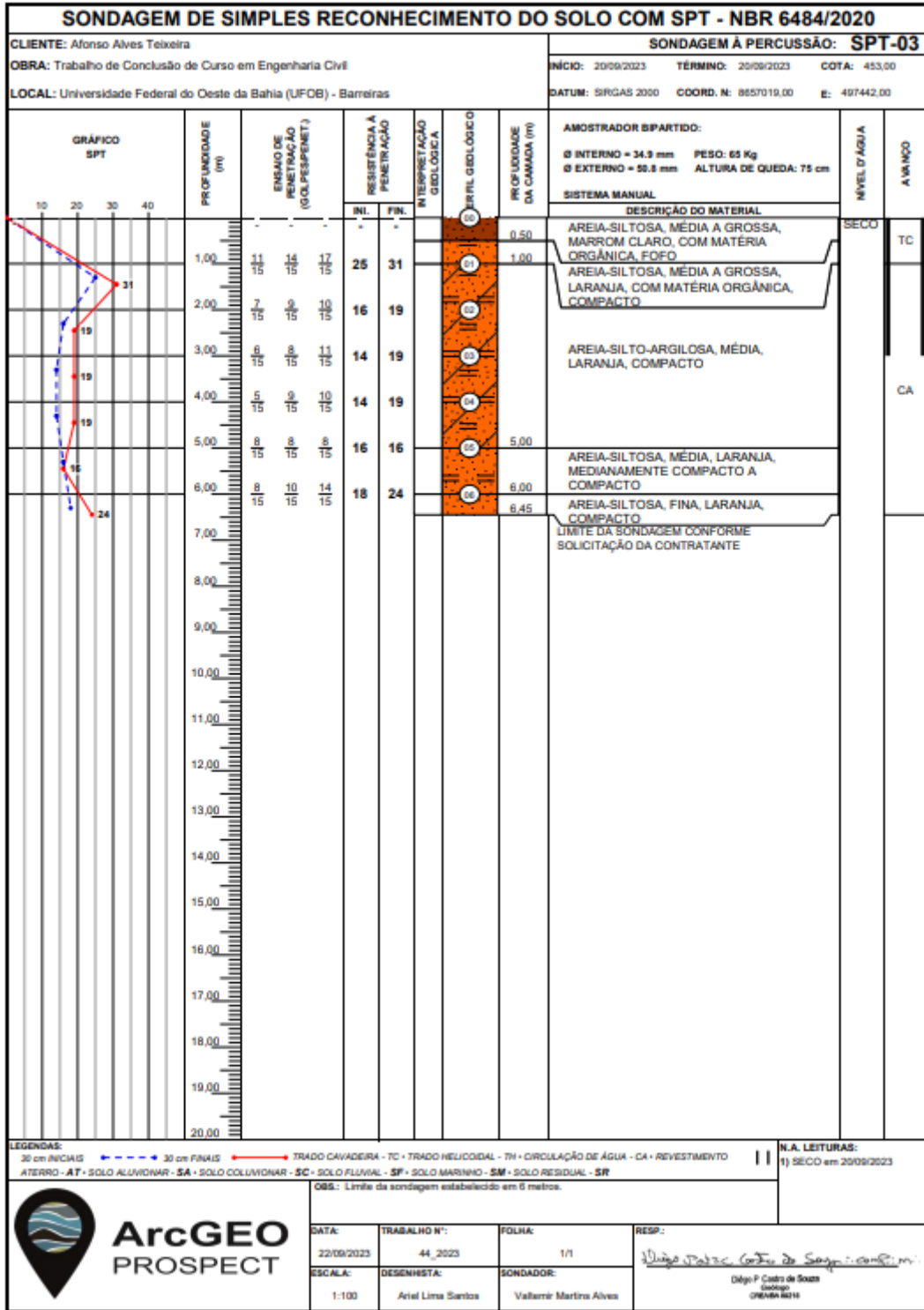
diego@arcgeoprospect.com

**SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT  
NBR 6484/2020**

<b>MEMORIAL FOTOGRÁFICO</b>			<b>SPT-02</b>
<b>CLIENTE:</b> AFONSO ALVES TEXEIRA	<b>INÍCIO:</b> 20/09/2023	<b>TÉRMINO:</b> 20/09/2023	<b>COTA:</b> 453,00
<b>OBRA:</b> TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA CIVIL	<b>DATUM:</b> SIRGAS 2000	<b>COORD. E:</b> 497435,00	<b>COORD. N:</b> 8657021,00
<b>LOCAL:</b> UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA (UFOB) – BARREIRAS/BA			

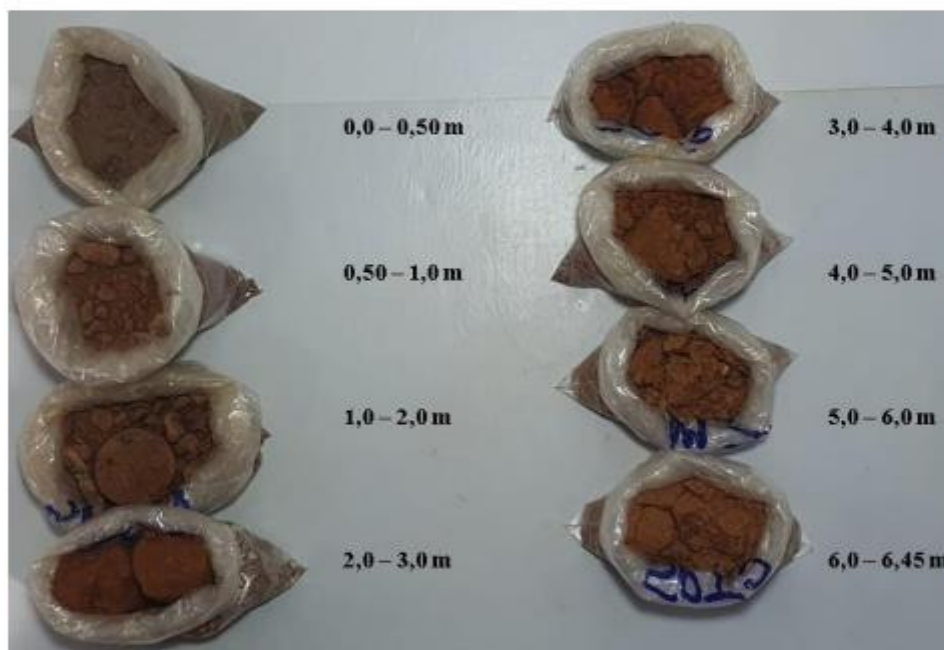


**ARCGEO PROSPECT**  
ARCGEO PROSPECT  
Rua Planalto, 515, Sandra Regina, Barreiras – BA  
Tel: (77) 9 9845-6725  
diego@arcgeoprospect.com



**SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT  
NBR 6484/2020**

<b>MEMORIAL FOTOGRÁFICO</b>		<b>SPT-03</b>	
<b>CLIENTE:</b> AFONSO ALVES TEXEIRA	<b>INÍCIO:</b> 20/09/2023	<b>TÉRMINO:</b> 20/09/2023	<b>COTA:</b> 453,00 m
<b>OBRA:</b> TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA CIVIL	<b>DATUM:</b> SIRGAS 2000	<b>COORD. E:</b> 497442,00	<b>COORD. N:</b> 8657019,00
<b>LOCAL:</b> UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA (UFOB) – BARREIRAS/BA			



**ARCGEO PROSPECT**  
 ARCGEO PROSPECT  
 Rua Planalto, 515, Sandra Regina, Barreiras – BA  
 Tel: (77) 9 9845-6725  
[diego@arcgeoprospect.com](mailto:diego@arcgeoprospect.com)

**SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT  
NBR 6484/2020**

<b>MEMORIAL FOTOGRÁFICO</b>			<b>SPT-03</b>
<b>CLIENTE:</b> AFONSO ALVES TEXEIRA	<b>INÍCIO:</b> 20/09/2023	<b>TÉRMINO:</b> 20/09/2023	<b>COTA:</b> 453,00 m
<b>OBRA:</b> TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA CIVIL	<b>DATUM:</b> SIRGAS 2000	<b>COORD. E:</b> 497442,00	<b>COORD. N:</b> 8657019,00
<b>LOCAL:</b> UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA (UFOB) – BARREIRAS/BA			



ARCGEO PROSPECT  
Rua Planalto, 515, Sandra Regina, Barreiras – BA  
Tel: (77) 9 9845-6725  
diego@arcgeoprospect.com

## ANEXO B

### LAUDO DE SONDAGEM DOS ENSAIO SPT EM TEMPO UMIDO



# ARCGEO PROSPECT

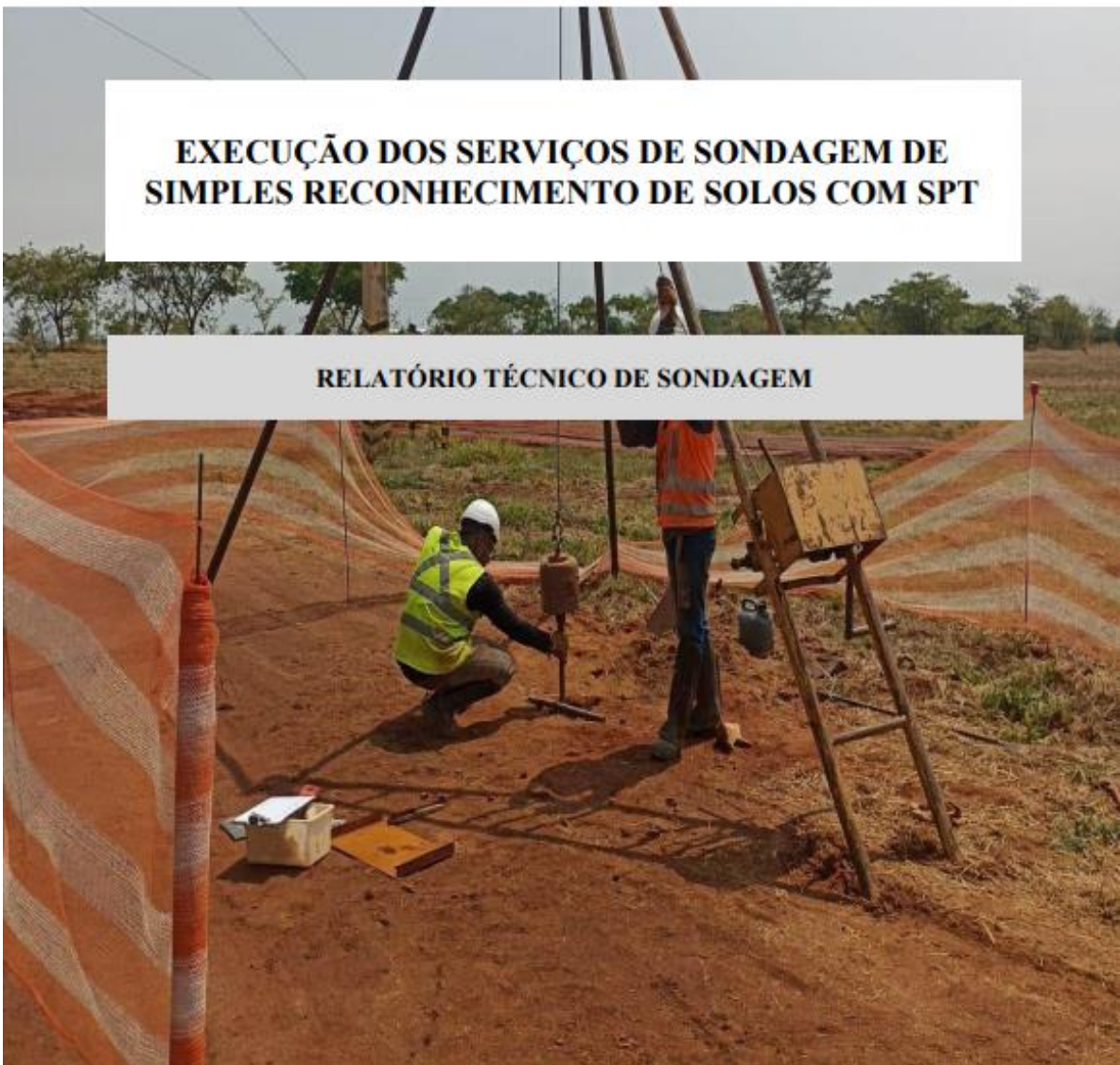
ENGENHARIA - GEOLOGIA - AMBIENTAL

CNPJ: 39.610.064/0001-40

Contato: (77) 99845-6725

**EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS DE SONDAGEM DE  
SIMPLES RECONHECIMENTO DE SOLOS COM SPT**

**RELATÓRIO TÉCNICO DE SONDAGEM**



**Relatório Técnico de Sondagem****Obra: Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil****EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS DE SONDAGEM DE SIMPLES  
RECONHECIMENTO DE SOLOS COM SPT****RELATÓRIO TÉCNICO DE SONDAGEM**

CLIENTE	AFONSO ALVES TEIXEIRA
OBRA	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA CIVIL
LOCAL DA OBRA	UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA

DATA DA VER	-	REVISÃO	00
-------------	---	---------	----

**MARÇO DE 2024  
BARREIRAS-BA**

End.: Rua Planalto, 515 – Sandra Regina, Barreiras-BA  
CNPJ: 39.610.064/0001-40  
[Email: diego@arcgeopropect.com](mailto:diego@arcgeopropect.com)  
(77) 99845-6725

## SUMÁRIO

<b>1. APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>5</b>
<b>2. MÉTODO UTILIZADO .....</b>	<b>6</b>
<b>3. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....</b>	<b>6</b>
<b>4. EXECUÇÃO DO ENSAIO SPT.....</b>	<b>7</b>
<b>4.1. Perfuração.....</b>	<b>7</b>
<b>4.2. Amostragem.....</b>	<b>7</b>
<b>4.3. Ensaio de Penetração.....</b>	<b>7</b>
<b>5. VERIFICAÇÃO DO NÍVEL DE ÁGUA NO TERRENO.....</b>	<b>7</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>8</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>8</b>

**Relatório Técnico de Sondagem****Obra: Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil**

---

**1. APRESENTAÇÃO**

A ARCGEO PROSPECT, localizada na Rua Planalto, 515, Sandra Regina, Barreiras – BA, apresenta, o RELATÓRIO TÉCNICO FINAL, corresponde ao SERVIÇO DE SONDAAGEM À PERCUSSÃO - SPT, desempenhadas pela equipe técnica da ARCGEO PROSPECT no período de 11/03/2024 a 12/03/2024.



---

Thais Rodrigues Barbosa  
Geóloga CREA-BA 3000152834

**Thais Rodrigues Barbosa**  
**Geóloga**  
**CREA-BA: 3000152834**

End.: Rua Planalto, 515 – Sandra Regina, Barreiras-BA

CNPJ: 39.610.064/0001-40

Email: [diego@arcgeopropect.com](mailto:diego@arcgeopropect.com)

(77) 99845-6725

**Relatório Técnico de Sondagem****Obra: Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil**

## 2. MÉTODO UTILIZADO

Os procedimentos adotados na execução dos serviços seguiram o método de ensaio apresentado na NBR-6484/2020 "SOLO - SONDAgens DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT - MÉTODO DE ENSAIO".

## 3. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Os equipamentos utilizados na execução dos serviços de sondagem à percussão – SPT foram listados para tal procedimento no item 5.1 e descritos no item 5.2 da referida NBR, que seguem abaixo:

- Torre com roldana;
- Martelo padronizado;
- Tubos de revestimento em aço;
- Hastes de perfuração ou penetração em aço;
- Amostrador-padrão de diâmetro externo de 50,8 mm e diâmetro interno de 34,9 mm;
- Cabeça de bater em aço;
- Trépano de lavagem;
- Trado concha ou cavadeira manual;
- Trado helicoidal;
- Baldinho para esgotar o furo;
- Medidores de nível d'água;
- Metro de balcão ou trena;
- Recipientes para amostras;
- Bomba d'água centrífuga motorizada;
- Ferramentas gerais necessárias à operação da aparelhagem.

**Relatório Técnico de Sondagem****Obra: Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil****4. EXECUÇÃO DO ENSAIO SPT****4.1. Perfuração**

A sondagem deve ser iniciada utilizando o trado-concha ou a cavadeira manual até atingir 1,0 m de profundidade. Deve-se continuar a perfuração com o trado até atingir o nível de água no terreno ou quando houver dificuldade de avanço, definida por avanços inferiores a 50 mm após 10 minutos de operação, a partir desse ponto, necessita prosseguir a perfuração utilizando o "trépano de lavagem", para isto, deve-se instalar os tubos de revestimento até a cota avançada e deixando 1,0 metro para fora.

**4.2. Amostragem**

As amostras devem ser coletadas a cada metro de profundidade através do amostrador-padrão, acondicionadas em sacos plásticos fechados e encaminhadas para identificação tátil-visual no escritório da ARCGEO PROSPECT, conforme a NBR 7250/1982.

**4.3. Ensaio de Penetração**

Os resultados de penetração no solo são obtidos pela cravação do amostrador-padrão através de seguidas quedas do "martelo padronizado para cravação do amostrador" com massa de ferro de 65 kg, com quedas da altura de 75 cm, até atingir-se a penetração de 45 cm. Devem ser anotados os números de golpes necessários à cravação de cada 15 cm do amostrador-padrão, ou conforme orientações da Norma Brasileira NBR-6484/2020.

**5. VERIFICAÇÃO DO NÍVEL DE ÁGUA NO TERRENO**

Devem ser realizadas medições do nível d'água (quando houver) encontrado no terreno conforme indicado no método de ensaio da Norma Brasileira NBR-6484/2020. Os resultados obtidos nessas medições devem ser apresentados nos perfis dos furos de sondagem anexados ao presente relatório.

Relatório Técnico de Sondagem

Obra: Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil

---

## 6. REFERÊNCIAS

NBR, ABNT. 6484: Solo-Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT–Método de Ensaio. Rio de Janeiro-RJ, 2020.

NBR, ABNT. 7250: Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos. Rio de Janeiro-RJ, 1982.

## 7. ANEXOS

BOLETINS DE SONDAAGEM SPT.



End.: Rua Planalto, 515 – Sandra Regina, Barreiras-BA

CNPJ: 39.610.064/0001-40

[Email: diego@arcgeopropect.com](mailto:diego@arcgeopropect.com)

(77) 99845-6725

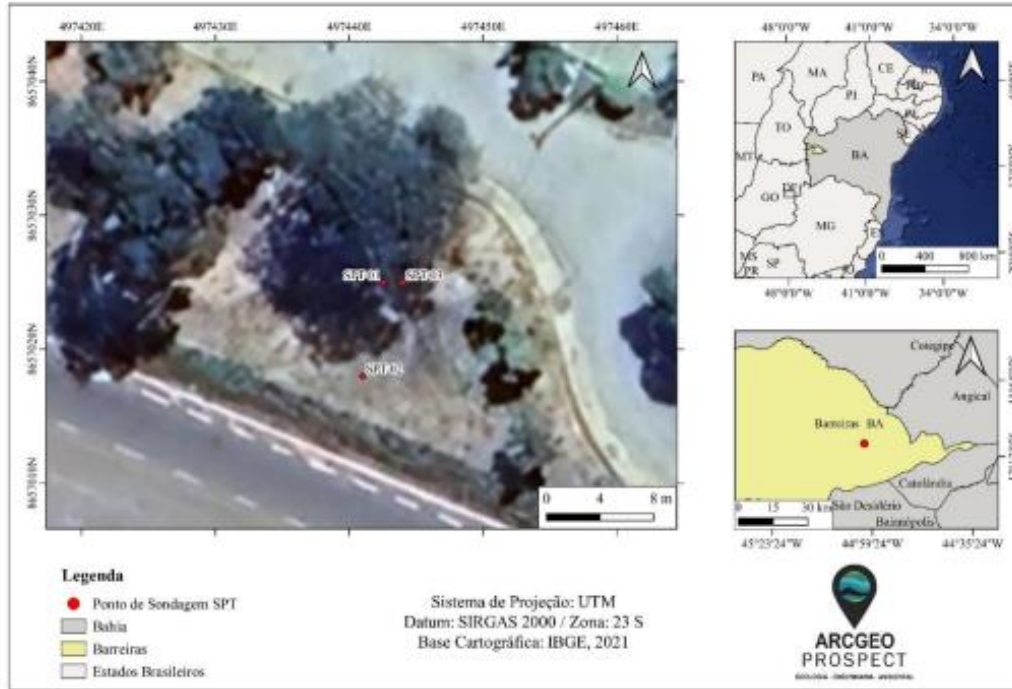
**SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT  
NBR 6484/2020**

**LOCALIZAÇÃO DA SONDAGEM**

**CLIENTE:** Afonsa Alves Teixeira

**OBRA:** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil

**LOCAL:** Universidade Federal do Oeste da Bahia



<b>SPT-01</b>	<b>COORD. E:</b> 497443.000	<b>COORD. N:</b> 8657025.000	<b>DATUM:</b> SIRGAS 2000
<b>SPT-02</b>	<b>COORD. E:</b> 497441.000	<b>COORD. N:</b> 8657018.000	<b>DATUM:</b> SIRGAS 2000
<b>SPT-03</b>	<b>COORD. E:</b> 497444.000	<b>COORD. N:</b> 8657025.000	<b>DATUM:</b> SIRGAS 2000



**ARCGEO  
PROSPECT**  
 ARCGEO PROSPECT  
 CNPJ: 39.610.064/0001-40  
 Rua Planalto, 515, Sandra Regina, Barreiras – BA.  
 Tel: (77) 9 9845-6725  
[diego@arcgeoprospect.com](mailto:diego@arcgeoprospect.com)



**ArcGEO**  
PROSPECT

PERFIL GEOTÉCNICO INDIVIDUAL - SONDAGEM A  
PERCUSSÃO - SPT

NBR:6484-2020

SONDAGEM:

**SPT-01**

13/03/2024 18:43

CLIENTE: Afonso Alves Teixeira

(N)|LAT: 8657025

COTA(m): 453

OBRA: Afonso TCC

(E)|LNG: 497443

INÍCIO: 11/03/2024

LOCAL: Universidade Federal do Oeste da Bahia

DATUM: 23S

TÉRMINO: 11/03/2024

PROFUNDIDADE (metros)	GRÁFICO SPT	ENSAIO DE PENETRAÇÃO GOLPES/PENET			RESISTÊNCIA PENETRAÇÃO N <sub>60</sub> /N <sub>SPT</sub>		INTERPRETAÇÃO GEOOLÓGICA	PERFIL GEOOLÓGICO	PROFUNDIDADE CAMADA (m)	AMOSTRADOR BIPARTIDO ØINT:34.9mm - ØEXT:50.8mm PESO:65Kg - ALT QUEDA:75cm	NÍVEL D'ÁGUA	AVANÇO
		2	3	4	INI	FIM						
1,00		2	3	4	5	7			1,00	AREIA FINA A MÉDIA, FOFA, COR MARROM.		TC
2,00		2	2	3	4	5						AP
3,00		2	3	4	5	7						CA
4,00		1	3	4	4	7						AP
5,00		5	9	10	14	19						CA
6,00		7	8	9	15	17			6,00	SILTE ARGILO-ARENOSO, DE POUCO COMPACTO A COMPACTO, COR LARANJA.		AP
6,45		7	8	9	15	17			6,45	AMOSTRA NÃO RECUPERADA		CA
7,00										LIMITE DA SONDAGEM SONDAGEM PARALISADA CONFORME DESCRITO NO ITEM 5.2.4.2 DA NORMA NBR6484:2020 - SOLO - SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT. Solicitação do Contratante LEITURAS DE NA: - SECO - 12:00	NA INICIAL(m): SECO - 12:00 NA FINAL(m): SECO	AP
8,00												
9,00												
10,00												
11,00												
12,00												
13,00												
14,00												
15,00												
16,00												
17,00												
18,00												
19,00												
20,00												

LEGENDA: 30cm INICIAIS ..... [AP]AMOSTRADOR-[TC]TRADO CAVADEIRA-[TH]TRADO HELICOIDAL-[CA]CIRC AGUA-[CL]-CIRC LAMA-[I]REVESTIMENTO  
30cm FINAIS: - - - - - AT-ATERRO;SR-RESIDUAL;SS-SEDIMENTAR;SA-ALUVIONAR;SC-COLUVIONAR;SE-EOLICO;SF-FLUVIAL;SM-MARINHO;SP-PLUVIAL

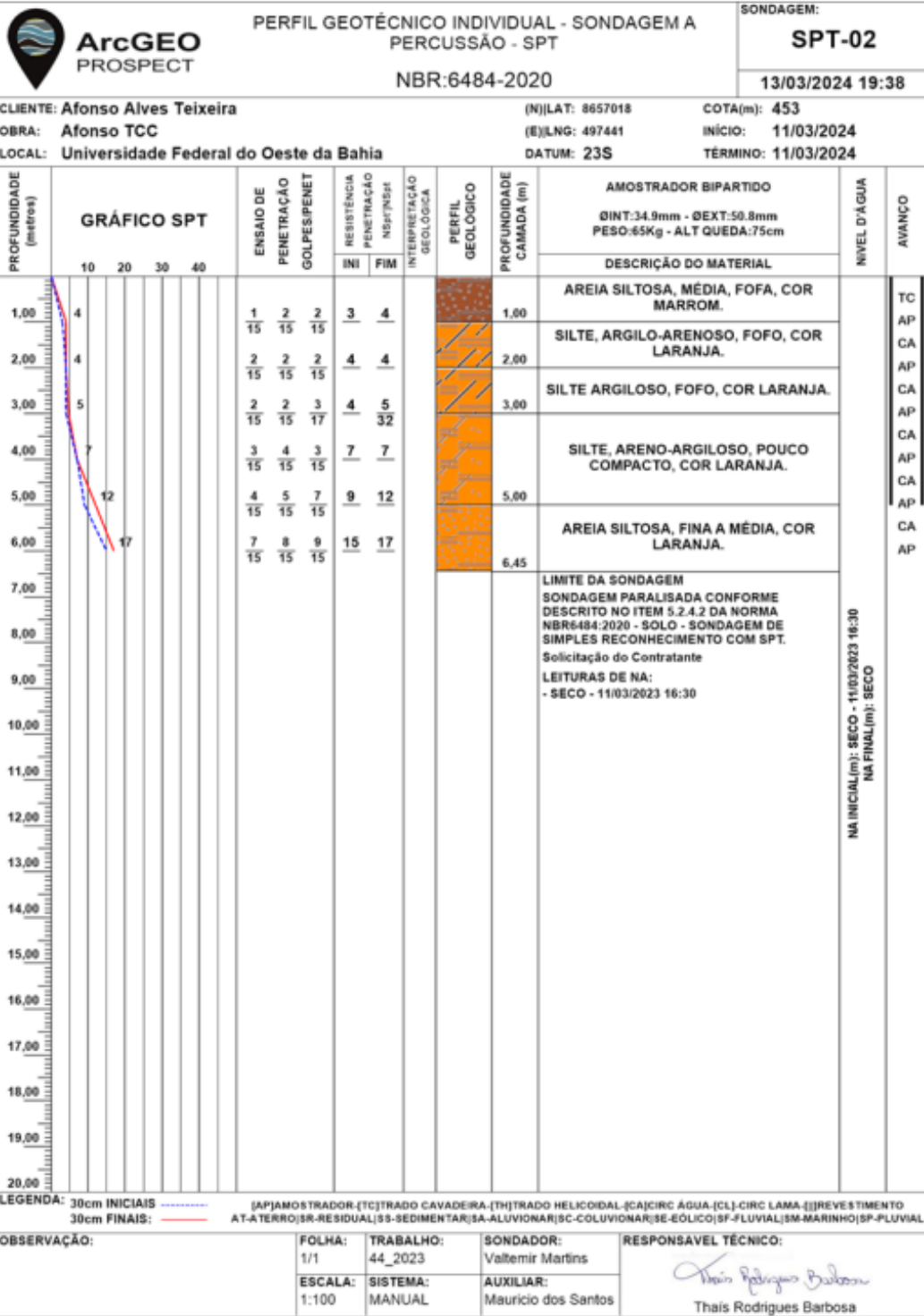
OBSERVAÇÃO:	FOLHA:	TRABALHO:	SONDADOR:	RESPONSÁVEL TÉCNICO:  Thais Rodrigues Barbosa
	1/1	44_2023	Valtemir Martins	
	ESCALA:	SISTEMA:	AUXILIAR:	
	1:100	MANUAL	Mauricio dos Santos	

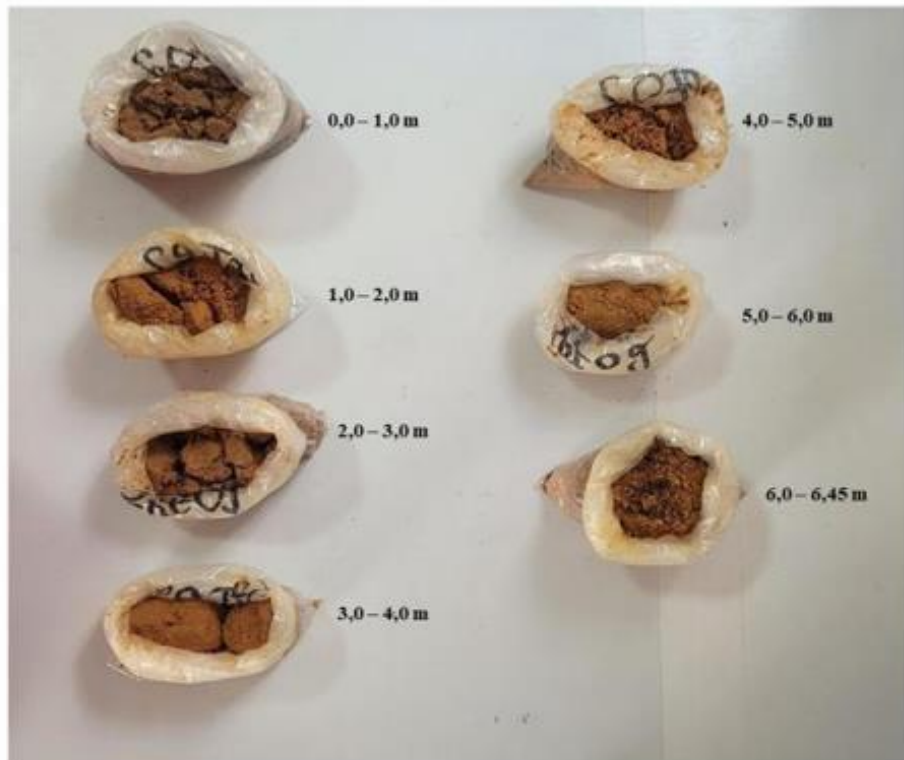


**AMOSTRAS**



**EXECUÇÃO EM CAMPO**

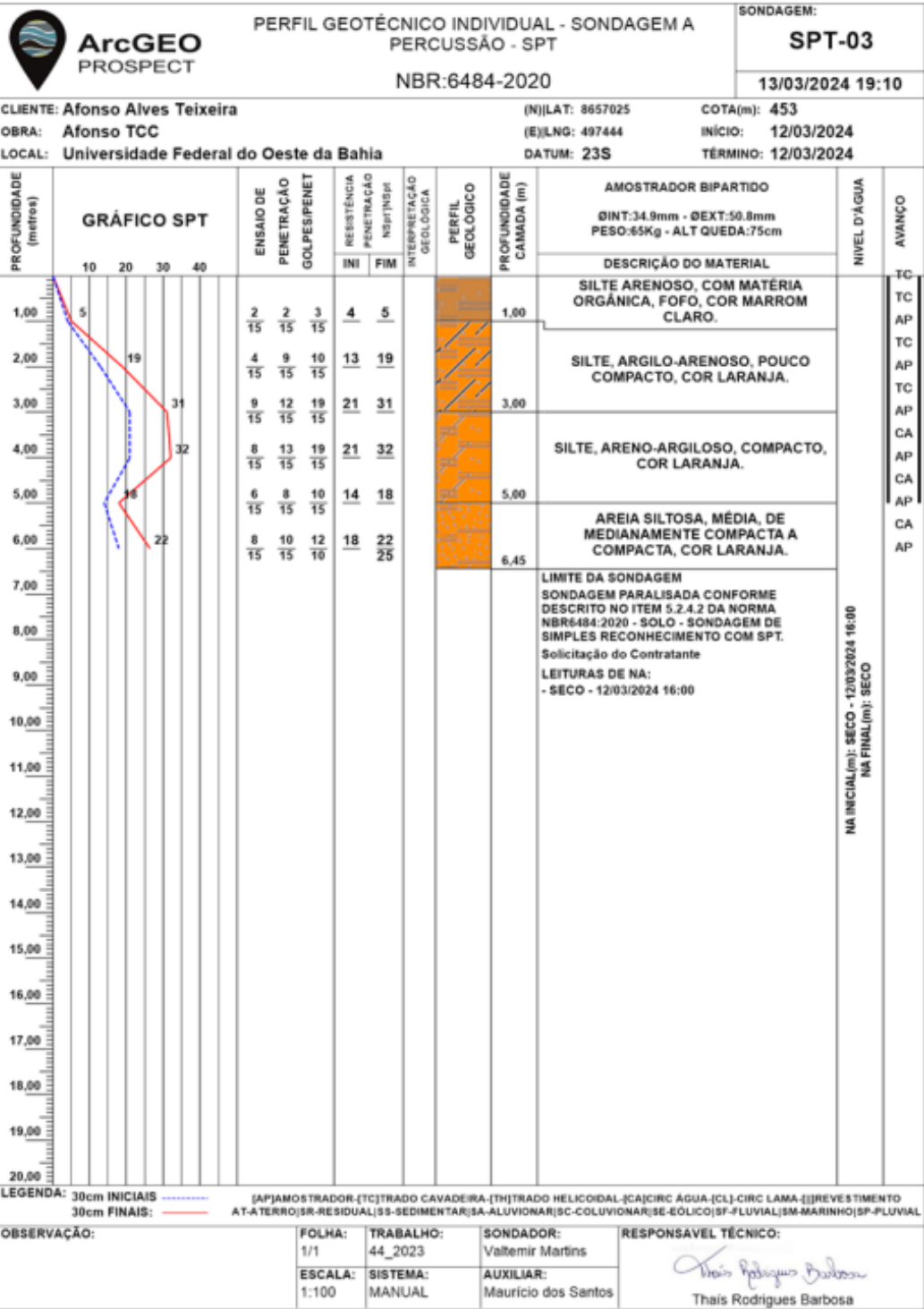


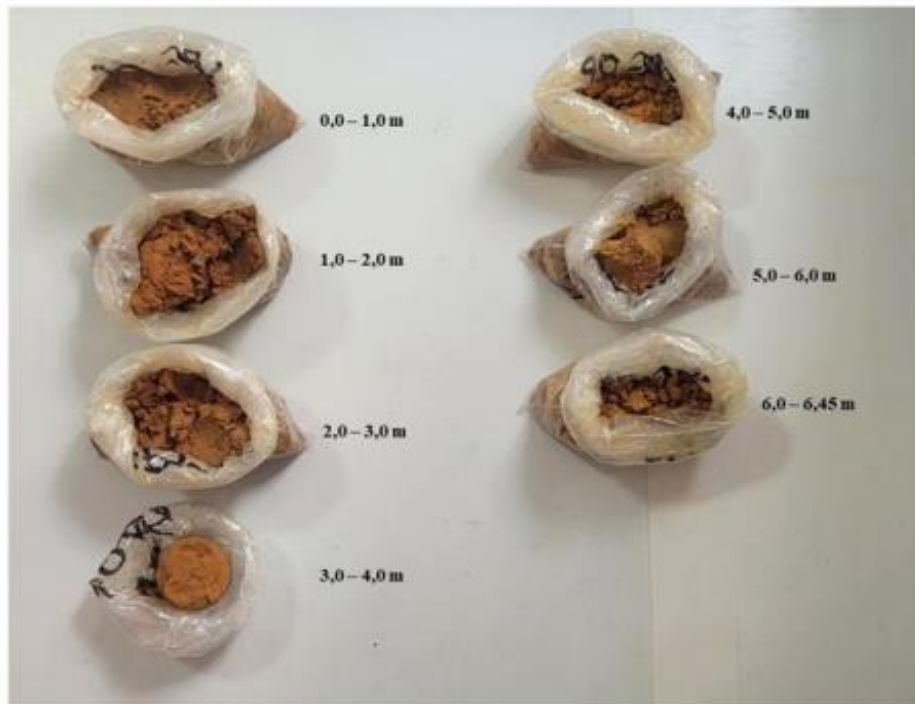


AMOSTRAS



**EXECUÇÃO EM CAMPO**





AMOSTRAS



**EXECUÇÃO EM CAMPO**

ANEXO C

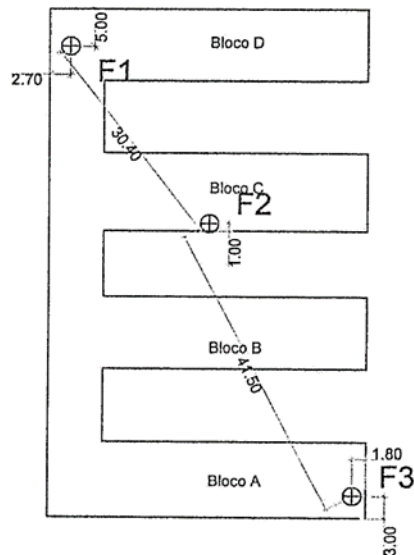
LAUDO DE SONDAGEM - PAVILHÃO DE AULAS 2



FUNDAÇÕES CEZILLO

RUA PERNAMBUCO - Q-173 - L13  
LUIZ EDUARDO MAGALHÃES-BA

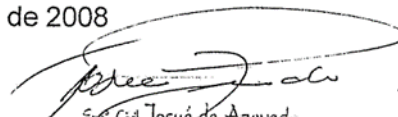
CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DOS FUROS


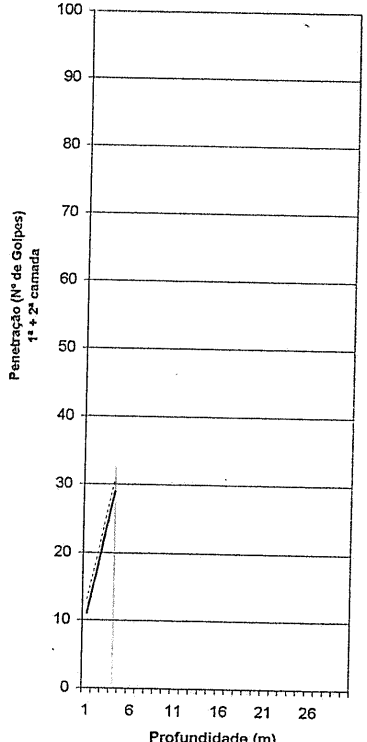


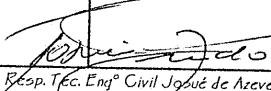
ALENCAR CONSTRUÇÕES E PROJETOS LTDA

LOCAL - Campus Edgar Santos - UFBA  
Barreiras-BA

BARREIRAS, 28 de fevereiro de 2008


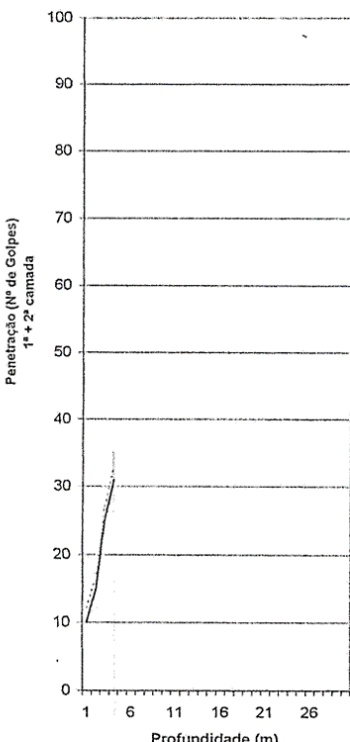
  
Eng. Civil Josué de Azevedo  
CREA 16313-D/PR - 11287-V/BA

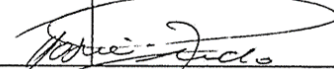
 <b>FUNDAÇÕES CEZILLO</b> Rua Pernambuco - Q-173 - L-13 S/N Centro - Fone - 77-611.7557 Luiz E. Magalhães-BA		<b>SONDAGEM</b> <b>ESTACAS MOLDADAS</b> <b>"IN LOCO"</b> Estacas Pré-moldadas Escavações c/ Perfuratriz Tubulões c/ perfuratriz Prova de Carga Reforço de fundações		<b>SONDAGEM DE RECONHECIMENTO</b> Folha Nº 1/1 Furo Nº : 1 SP-01 Data : 22.02.08 Obra : Alencar Construções e Proj Ltda Local : Barreiras - Ba			
		Revestimento : 67,00mm Amostrador (SPT) - Diâm. Int.: 34,7mm - Diâm. Ext.: 50,8mm Peso : 65 kg Altura de Queda : 75cm		Penetração : Golpes / 30cm. Gráfico : _____ = 1ª + 2ª Pen ..... = 2ª + 3ª Pen		Cota da boca do furo = ##### Profundidade do nível d'água: -Inicial = Nihil	
Cota em relação ao RN	Amostrador Nº	Profundidade da camada (m)	Nº de Golpes / Penetração		<b>GRÁFICO</b> 	<b>CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL</b> Areia fina pouco argilosa cor variegada Areia fina pouco compacta Areia fina compacta	
			1ª + 2ª = 30cm	2ª + 3ª = 30cm			
99,00	1	1,45	11	13			
	2	2,45	17	19			
	3	3,45	23	25			
	4	4,45	29	31			
95,00	5	5,45					
	6	6,45					
	7	7,45					
	8	8,45					
	9	9,45					
90,00	10	10,45					
	11	11,45					
	12	12,45					
	13	13,45					
	14	14,45					
85,00	15	15,45					
	16	16,45					
	17	17,45					
	18	18,45					
	19	19,45					
80,00	20	20,45					
	21	21,45					
	22	22,45					
	23	23,45					
	24	24,45					
75,00	25	25,45					
	26	26,45					
	27	27,45					
	28	28,45					
	29	29,45					
70,00	30	30,45					


  
 Resp. Téc. Eng.º Civil José de Azevedo  
 Crea - 16.313-D/PR

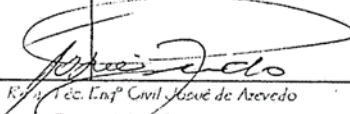
8106 2093

Wilson


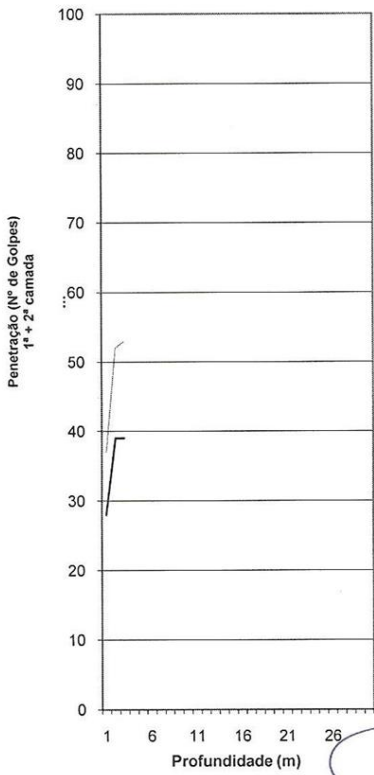
 <p><b>FUNDAÇÕES CEZILLO</b> Rua Pernambuco - Q-173 - L-13 S/N Centro - Fone - 77-611.7557 Luiz E. Magalhães-BA</p>				<p>SONDAGEM ESTACAS MOLDADAS "IN LOCO"</p> <p>Estacas Pré-moldadas Escavações c/ Perfuratriz Tubulões c/ perfuratriz Prova de Carga Reforço de fundações</p>		<p>SONDAGEM DE RECONHECIMENTO Folha Nº 1/1</p> <p>Furo Nº : 2 SP-01 Data : 22.02.08 Obra : Alencar Construções e Proj Ltda Local : Barreiras - Ba</p>	
				<p>Revestimento : 67,00mm Amostrador (SPT) - Diâm.Int.:34,7mm - Diâm. Ext.:50,8mm Peso : 65 kg Altura de Queda : 75cm</p>		<p>Penetração : Golpes / 30cm. Gráfico : _____ = 1ª + 2ª Pen ..... = 2ª + 3ª Pen</p>	
Cota em relação ao RN	Amostrador Nº	Profundidade da camada(m)	Nº de Golpes / Penetração 1ª + 2ª = 30cm 2ª + 3ª = 30cm		<p align="center"><b>GRÁFICO</b></p> 	<p><b>CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL</b></p> <p>Areia fina pouco argilosa cor variegada Areia fina pouco compacta Areia fina compacta</p>	
99,00	1	1,45	10	12			
	2	2,45	15	17			
	3	3,45	25	27			
	4	4,45	31	33			
95,00	5	5,45					
	6	6,45					
	7	7,45					
	8	8,45					
	9	9,45					
90,00	10	10,45					
	11	11,45					
	12	12,45					
	13	13,45					
	14	14,45					
85,00	15	15,45					
	16	16,45					
	17	17,45					
	18	18,45					
	19	19,45					
80,00	20	20,45					
	21	21,45					
	22	22,45					
	23	23,45					
	24	24,45					
75,00	25	25,45					
	26	26,45					
	27	27,45					
	28	28,45					
	29	29,45					
70,00	30	30,45					


  
 Resp. Tec. Engº Civil José de Azevedo  
 Crea - 16.513-D/PR


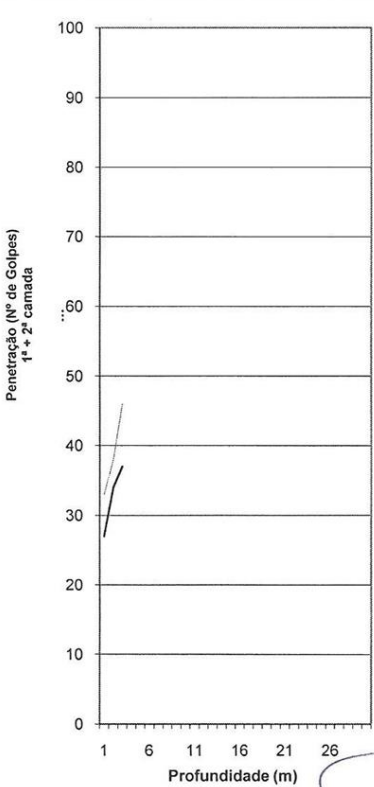
 <p><b>FUNDAÇÕES CEZILLO</b> Rua Pernambuco - Q-173 - L-13 S/N Centro - Fone - 77-611.7557 Luiz E. Magalhães-BA</p>		<b>SONDAGEM</b> ESTACAS MOLDADAS "IN LOCO" Estacas Pré-moldadas Escavações c/ Perfuratriz Tubulões c/ perfuratriz Prova de Carga Reforço de fundações		<b>SONDAGEM DE RECONHECIMENTO</b> Folha Nº 1/1 Furo Nº : 3 SP-01 Data : 22.02.08 Obra : Alencar Construções e Proj Ltda Local : Barreiras - Ba		
		Revestimento : 67,00mm Amostrador (SPT) - Diâm.Int.:34,7mm - Diâm. Ext.:50,8mm Peso : 65 kg Altura de Queda : 75cm		Penetração : Golpes / 30cm. Gráfico : _____ = 1ª + 2ª Pen ..... = 2ª + 3ª Pen		Cota da boca do furo = ##### Profundidade do nível d'água: -Inicial = Nihil
Cota em relação ao RN	Amostrador Nº	Profundidade da camada(m)	Nº de Golpes / Penetração		<b>GRÁFICO</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL</b>
			1ª + 2ª = 30cm	2ª + 3ª = 30cm		
99,00	1	1,45	10	13		
	2	2,45	8	11		
	3	3,45	15	19		
	4	4,45				
95,00	5	5,45				
	6	6,45				
	7	7,45				
	8	8,45				
	9	9,45				
90,00	10	10,45				
	11	11,45				
	12	12,45				
	13	13,45				
	14	14,45				
85,00	15	15,45				
	16	16,45				
	17	17,45				
	18	18,45				
	19	19,45				
80,00	20	20,45				
	21	21,45				
	22	22,45				
	23	23,45				
	24	24,45				
75,00	25	25,45				
	26	26,45				
	27	27,45				
	28	28,45				
	29	29,45				
70,00	30	30,45				

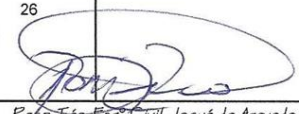
  
 José de Azevedo  
 Eng.º Civil - CREA - BA 16.242-D/PR




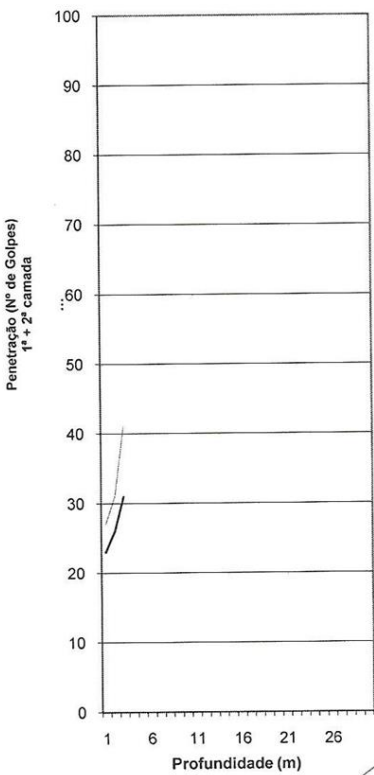
 <b>FUNDAÇÕES CEZILLO</b> Travessa Dom Avelar S/N Vila Rica - Fone - 77-3611.7557 Barreiras - BA				<b>SONDAGEM</b> <b>ESTACAS MOLDADAS</b> <b>"IN LOCO"</b> Estacas Pré-moldadas Escavações c/ Perfuratriz Tubulões c/ perfuratriz Prova de Carga Reforço de fundações		<b>SONDAGEM DE RECONHECIMENTO</b> Folha Nº 1/1 Furo Nº : 2 SP-01 Data : 27/09/14 Prop. : Luciano Ramos Arquitetura S/S Ltda Obra : Centro de Conveniência e Restaurante Universitário Local : Estrada do Barroão, UFOB, C. Reitor Edgar Santos Município : Barreiras - BA	
Revestimento : 67,00mm Amostrador (SPT) - Diâm.Int.:34,7mm - Diâm. Ext.:50,8mm Peso : 65 kg Altura de Queda : 75cm				Penetração : Golpes / 30cm. Gráfico : _____ = 1ª + 2ª Pen ..... = 2ª + 3ª Pen		Cota da boca do furo = 100 Profundidade do nível d'água: - Inicial = NIHL	
Cota em relação ao RN	Amostrador Nº	Profundidade da camada(m)	Nº de Golpes / Penetração		GRÁFICO	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL	
			1ª + 2ª = 30cm	2ª + 3ª = 30cm			
99,00	1	1,45	28	37		Argila arenosa, cor vermelha clara  Argila arenosa compcta. c/ site, cor varieg. Fim do Furo.	
	2	2,45	39	52			
	3	3,45	39	53			
	4	3,97					
95,00	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
90,00	10						
	11						
	12						
	13						
	14						
85,00	15						
	16						
	17						
	18						
	19						
80,00	20						
	21						
	22						
	23						
	24						
75,00	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
70,00	30						


  
Resp. Téc. Eng.º Civil Josué de Azevedo  
Crea - 16.213-D/PR

 <p><b>FUNDAÇÕES CEZILLO</b> Travessa Dom Avelar S/N Vila Rica - Fone - 77-3611.7557 Barreiras - BA</p>		<b>SONDAGEM ESTACAS MOLDADAS "IN LOCO"</b> Estacas Pré-moldadas Escavações c/ Perfuratriz Tubulões c/ perfuratriz Prova de Carga Reforço de fundações		<b>SONDAGEM DE RECONHECIMENTO</b> Folha Nº 1/1 Furo Nº : 3 SP-01 Data : 27/09/14 Prop. : Luciano Ramos Arquitetura S/S Ltda Obra : Centro de Conveniência e Restaurante Universitário Local : Estrada do Barroão, UFOB, C. Reitor Edgar Santos Município : Barreiras - BA		
		Revestimento : 67,00mm Amostrador (SPT) - Diâm.Int.:34,7mm - Diâm. Ext.:50,8mm Peso : 65 kg Altura de Queda : 75cm		Penetração : Golpes / 30cm. Gráfico : _____ = 1ª + 2ª Pen ..... = 2ª + 3ª Pen Cota da boca do furo = 100 Profundidade do nível d'água: -Inicial = NIHL		
Cota em relação ao RN	Amostrador Nº	Profundidade da camada(m)	Nº de Golpes / Penetração		<b>GRÁFICO</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL</b>
			1ª + 2ª = 30cm	2ª + 3ª = 30cm		
99,00	1	1,45	27	33		Argila arenosa, cor vermelha clara  Argila arenosa compcta. c/ silte, cor varieg. Fim do Furo.
	2	2,45	34	38		
	3	3,45	37	46		
	4	3,85				
95,00	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
90,00	10					
	11					
	12					
	13					
	14					
85,00	15					
	16					
	17					
	18					
80,00	19					
	20					
	21					
	22					
	23					
75,00	24					
	25					
	26					
	27					
	28					
	29					
70,00	30					

  
 Resp. Féc. Eng. Civil Josué de Azevedo  
 Crea - 16.313-D/PR



 <b>FUNDAÇÕES CEZILLO</b> Travessa Dom Avelar S/N Vila Rica - Fone - 77-3611.7557 Barreiras - BA				<b>SONDAGEM</b> <b>ESTACAS MOLDADAS</b> <b>"IN LOCO"</b> Estacas Pré-moldadas Escavações c/ Perfuratriz Tubulões c/ perfuratriz Prova de Carga Reforço de fundações		<b>SONDAGEM DE RECONHECIMENTO</b> Folha Nº 1/1 Furo Nº : 5 SP-01 Data : 27/09/14 Prop. : Luciano Ramos Arquitetura S/S Ltda Obra : Centro de Conveniência e Restaurante Universitário Local : Estrada do Barroão, UFOB, C. Reitor Edgar Santos Município : Barreiras - BA	
Revestimento : 67,00mm Amostrador (SPT) - Diâm.Int.:34,7mm - Diâm. Ext.:50,8mm Peso : 65 kg Altura de Queda : 75cm				Penetração : Golpes / 30cm. Gráfico : _____ = 1ª + 2ª Pen ..... = 2ª + 3ª Pen		Cota da boca do furo = 100 Profundidade do nível d'água: -Inicial = NIHL	
Cota em relação ao RN	Amostrador Nº	Profundidade da camada(m)	Nº de Golpes / Penetração 1ª + 2ª = 30cm 2ª + 3ª = 30cm		<b>GRÁFICO</b>		<b>CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL</b>
99,00	1	1,45	23	27		Argila arenosa com silte, cor vermelha	
	2	2,45	26	31		Argila arenosa compcta. c/ silte, cor varieg.	
	3	3,45	31	41		Fim do Furo.	
	4	3,89					
95,00	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
90,00	10						
	11						
	12						
	13						
	14						
85,00	15						
	16						
	17						
	18						
80,00	19						
	20						
	21						
	22						
	23						
75,00	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
70,00	30						

  
 Resp. Téc. Eng.º CIVIL José de Azevedo  
 Crea - 16313-D/PR