

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
ECV 5511 – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO I

Arthur de Barros Mattos

ESTADO DA ARTE: ESTUDOS INTERNACIONAIS SOBRE O ENSAIO BOREHOLE
SHEAR TEST

Florianópolis

2021

Arthur de Barros Mattos

ESTADO DA ARTE: ESTUDOS INTERNACIONAIS SOBRE O ENSAIO BOREHOLE
SHEAR TEST

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico (CTC) da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Orientador: Prof. Dr. Rafael Augusto dos Reis Higashi.

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC

Mattos, Arthur de Barros
ESTADO DA ARTE: ESTUDOS INTERNACIONAIS SOBRE O
ENSAIO BOREHOLE SHEAR TEST / Arthur de Barros Mattos;
orientador, Rafael Augusto dos Reis Higashi, 2021. 53
p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil,
Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Engenharia Civil. 3.
Geotecnia. 4. Borehole Shear Test. 5. Parâmetros de
resistência a ruptura. I. Higashi, Rafael Augusto dos
Reis. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Arthur de Barros Mattos

**ESTADO DA ARTE: ESTUDOS INTERNACIONAIS SOBRE O ENSAIO
BOREHOLE SHEAR TEST**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil, e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 06 de maio de 2021.

Prof.^a Liane Ramos da Silva, Dra.
Coordenadora do Curso de Engenharia Civil - UFSC

Banca Examinadora:

Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Liseane Padilha Thives, Dr.^a
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Guilherme Pinheiro
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha mãe e a meu pai, Simone e Agenor.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Agenor e Simone, por todo o amor e lutarem todos os dias por mim, me permitindo me tornar quem sou hoje.

A toda a minha família, em especial a meus avós João e Dirce, que me deram as forças para cursar engenharia.

A todos os meus amigos, que me apoiaram e estavam ao meu lado nos momentos bons e ruins.

A meu orientador, Professor Rafael Augusto dos Reis Higashi, que teve a paciência de me guiar durante todo esse processo, mesmo nos momentos mais difíceis para mim.

Aos engenheiros Guilherme Pinheiro e Lucas Passoni, que me ensinaram muito sobre a profissão e como um profissional deve agir.

E a todos as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Para a execução segura de qualquer obra de fundações, ou para se averiguar a situação de uma encosta quanto aos fenômenos de ruptura, são necessárias investigações dos parâmetros de resistência a ruptura do solo. Os dois critérios mais importantes nessas situações são os da coesão e do ângulo de atrito interno entre as partículas que compõem a fase sólida do solo. Atualmente no Brasil e ao redor do mundo, os ensaios mais utilizados para a obtenção desses parâmetros, são o ensaio de cisalhamento direto e o ensaio de compressão triaxial. Porém, ambos os ensaios requerem obtenção de amostras para análise em laboratório. Uma opção alternativa a estes ensaios, se apresenta no ensaio Borehole Shear Test (BST). Desenvolvido na Universidade do Estado de Iowa, o ensaio é realizado in loco e apresenta resultados mais rápidos do que os mais comumente utilizados. O BST vem aumentando sua popularidade, e com isso a necessidade de se estudar melhor seu uso. Diversas publicações vêm sendo produzidas nos últimos 50 anos desde sua criação que relacionam o uso do BST em investigações geotécnicas. O presente trabalho propôs a investigação do Estado da Arte do BST com base em publicações estrangeiras e a comparação dos resultados obtidos para os diferentes tipos de solo investigados. Uma base de dados foi criada com os arquivos disponíveis encontrados em acervos online que citavam o ensaio. Foram também analisados os parâmetros obtidos em cada uma dessas publicações e houve a tentativa de comparar resultados para solos com composições mineralógicas próximas. A análise do que foi encontrado indica que o ensaio Borehole Shear Test vem se tornando popular, principalmente nos EUA, porém ainda existe escassez de trabalhos publicados sobre o ensaio. Além disso, foi notada a utilização de dispositivos modificados para situações específicas. A comparação dos valores de parâmetros de resistência foi prejudicada pela alta variabilidade na nomenclatura dos tipos de solo nas publicações levantadas.

Palavras-chave: Solos. Parâmetros de resistência a ruptura. Borehole Shear Test. Estado da Arte.

ABSTRACT

For the safe execution of any foundation work, or to ascertain the situation of a slope as to the rupture phenomena, investigations about the rupture resistance parameters of the soil are necessary. The two most important criteria in these situations are cohesion and the angle of internal friction between the particles that make up the solid phase of the soil. Currently in Brazil and around the world, the tests most used to obtain these parameters are the direct shear test and the triaxial compression test. However, both tests require obtaining samples for analysis in the laboratory. An alternative option to these tests is presented in the Borehole Shear Test (BST). Developed at Iowa State University, the trial is conducted on-site and yields results faster than those most commonly used. BST has been increasing its popularity, and with this, the need to better study its use. Several publications have been produced in the last 50 years since its creation that relate the use of BST in geotechnical investigations. The present work proposed the investigation of the State of Art of BST based on foreign publications and the comparison of the results obtained for the different types of soil investigated. A database was created with the available files found in online collections that cited the essay. The parameters obtained in each of these publications were also analyzed and an attempt was made to compare results for soils with close mineralogical compositions. The analysis of what was found indicates that the Borehole Shear Test is becoming popular, mainly in the USA, however there is still a shortage of published works on the test. In addition, the use of modified devices for specific situations was noted. The comparison of the values of resistance parameters was hindered by the high variability in the nomenclature of soil types in the publications raised.

Keywords: Soil. Rupture resistance parameters. Borehole Shear Test. State of Art.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comparativo entre as classificações granulométricas.....	18
Figura 2 – Esquema do ensaio de cisalhamento direto.....	22
Figura 3 – Aparato desenvolvido na Universidade do Estado de Iowa.....	23
Figura 4 – Fluxograma de trabalho.....	24
Figura 5 – Contagem de arquivos por país.....	34
Figura 6 – Contagem de arquivos por continente.....	34
Figura 7 – Número de Arquivos produzidos ao longo dos anos.	35
Figura 8 – Coesão média (c) em kPa para cada tipo de solo.	45
Figura 9 – Ângulo de atrito interno médio (ϕ) em graus para cada tipo de solo.	46
Figura 10 – Ensaio BST modificado realizado em laboratório com solo compactado.	48
Figura 11 – Localização do túnel Zhongyi.....	49
Figura 12 – Protótipo desenvolvido para investigação de solo simulante lunar.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Base de dados dos arquivos levantados.	29
Tabela 2 – Contagem de arquivos por país e continente.	33
Tabela 3 – Parâmetros de resistência a ruptura extraídos por tipo de solo.	40
Tabela 4 – Valores médios de coesão e ângulo de atrito interno para cada tipo de solo.	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO American Association of State Highway and Transportation Officials

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASCE *American Society of Civil Engineers*

ASTM *American Society for Testing Materials*

BST *Borehole Shear Test*

CAPES Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CD Cisalhamento Direto

CD-ROM *Compact Disc Read-Only Memory*

EUA Estados Unidos da América

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IP Índice de Plasticidade

ISI *Institute for Scientific Information*

LL Limite de Liquidez

LP Limite de Plasticidade

SELENE-2 *Selenological and Engineering Explorer 2*

SUCS Sistema Unificado de Classificação de Solos

USCS *Unified Soil Classification System*

UFSC Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO.....	17
3.2	PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA	20
3.3	ENSAIO BST	22
4	MÉTODO	24
4.1	BUSCA E LEVANTAMENTO DE PUBLICAÇÕES DISPONÍVEIS ONLINE EM BASES DE DADOS.....	25
4.2	FILTRAGEM DOS TRABALHOS SELECIONADOS PELO PAÍS DE ORIGEM DE SUA PUBLICAÇÃO	25
4.3	FILTRAGEM DOS TRABALHOS PELA UTILIZAÇÃO DO ENSAIO BST PARA A DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA DE UM SOLO....	26
4.4	FILTRAGEM DOS TRABALHOS RESTANTES PELO IDIOMA NO QUAL SEU TEXTO FOI ESCRITO	26
4.5	LEITURA E ANÁLISE DOS TRABALHOS.....	26
4.6	CRIAÇÃO DE UMA BASE DE DADOS	27
4.7	COMPARAÇÃO DOS DADOS EXTRAÍDOS.....	27
4.8	ELABORAÇÃO DE CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O ATUAL PANORAMA DO ENSAIO BST	27
5	RESULTADOS	28
5.1	QUANTIDADE DE ESTUDOS POR PAÍS/CONTINENTE.....	28
5.2	TIPOS DE SOLOS ESTUDADOS	36
5.3	PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA	38
5.4	MODIFICAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO ENSAIO BST EM OUTRAS ÁREAS..	47
6	CONCLUSÕES.....	52

7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	54
	REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

Para verificar a estabilidade de uma encosta ou realizar o projeto de fundações de qualquer construção, primeiramente é necessário obter informações sobre solo para o qual se está projetando. Sendo assim, cada um dos ensaios de caracterização do solo e de determinação dos parâmetros de resistência é importante para a máxima compreensão possível da situação inicial de um projeto ou área de risco.

Dentre os ensaios para a obtenção dos parâmetros de resistência de uma amostra, o ensaio mais conhecido e utilizado em todo mundo pela sua simplicidade e resultados relativamente rápidos, é o ensaio de cisalhamento direto (CD). Outro ensaio muito utilizado, é o ensaio de compressão triaxial, sendo este um ensaio mais complexo, que permite simular algumas condições encontradas em campo que o ensaio de cisalhamento direto não é capaz de reproduzir, condições como: solo drenado, saturação completa da amostra, avaliação da poro pressão, plano de ruptura no ponto mais fraco da amostra, etc. Porém, com o avanço da sociedade, dos projetos e das diferentes situações em que os solos se encontram, a eficiência e os resultados obtidos por esses ensaios, deixaram de atender algumas necessidades dos projetistas e engenheiros.

Inventado na Universidade do Estado de Iowa pelo Dr. Richard L. Handy, o ensaio que utiliza o método do *Borehole Shear Test* (BST) é utilizado para determinar rapidamente a tensão de ruptura máxima de um solo através do arrancamento de uma haste com placas metálicas na ponta, sendo essa haste inserida em um furo pré-estabelecido, inundado ou não, diretamente do campo, ou seja, sem ser necessário obter uma amostra para ensaios laboratoriais. Por essa característica de ser realizado direto no campo, o BST é um ensaio onde são reduzidos boa parte dos fatores que, ao se transportar uma amostra, podem influenciar nos resultados obtidos, além de apresentar resultados em menor quantidade de tempo do que o usual ensaio de cisalhamento direto, que é o ensaio mais comumente utilizado no Brasil, quando se busca obter os parâmetros de resistência do solo.

Mesmo sendo um ensaio com maior praticidade, um ensaio mais rápido e que causa menor deformação a estrutura do solo, no Brasil, o BST ainda não foi amplamente difundido e é raramente utilizado. Um fato que indica a baixa popularidade do BST no Brasil, é o fato de que apenas o Departamento de Engenharia Civil da UFSC possui exemplares do aparato utilizado no BST. Logo, a maioria dos artigos publicados em solo nacional sobre o tema, são produzidos ali.

Desta forma, este Trabalho de Conclusão de Curso tem como tema de estudo a análise do Estado da Arte deste método de ensaio por meio do material disponível sobre ele em revistas e acervos científicos, tendo como foco os trabalhos publicados fora do Brasil. Neste trabalho serão apresentados dados dos artigos que citam o ensaio BST em seu texto, tais como: país de origem, ano de produção, valores médios obtidos para os parâmetros de resistência a ruptura e presença de água durante o ensaio. Além disso serão apresentadas situações onde ocorreram modificações no aparato original desenvolvido por Handy, e conclusões sobre a situação atual das publicações acadêmicas sobre o tema. Ao fim, sugestões para futuros trabalhos serão indicadas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho é realizar um levantamento dos mais recentes avanços científicos e práticas do método BST e seus semelhantes, em variadas situações, com foco na criação de um estudo sobre o Estado da Arte do BST fora do Brasil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Criar um índice com todos os artigos que citam o ensaio BST utilizados na análise, buscando facilitar futuros estudos;
- Comparar os parâmetros de resistência obtidos dos solos ensaiados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Mesmo não tendo sido extensivamente difundido, era esperado que ocorresse aumento da popularidade do ensaio BST ao redor do mundo ao longo dos 50 anos desde a sua criação, o que levou ao aumento no número de pesquisas sobre o tema. Porém, acompanhar a diversa gama de resultados dos também diferentes trabalhos publicados, é uma tarefa que pode se mostrar desafiadora. E isto não é uma característica específica e única ao tema de ensaios para caracterização de solos.

Para que um campo do conhecimento avance, é necessário que o que já foi produzido seja conhecido pelos profissionais da área, e é exatamente isso o que uma pesquisa denominada de “estado da arte” ou “estado do conhecimento” proporciona. Soares (1987), em *Alfabetização no Brasil – O estado do conhecimento*, afirma:

Essa compreensão do estado do conhecimento sobre um tema, em determinado momento, é necessária no processo de evolução da ciência, afim de que se ordene periodicamente o conjunto de informações e resultados já obtidos, ordenação que permita indicação das possibilidades de integração de diferentes perspectivas, aparentemente autônomas, a identificação das duplicações ou contradições e a determinação de lacunas e vieses (SOARES, 1987).

Além do que foi citado por Soares, temos a definição apresentada por Morosini e Fernandes (2014), que definem “estado do conhecimento” como:

(...) identificação, registro, categorização que levem à reflexão e síntese sobre a produção científica de uma determinada área, em um determinado espaço de tempo, congregando periódicos, teses, dissertações e livros sobre uma temática específica. (MOROSINI e FERNANDES, 2014).

Geralmente, ao criar um banco de dados sobre o assunto a ser tratado, o pesquisador envolvido com este tipo de pesquisa proporciona a aqueles que no futuro irão seguir estudando a sua área, um ponto de partida mais claro, onde a maioria das informações iniciais ao seu trabalho estão reunidas em uma única publicação. Porém, a própria definição do que é um banco de dados depende de seu propósito.

Elmasri e Navathe (2005) afirmam que um banco de dados é uma coleção de dados relacionados. Porém esta definição apresenta uma ideia muito ampla de como pode ser definido um banco de dados, então logo a seguir eles apresentam uma definição mais objetiva e afirmam que:

(...) um banco de dados possui algumas fontes das quais os dados são derivados, alguns níveis de interação com os eventos do mundo real e um público efetivamente interessado em seus conteúdos (ELMASRI e NAVATHE, 2005).

Tendo como referência esta afirmação, pode-se caracterizar a criação de uma base de dados por meio de um estudo do “estado do conhecimento”, como uma forma de organizar de

maneira lógica os diversos dados e informações produzidos em nível acadêmico sobre um determinado tema, tendo como o público alvo, os futuros pesquisadores que buscam desenvolver o campo de conhecimento de suas áreas.

Ferreira (2001) cita que para produzir pesquisas que levam o nome de “estado da arte”, os pesquisadores utilizam catálogos de faculdades, instituto, universidades, associações nacionais e órgãos de fomento da pesquisa. Ela também afirma que:

Os catálogos passam a ser produzidos atendendo ao anseio manifestado pelas universidades de informar sua produção à comunidade científica e à sociedade, socializando e, mais do que isso, expondo-se à avaliação. (FERREIRA, 2001).

A elaboração desses catálogos cresceu com o aumento do número de publicações científicas no país, influenciado pelo também aumento no número de programas de pós-graduação e de novos doutores com o passar dos anos, de acordo com Hilu e Gisi (2011). Também é citado por elas, que entre os anos de 1987 e 2003, houve um aumento de 932% no número de novos doutores no Brasil. Além disso, elas apontam que de acordo com o Institute for Scientific Information – ISI (BRASIL, 2005), no Brasil haviam 1.901 publicações científicas no ano de 1981, número que passou a ser de 12.596 publicações no ano de 2003. Esse aumento na produção de artigos, teses e outras publicações de cunho acadêmico, pode ter sido um dos motivos que aceleraram a criação das bases de dados online. Onde, no começo do século XXI eram produzidos catálogos impressos, que mais tarde eram transformados em CD-ROM, de acordo com Ferreira (2001), com o passar dos anos e com o desenvolvimento e popularização da internet, os catálogos impressos e mídias físicas deram espaço para os mecanismos de busca online e diretórios online.

Existem diferenças entre um mecanismo de busca, podendo também ser chamado de motor de busca, e um diretório, como cita Cendón (2001). Ela destaca que diretórios possuem base de dados menores, o que pode ser entendido com uma desvantagem, porém ao serem realizadas pesquisas nesses diretórios, apenas informações relevantes sobre o assunto serão apresentadas, diferente do que ocorre ao se fazer uma pesquisa em um dos mecanismos de busca por meio de palavras-chave. Além disso, Cendón (2001) cita que:

Diretórios são também mais apropriados para buscas por tópicos que sejam de interesse para um grande número de pessoas, pois é alta a probabilidade que sejam parte da árvore hierárquica; ou tópicos muito amplos os quais retornariam um número muito elevado de respostas em um motor de busca. Já os motores de busca permitem a localização de qualquer tipo de informação, por mais obscura ou específica, desde que exista na Internet e esteja indexada. Mas como a sua base de dados é muito grande, constituída de milhões de páginas, a chance de se recuperar um grande número de resultados não relacionados com os tópicos pesquisados é também maior. Ou seja, obtém-se menor precisão nos resultados da busca. (CENDON, 2001).

Entre os mais diversos buscadores de informações existentes na internet, o mais famoso e mais utilizado em todo o mundo é o Google, de acordo com (CHRIS, 2016). Com mais de 90% do mercado de buscas, o Google se mantém na liderança absoluta, com seus algoritmos de busca sendo cada vez mais enriquecidos desde a sua criação em 1998 por Larry Page e Sergey Bin (GOOGLE, 2021). O Google Acadêmico é uma ramificação do buscador principal da Google, que tem como enfoque a busca de artigos, TCCs, teses, dissertações e livros (SANTOS, 2019). Não se tem informações oficiais sobre, mas estima-se que o Google Acadêmico é o buscador com a maior base de dados no mundo (GUSENBAUER, 2019). Essa ferramenta realiza buscas em variadas bases de dados abertas.

Um das bases de dados utilizadas neste trabalho, é a base de dados da Sociedade Americana de Engenheiro Civis (*ASCE – American Society of Civil Engineers*). Ela é a maior base de dados de textos focados em engenharia civil no mundo, com mais de 145 mil artigos (ASCE LIBRARY, 2016). Além desta, outras bases foram utilizadas na pesquisa, tais quais pode ser citada como exemplo a base de dados Elsevier, que foi fundada em 1880 como uma editora holandesa de publicações acadêmicas, e se tornou no que conhecemos hoje em dia como uma empresa de publicações multimídia internacional (ELSEVIER, 2021). Como outro exemplo, temos a *ASTM International*. Além de ser um órgão criado nos EUA para definir e publicar normas para materiais, produtos, sistemas e serviços (ASTM INTERNATIONAL, 2014), em seu site, podem ser encontrados todas as publicações que estão organizadas em sua base de dados.

Os conceitos de estado da arte, ou estado do conhecimento, e de base de dados previamente estabelecidos, indicam que a produção deste trabalho que, tem como foco o levantamento dos trabalhos sobre o BST produzidos fora do Brasil, seguido por uma análise destas publicações quanto ao estado em que as práticas do ensaio se apresentam atualmente e quanto aos resultados por ele obtidos em diferentes cenários pode ser entendida como uma pesquisa do estado da arte.

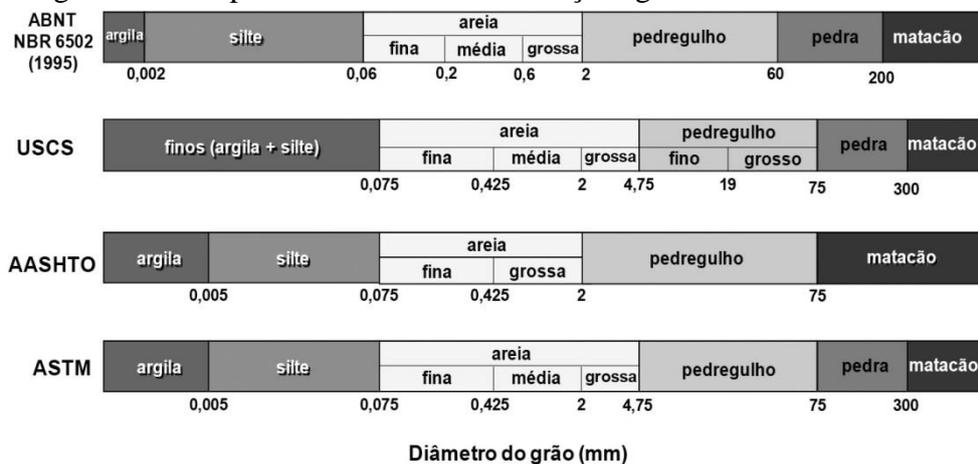
3.1 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

Como este trabalho se baseia em estudos sobre um ensaio geotécnico, especificamente um ensaio que busca caracterizar o solo com base em seus parâmetros de resistência, alguns conceitos iniciais devem ser estabelecidos, como por exemplo o conceito do que é o “solo”. Dependendo do objetivo que se deseja atingir com a definição de solo, variações podem ser

encontradas em sua descrição. De acordo com Braja (2006), os solos são formados pela erosão das rochas. As diferentes partículas presentes no solo, dão as características de cada solo de acordo com a proporção de cada tipo de grão que forma sua fase sólida.

As rochas, que podem ser de origem ígneas, sedimentares ou metamórficas, sofrem intemperismo, que é o processo de ruptura de rochas em pedaços menores, tanto por processos físicos, quanto por processos químicos (BRAJA, 2006). O rompimento das partículas das rochas, geram as partículas que serão classificadas pelo seu tamanho. Essas partículas, de forma geral, são classificadas entre pedregulhos, areia, silte e argila, sendo esta última nem sempre composta por argilominerais, podendo em alguns casos ser composta por partículas de quartzo, feldspato ou mica quando estas apresentarem tamanhos menores que 2 micrômetros, que é o limite definido pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) para partículas de argila (BRAJA, 2006). Porém, outras classificações para os tamanhos das partículas existem além da apresentada pela ABNT, onde solos contendo essas partículas que não são argilominerais, são classificados como argila, pois o limite é maior, de 5 micrômetros. A Figura 1 demonstra um comparativo entre as classificações indicadas pela ABNT, pelo USCS (conhecido no Brasil como SUCS), pela AASHTO e pela ASTM (SUPORTE SOLOS, 2018).

Figura 1 – Comparativo entre as classificações granulométricas.



Fonte: Suporte Solos (2018).

É possível ver que por mais que no geral exista um consenso de qual a classificação uma partícula de solo deva receber, nos extremos dos limites, há divergência entre as diversas entidades. Essas divergências afetam o meio acadêmico e profissional que se relaciona com a geotecnia.

A nomenclatura do solo geralmente ocorre após os vários ensaios de classificação aos quais uma amostra daquele solo é submetida. Um dos métodos mais utilizados ao se nomear um solo, é o do Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), onde os solos são

divididos primeiramente em grupos, que serão divididos em subgrupos de acordo com os índices e valores obtidos nos ensaios de caracterização. Os grupos desse sistema são:

- G (gravel) – Pedregulhos;
- S (sand) – Areias;
- M (mo) – siltes inorgânicos e areias finas;
- C (clay) – argilas inorgânicas;
- O (orgânico) – siltes e argilas orgânicas.

Já os subgrupos são os seguintes:

- W (well graded) – bem graduado;
- P (poorly graded) – mal graduado;
- H (high) – alta compressibilidade;
- L (low) – baixa compressibilidade.

As maiores partículas, no caso os pedregulhos e areias são subdivididas em bem graduadas (W) e mal graduadas (P), onde o ensaio de caracterização mais importante para se classificar essas partículas é o ensaio granulométrico.

Quando a fração fina do solo que tem predominância de pedregulhos e areias apresenta elevada porcentagem de siltes inorgânicos ou areias finas, o solo pode ser classificado como GM ou SM. Já se as menores partículas do solo que predominarem essa porção forem argilas inorgânicas, o solo pode vir a ser classificado como GC ou SC.

Nos solos com a predominância de argilas, siltes ou material orgânico, a característica mais importante para essa classificação é sua compressibilidade, podendo esta ser alta (H) ou baixa (L). A compressibilidade é relacionada aos índices de consistência, ou Índices de Plasticidade (IP), dados pelos Limites de Atterberg, sendo estes o Limite de Plasticidade (LP) e o Limite de Liquidez (LL), de acordo com Pinto (2006).

Empiricamente é notado que a compressibilidade aumenta proporcionalmente ao Limite de Liquidez (LL), que é determinado por meio do ensaio desenvolvido por Casagrande, onde o teor de umidade ao qual o solo deve estar submetido para que após 25 golpes numa concha padrão sejam capazes de fechar uma ranhura pré-estabelecida na amostra (PINTO, 2006). Quando o LL apresentar valores maiores do que 50%, a amostra pode ser classificada como de alta compressibilidade (H). Já quando os valores resultantes do ensaio apresentarem valores abaixo de 50%, a amostra de solo é classificada como de baixa compressibilidade (L). Outro fator importante para a classificação utilizando o SUCS, é Índice de Plasticidade (IP),

que em amostras que vem a apresentar IP menores que 4, são classificadas como areias finas e siltes inorgânicas (M). Já para valores de IP maiores que 7, temos a classificação de uma argila inorgânica (C). Para solos que estiverem dentro dos limites dessa faixa, ambas as classificações são atribuídas.

Portanto, algumas das classificações de solos apresentadas pelo SUCS são:

- GW – Pedregulho bem graduado;
- GP – Pedregulho pouco graduado;
- GM – Pedregulho siltoso;
- GM-GC – Pedregulho siltoso argiloso;
- GC – Pedregulho argiloso;
- SM – Areia siltosa;
- SM-SC – Areia siltosa argilosa;
- SC – Areia argilosa;
- SW – Areia bem graduada;
- SP – Areia pouco graduada;
- CL – Argila pouco compressível;
- OL – Solo orgânico pouco compressível;
- ML – Silte pouco compressível;
- ML-CL – Silte argiloso pouco compressível;
- OH – Solo orgânico altamente compressível;
- MH – Silte altamente compressível;
- CH – Argila altamente compressível.

3.2 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA

As incontáveis combinações destas partículas criam um objeto de estudo que sempre apresenta características físicas diferentes, porém todo e qualquer solo apresenta valores para os parâmetros de resistência, por ser algo inerente ao mundo físico. Independentemente de sua composição mineralógica, por meio dos resultados de resistência ao cisalhamento obtidos nos diversos pontos ensaiados utilizando o BST, ao utilizar correlações diretas, podem ser obtidos os parâmetros de resistência a ruptura do solo. Os parâmetros obtidos são o de *ângulo de atrito interno* (ϕ) e o de *coesão* (c).

Estes parâmetros foram primeiramente apresentados pela teoria de Coulomb (1776) que relacionava a tensão normal e a tensão de cisalhamento entre as partículas do solo presentes no plano de cisalhamento. Atualmente, no mundo todo, o *Critério de ruptura de Mohr-Coulomb* é o mais utilizado, onde Pinto em *Curso Básico de Mecânica dos Solos*, cita que:

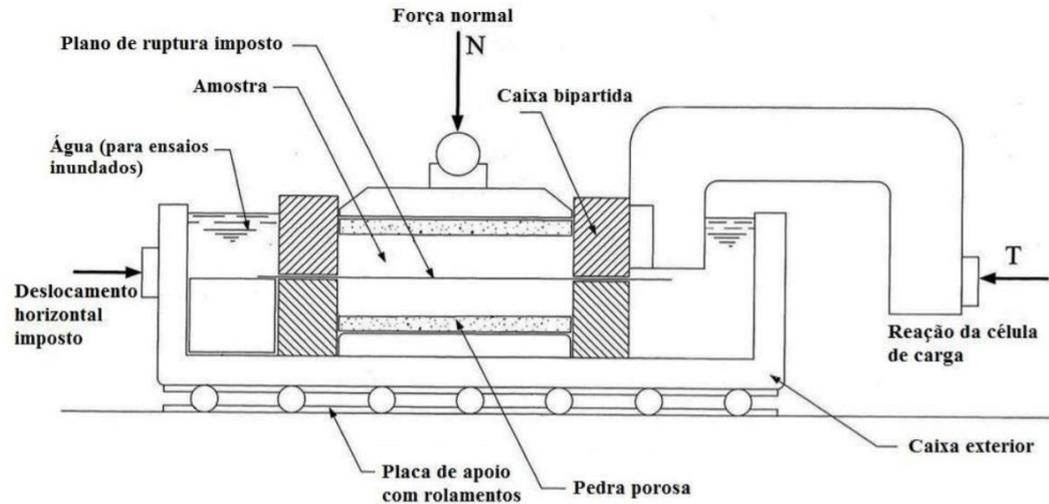
Ao se fazer uma reta como a envoltória de Mohr, seu critério de resistência fica análogo ao de Coulomb, justificando a expressão *critério de Mohr-Coulomb*, costumeiramente empregada na Mecânica dos Solos (PINTO, 2006).

Braja (2006) apresenta a equação (3) que descreve a função linear do *Critério de ruptura de Mohr-Coulomb*, relacionando a coesão (c), o ângulo de atrito interno (ϕ), a tensão normal ao plano de ruptura (σ), e por fim, a resistência ao cisalhamento (τ_f).

$$\tau_f = c + \sigma \operatorname{tg}\phi \quad (3)$$

Esta equação é utilizada tanto pelo ensaio de cisalhamento direto, quanto pelo ensaio BST. Em detalhes, o ensaio de cisalhamento direto é composto por uma caixa cisalhante bipartida, que em seu interior contém uma pedra porosa e um anel para a moldagem da amostra. Esta caixa bipartida é inserida numa caixa exterior que fica apoiada numa placa de apoio com rolamentos, assim possibilitando o deslocamento horizontal sem que haja influência do atrito entre a superfície da caixa exterior e do aparelho que dá suporte ao ensaio. Caso o ensaio a ser realizado seja inundado, é adicionado água dentro da caixa para saturar a amostra. Antes de iniciar o deslocamento horizontal e assim iniciar o processo de ruptura da amostra, é necessário a aplicação de uma força normal no plano superior da amostra, que quando dividida pela área da seção transversal da amostra, indica a tensão normal σ que ocorre em seu interior. O esquema apresentado na Figura 2, indica como usualmente é realizado o ensaio de cisalhamento direto.

Figura 2 – Esquema do ensaio de cisalhamento direto.



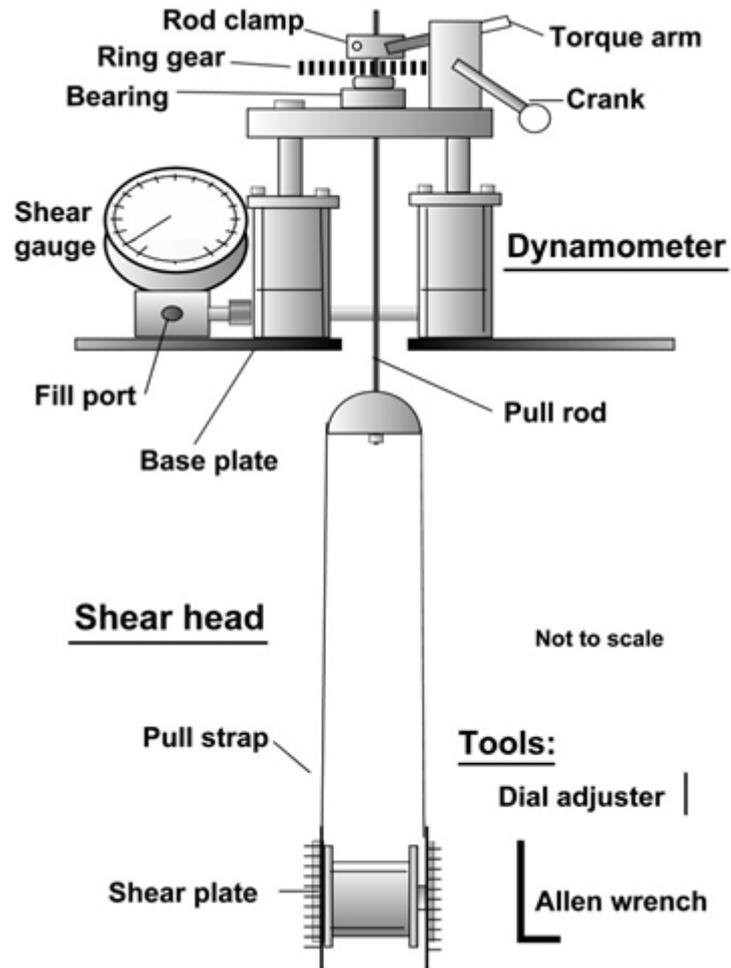
Fonte: Morais (2017).

Este ensaio tem como princípio o critério de Coulomb, e após a aplicação de diferentes tensões normais σ , que se relacionam com também diferentes tensões cisalhantes τ , é obtida a envoltória de tensões, e por meio dela indicados os parâmetros de resistência.

3.3 ENSAIO BST

Com relação ao BST, o aparato utilizado no ensaio pode ser dividido em três partes principais, sendo elas: a base metálica que fica apoiada no solo, onde o medidor de esforço cisalhante está anexado; a sonda cisalhante, que consiste em uma haste metálica que apresenta em sua ponta duas placas paralelas que apresentam ranhuras em sua face para melhor aderência as paredes do furo pré-estabelecido no solo; e por fim, a bomba manual, que faz a expansão das placas presentes na ponta da haste metálica, assim, aplicando tensão normal ao solo. A Figura 3 apresenta um esquema detalhado das partes presentes no aparato desenvolvido na Universidade do Estado de Iowa.

Figura 3 – Aparato desenvolvido na Universidade do Estado de Iowa.



Fonte: Handy Geotechnical Instruments (2021).

Tendo como base o conhecimento de que a maioria dos casos de rupturas das estruturas do solo se dão por esforços cisalhantes, pode se entender que os parâmetros de resistência de ângulo de atrito interno e de coesão obtidos pelo ensaio, são de grande importância para determinar qual o esforço limite o solo ensaiado pode ser submetido.

Sendo assim, a criação de uma base de dados que reúne os diferentes valores obtidos para esses parâmetros em todos os trabalhos publicados que foram avaliados por este trabalho, apresenta valor acadêmico, ainda mais caso seja possível relacionar dados de diferentes publicações onde o mesmo tipo de solo foi ensaiado.

4 MÉTODO

O trabalho a ser apresentado foi dividido nas etapas do método representado pelo fluxograma da Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma de trabalho.



Fonte: Autor (2021).

4.1 BUSCA E LEVANTAMENTO DE PUBLICAÇÕES DISPONÍVEIS ONLINE EM BASES DE DADOS

Foram utilizados apenas trabalhos e artigos disponíveis em bancos de dados online, como o ASCE Library, Elsevier, ASTM, entre outras. O Google Acadêmico foi o mecanismo de busca utilizado para obter resultados em diversas outras bases de dados além das já citadas. Entretanto, algumas dessas grandes bases de dados não permitem o livre acesso as publicações contidas em seus catálogos. Logo, por mais que as pesquisas realizadas no Google Acadêmico tragam informações relevantes, como uma grande parte das publicações em periódicos de engenharia não estão indexadas, os artigos, teses e dissertações nesses bancos de dados não aparecem como resultado de pesquisa. Portanto, o acesso da maioria das publicações contidas nesse trabalho foi possível através do Portal de Periódicos da CAPES.

Para acessar o Portal de Periódicos da CAPES, foi utilizado o servidor de acesso remoto da UFSC, que permite o acesso aos graduandos a esses portais de informação, sem a necessidade de uma assinatura paga, pelo convênio da universidade com a instituição (SETIC-UFSC, 2021).

As palavras-chave utilizadas nas buscas foram: BST e *Borehole Shear Test*. A pesquisa utilizando esses termos gerou um levantamento de mais de 60 publicações diferentes.

4.2 FILTRAGEM DOS TRABALHOS SELECIONADOS PELO PAÍS DE ORIGEM DE SUA PUBLICAÇÃO

Em um primeiro momento, a pesquisa pelos termos BST e Borehole Shear Test no Google Acadêmico apresentou diversos resultados dos mais variados bancos de dados, incluindo do Repositório UFSC, que armazena, preserva e divulga o material científico e institucional produzido pela universidade (REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL UFSC, 2021). Sendo assim, foram levantados outros Trabalhos de Conclusão de Curso realizados nos anos anteriores ao desse trabalho.

Das publicações levantadas, foram selecionadas apenas as publicações que não foram produzidas no Brasil. Este critério de filtragem foi adotado pelo motivo de que a UFSC é a única universidade no país que possui exemplares do aparato utilizado no ensaio BST, logo a grande maioria dos artigos publicados no país, são provenientes do Departamento de Engenharia Civil da UFSC, ou seja, o mesmo departamento onde este trabalho foi produzido.

Logo, como já foi pré-estabelecido que este trabalho focaria em publicações internacionais sobre o tema, o que foi produzido em solo nacional, não foi considerado nas análises a seguir, resultando em um total de 55 publicações restantes.

4.3 FILTRAGEM DOS TRABALHOS PELA UTILIZAÇÃO DO ENSAIO BST PARA A DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA DE UM SOLO

Em algumas das publicações levantadas, apenas foi citado um ou ambos os termos utilizados no levantamento, BST e *Borehole Shear Test*. Essas publicações não apresentavam nenhuma indicação de que o BST fora utilizado para determinar os parâmetros de resistência de um solo, como no caso do artigo produzido por Failmezger (2018), onde o foco era produzir um estudo com base no uso de Distribuições de Probabilidade Beta em quantificar a probabilidade de falha do solo por meio de ensaios hipotéticos. Além disso, algumas dessas publicações não apresentavam alguns ou nenhum dos dados obtidos para os parâmetros de resistência a ruptura, como exemplo o artigo publicado por Roling, Sritharan e Suleiman (2011), que não apresentava valores de coesão para as amostras ensaiadas.

4.4 FILTRAGEM DOS TRABALHOS RESTANTES PELO IDIOMA NO QUAL SEU TEXTO FOI ESCRITO

Como um dos critérios de filtragem, os idiomas admitidos para as publicações foram o inglês e o português. Houveram casos onde as palavras-chaves de pesquisa eram apresentadas no resumo em inglês da publicação, porém seu texto apresentava outro idioma, como no caso do trabalho sul-coreano escrito por Kim e Lim (2016).

4.5 LEITURA E ANÁLISE DOS TRABALHOS

Após a filtragem de todas as publicações pelos critérios previamente apresentados, sobraram 19 publicações das 55 levantadas. Então se deu a leitura e a análise dos valores de parâmetros de resistência por elas apresentados, onde em alguns casos, eram apresentados mais de um valor para os parâmetros do mesmo solo. Então, para esses casos, foi realizado a média simples desses valores, buscando facilitar a comparação dos dados nas próximas etapas.

4.6 CRIAÇÃO DE UMA BASE DE DADOS

Após toda a leitura e análise das publicações restantes, foi criada uma base de dados em forma de tabelas com as seguintes informações sobre elas: nome da publicação; ano da publicação; autores envolvidos; país de origem da publicação; continente de origem da publicação; parâmetros de resistência apresentados, sendo esses coesão (c) e ângulo de atrito interno (ϕ); o estado do furo quanto a presença de água em seu interior, ou seja, se o ensaio foi realizado com o furo inundado ou não; o tipo de solo ensaiado.

Para várias das publicações analisadas, foram apresentados mais de um tipo de solo e a média de seus parâmetros de resistência. Entretanto, dos 27 tipos de solos apresentados, 14 destes, praticamente metade, apresentaram apenas um valor para os seus parâmetros de resistência.

4.7 COMPARAÇÃO DOS DADOS EXTRAÍDOS

Após a elaboração da base de dados, foram criados gráficos que comparavam: a quantidade de publicações produzidas por país; a quantidade de publicações produzidas por continente; os valores de coesão média; e os valores de ângulo de atrito médio. Foram feitas tabelas que apresentavam a quantidade de vezes que um tipo de solo apareceu na base de dados, e para cada tipo de solo, quantas vezes foi indicado se o ensaio BST foi realizado em uma condição inundada ou não.

Também foi produzida uma lista contando todos os tipos de solos apresentados nos artigos e a diferença de nomenclatura, lista que será apresentada no item 5.2.

4.8 ELABORAÇÃO DE CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O ATUAL PANORAMA DO ENSAIO BST

Por fim, foram apresentados exemplos onde o ensaio BST teve modificações em seus aparatos para se adequar a situações específicas, de acordo com as publicações levantadas. Além disso, foram relatadas as dificuldades ao obter as publicações e ao comparar os dados apresentados por elas. Também foi realizada uma conclusão sobre o panorama atual de produções acadêmicas sobre o ensaio BST, quanto ao número de publicações por país e continente, e foram apresentadas sugestões para os trabalhos futuros.

5 RESULTADOS

Por ser um método que faz uso equipamentos importados, em âmbito nacional, quando se fala sobre o BST, tem-se um ensaio com informações pouco difundidas e pouco utilizado em medições de campo. Com um número baixo de equipamentos do país e baixa popularidade, é de se esperar que não exista grande quantidade de estudos e artigos sobre o tema, onde a maioria destas publicações sejam provenientes de universidades como a Universidade Federal de Santa Catarina. Porém, fora do Brasil, observa-se que a quantidade de estudos diretamente e indiretamente relacionados com o BST é consideravelmente maior.

Acervos de artigos acadêmicos, tais como o ASCE Library, apresentam estudos onde o BST foi utilizado em diversas situações, desde as mais simples onde o ensaio foi utilizado para apenas obter os parâmetros de coesão e ângulo de atrito interno do solo, até as mais sofisticadas, onde foram feitas modificações no equipamento para se determinar alterações estruturais do solo relacionadas a trocas de calor entre solo-estrutura, ou ainda modificações para determinar os parâmetros de resistência de amostras que simulam o solo lunar.

5.1 QUANTIDADE DE ESTUDOS POR PAÍS/CONTINENTE

Ao realizar a busca pelas palavras-chave anteriormente apresentadas no capítulo de Método do trabalho, no início foram encontrados 55 arquivos que apresentavam ao menos uma citação de um dos termos. Tais arquivos englobavam artigos, apostilas, relatórios e discussões sobre diversos temas, que foram produzidos em diferentes países, sendo destes 55 predominantemente originados nos EUA, com uma contagem de 46 arquivos, seguidos pela China, com uma contagem de 3 arquivos. Os outros países presentes no levantamento foram o Japão, Alemanha, Itália, Bulgária, Taiwan e Coréia do Sul, todos com a contagem de 1 arquivo. A Tabela 1 e apresentam quais foram os arquivos levantados e seu país de origem.

Tabela 1 – Base de dados dos arquivos levantados.

Nome do Arquivo	Ano de Publicação	Autores	País	Continente
State-of-the-Art of Structural Test Methods for Walls, Floor, Roofs and Complete Buildings.pdf	1974	C. W. C. Yancey; L. E. Cattaneo.	EUA	Norte América
Study to Investigate the Effects of Skin Friction on the Performance of Drilled Shafts in Cohesive Soils.pdf	1982	Woodward-Clyde Consultants.	EUA	Norte América
Strength Testing of Marine Sediments - Laboratory and In-Situ Measurements.pdf	1984	ASTM Committee D-18 on Soil and Rock; Ronald C. Chaney; Kenneth R. Demars.	EUA	Norte América
In Situ Strength Characteristics of Coal Mine Floor Strat in Illinois.pdf	1986	Yoginder P. Chugh.	EUA	Norte América
Reproducibility of Borehole Shear Test Results in Marine Clay.pdf	1987	Alan J. Lutenegeger; David A. Timian.	EUA	Norte América
Shear Strength of Prestressed Cohesive Soils.pdf	1987	Alan J. Lutenegeger.	EUA	Norte América
Suggested Method for Performing the Borehole Shear Test.pdf	1987	ASTM Subcommittee D18.02 on Sampling and Related Field Testing for Soil Investigation.	EUA	Norte América
Uplift Capacity of Small-Diameter Drilled Shafts from In Situ Tests.pdf	1994	Alan J. Lutenegeger; Gerald A. Miller.	EUA	Norte América
Discussion - Bearing Capacity of Shallow Foundations on Noncohesive Soils.pdf	1996	Ashraf M. Ghaly. Alan J. Lutenegeger Michael Adams	EUA	Norte América
Beam-Column Method for Tieback Walls.pdf	1998	Jean-Louis Briaud; Nak-Kyung Kim.	EUA	Norte América
Behavior of Five Large Spread Footing in Sand.pdf	1999	Jean-Louis Briaud; Robert Gibbens.	EUA	Norte América
Behavior of Full-Scale VERT Wall In Sand.pdf	2000	Jean-Louis Briaud; Peter Nicholson; Jonghyub Lee.	EUA	Norte América
Modeling Channel Instabilities and Mitigation Strategies in Eastern Nebraska.pdf	2000	Eddy J. Langendoen; Andrew Simon; Carlos V. Alonso.	EUA	Norte América
Beyond Root Reinforcement - the hydrologic effects of riparian vegetation on riverbank stability.pdf	2001	Andrew Collison; Andrew Simon.	EUA	Norte América
Failure mechanisms and pore water pressure conditions - analysis of a riverbank along the Arno River (Central Italy).pdf	2001	Stefano Dapporto; Massimo Rinaldi; Nicola Casagli.	Itália	Europa
Quantifying Root Reinforcement of Streambanks for Some Common Riparian Species - Are Willows As Good As It Gets.pdf	2001	Andrew Simon; Andrew J.C. Collison.	EUA	Norte América

Fonte: Autor (2021).

Tabela 1 (cont.) – Base de dados dos arquivos levantados.

Combined Geomorphic and Numerical-Modeling Analyses of Sediment Loads for Developing Water-Quality Targets for Sediment.pdf	2003	A. Simon; R.L. Bingner; E.J. Langendoen; C.A., Alonso; Y. Yuan; R.R.Wells.	EUA	Norte América
Construction Effect on Load Transfer along Bored Piles.pdf	2004	Ming-Fang Chang; Hong Zhu.	EUA	Norte América
Improved design and data interpretation of a multi-purpose borehole testing device for soft rock.pdf	2005	Y.-W. Pan; J.-J. Liao; A.-B. Huang; J.-C. Chang; H.-J. Liao.	Taiwan	Ásia
Numerical Simulation of Post Dam Removal Sediment Dynamics Along the Kalamazoo River between Otsego and Plainwell, Michigan.pdf	2005	Eddy J. Langendoen; Robert R. Wells; Andrew Simon.	EUA	Norte América
Soil slope stability investigation and analysis in Iowa.pdf	2005	Hong Yang.	EUA	Norte América
Influence of Flooding on Borehole Shear Test (BST) Results in Unsaturated Soil.pdf	2006	Charbel N. Khoury; Gerald A. Miller.	EUA	Norte América
In-situ Borehole Shear Test and Rock Borehole Shear Test for Slope Investigation.pdf	2006	Hong Yang; David J. White; Vernom R. Schaefer.	EUA	Norte América
Stress Zones Near Displacement Piers - I. Plastic and Liquefied Behavior.pdf	2006	R. L. Handy; David J. White.	EUA	Norte América
Case Study - Optimization and Monitoring of Slope Design In Highly Weathered Shale.pdf	2007	Emad Farouz; Bhooshan Karnik; Robert Stanley.	EUA	Norte América
Coupled Pressuremeter-Phicometer Analysis for Soil Exploration.pdf	2007	Rolf Katzenbach; Christian Gutberlet; Stefan Wachter.	Alemanha	Europa
Application of a Deterministic Bank-Stability Model to Design a Reach-Scale Restoration Project.pdf	2008	Andrew Simon; David Derrick; Carlos Alonso; Natasha Pollen-Bankhead.	EUA	Norte América
Characterization and Geotechnical Properties of Piedmont Residual Soils.pdf	2008	Vincent O. Ogunro; Brian J. Anderson; James Starnes, Jr.; Richard Burrage.	EUA	Norte América

Fonte: Autor (2021).

Tabela 1 (cont.) – Base de dados dos arquivos levantados.

Numerical Modeling of Bank Instability by Seepage Erosion Undercutting of Layered Streambanks.pdf	2008	M. L. Chu-Agor; G. V. Wilson; G. A. Fox.	EUA	Norte América
Quantifying Existing and Potential Reductions in Sediment Loads from Streambanks.pdf	2008	Andrew Simon; Natasha Bankhead; Virginia Mahacek; Eddy Langendoen.	EUA	Norte América
Effects of Long-Term Dynamic Loading and Fluctuating Water Table on Helical Anchor Performance for Small Wind Tower Foundations.pdf	2009	Amy B. Cerato; Rory Victor.	EUA	Norte América
Hands-On Undergraduate Geotechnical Engineering Modules in the Context of Effective Learning Pedagogies, ABET Outcomes, and Our Curricular Reform.pdf	2009	Mandar M. Dewoolkar; Lindsay George; Nancy J. Hayden; Maureen Neumann.	EUA	Norte América
Performance Monitoring of a Rammed Aggregate Pier Foundation Support in a Mechanically Stabilized Earth Wall.pdf	2009	Mark J. Thompson; Kord J. Wissmann; Ha T. V. Pham.	EUA	Norte América
Improving Prediction of the Load-Displacement Response of Axially Loaded Friction Piles.pdf	2011	Muhannad T. Suleiman; Sherif S. AbdelSalam; Sri Sritharan.	EUA	Norte América
Introduction to PILOT Database and Establishment of LRFD Resistance Factors for the Construction Control of Driven Steel H-Piles.pdf	2011	Matthew J. Roling; Sri Sritharan; Muhannad T. Suleiman.	EUA	Norte América
Borehole Geotechnical Testing Tool for Lunar Exploration.pdf	2012	T. Kobayashi; S. Aoki; H. Kanamori; R. Fukagawa; S. Wakabayashi; T. Tsuji.	Japão	Ásia
Enhanced Load-Transfer Analysis for Friction Piles Using a Modified Borehole Shear Test.pdf	2012	Sherif S. AbdelSalam; Muhannad T. Suleiman; Sri Sritharan.	EUA	Norte América
Geotechnical Site Characterization in the Year 2012 and Beyond.pdf	2012	Paul W. Mayne.	EUA	Norte América
Interpretation of Borehole Shear Strength Tests of Unsaturated Loess by Suction Stress Characteristic Curves.pdf	2012	Jeremy C. Ashlock; Ning Lu.	EUA	Norte América

Fonte: Autor (2021).

Tabela 1 (cont.) – Base de dados dos arquivos levantados.

Rock borehole shear tests in dam foundation of Xiangjiaba hydropower station.pdf	2012	Yufei Zhao; Xiaogang Wang; Xiaohui Zhang; Zhixin Jia; Xiangxi Zeng; Hongtao Zhang.	China	Ásia
Liquefaction, Lateral Stress, Consolidation State, and Aging.pdf	2013	Richard L. Handy.	EUA	Norte América
Quantifying the Erodibility and Geotechnical Strength of Cohesive Alluvial Soils Following Streambank Reconstruction.pdf	2013	S.B. Lovern; G.A. Fox; R.B. Miller.	EUA	Norte América
Seepage-Induced Streambank Erosion and Instability - In Situ Constant-Head Experiments.pdf	2013	T. L. Midgley; G. A. Fox; G. V. Wilson; D. M. Heeren; E. J. Langendoen; A. Simon.	EUA	Norte América
Thermal Borehole Shear Device.pdf	2014	Kyle D. Murphy; John S. McCartney.	EUA	Norte América
Investigation of Thermo-mechanical Load Transfer (t-z curves) Behavior of Soil-Energy Pile Interface Using Modified Borehole Shear Tests.pdf	2015	Suguang Xiao; Muhannad T. Suleiman.	EUA	Norte América
Lateral cyclic pile-soil interaction studies on a rigid model.pdf	2015	Ren-peng Chen; Yong-xin Sun; Bin Zhu; Wei Dong Guo.	China	Ásia
Evaluating a process-based model for use in streambank stabilization: insights on the Bank Stability and Toe Erosion Model (BSTEM).pdf	2016	Kate Klavon; Garey Fox; Lucie Guertault; Eddy Langendoen; Holly Enlow; Ron Miller; Anish Khanal.	EUA	Norte América
Load-Displacement and Moment-Rotation Responses of Foundations Subjected to Moment Loading.pdf	2016	M. Padmavathi; V. Padmavathi; M. R. Madhav.	EUA	Norte América
Study on Shear Strength Using a Portable Dynamic Cone Penetration Test and Relationship between N-Nc.pdf	2016	Hyukho Kim; Heuidae Lim.	Coréia do Sul	Ásia
Geotechnical parameters of loess-cement mixture for construction of compacted soil-cement cushion.pdf	2017	Boriana Tchakalova; Doncho Karastanev.	Bulgária	Europa

Fonte: Autor (2021).

Tabela 1 (cont.) – Base de dados dos arquivos levantados.

Modified-Thermal Borehole Shear Test Device and Testing Procedure to Investigate the Soil-Structure Interaction of Energy Piles.pdf	2017	Suguang Xiao; Muhannad T. Suleiman; Clay Naito; Mohammed Al-Khawaja.	EUA	Norte América
An Updated Database for the Spring Villa Nation Geotechnical Experimentation Site.pdf	2018	Jack Montgomery, Ph.D.; Chao Shi; J. Brian Anderson, Ph.D., P.E.	EUA	Norte América
Effect of Temperature and Radial Displacement Cycles on Soil-Concrete Interface Properties Using Modified Thermal Borehole Shear Test.pdf	2018	Suguang Xiao; Muhannad T. Suleiman; Rehab Elzeiny; Clay Naito; Sudhakar Neti; Mohammed Al-Khawaja.	EUA	Norte América
Quantifying Geotechnical Probability of Failure - A Simpler Approach.pdf	2018	Roger A. Failmezger.	EUA	Norte América
Field Experimental Study on the Broken Rock Zone of Surrounding Rock and the Rock Borehole Shear Tests of the Large Deformation Tunnel.pdf	2019	Guansheng Han; Bo Meng; Hongwen Jing; Jiangyu Wu.	China	ÁSIA

Fonte: Autor (2021).

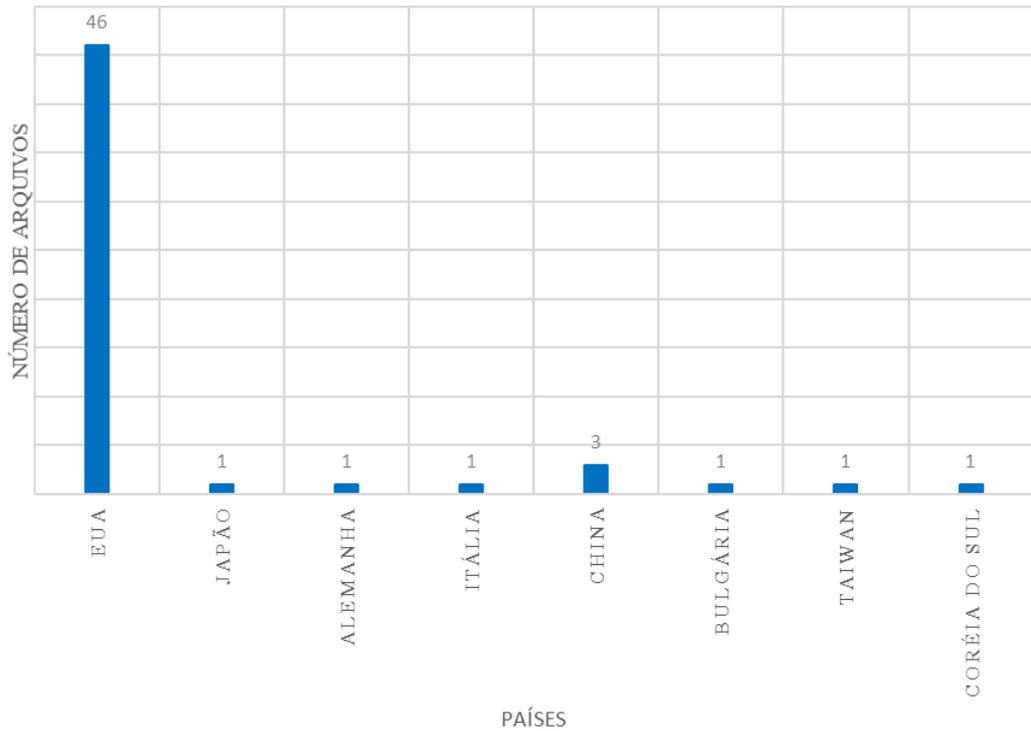
Tabela 2 – Contagem de arquivos por país e continente.

País	Contagem	Continente	Contagem
EUA	46	Norte América	46
Japão	1	Ásia	6
Alemanha	1	Europa	3
Itália	1		
China	3		
Bulgária	1		
Taiwan	1		
Coréia do Sul	1		

Fonte: Autor (2021).

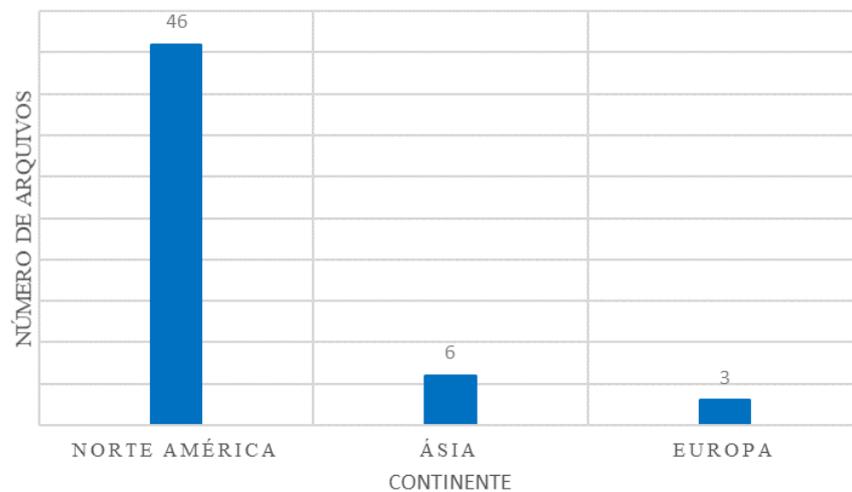
Como pode ser visto na Tabela 2, além do país de origem, foi considerado o continente em que o arquivo foi produzido. Isto foi feito para que uma comparação entre a quantidade de arquivos produzidos pelos continentes. A Figura 5 e a Figura 6 apresentam os dados obtidos de forma visual.

Figura 5 – Contagem de arquivos por país.



Fonte: Autor (2021).

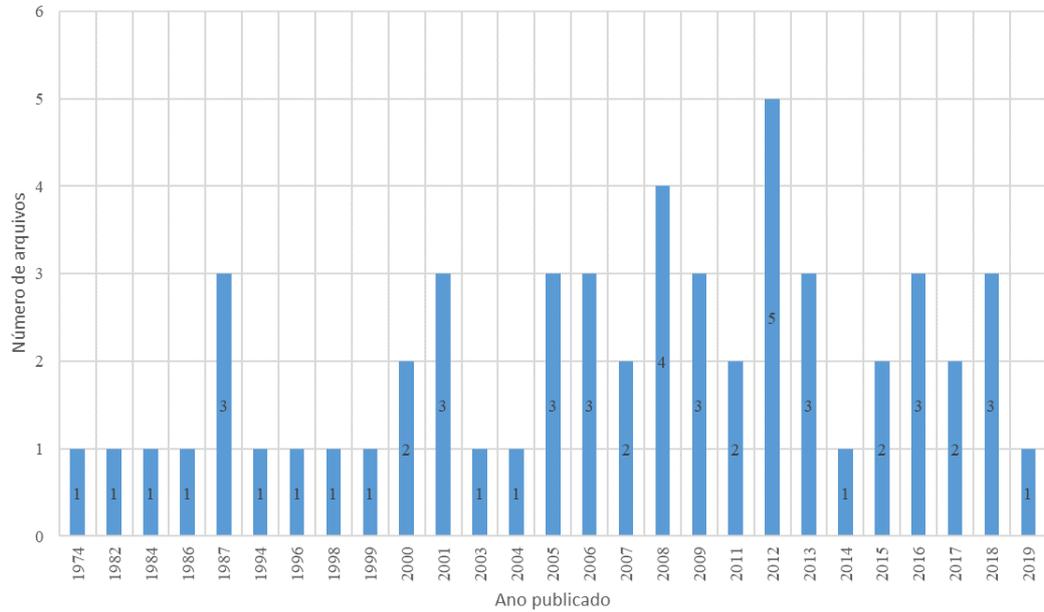
Figura 6 – Contagem de arquivos por continente.



Fonte: Autor (2021).

Além disso, foi produzido uma comparação entre o número de arquivos produzidos ao longo dos anos. O Figura 7 apresenta os valores obtidos.

Figura 7 – Número de Arquivos produzidos ao longo dos anos.



Fonte: Autor (2021).

Com bases nessas figuras pode-se perceber que a grande maioria dos trabalhos publicados são provenientes da América do Norte, mais especificamente dos Estados Unidos da América.

Além disso, pode-se ver que não houve expressivo aumento no número de publicações que citam o BST ao longo dos anos, com um pico de 5 publicações no ano de 2012. Também houve vários anos onde não foram publicados nenhum artigo ou estudo relacionado ao tema.

Vale ressaltar que existe a possibilidade de mais publicações terem sido realizadas ao longo dos anos. Estas publicações ficaram de fora deste trabalho, pois como descrito previamente, os critérios de eliminação ao realizar a busca envolvem apenas publicações escritas na língua portuguesa ou inglesa, e publicações disponíveis nos dispositivos de busca acadêmica, tais como Elsevier, ASCE Library, Google Acadêmico, entre outros já citados.

Dos 55 documentos levantados, apenas 19 foram considerados ao comparar os parâmetros de resistência obtidos pelo ensaio BST. Das 19 publicações restantes, apenas duas não eram provenientes dos Estados Unidos, sendo uma delas de pesquisadores italianos, e a segunda realizada em Taiwan, na Ásia.

5.2 TIPOS DE SOLOS ESTUDADOS

O ensaio BST pode ser utilizado em todos os tipos de solos, inclusive em rochas se algumas adaptações forem feitas no equipamento. Portanto, diversos tipos de solos foram estudados a partir deste método, e alguns dos estudos levantados pela base de dados deste trabalho, documentaram suas características, tais como coesão, ângulo de atrito, resistência ao cisalhamento, entre outras. A seguir é apresentada uma lista de alguns dos solos estudados, pelos nomes que foram chamados, em tradução livre. Alguns dos nomes permaneceram em inglês por falta de uma tradução apropriada:

- Aluvião;
- Areia;
- Areia argilosa;
- Areia siltosa;
- Areia siltosa mal graduada;
- Argila;
- Argila aluvial;
- Argila arenosa;
- Argila arenosa pouco plástica;
- Argila arenosa siltosa;
- Argila marinha;
- Argila muito plástica;
- Argila pouco plástica;
- Argila siltosa;
- Argila siltosa arenosa;
- Argila siltosa lacustre;
- Argila xistosa altamente meteorizada;
- Argila xistosa levemente meteorizada;
- Argila xistosa moderadamente meteorizada;
- Argila pouco plástica;
- Blocos de silte;

- Calcário;
- Calcário com superfícies de fricção;
- Calcário de xisto;
- Cascalho arenoso;
- Dark underclay;
- Dark underclay relatively hard;
- Fill;
- Limey underclay;
- Simulante de solo lunar;
- Rocha fraturada;
- Rocha meteorizada;
- Rochas;
- Silte;
- Silte arenoso;
- Silte arenoso argiloso;
- Silte argiloso arenoso;
- Silte baixa coesão;
- Silte eólico;
- Silte pouco plástico;
- Underclay;
- Underclay Slickensided;
- Xisto;
- Xisto altamente meteorizado;
- Xisto arenoso;
- Xisto arenoso cinzento;
- Xisto arenoso/arenito;
- Xisto cinzento claro;
- Xisto cinzento com calcário;
- Xisto cinzento escuro;
- Xisto cinzento médio;
- Xisto cinzento médio com calcário;

- Xisto cinzento/preto;
- Xisto moderadamente meteorizado;
- Xisto pouco meteorizado;
- Xisto siltoso cinzento médio.

É de conhecimento geral em geotecnia que existem diversos tipos de solo ao redor do mundo, com diferentes composições e características. Entretanto, a lista acima apresenta termos que parecem indicar características semelhantes, tais como “xisto arenoso cinzento” e “xisto cinzento claro”. É possível que autores diferentes indiquem nomes diferentes para solos com composições mineralógicas próximas, ou ainda, idênticas. As características dos grãos que compõem o solo e seus diferentes comportamentos provenientes das interações com outras partículas e/ou íons presentes no solo, principalmente em composições com grande presença de argila e silte, dificulta a correlação entre os tipos de solo e, por conseguinte, a correlação direta entre os parâmetros de resistência para cada ensaio realizado com o BST ou qualquer outro método.

Como dito anteriormente, a nomenclatura de cada uma das composições pode ser diferente dependendo do profissional que está envolvido em sua classificação. Isso acontece porque, por mais que sejam universalmente difundidos, os ensaios de caracterização, como o ensaio de granulometria e o ensaio de sedimentação, além dos índices de consistência dados pelos Limites de Atterberg, estes ensaios são ferramentas utilizadas para tentar prever o comportamento de uma amostra em certas situações, além de apenas desvendar sua composição mineralógica. Existem tabelas que correlacionam o resultado dos ensaios a um tipo de solo, porém, pela característica do solo ser um objeto de estudo como uma alta variabilidade, não são raras as situações onde os resultados obtidos pelos ensaios de caracterização indicam mais de uma possível classificação, o que abre margem para subjetividade, ficando a cargo do profissional que avalia a composição, indicar uma nomenclatura ao solo ensaiado.

As publicações utilizadas como base para este trabalho, em sua grande maioria, não indicam se foram realizados quaisquer ensaios de caracterização nos solos que são apresentados em seus textos. Sendo assim, neste trabalho serão utilizadas extrapolações ao relacionar os dados obtidos para cada um dos solos, com a finalidade de indicar valores médios para os parâmetros de resistência para certos tipos de solos.

5.3 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA

Após ser realizada a leitura e análise das 19 publicações restantes, foram extraídos os parâmetros de resistência à ruptura dos solos ensaiados. Assim, foi construída a Tabela 3 com estes valores.

Como evidenciado pela Tabela 3, a maioria dos solos descritos aparecem apenas em uma das publicações, o que impossibilita uma comparação de dados entre estudos diferentes. Porém, como previamente citado, é possível que alguns desses solos apresentem composições mineralógicas de grande similaridade, podendo ser classificados pertencentes ao mesmo tipo, e carreguem apenas uma nomenclatura diferente.

Com a escassez de dados mais precisos e buscando simplificar a análise dos parâmetros de resistência de cada tipo de solo, foi realizada a média simples sobre todos os valores coesão e ângulo de atrito interno, gerando assim valores de coesão média e ângulo de atrito médio para cada um dos solos.

Além disso, outro fator importante ao se realizar um ensaio de caracterização no solo, é a presença de água entre suas partículas. O ensaio BST pode ser realizado em amostras sem qualquer presença de moléculas de água nas interfaces de suas partículas, ou até mesmo, em regiões onde o solo está completamente saturado. Porém, a presença ou não de água afeta consideravelmente o comportamento mecânico do solo, o que torna este fato algo que não pode ser ignorado. Sendo assim, também vale ressaltar que alguns desses valores podem não ser bem representados por uma média simples, visto que alguns dos ensaios realizados podem ter sido feitos em solo saturado, já outros em solo drenado. Este é outro ponto que dificulta a correlação dos dados levantados pelas publicações utilizadas neste trabalho, pois a maioria dos trabalhos não indica o estado em que solo se encontrava em relação a presença de água.

A Tabela 4 apresenta uma contagem de quantos pontos foram considerados para cada tipo de solo. Também indica a quantidade de pontos quanto a presença de água no solo durante o ensaio, ou seja, o furo onde a haste do BST foi inserida estava inundado ou não, podendo também não ter sido apresentado qualquer indicação sobre isso. Por fim, nas últimas colunas da Tabela 4, são apresentados os valores médios de coesão e ângulo de atrito interno, considerando todos os pontos obtidos para aquele tipo de solo.

Tabela 3 – Parâmetros de resistência a ruptura extraídos por tipo de solo.

Nome do Arquivo	Ano de Publicação	País	Coesão média (kPa)	Ângulo de atrito médio (°)	Furo inundado?	Tipo de solo
Application of a Deterministic Bank-Stability Model to Design a Reach-Scale Restoration Project.pdf	2008	EUA	1,4	33,1	Indefinido	Silte baixa coesão
			2,7	28,1	Indefinido	Blocos de silte
			2,7	28,1	Indefinido	Blocos de silte
			6,3	27	Indefinido	Argila siltosa
Beyond Root Reinforcement - the hydrologic effects of riparian vegetation on riverbank stability.pdf	2001	EUA	0	36	Indefinido	Cascalho arenoso
			2,7	28	Indefinido	Areia
			6,3	27	Indefinido	Silte
Case Study - Optimization and Monitoring of Slope Design In Highly Weathered Shale.pdf	2007	EUA	29	12	Não	Fill
			39	18	Não	Argila arenosa
			0	30	Não	Areia siltosa
			42	16	Não	Argila xistosa altamente meteorizada
			82	20	Não	Argila xistosa moderadamente meteorizada
			675	23	Não	Argila xistosa levemente meteorizada
Construction Effec on Load Transfer along Bored Piles.pdf	2004	EUA	0	21	Não	Calcário
			12,8	36,2	Não	Silte arenoso
			7,5	32,85	Sim	Silte arenoso
			14,9	29,8	Não	Silte arenoso
			5,6	34,4	Sim	Silte arenoso
			10,6	24	Não	Silte arenoso
			3,7	43,9	Sim	Silte arenoso
			13,9	36,7	Não	Silte arenoso
			3,7	36,8	Sim	Silte arenoso
			15,3	28,8	Não	Argila siltosa
			8,6	26,7	Sim	Argila siltosa
			22,8	25,6	Não	Argila siltosa
			15,7	34,4	Sim	Argila siltosa
			26,4	42	Não	Argila siltosa
			8,2	35,95	Sim	Argila siltosa
			14	37,2	Não	Argila siltosa
8,7	30	Sim	Argila siltosa			
21	39,6	Não	Argila siltosa			
12,4	31	Sim	Argila siltosa			
Discussion - Bearing Capacity of Shallow Foundations on Noncohesive Soils.pdf	1996	EUA	4	28,9	Não	Areia
			2,1	28,7	Não	Areia
			2,7	28,4	Não	Areia

Fonte: Autor (2021).

Tabela 3 (cont.) – Parâmetros de resistência a ruptura extraídos por tipo de solo.

Enhanced Load-Transfer Analysis for Friction Piles Using a Modified Borehole Shear Test.pdf	2012	EUA			Não	Argila pouco plástica
			13,6	12	Não	Argila pouco plástica
			14,9	25	Não	Argila pouco plástica
			72,6	27	Não	Argila pouco plástica
			0,5	35	Não	Fill
			11,7	28	Não	Fill
			0	34	Não	Argila pouco plástica
Failure mechanisms and pore water pressure conditions - analysis of a riverbank along the Arno River (Central Italy).pdf	2001	Itália	6,2	32,3	Não	Silte arenoso argiloso
Improved design and data interpretation of a multi-purpose borehole testing device for soft rock.pdf	2005	Taiwan	0,01	31	Não	Rocha
Improving Prediction of the Load-Displacement Response of Axially Loaded Friction Piles.pdf	2011	EUA	14,9	25	Não	Argila pouco plástica
			26,2	7	Não	Argila pouco plástica
			72,6	27	Não	Argila pouco plástica
Influence of Flooding on Borehole Shear Test (BST) Results in Unsaturated Soil.pdf	2006	EUA	0	43,2	Não	Argila muito plástica
			1,9	17,9	Sim	Argila muito plástica
			0	43,4	Não	Argila muito plástica
			0,3	20,7	Sim	Argila muito plástica
			4,9	32	Não	Argila muito plástica
			0	16,3	Sim	Argila muito plástica
			8,6	28,6	Não	Argila pouco plástica
			2	20,8	Sim	Argila pouco plástica
			16	17,7	Não	Argila pouco plástica
			3,6	13,9	Sim	Argila pouco plástica
			10,6	37	Não	Argila muito plástica
			4,2	15,5	Sim	Argila muito plástica
			3,9	36,2	Não	Argila muito plástica
			0	13,9	Sim	Argila muito plástica
			5,7	35,1	Não	Argila pouco plástica
			2,4	12,3	Sim	Argila pouco plástica
			7,8	31,2	Não	Argila pouco plástica
			0	17,6	Sim	Argila pouco plástica
7,1	29,8	Não	Argila pouco plástica			
0	17,2	Sim	Argila pouco plástica			
In-situ Borehole Shear Test and Rock Borehole Shear Test for Slope Investigation.pdf	2006	EUA	33	16,5	Não	Aluvião
			33,2	12,8	Não	Xisto altamente meteorizado
			97,4	21,6	Não	Xisto moderadamente meteorizado
			674,7	23,3	Não	Xisto pouco meteorizado

Fonte: Autor (2021).

Tabela 3 (cont.) – Parâmetros de resistência a ruptura extraídos por tipo de solo.

Interpretation of Borehole Shear Strength Tests of Unsaturated Loess by Suction Stress Characteristic Curves.pdf	2012	EUA	2,1	41	Não	Silte pouco plástico
			13,4	38	Não	Silte pouco plástico
			2,1	43	Não	Silte pouco plástico
			2,5	40	Não	Silte pouco plástico
			5,8	36	Não	Silte pouco plástico
Modeling Channel Instabilities and Mitigation Strategies in Eastern Nebraska.pdf	2000	EUA	4,3	30,9	Indefinido	Silte arenoso
			4,75	29	Indefinido	Silte arenoso
Numerical Modeling of Bank Instability by Seepage Erosion Undercutting of Layered Streambanks.pdf	2008	EUA	7,5	30	Não	Argila siltosa
			1	25,5	Não	Areia argilosa
			15	35	Não	Argila pouco plástica
Performance Monitoring of a Rammed Aggregate Pier Foundation Supportin a Mechanically Stabilized Earth Wall.pdf	2009	EUA	0	35	Indefinido	Argila arenosa pouco plástica
			18,5	25,4	Indefinido	Argila arenosa pouco plástica
			11	24,2	Indefinido	Argila arenosa pouco plástica
			2,4	28	Indefinido	Argila arenosa pouco plástica
			18	16,7	Indefinido	Argila arenosa pouco plástica
			2,4	28	Indefinido	Argila arenosa pouco plástica
Reproducibility of Borehole Shear Test Results in Marine Clay.pdf	1987	EUA	2,4	28	Indefinido	Argila arenosa pouco plástica
			19	25,4	Indefinido	Argila siltosa arenosa
			5,7	24	Indefinido	Argila siltosa arenosa
Seepage-Induced Streambank Erosion and Instability - In Situ Constant-Head Experiments.pdf	2013	EUA	8,6	19	Indefinido	Argila
			1,3	32	Indefinido	Argila arenosa
			3,3	29	Indefinido	Areia argilosa
			9,6	21	Indefinido	Argila
Shear Strength of Prestressed Cohesive Soils.pdf	1987	EUA	35,2	11	Não	Argila aluvial
			20	35,2	Não	Silte eólico
			29	34	Não	Silte eólico
			27,6	29,7	Não	Silte eólico
			28,3	23,8	Não	Silte eólico
			41,4	10,1	Não	Silte eólico
			36,6	18,8	Não	Argila marinha
			45,2	17,4	Não	Argila marinha
			71,1	13,9	Não	Argila marinha
			34,5	19,1	Não	Argila marinha
			18	22,4	Não	Argila siltosa lacruste
			22,2	25,1	Não	Argila siltosa lacruste
			38,2	11,5	Não	Argila siltosa lacruste
			57,3	13,9	Não	Argila siltosa lacruste
Stress Zones Near Displacement Piers - I. Plastic and Liquefied Behavior.pdf	2006	EUA	0	25,5	Não	Argila pouco plástica
			8,5	31,5	Não	Argila pouco plástica
			0	21	Não	Argila pouco plástica
			26,5	20,5	Não	Argila pouco plástica

Fonte: Autor (2021).

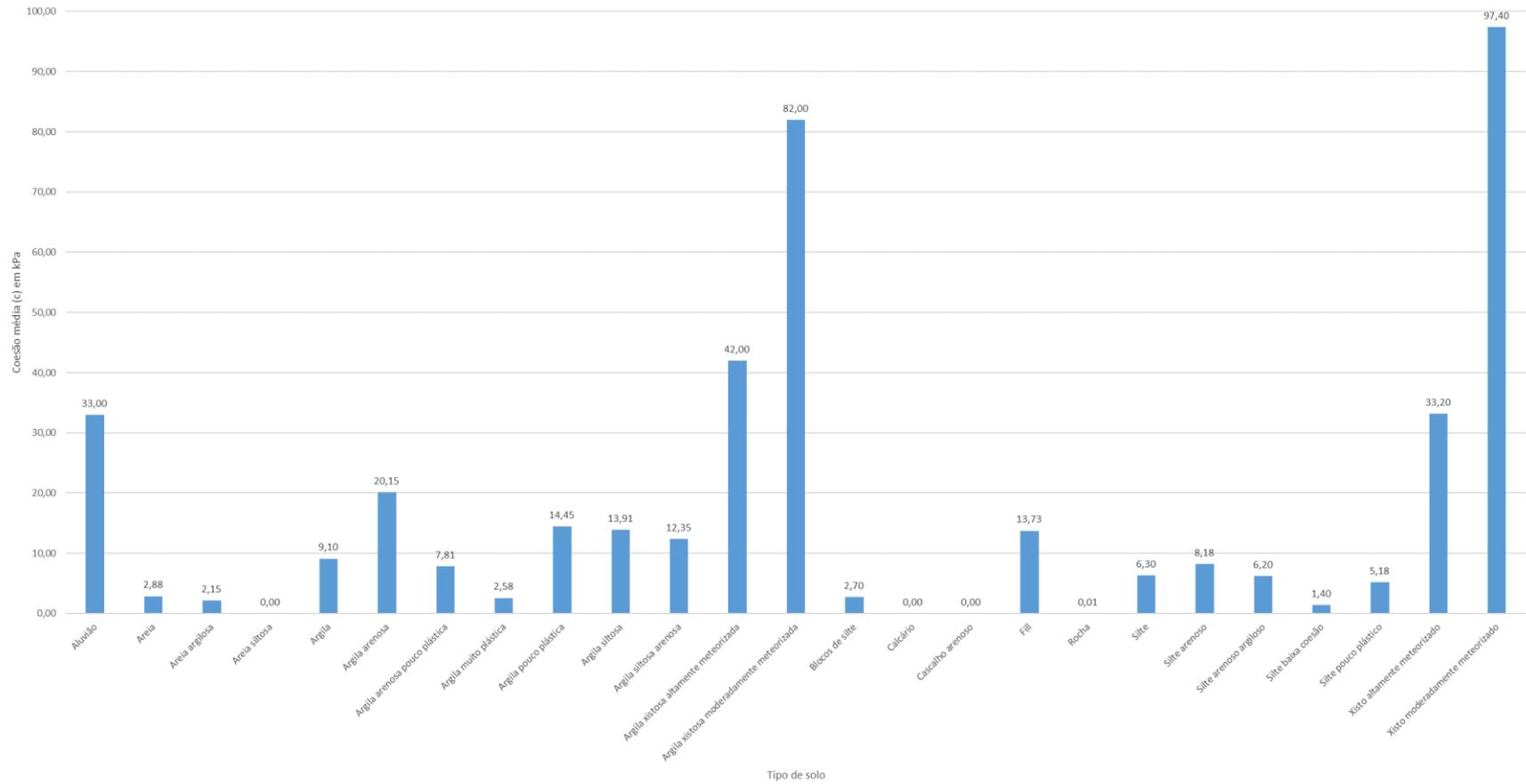
Tabela 4 – Valores médios de coesão e ângulo de atrito interno para cada tipo de solo.

Tipo de solo	Contagem	Furo inundado			Parâmetros de resistência médios por tipo de solo	
		Sim	Indefinido	Não	Coesão média (c) [kPa]	Ângulo de atrito interno médio (ϕ) [°]
Aluvião	1	0	0	1	33,00	16,50
Areia	4	0	1	3	2,88	28,50
Areia argilosa	2	0	1	1	2,15	27,25
Areia siltosa	1	0	0	1	0,00	30,00
Argila	2	0	2	0	9,10	20,00
Argila arenosa	2	0	1	1	20,15	25,00
Argila arenosa pouco plástica	7	0	7	0	7,81	26,47
Argila muito plástica	10	5	0	5	2,58	27,61
Argila pouco plástica	23	5	0	18	14,45	23,40
Argila siltosa	12	5	1	6	13,91	32,35
Argila siltosa arenosa	2	0	2	0	12,35	24,70
Argila xistosa altamente meteorizada	1	0	0	1	42,00	16,00
Argila xistosa levemente meteorizada	1	0	0	1	675,00	23,00
Argila xistosa moderadamente meteorizada	1	0	0	1	82,00	20,00
Blocos de silte	2	0	2	0	2,70	28,10
Calcário	1	0	0	1	0,00	21,00
Cascalho arenoso	1	0	1	0	0,00	36,00
Fill	3	0	0	3	13,73	25,00
Rocha	1	0	0	1	0,01	31,00
Silte	1	0	1	0	6,30	27,00
Silte arenoso	10	4	2	4	8,18	33,46
Silte arenoso argiloso	1	0	0	1	6,20	32,30
Silte baixa coesão	1	0	1	0	1,40	33,10
Silte pouco plástico	5	0	0	5	5,18	39,60
Xisto altamente meteorizado	1	0	0	1	33,20	12,80
Xisto moderadamente meteorizado	1	0	0	1	97,40	21,60
Xisto pouco meteorizado	1	0	0	1	674,70	23,30

Fonte: Autor (2021).

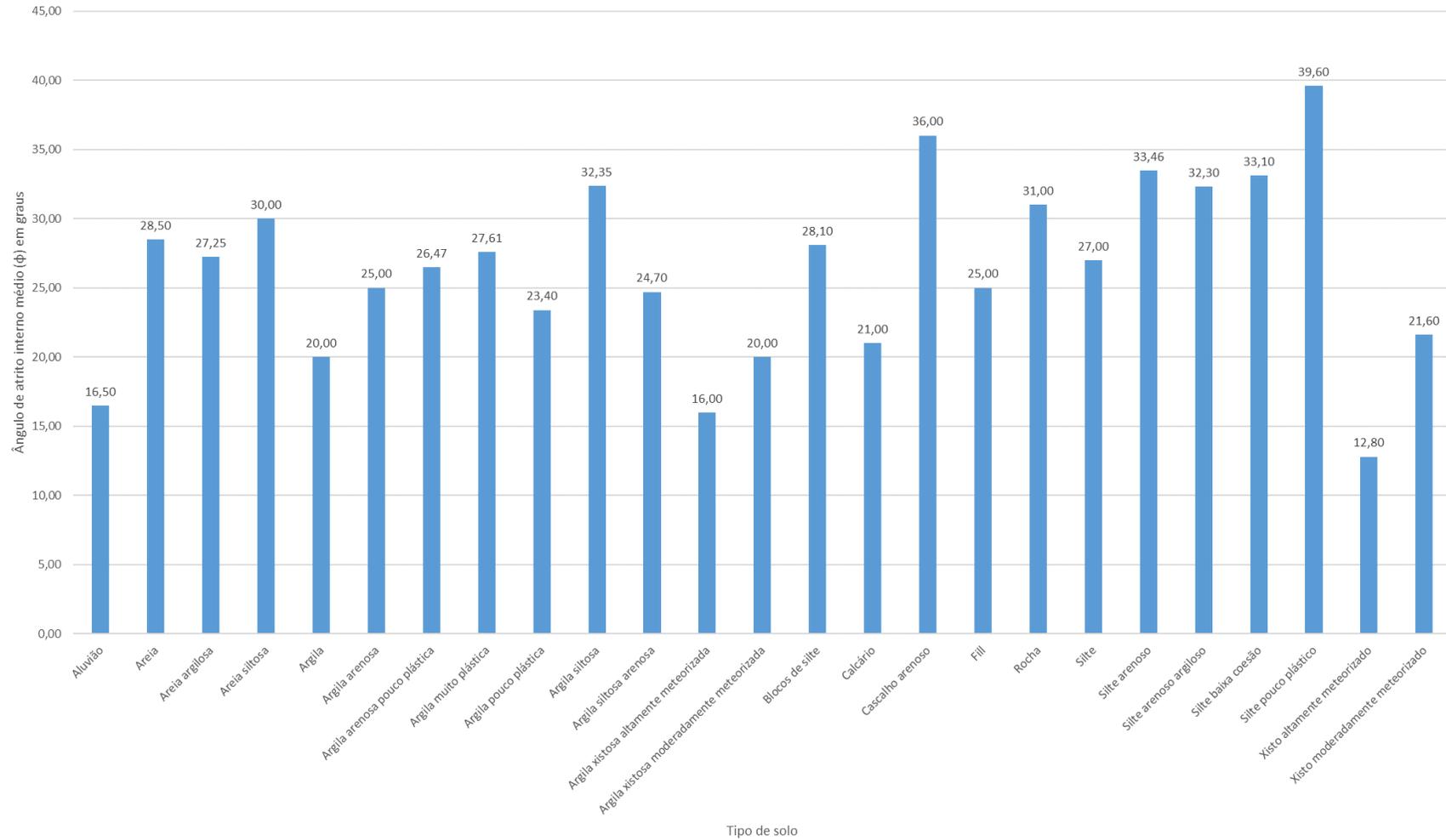
Após a realização da Tabela 4, foram feitos gráficos de barras, considerando quase todos os solos apresentados na tabela, com exceção da “argila xistosa levemente meteorizada” e do “xisto pouco meteorizado”, sendo que a palavra “meteorizado” tem o significado de um material que passou processo de alteração por agentes externos (LEXIKON EDITORA DIGITAL LTDA-EPP, 2021). Esses dois solos foram excluídos da representação gráfica por seus valores médios de coesão média serem muito superiores aos valores apresentados pelos outros solos presentes na tabela. Além disso, foi encontrado apenas um valor de coesão para estes tipos de solo em todas as publicações analisadas por este trabalho. Porém, é válido ressaltar que a nomenclatura de ambos os solos indica uma composição mineralógica próxima, e os valores de coesão e ângulo de atrito interno destes são praticamente os mesmos, apresentando variação menor do que 1%. As Figuras 8 e 9 demonstram os valores de coesão média e ângulo de atrito interno médio de cada solo, respectivamente.

Figura 8 – Coesão média (c) em kPa para cada tipo de solo.



Fonte: Autor (2021).

Figura 9 – Ângulo de atrito interno médio (ϕ) em graus para cada tipo de solo.



Fonte: Autor (2021).

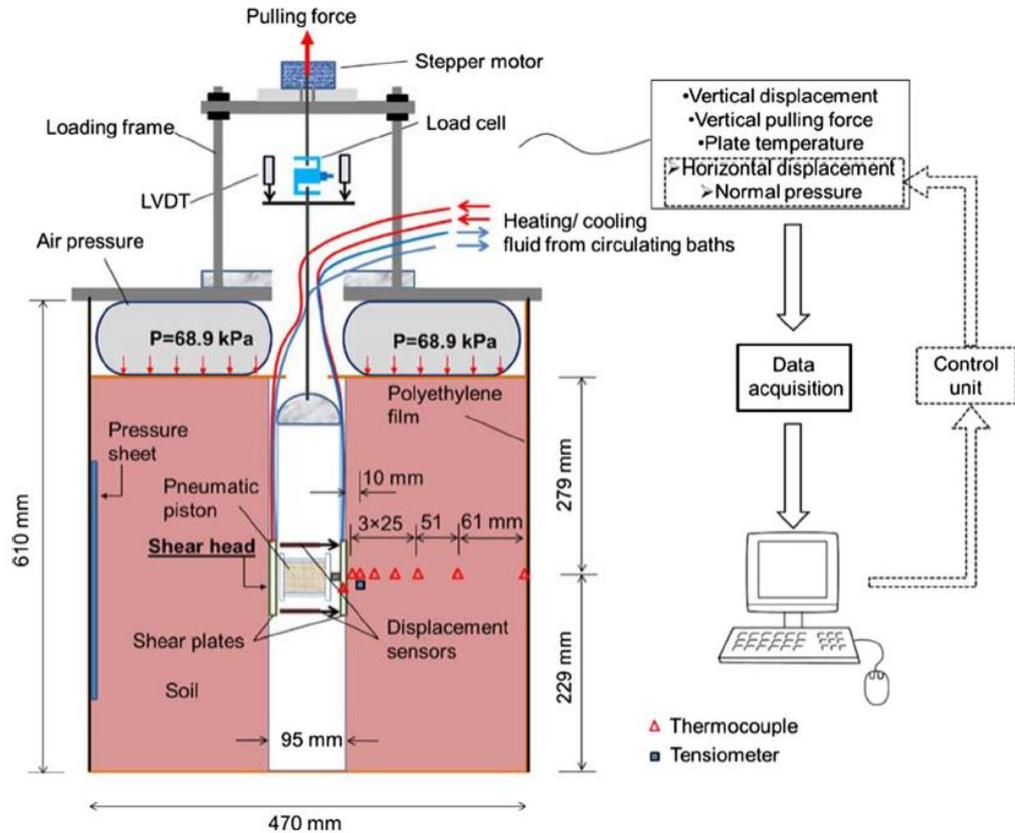
Com base nos dados apresentados nas tabelas e figuras precedentes, é possível verificar que alguns tipos de solos com nomes que indicam uma composição mineralógica próxima, apresentam valores médios dos parâmetros de resistência parecidos. Um exemplo desta proximidade é o caso da argila xistosa moderadamente meteorizada e do xisto moderadamente meteorizado, que tem como coesão média e ângulo de atrito médio os valores de 82,0 kPa e 20,0°, e de 97,4 kPa e 21,6°, respectivamente. Como outro exemplo temos os valores apresentados pelo silte arenoso e pelo silte pouco plástico, que são respectivamente de 8,18 kPa e 33,46°, e de 5,18 kPa e 39,60°. A proximidade destes resultados reforça a ideia de que é possível se tratar de solos com composições mineralógicas semelhantes, que poderiam ser classificados pelo mesmo tipo.

5.4 MODIFICAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO ENSAIO BST EM OUTRAS ÁREAS

As diferentes publicações reunidas para a criação da base de dados deste trabalho sobre o Estado da Arte apresentam variadas utilizações para o ensaio BST. Além de ser utilizado da maneira mais comum, que é a verificação da tensão de ruptura máxima do solo para a obtenção dos parâmetros de resistência, existem publicações que indicam a modificação do aparato utilizado no ensaio para a monitorar variações da estrutura do solo em sistemas onde a fundação de edifícios, apresentam significativa troca de calor com o solo.

Xiao et al. (2018) em *Effect of Temperature and Radial Displacement Cycles on Soil-Concrete Interface Properties Using Modified Thermal Borehole Shear Test*, relatam que o aparelho criado por Handy sofreu modificações para poder monitorar as alterações da estrutura do solo causadas pelas trocas de calor entre a fundação de um edifício e o próprio solo. As chamadas “*Energy piles*” citadas na publicação, consistem em estacas que tem no seu interior tubulações para a circulação de fluídos que realizam a troca de calor adquirido na superestrutura, com o solo onde a fundação foi estabelecida. Entre algumas das modificações realizadas no aparelho deste caso, se tem como a principal delas a instalação de um sistema de circulação de fluídos. Este sistema simula as trocas de calor com o solo em construções que utilizam *Energy piles* em sua fundação. A Figura 10 apresenta a estrutura utilizada no ensaio citado pelo artigo, bem como suas especificações.

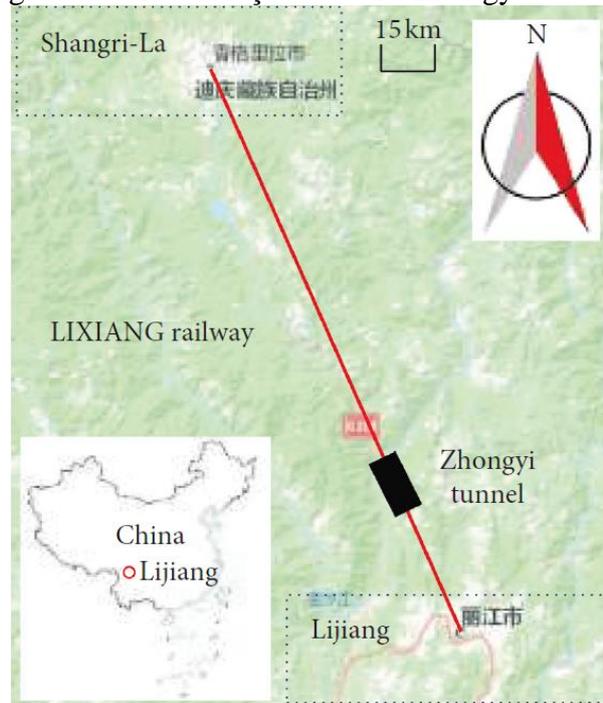
Figura 10 – Ensaio BST modificado realizado em laboratório com solo compactado.



Fonte: Xiao et al. (2018).

Outro uso do ensaio BST pode ser visto em *Field Experimental Study on the Broken Rock Zone of Surrounding Rock and the Rock Borehole Shear Tests of the Large Deformation Tunnel*, onde Han et al. (2019) relatam sobre a utilização do ensaio BST aliado a investigação por radares de um túnel escavado em rocha fraturada. Por mais que o aparato criado por Handy e Fox em 1967 especificamente para investigações em rocha não seja uma novidade, não existem muitas publicações sobre tal assunto. No anteriormente citado estudo, a utilização do chamado *Rock Borehole Shear Test*, que é o nome específico para indicar um ensaio BST realizado em rocha, possibilitou aos autores um melhor entendimento do estado atual de um dos túneis, o túnel Zhongyi, que fora escavado no sudoeste da província de Yunnan, na China. A Figura 11 indica a localização e o traçado do túnel.

Figura 11 – Localização do túnel Zhongyi.



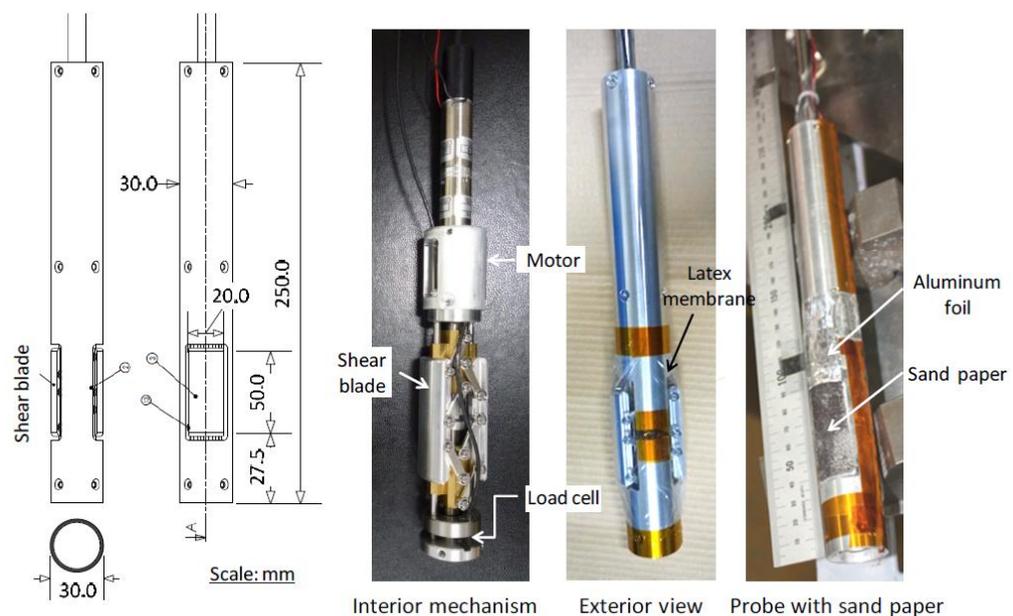
Fonte: Han et al. (2019).

Após a realização de testes com radares que levantaram o estado da rocha por meio alterações nas ondas que foram propagadas, foi identificado que a área ao redor do furo apresentava ocorrência de fraturas, porém após uma certa faixa, a partir de uma profundidade média de aproximadamente 4,2 m das paredes do túnel, existia uma região onde a rocha estava em seu estado original, considerada uma rocha sã. Então foi realizado o ensaio BST em quatro pontos diferentes de duas seções do túnel para obter os parâmetros de resistência dessas faixas. Com isto, foi possível identificar que a rocha nas imediações do furo tinha sido altamente danificada, apresentando um alto grau de fraturamento, com os parâmetros de resistência muito abaixo do que a seção de rocha sã havia apresentado. Tal investigação indicou a urgência de que medidas para aumentar a capacidade de suporte das áreas ao redor do túnel fossem tomadas, e que a rocha fraturada sofresse grauteamento antes de continuar a escavação do túnel, assim aumentando a segurança durante a obra e prevenindo o rompimento das paredes no futuro.

Mais um exemplo de modificação do aparelho de ensaio BST foi relatado por Kobayashi et al. (2012) em *Borehole Geotechnical Testing Tool for Lunar Exploration*, onde o solo ensaiado foi uma simulação japonesa de solo lunar. Com o intuito de auxiliar no programa de exploração lunar SELENE-2, que na época da publicação do artigo citado anteriormente ainda não havia sido cancelado, a investigação dos parâmetros de resistência e do

comportamento do solo lunar com outras estruturas era de grande importância para o sucesso da missão. Sendo assim, de acordo com Kobayashi et al. (2012), foi criado um protótipo de dispositivo que unia o ensaio BST ao ensaio de atrito in loco proposto por Xu et al. (1999). Diferente do original aparelho utilizado no ensaio BST, neste caso não existia uma haste com placas na ponta, e sim uma sonda cilíndrica com uma bainha flexível que se expandia até atingir o contato com as paredes laterais de um furo já pré-estabelecido, aplicando tensão normal e gerando deslocamento lateral das partículas de solo presentes na parede do furo, para depois ser realizado o arrancamento e determinar a tensão de ruptura máxima do solo ensaiado. O protótipo desenvolvido pode ser visualizado na Figura 12, onde todas as suas partes, tanto interiores quanto exteriores, estão expostas.

Figura 12 – Protótipo desenvolvido para investigação de solo simulante lunar.



Fonte: Kobayashi et al. (2012).

O protótipo produzido apresentava menores dimensões do que o aparato original do ensaio BST. Tal característica foi uma das principais complicações indicadas pelo estudo, ao lado de produzir um método de expansão das placas que não dependesse de um sistema hidráulico, porém possuindo menores dimensões, possibilitaria a utilização do aparato em buracos com menores diâmetros.

Após a realização do ensaio utilizando o protótipo desenvolvido, de acordo com os autores, foram também realizados ensaios de compressão triaxial e de cisalhamento direto. Comparando os resultados dos parâmetros de resistência apresentados pelos três ensaios, foi

averiguado que os valores apresentados estavam em concordância. Além disso foi notado que a tensão de cisalhamento das placas presentes na haste da sonda, foram mais notáveis na parte ponta superior das placas. Como citado no artigo, os resultados obtidos irão auxiliar o desenvolvimento do protótipo criado por este estudo, podendo ser utilizado em outras situações.

Como outro exemplo de modificação, tem se o caso da modificação realizada em Taiwan, de acordo com Pan et al. (2005) em *Improved design and data interpretation of a multi-purpose borehole testing device for soft rock*, onde um dispositivo de múltiplos propósitos foi criado ao incrementar a ideia inicial do ensaio BST, para ensaiar principalmente rochas moles.

6 CONCLUSÕES

Ao analisar as publicações disponíveis que foram levantadas para criar a base de dados, foi possível perceber que o ensaio BST vem sendo mais difundido em todo o mundo, e vem apresentando desempenho satisfatório quanto a obtenção dos parâmetros de resistência a ruptura em todos os tipos de solo, quando comparado aos resultados obtidos por outros ensaios, como o ensaio de compressão triaxial e o ensaio de cisalhamento direto. Também é perceptível que outros protótipos baseados no aparato original criado por Handy e Lutenecker vem sendo produzidos ao redor do mundo, como os descritos no item 5.4, onde países como Japão, Taiwan e China utilizam outros modelos de instrumentação para casos específicos, com necessidades especiais.

Porém, ainda que tenha havido um crescimento na utilização do ensaio BST, ainda são escassos os artigos disponíveis sobre o tema. Além disso, a grande maioria dos artigos são provenientes dos EUA, com poucas publicações disponíveis de outros países. Um dos fatores que pode estar influenciando de forma significativa para tal resultado, é de que o ensaio foi criado no próprio EUA, e até hoje tem seu aparato produzido pela Handy Geotechnical Instruments no país, o que facilita a obtenção do aparelho e a divulgação do ensaio.

Outro ponto relevante a se notar, é a dificuldade para a obtenção das publicações. Só foi possível a realização deste trabalho com tantos dados diferentes, pois a UFSC permitiu o acesso às bases de dados que tem seus arquivos restritos a inscrições pagas, o que inevitavelmente impede a disseminação livre de informações. Além disso, é possível que bases de dados de países que restringem o acesso de estrangeiros, como a China, possuam publicações sobre o BST que não foram consideradas nesse trabalho.

Com relação a comparação dos parâmetros de resistência dos diferentes tipos de solos apresentados na base de dados, a principal dificuldade é quanto a classificação do solo. Como os artigos apresentados neste trabalho não seguem um padrão de nomenclatura de todos os tipos de solo, não é possível correlacionar diretamente os valores dos parâmetros de resistência. Entretanto, como já citado, algumas nomenclaturas indicam proximidade de composição mineralógica dos solos, e quando comparado os parâmetros médios destes, também é perceptível a proximidade desses resultados.

Outro ponto a se ressaltar, é de que parte dos artigos não descreve se o ensaio foi realizado em uma condição saturada ou não, o que prejudica a comparação de dados entre ensaios realizados no mesmo tipo de solo, criando um desvio padrão grande ao se realizar a

média simples dos resultados, que foi o método adotado neste trabalho. Além disso, são poucos os exemplos de publicações que apresentam dados obtidos em diferentes profundidades de perfuração, onde os parâmetros de resistência são diferentes para o mesmo tipo de solo.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No futuro, com a maior popularização do ensaio, novos artigos serão produzidos e novos resultados serão apresentados para cada tipo de solo indicado neste trabalho. Sugere-se que:

- Seja continuada a atualização da base de dados criada para este trabalho;
- Recomenda-se associar a base de dados a cada ano de sua atualização, facilitando a análise de pesquisadores no futuro quanto a evolução dos estudos sobre o tema do BST.

REFERÊNCIAS

- ABDELSALAM, S. S.; SULEIMAN, M. T.; SRITHARAN, S. Enhanced Load-Transfer Analysis for Friction Piles Using a Modified Borehole Shear Test. **Geotechnical Testing Journal**, v. 35, n. 6, nov. 2012.
- ASHLOCK, J. C.; LU, N. Interpretation of Borehole Shear Strength Tests of Unsaturated Loess by Suction Stress Characteristic Curves. **GeoCongress 2012**, mar. 2012.
- ASCE LIBRARY. **About ASCE Publications | ASCE Library**. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/about>>. Acesso em: 25 abr. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6205: Rochas e Solos**. Rio de Janeiro, set. 1995.
- ASTM INTERNATIONAL. **About Us | www.astm.org**. Disponível em: <<https://www.astm.org/ABOUT/overview.html>>. Acesso em: 25 abr. 2021.
- AUDIBERT, J. et al. **Study to Investigate the Effects of Skin Friction on the Performance of Drilled Shafts in Cohesive Soils. Volumes I, II, III**. [s.l.] Engineer Research and Development Center (U.S.), 1982.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA. **Plano Nacional de PósGraduação – 2005-2010**. Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES Disponível em www.capes.gov.br acesso em 25/04/2021.
- BRIAUD, J.-L.; GIBBENS, R. BEHAVIOR OF FIVE LARGE SPREAD FOOTINGS IN SAND. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 125, n. 9, 1 set. 1999.
- BRIAUD, J.-L.; KIM, N.-K. BEAM-COLUMN METHOD FOR TIEBACK WALLS. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 124, n. 1, 1 jan. 1998.
- BRIAUD, J.-L.; NICHOLSON, P.; LEE, J. BEHAVIOR OF FULL-SCALE VERT WALL IN SAND. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 126, n. 9, 1 set. 2000.

CENDON, Beatriz Valadares. **Ferramentas de busca na Web. Ci. Inf.**, Brasília , v. 30, n. 1, p. 39-49, Apr. 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-19652001000100006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 25 abr. 2021.

CERATO, A. B.; VICTOR, R. Effects of Long-Term Dynamic Loading and Fluctuating Water Table on Helical Anchor Performance for Small Wind Tower Foundations. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 23, n. 4, ago. 2009.

CHANEY, R. C.; DEMARS, K. R. **Strength Testing of Marine Sediments: Laboratory and In-Situ Measurements**. [s.l.] ASTM SPECIAL TECHNICAL PUBLICATION 883, 1984.

CHANG, M.-F.; ZHU, H. Construction Effect on Load Transfer along Bored Piles. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 130, n. 4, abr. 2004.

CHEN, R. et al. Lateral cyclic pile–soil interaction studies on a rigid model monopile. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering**, v. 168, n. 2, abr. 2015.

CHRIS, Alex. **Top 10 Search Engines In The World (2021 Update)**. reliablesoft.net. Disponível em: <<https://www.reliablesoft.net/top-10-search-engines-in-the-world/>>. Acesso em: 25 Apr. 2021.

CHU-AGOR, M. L.; WILSON, G. V.; FOX, G. A. Numerical Modeling of Bank Instability by Seepage Erosion Undercutting of Layered Streambanks. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 13, n. 12, dez. 2008.

CHUGH, Y. P. **In Situ Strength Characteristics of Coal Mine Floor Strat in Illinois**. [s.l.] Southern Illinois University at Carbondale, 1986.

COLLISON, A.; SIMON, A. Beyond Root Reinforcement: the hydrologic effects of riparian vegetation on riverbank stability. **Wetlands Engineering and River Restoration Conference 2001**, ago. 2001.

CONTESSI, Rodolfo Joaquim. **BOREHOLE SHEAR TEST: UMA COMPARAÇÃO COM O ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO**. 2016. 109 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em:

https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/164579/TCC_Contessi_RJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 28 set. 2020.

CRISTINA, P.; TSUHA, H. **Geotermia integrada nas estacas da fundação**. [s.l.] , [s.d.]. Disponível em: <<http://cics.prp.usp.br/wp-content/uploads/2018/11/Apresenta%C3%A7%C3%A3o-Crisitina-Tsuha-CICS-6-abril.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

DAPPORTO, S.; RINALDI, M.; CASAGLI, N. Failure mechanisms and pore water pressure conditions: analysis of a riverbank along the Arno River (Central Italy). **Engineering Geology**, v. 61, n. 4, set. 2001.

DAS, B. M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. 6. ed. [s.l.] Thomson, 2007.

DEWOOLKAR, M. M. et al. Hands-On Undergraduate Geotechnical Engineering Modules in the Context of Effective Learning Pedagogies, ABET Outcomes, and Our Curricular Reform. **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, v. 135, n. 4, ago. 2009.

ELMASRI, Ramez et al. **Sistemas de banco de dados**. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2005.

ELSEVIER. **Nossa empresa| Elsevier**. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/pt-br/about/our-business>>. Acesso em: 25 abr. 2021.

FAILMEZGER, R. A. Quantifying Geotechnical Probability of Failure—A Simpler Approach. **IFCEE 2018**, mar. 2018.

FAROUZ, E.; KARNIK, B.; STANLEY, R. CASE STUDY: OPTIMIZATION AND MONITORING OF SLOPE DESIGN IN HIGHLY WEATHERED SHALE. **FMGM 2007: Seventh International Symposium on Field Measurements in Geomechanics**, set. 2007.

FERREIRA, Norma Sandra de Almeida. As pesquisas denominadas "estado da arte". **Educ. Soc.**, Campinas, v. 23, n. 79, p. 257-272, Aug. 2002. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-73302002000300013&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 dez. 2020.

GARCIA, Saulo Zanol Nogueira et al. **COMPARATIVO ENTRE DOIS MÉTODOS DE TALUDES INFINITOS NA GERAÇÃO DE MAPAS DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS**. 2018. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/164579/TCC_Contessi_RJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 28 set. 2020.

GLOBAL REACH INTERNET PRODUCTIONS, LLC - AMES, IA - GLOBALREACH.COM. **Handy Geotechnical Instruments, Inc. - Rock Borehole Shear Test**. Disponível em: https://www.handygeotech.com/rock_borehole/. Acesso em: 24 abr. 2021.

GLOBAL REACH INTERNET PRODUCTIONS, LLC - AMES, IA - GLOBALREACH.COM. **Handy Geotechnical Instruments, Inc. - Borehole Shear Tester**. Disponível em: <https://www.handygeotech.com/borehole/>. Acesso em: 24 abr. 2021.

GOOGLE. **Como nós começamos e onde estamos hoje - Google**. Disponível em: <https://about.google/our-story/>. Acesso em: 25 abr. 2021.

GUSENBAUER, M. Google Scholar to overshadow them all? Comparing the sizes of 12 academic search engines and bibliographic databases. **Scientometrics**, v. 118, n. 1, p. 177–214, 2019.

HAN, G. et al. Field Experimental Study on the Broken Rock Zone of Surrounding Rock and the Rock Borehole Shear Tests of the Large Deformation Tunnel. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2019, 23 nov. 2019.

HANDY, R. L. Liquefaction, Lateral Stress, Consolidation State, and Aging. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 139, n. 10, out. 2013.

HANDY, R. L.; WHITE, D. J. Stress Zones Near Displacement Piers: I. Plastic and Liquefied Behavior. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 132, n. 1, jan. 2006.

HARUYAMA, J. et al. Mission Concepts of Unprecedented Zipangu Underworld of the Moon Exploration (UZUME) Project. **TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN**,

v. 14, n. ists30, p. Pk_147–Pk_150, 2016.

HILU, J.; GISI, M. L. **PRODUÇÃO CIENTÍFICA NO BRASIL - UM COMPARATIVO ENTRE AS UNIVERSIDADES PÚBLICAS E PRIVADAS**. Em: X CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO - EDUCERE. nov. 2011. Disponível em: <https://educere.bruc.com.br/CD2011/pdf/5221_3061.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2021

KATZENBACK, R.; GUTBERLET, C.; WATCHTER, S. Coupled Pressuremeter-Phicometer Analysis for Soil Exploration. **FMGM 2007: Seventh International Symposium on Field Measurements in Geomechanics**, set. 2007.

KHOURY, C. N.; MILLER, G. A. Influence of Flooding on Borehole Shear Test (BST) Results in Unsaturated Soil. **Fourth International Conference on Unsaturated Soils**, abr. 2006.

KIM, H.; LIM, H. Study on Shear Strength Using a Portable Dynamic Cone Penetration Test and Relationship between N-Nc. **Economic and Environmental Geology**, v. 50, n. 2, abr. 2017.

KLAVON, K. et al. Evaluating a process-based model for use in streambank stabilization: insights on the Bank Stability and Toe Erosion Model (BSTEM). **EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS**, v. 42, n. 191-213, 26 out. 2016.

KOBAYASHI, T. et al. Borehole Geotechnical Testing Tool for Lunar Exploration. **Thirteenth ASCE Aerospace Division Conference on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments, and the 5th NASA/ASCE Workshop On Granular Materials in Space Exploration**, abr. 2012.

LANGENDOEN, E. J.; SIMON, A.; ALONSO, C. V. Modeling Channel Instabilities and Mitigation Strategies in Eastern Nebraska. **Joint Conference on Water Resource Engineering and Water Resources Planning and Management 2000**, jul. 2000.

LANGENDOEN, E. J.; WELLS, R. R.; SIMON, A. Numerical Simulation of Post Dam Removal Sediment Dynamics along the Kalamazoo River Between Otsego and Plainwell, Michigan. **Watershed Management Conference**, jul. 2005.

LEXIKON EDITORA DIGITAL LTDA-EPP. **Dicionário Online - Dicionário Caldas Aulete** - **Significado de Meteorização.** Disponível em: <<https://aulete.com.br/Meteoriza%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 27 abr. 2021.

LOVERN, S. B.; FOX, G. A.; MILLER, R. B. Quantifying the Erodibility and Geotechnical Strength of Cohesive Alluvial Soils Following Streambank Reconstruction. **World Environmental and Water Resources Congress 2013**, maio 2013.

LUTENEGGER, A. J. Shear Strength of Prestressed Cohesive Soils. **Journal of Geotechnical Engineering**, v. 113, n. 2, fev. 1987a.

LUTENEGGER, A. J. Suggested Method for Performing the Borehole Shear Test. **Geotechnical Testing Journal**, v. 10, n. 1, mar. 1987b.

LUTENEGGER, A. J.; MILLER, G. A. Uplift Capacity of Small-Diameter Drilled Shafts from In Situ Tests. **Journal of Geotechnical Engineering**, v. 120, n. 8, ago. 1994.

LUTENEGGER, A.; TIMIAN, D. Reproducibility of Borehole Shear Test Results in Marine Clay. **Geotechnical Testing Journal**, v. 10, n. 1, mar. 1987.

MARANGON, Marcio. **Capítulo 5 – RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DOS SOLOS.** Disponível em: <https://www.ufjf.br/nugeo/files/2013/06/MARANGON-2018-Unidade-05-Resist%c3%aancia-at%c3%a9-pag-136.pdf>. Acesso em: 28 set. 2020.

MAYNE, P. W. Geotechnical Site Characterization in the Year 2012 and Beyond. **GeoCongress 2012**, mar. 2012.

MIDGLEY, T. L. et al. Seepage-Induced Streambank Erosion and Instability: In Situ Constant-Head Experiments. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 18, n. 10, out. 2013.

MINUSI, Sandro Gindri et al. **Considerações sobre Estado da Arte, Levantamento Bibliográfico e Pesquisa Bibliográfica: relações e limites.** Disponível em: <http://www.gestaouniversitaria.com.br/artigos-cientificos/consideracoes-sobre-estado-da-arte-levantamento-bibliografico-e-pesquisa-bibliografica-relacoes-e-limites>. Acesso em: 24 set. 2020.

MONTGOMERY, J.; SHI, C.; ANDERSON, J. A. An Updated Database for the Spring Villa National Geotechnical Experimentation Site. **IFCEE 2018: Installation, Testing, and**

Analysis of Deep Foundations, v. GSP 294, n. , 6 jun. 2018.

MORAIS, M. D. S. B. **Estudo Da Influência Da Resistência Ao Cisalhamento Do Solo No Arrancamento De Grampos**. Projeto De Graduação—Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10022208.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2021.

MOROSINI, Marília Costa; FERNANDES, Cleoni Maria Barboza. Estado do Conhecimento: conceitos, finalidades e interlocuções. **Educação por escrito**, 2014.

MURPHY, K. D.; MCCARTNEY, J. S. Thermal Borehole Shear Device. **Geotechnical Testing Journal**, v. 37, n. 6, nov. 2014.

OGUNRO, V. O. et al. Characterization and Geotechnical Properties of Piedmont Residual Soils. **GeoCongress 2008**, mar. 2008.

PADMAVATHI, M.; PADMAVATHI, V.; MADHAV, M. R. Load-Displacement and Moment-Rotation Responses of Foundations Subjected to Moment Loading. **International Journal of Geomechanics**, v. 16, n. 5, out. 2016.

PAN, Y.-W. . et al. Improved design and data interpretation of a multi-purpose borehole testing device for soft rock. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, v. 43, n. 4, jun. 2006.

PINTO, C. DE S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos - 3ª Edição**. 3. ed. [s.l.] Oficina de textos, 2006.

REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL UFSC. **Repositório Institucional da UFSC**. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/>>. Acesso em: 28 abr. 2021.

RIGOTTI, Julio Antonio Nardi. **ANÁLISE DE DESLIZAMENTO ROTACIONAL E TRANSLACIONAL DE UM CAMBISSOLO DE SUBSTRATO DE DEPÓSITO DE ENCOSTA NA BACIA DO ITACORUBI EM FLORIANÓPOLIS / SC**. 2019. 112 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/202860/TCC_JULIO_RIGOTTI_BU.pdf?sequence=1. Acesso em: 25 set. 2020.

ROLING, M. J.; SRITHARAN, S.; SULEIMAN, M. T. Introduction to PILOT Database and Establishment of LRFD Resistance Factors for the Construction Control of Driven Steel H-Piles. **Journal of Bridge Engineering**, v. 16, n. 6, nov. 2011.

ROMANOWSKI, Joana Paulin; ENS, Romilda Teodora. As pesquisas denominadas do tipo "estado da arte" em educação. **Revista diálogo educacional**, v. 6, n. 19, p. 37-50, 2006.

SANTOS, P. **Google acadêmico: o que é e como usar essa ferramenta?** Disponível em: <<https://rockcontent.com/br/blog/google-academico/>>. Acesso em: 25 abr. 2021.

SETIC-UFSC. **BU – Bases de Dados**. Disponível em: <<http://bases.bu.ufsc.br/portal-de-periodicos-da-capes/>>. Acesso em: 28 abr. 2021.

SIMON, A. et al. Combined Geomorphic and Numerical-Modeling Analyses of Sediment Loads for Developing Water-Quality Targets for Sediment. **World Water and Environmental Resources Congress 2003**, jun. 2003.

SIMON, A. et al. Quantifying Existing and Potential Reductions in Sediment Loads from Streambanks. **World Environmental and Water Resources Congress 2008**, maio 2008.

SIMON, A. et al. Application of a Deterministic Bank-Stability Model to Design a Reach-Scale Restoration Project. **World Environmental and Water Resources Congress 2008**, 26 abr. 2012.

SIMON, A.; COLLISON, A. J. C. Quantifying Root Reinforcement of Streambanks for Some Common Riparian Species: Are Willows As Good As it Gets? **Wetlands Engineering and River Restoration Conference 2001**, ago. 2001.

IN-SITU SOIL TESTING, L.C. **Soil borehole shear test | In-Situ Soil Testing, L.C.** Disponível em: <<https://insitusoil.com/soil-borehole-shear-test/>>. Acesso em: 28 set. 2020.

SUPORTE SOLOS. **Análise Granulométrica do Solo - Ensaios Geotécnicos - O Objetivo e as Frações de Solo**. Disponível em: <<https://www.suportesolos.com.br/blog/analise-granulometrica-do-solo-ensaios-geotecnicos-o-objetivo-e-as-fracoes-de-solo/71/#:~:text=Na%20figura%20seguinte%2C%20est%C3%A3o%20representadas,menores%20do%20que%200%2C002%20mm.>>. Acesso em: 25 abr. 2021.

SULEIMAN, M. T.; ABDELSALAM, S. S.; SRITHARAN, S. Improving Prediction of the

Load-Displacement Response of Axially Loaded Friction Piles. **Geo-Frontiers Congress 2011**, mar. 2011.

TCHAKALOVA, B.; KARASTANEV, D. Geotechnical parameters of loess-cement mixture for construction of compacted soil-cement cushion. **Geologica Balcanica**, v. 46, n. 2, nov. 2017.

THOMPSON, M. J.; WISSMAN, K. J.; PHAM, H. T. Performance Monitoring of a Rammed Aggregate Pier Foundation Supporting a Mechanically Stabilized Earth Wall. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 23, n. 4, jul. 2009.

XIAO, S. et al. Modified–Thermal Borehole Shear Test Device and Testing Procedure to Investigate the Soil-Structure Interaction of Energy Piles. **Geotechnical Testing Journal**, v. 40, n. 6, nov. 2017.

XIAO, S. et al. Effect of Temperature and Radial Displacement Cycles on Soil–Concrete Interface Properties Using Modified Thermal Borehole Shear Test. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 144, n. 7, jul. 2018.

XIAO, S.; SULEIMAN, M. T. Investigation of Thermo-Mechanical Load Transfer (t-z Curves) Behavior of Soil-Energy Pile Interface Using Modified Borehole Shear Tests. **IFCEE 2015**, mar. 2015.

XU, G.-L. et al. DEVELOPMENT AND INTERPRETATION OF THE SELF BORING IN SITU FRICTION TEST. **Doboku Gakkai Ronbunshu**, v. 1999, n. 617, p. 191–200, 1999.

YANCEY, C. W. C.; CATTANEO, L. E.; COMMERCE DEPARTMENT, NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (NIST). **State-of-the-Art of Structural Test Methods for Walls, Floor, Roofs and Complete Buildings**. [s.l.] U.S. Department Of Commerce, 1974.

YANG, H. Soil slope stability investigation and analysis in Iowa. **Iowa State Univesity Digital Repository**, 2005.

YANG, H.; WHITE, D. J.; SCHAEFER, V. R. In-Situ Borehole Shear Test and Rock Borehole Shear Test for Slope Investigation. **GeoShanghai International Conference 2006**, jun. 2006.

ZANDROGA, B. Bearing Capacity of Shallow Foundations on Noncohesive Soils. **Journal of Geotechnical Engineering**, v. 120, n. 11, nov. 1994.

ZHAO, Y. et al. Rock borehole shear tests in dam foundation of Xiangjiaba hydropower station. **Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering**, v. 4, n. 4, dez. 2012.