

## CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE UM DEPÓSITO SEDIMENTAR DO MUNICÍPIO DE BIGUAÇU/SC

T. F. DE SOUZA JR, C. F. SILVA<sup>2</sup>, J. P. S. SILVA<sup>3</sup>

UFRGS<sup>1</sup>, UFPR<sup>2,3</sup>

[tennisonupr@outlook.com](mailto:tennisonupr@outlook.com)<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-0235-3152><sup>1</sup>

Submetido 14/03/2020 - Aceito 12/07/2021

DOI: 10.15628/holos.2022.10062

### RESUMO

As condições geográficas do território brasileiro possibilitam o desenvolvimento de formações de solos sedimentares, lateríticos e saprolíticos, com comportamentos e propriedades distintos. Em função da escassez de informações sobre muitos desses solos, torna-se imprescindível a investigação geotécnica e ensaios de laboratório a fim de se obter parâmetros e propriedades desse material para desenvolver obras e projetos. Tendo em vista esses aspectos, este artigo tem como objetivo realizar a caracterização geotécnica de um solo sedimentar de Biguaçu/SC. Para tanto, foram realizados ensaios de palheta, SPT e CPTu, além disso

também foram realizados ensaios de laboratório, tais como oedométrico, granulometria (peneiramento e sedimentação), triaxial CU, limites de Atterberg (LL e LP), massa específica real dos grãos, densidade natural e teor de umidade. Espera-se que com este trabalho seja possível estabelecer parâmetros de projeto, definir comportamentos e propriedades do material que possam servir de balizamento para futuros trabalhos na região. Além disso, o solo ensaiado foi comparado com solos de outras formações em Santa Catarina.

**PALAVRAS-CHAVE:** Solo aluvionar, Biguaçu/SC, caracterização geotécnica, parâmetros, propriedades.

## GEOTECHNICAL CHARACTERIZATION OF AN SEDIMENTARY DEPOSIT IN BIGUAÇU/SC

### ABSTRACT

The geographical conditions of the Brazilian territory allow the development of sedimentary, lateritic and saprolitic soil formations, with different behaviors and properties. Due to the lack of information on many of these soils, geotechnical research and laboratory tests are essential to obtain parameters and properties of these materials to develop projects. Given these aspects, this article aims to perform the geotechnical characterization of a soil usually found at Biguaçu/SC. For this task, SPT (Standard Penetration test), Vane test and

CPTu (Undrained Cone Penetration Test) were performed, as well as laboratory tests such as the odometer, particle size (sieving and sedimentation), triaxial CU, Atterberg limits (LL and PL), real specific grain mass, natural density- and moisture content. It is hoped that with this work it will be possible to establish design parameters, define behaviors and material properties that can serve as a guide for future projects in the region

**KEYWORDS:** Alluvial soil, Biguaçu/SC, geotechnical characterization, parameters, properties.

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente ocupação urbana e o contínuo desenvolvimento de atividades industriais têm necessitado de investigações geotécnicas detalhadas, principalmente em regiões que integram essas zonas. Comumente diversas obras de engenharia sobrepõem solos de granulometria fina, em condições saturadas, com alta compressibilidade, baixa permeabilidade e resistência mecânica reduzida. (GRANDO, 2018)

Segundo Burgos e Coinciani (2015), nas regiões de clima tropical úmido há presença de solos com comportamentos distintos comparados a solos de climas temperados. Os mesmos são influenciados por aspectos físicos, químicos e mineralógicos associados à sua estrutura que é constituída por agregados que contém grupamentos estruturais específicos tanto em termos de macroporos quanto microporos fundamentada em sua gênese.

Estes solos podem ser saprolíticos, lateríticos ou sedimentares (eólicos, coluvionares ou aluvionares, etc). Massad (2016) explicou que os solos aluvionares ou “aluviões” se formam em decorrência do transporte de sedimentos por intermédio de grandes volumes de água como, por exemplo, os terraços fluviais, baixadas litorâneas, leques fluviais dos deltas de rio. Souza Pinto (2006) citou que o mecanismo da formação destes solos é o carreamento hidráulico das partículas e que dependem da velocidade do fluido no momento da deposição. Bertolino et al. (2009) afirmaram que as planícies aluvionares são importante fonte de agregados, uma vez que transportam e depositam sedimentos de granulometria areia e argila, mas em rios torrenciais em regiões de alta pluviosidade, podem depositar cascalhos, blocos e matações.

Souza Pinto (2006) salientou que há tanto aluviões essencialmente arenosos, quanto argilosos que são comuns em várzeas quaternárias em rios e há também camadas sobrepostas com granulometrias distintas dependendo do regime do local. Em casos de subsolos argilosos não drenados devem ser investigados para serem compatibilizados a obras em geral, como edificações, aterros de rodovias, indústrias, entre outros. Nesses casos, é necessário que ocorra dissipação da poropressão em condições suficientes para aceleração dos recalques por adensamento. Todavia, essa aceleração está vinculada a determinadas restrições, tais como prazos das obras, custos e tecnologia disponível.

Estudos direcionados a caracterização geotécnica possibilitam o desenvolvimento de conhecimento dos parâmetros e propriedades do solo, o que por sua vez estabelece uma referência para compreensão do comportamento físico e mecânico deste material. Isto é extremamente valioso para regiões que se encontram em um estágio acentuado de desenvolvimento urbano em termos de obras de infraestrutura (estradas, pontes, escavações e edificações), uma vez os níveis de carregamento envolvidos por estas intervenções exigem informações fundamentadas em termos de resistência e deformação.

No que tange a este aspecto com relação ao município de Biguaçu/SC, são escassas as informações publicadas sobre as características químicas, mineralógicas, de deformabilidade, de história de tensões e resistência, que são relevantes para projetos de obras geotécnicas. Cabe salientar, que a divulgação destes dados não elimina a boa prática de investigação geotécnica dos solos, sendo este trabalho uma referência científica de comparação dos parâmetros.

Para determinação da caracterização geotécnica do solo, foram realizados ensaios SPT e CPTu, além disso também foram realizados ensaios de laboratório, tais como: oedométrico, granulometria (peneiramento e sedimentação), triaxial CU, limites de Atterberg (LL e LP), massa específica real dos grãos, densidade natural e teor de umidade.

## 2 UNIDADE GEOLÓGICA

Segundo dados do CPRM (2019), o Município de Biguaçu/SC é constituído predominantemente por duas unidades litoestratigráficas, que são os depósitos litorâneos indiferenciados do período quaternário (Q2li), que são formados por areia de quartzo, silte e argila, e Granitos foliados, tipo I, calcialcalinos de alto K da Bacia do Itajaí do período Neoproterozoico III. Horn et al. (2014) estudaram os depósitos clásticos quaternários superficiais da planície costeira do estado de Santa Catarina, de forma que, especificamente no município de Biguaçu, foram encontrados depósitos de baías, que são depósitos de sedimentos arenosos finos, estratificados e ricos de matéria orgânica acumuladas em regiões próximas às baías existentes. Além disso, há presença de depósito coluvionar e um vasto embasamento granítico.

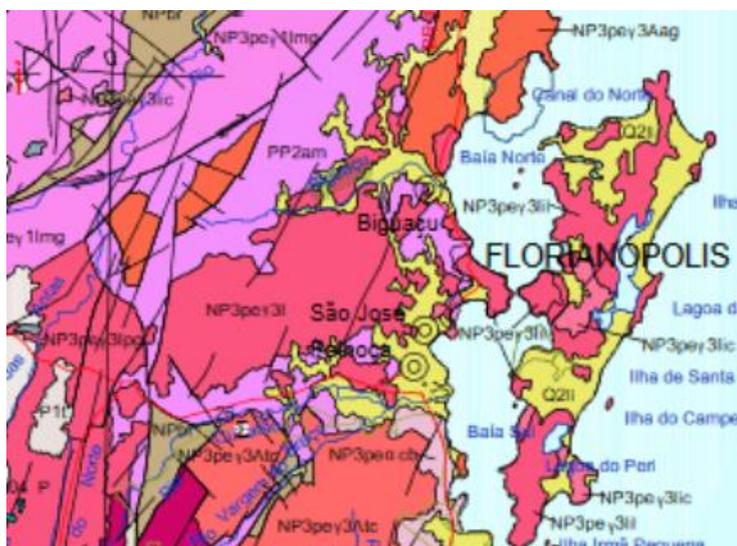


Figura 1: Mapa geológico do município de Biguaçu/SC. (Fonte: CPRM, 2019)

Grando (2018) realizou caracterização geotécnicas de 47 pontos de argilas moles em Santa Catarina, inclusive em áreas próximas do ponto estudado, cujas características geológicas próximas indicaram a unidade denominada Depósitos Litorâneos. Esta se refere a sedimentos inconsolidados com predominância de areias e argilas, de forma que as camadas argilosas moles possuem características hidromórficas. A bacia que abrange o município, segundo Fortes (1996), é a bacia hidrográfica do Rio Biguaçu, localizada na região central do litoral catarinense, com coordenadas 27° 22' e 27° 34' de Latitude Sul e 48° 56' e 48° 38' de Longitude Oeste, ela possui uma área de aproximadamente 389,7 Km<sup>2</sup>, compreendendo o município de Antônio Carlos e grande parte do município de Biguaçu. As rochas do Pré-Cambriano são constituídas pelas seguintes unidades: Complexo Metamórfico-Migmático, Suite Intrusiva Valsungana e Suite Intrusiva Pedras Grandes (predominante no município de Biguaçu).

## 2.1 Localização dos pontos de estudo

O ponto de estudo localiza-se próximos aos municípios de Foquilha/SC e Antonio Carlos/SC. As coordenadas UTM do ponto SH-1 são 6.958.115,8600 N e 724.235,8496 E e as coordenadas do ponto SH-3 são 6.957.836,3638 N e 724.239,3425 E. A Figura 2 ilustra os pontos onde foram realizados ensaios de campo in situ e coletadas as amostras indeformadas para executar os ensaios de laboratório.

No local da amostra SH-01 foram coletados materiais nas profundidades 3,00-3,65m e 5,00-5,65m, para o SH-03 foram retiradas amostras em 2,00-2,65m e 4,00-4,65m. A partir disso é possível realizar os ensaios de laboratórios descritos no próximo item. Nestes locais também foram realizados os ensaios para o CPTU-01 e CPTU-03, assim é possível comparar os resultados do ensaio in situ com os laboratoriais.

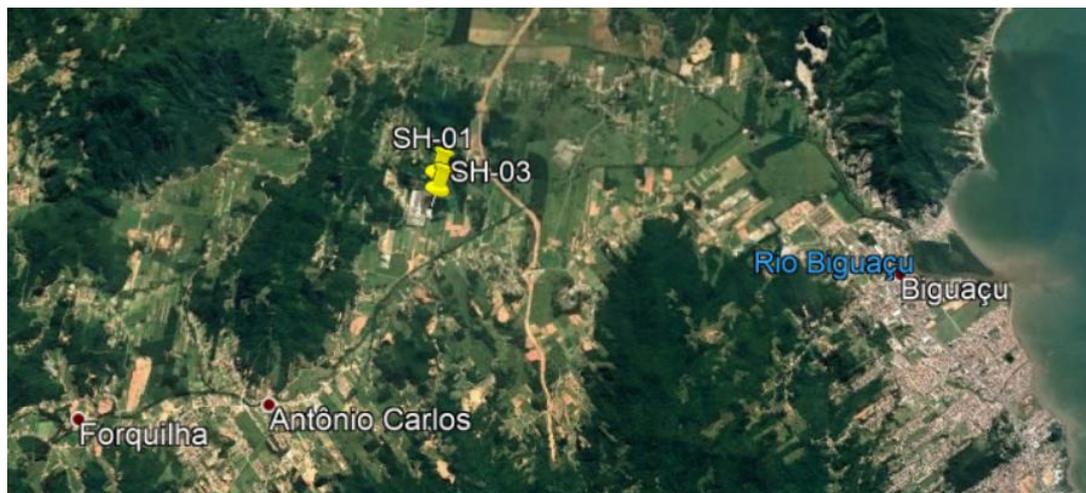


Figura 2: Locais da coleta das amostras indeformadas para os ensaios em laboratório. (Fonte: O autor, 2009)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

No que tange a coleta de materiais, foram realizadas quatro extrações de amostras indeformadas com amostrador tipo *Shelby* e as perfurações executadas com trados “*hollow auger*”, conforme procedimentos da norma NBR 9820 (1997). A quantidade total de amostras foram quatro, sendo referentes a dois pontos de sondagem com extração de duas profundidades cada, que foi CPTU-01 nas profundidades (3,00-3,65m) e (5,00-5,65m) e o CPTU-03 nas profundidades (2,00 - 2,65m) e (4,00-4,65m), conforme Figura 3.



Figura 3 : Amostras indeformadas de argilas aluvionares de Biguaçu/SC: a) amostra indeformada AM-01 do ponto CPTU-01 na profundidade entre 3,00 e 3,65m; b) amostra indeformada AM-02 do ponto CPTU -03 na profundidade entre 4,00 e 4,65m. (Fonte: O autor, 2019)

### 3.1 Ensaios de Laboratório

As investigações de laboratório foram realizadas em função de amostras indeformadas coletadas submetidas aos ensaios com as devidas quantidades na Tabela 1.

Tabela 1: Relação de ensaios de laboratório realizados com Depósito aluvionar argiloso do município de Biguaçu/SC (Fonte: Autor, 2019)

Qtde	Ensaio	Norma
4	Granulometria com sedimentação	NBR 7181 (1984)/NBR 6502 (1995)
4	Teor de Umidade	NBR 6457 (2016)
4	Massa específica aparente natural	NBR 10838 (1988)
4	Massa específica real dos grãos	NBR 6508 (1984)
4	Limites de Liquidez	NBR 6459 (1984)
4	Limites de Plasticidade	NBR 7184 (1984)
4	Ensaio de adensamento unidirecional	NBR 12007 (1990)
9	Ensaio de compressão triaxial adensado rápido	---

Uma vez obtidos os valores de teor de umidade natural do solo e a massa específica aparente natural, através das formulações clássicas de índices físicos, foram também calculados os valores da massa específica aparente seca, índice de vazios e grau de saturação do solo. O mesmo ocorreu com o índice de plasticidade, após a obtenção do valor do limite de liquidez (LL) e do limite de plasticidade (LP).

Quanto a realização dos ensaios triaxiais, foram talhados corpos de prova com dimensões nominais de 50 mm x 100 mm e ensaiados sob tensões confinantes de 25 kPa, 50 kPa e 100 kPa mantendo a velocidade de deslocamento dos corpos de prova em 0,1mm/min, seguindo aos critérios da ASTM D4767 (2020) e BS 1377-8 (1990), que representa um valor de solitação quase estática. Após a realização dos ensaios triaxiais adensados rápidos foram gerados e interpretados os resultados para compressão do comportamento do solo a partir das análises de: pressão neutra vs deformação axial específica (%); trajetória de tensões efetivas; avaliação de ruptura do material; Tensão desviadora vs deformação axial específica; e tensão cisalhante vs tensão normal. Cabe salientar que não foi realizado o ensaio triaxial do solo no ponto CPTU 3 na profundidade 4,00 – 4,65 metros.

### 3.2 Ensaios de Campo

Quanto às investigações de campo, a Tabela 2 apresenta os ensaios que foram realizados in situ com as suas respectivas quantidades. Inicialmente foram estabelecidos e executados 4 pontos de ensaios de CPTU no solo local, cujas identificações são CPTU 1, CPTU 2, CPTU 3 e CPTU4 em profundidade que variavam de 11,28 a 17,67m considerando leituras simultâneas de resistência de ponta ( $q_c$ ), resistência ao atrito lateral ( $f_s$ ), poropressão ( $U_2$ ) e inclinação do cone.

**Tabela 2: Relação de ensaios de campo realizado com Depósito aluvionar argiloso do município de Biguaçu/SC (Fonte: Autor, 2019)**

Qtde	Ensaio	Norma
4	CPT ( <i>Cone Penetration Test</i> )	ASTM D-5778-95 / NBR 12069:91
4	SPT ( <i>Standart Penetration Test</i> )	NBR 6484 (2001)
6	VT ( <i>Vane Test</i> )	NBR 10905 (1989)

Quanto a sondagem à percussão (SPT) realizaram-se 4 ensaios nos pontos identificados por SP-01, SP-07, SP-18 e SP-22 em profundidades que variavam entre 26 e 28m. Por fim, foram executados um total de 6 ensaios de palheta (*"Vane test"*) Ap *Van Den Berg* do tipo "A" com dimensões da palheta de 65 mm x 130 mm, em dois pontos correspondentes aos pontos VT-01 (nas profundidades de 1,00 m, 3,00 m e 5,00 m) e VT-01 (profundidades de 2,00 m, 4,00 m e 6,00 m) e nas coordenadas UTM do ponto VT-03, 6.958.115,8600 N e 724.235,8496 E . E assim foi determinada a resistência ao cisalhamento não drenada ( $S_u$ ) em condição indeformada e posteriormente, após dez revoluções da palheta, mediu-se o torque residual, o que permite determinar a resistência ao cisalhamento não drenada amolgada ( $S_{u\ res}$ ). Após esses ensaios, é possível a determinação da "sensibilidade" do solo, pela comparação dos dois valores.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização dos ensaios em laboratório e cálculo de outras propriedades em função das formulações de índices físicos obtiveram-se os valores mencionados na Tabela 3. Analisando as curvas granulométricas da Figura 4, nota-se que apenas a amostra CPTU-01 (3,00m -3,65m) diverge das demais. A amostra CPTU-01 (3,00m - 3,65m) é uma areia argilo-siltosa com vestígios de pedregulho, enquanto que os solos CPTU-01 (5,00m - 5,65m), CPTU-03 (2,00m - 2,65m) e o CPTU-03 (4,00m - 4,65m) são argilas siltosas com vestígios de areia. Estas curvas granulométricas convergem com os parâmetros obtidos na Tabela 3. Como pode ser vista a amostra CPTU-01(3,00m - 3,65m) possui uma massa específica real dos grãos maior e índice de vazios comparados às demais amostras, sendo característico de solos mais granulares.

**Tabela 3: Valores das propriedades do depósito aluvionar argiloso de Biguaçu/SC (Fonte: Autor, 2019)**

Propriedades	CPTU - 01		CPTU - 03	
	3,00m - 3,65m	5,00m -5,65m	2,00m - 2,65m	4,00m - 4,65m
Teor de Umidade (%)	23,09	91,47	113,26	103,39
Massa específica aparente natural (Kg/m <sup>3</sup> )	1989,99	1398,27	1310,49	1331,26
Massa específica aparente seca (Kg/m <sup>3</sup> )	1616,68	730,27	614,49	654,53

Índice de vazios	0,63	2,07	2,50	2,27
Grau de Saturação (%)	96,77	99,11	97,43	97,53
Massa específica real dos grãos (Kg/m <sup>3</sup> )	2631,64	2240,24	2151,45	2137,55
Limites de Liquidez (%)	62,80	116,00	68,20	145,40
Limites de Plasticidade (%)	30,30	58,40	36,80	84,80
Índice de Plasticidade (%)	32,50	57,60	31,40	60,60

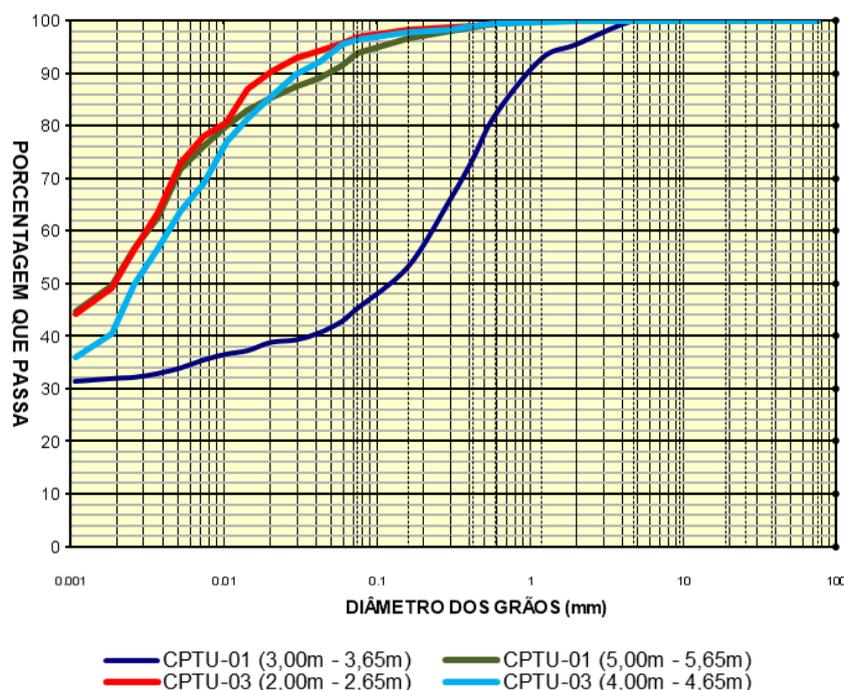


Figura 4: Curvas granulométricas das amostras do depósito aluvionar do município de Biguaçu/SC. (Fonte: O Autor, 2019)

Ameratunga *et al.* (2016) e Sousa Pinto (2006) definem o índice de atividade do material como a divisão do Índice de Plasticidade (IP) pelo percentual de parcela de argila (< 0,002 mm). Os autores destacam que essa relação é útil para avaliar se a argila tem potencial para ser expansiva. Para Sousa Pinto (2006), a argila com valores abaixo de 0,75 é inativa e valores acima de 1,25, é ativa. CPTU-03 (2,00m – 2,65m) teve atividade de 0,62, portanto inativa, porém, o valor para CPTU-03 (4,00m – 4,65m) foi de 1,44, ou seja, ativa. A amostra CPTU-01 (5,00m – 5,65m) obteve 1,13 o que é considerado normal.

Existem variados estudos de comportamento de solos sedimentares em Santa Catarina [e.g, Santos (1997), Oliveira e Coutinho (2000), Coutinho (2001), Oliveira e Coutinho (2000), Baroni (2010), Magnani (2006), Higashi (2006), Baran (2014)]. Inicialmente, após a realização de ensaios oedométricos em amostras indeformadas no ponto do CPTU-01 foram obtidas nas profundidades 3,00-3,65m e 5,00 – 5,65m, os valores de  $\sigma'_p$  (tensão de pré-adensamento) e  $C_c$  (coeficiente de compressão), conforme Figura 5 e Figura 6. As condições das amostras e as respostas  $\sigma'_p$  e  $C_c$  encontram-se na Tabela 4.

A Figura 5 apresenta uma fase de recompressão extensa, portanto baixas deformações elásticas para níveis de  $\sigma'_p$  elevados e fase de compressão com geometria aproximadamente

íngreme na fase virgem, ou seja, grandes deslocamentos concentrados em uma determinada faixa de carregamento, já na Figura 6 apresenta um trecho de recompressão mais curto, o que induz a concluir que possui um módulo elástico menor, entretanto com reta virgem mais inclinada indicando um endurecimento da argila, conforme ocorre a plastificação.

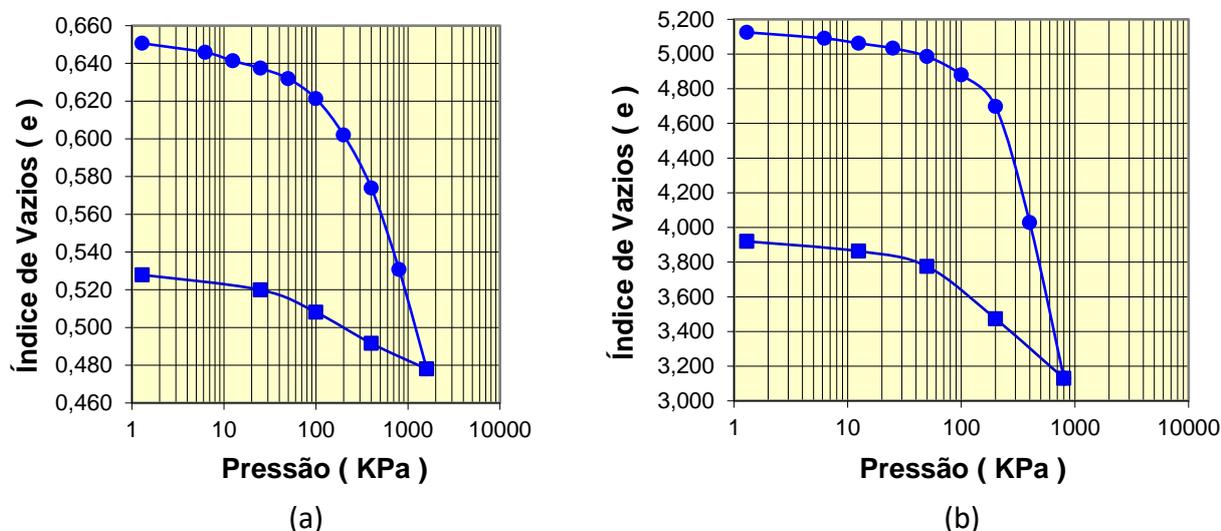


Figura 5: Ensaio oedométrico: a) amostra indeformada AM -01 do ponto CPTU-01 na prof. entre 3,00 e 3,65m; b) amostra indeformada AM -02 do ponto CPTU-01 na prof. entre 5,00 e 5,65m. (Fonte: O autor, 2019)

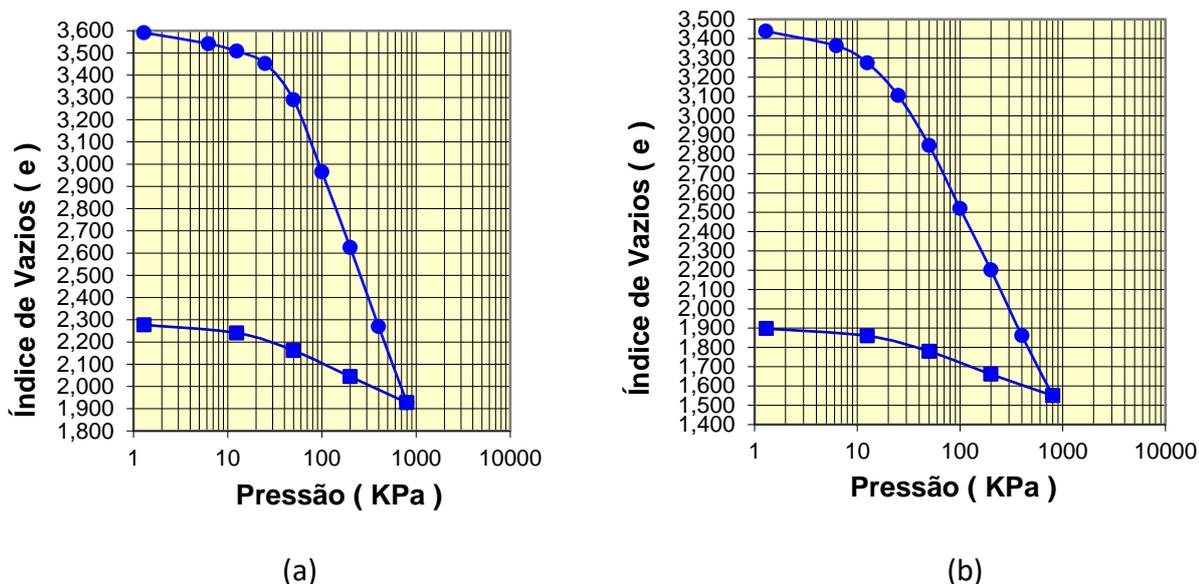


Figura 6: Ensaio oedométrico: a) amostra indeformada AM -01 do ponto CPTU-03 na prof. entre 2,00 e 2,65m; a) amostra indeformada AM -02 do ponto CPTU-01 na prof. entre 4,00 e 4,65m. (Fonte: O autor, 2019)

De um modo geral, os índices de vazios do solo estudado são relativamente altos, o que é comum em termos de depósitos de argilas sedimentares. Importante salientar que a Figura 5a apresenta índices de vazios baixos comparada aos demais ensaios, o que é típico de solos granulares sedimentares. A Tabela 4 apresenta as características e resultados dos ensaios oedométrico e pode-se notar o grau de saturação elevado e a variação na tensão de pré-

adensamento em função do ponto de coleta, indicando uma certa heterogeneidade do solo, principalmente na Figura 5a.

Tabela 4: Tabela resumo do ensaio oedométrico realizado no furo CPTU-01 e CPTU-03 (Fonte: O autor, 2019)

Local	Profundidade (m)	Umidade (%)	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Grau de saturação (%)	$\sigma'_p$ (kPa)	Cc
CPTU-01	3,00 - 3,65	23,8	1,974	96	200	0,17
	5,00 - 5,65	221,1	1,174	97	210	2,82
CPTU-03	2,00 - 2,65	164,2	1,238	98	40	1,17
	4,00 - 4,65	159,0	1,248	99	22	1,10

Ameratunga et al. (2016) explicaram que argilas com Cc inferior a 0,2 podem ser enquadradas como materiais de baixa compressibilidade e acima de 0,4 como um material de alta compressibilidade.

Santos (1997), Magnani (2006) e Higashi (2006) realizaram ensaios de compressibilidade em solos litorâneos de Santa Catarina e identificaram a presença, em geral, de solos normalmente adensados e, em casos específicos, em processo de adensamento. Os valores de  $\sigma'_p$  obtidos por estes autores oscilaram entre 14kPa e 50kPa para amostras coletadas entre 2,3m e 6,0m. Em termos de  $\sigma'_p$ , Coutinho (2001) apresentou estudos feitos com argilas moles resultados de 190 a 460 kPa em profundidades de 28,00 a 41,00m. Spindola (2004) realizou ensaios oedométricos em argilas moles catarinenses em profundidades de 9,00 a 15,00m, cujos valores de  $e_0$  situaram-se em 2,087 a 2,577, Cc iguais a 0,624 a 1,834 e valores de  $\sigma'_p$  entre 140 kPa e 200 kPa.

Baran (2014) estudou o comportamento do adensamento de uma argila mole de formação fluvio-marinha localizada município de Itajaí/SC basicamente em estado pré-adensado, cujos parâmetros obtidos foram valores  $\sigma'_p$  de 17 kPa a 45 kPa (Método de Pacheco Silva) e valores de Cc entre 0,93 a 2,05.

Para a definição da resistência do material, foram realizados ensaios triaxiais CU em três amostras, duas referentes ao ponto CPTU-01, nas profundidades 3,00-3,65m e 5,00-5,65m e a outra do ponto CPTU-03 na profundidade 2,00-2,65m. Cada ensaio foi realizado com as pressões confinantes de 25 kPa (cor verde), 50 kPa (cor Azul) e 100kPa (cor vermelha), e assim originaram os gráficos da Figura 7, Figura 8 e Figura 9. Nota-se que como houve a medida da pressão de água é possível plotar os resultados em termos de tensões totais e tensões efetivas.

Os resultados da Figura 7 ilustram que o solo descrito se comporta como um material elastoplástico com *strain hardening* caracterizado pelo ganho de resistência com o aumento das deformações axiais, conforme há redução da poropressão, independente da tensão confinante. Além disso, percebe-se ao se interpretar as trajetórias de tensões, que o comportamento foi dilatante, ou seja, independentemente do nível de tensões confinantes, o solo manifestou expansão volumétrica com o acréscimo de tensão desviadora.

Em linhas gerais, através da resposta da curva tensão vs deformação percebe-se o aumento do limite de escoamento do material e a tensão axial aumentou conforme houve aumento da tensão de confinante. Os picos de poropressão estão entre 1% e 2,5% de deformação axial, e

conforme esse valor vai aumentando, a redução é de em média 42,3% da pressão neutra (36% no CP-01, 63% no CP-02, 28% no CP-03).

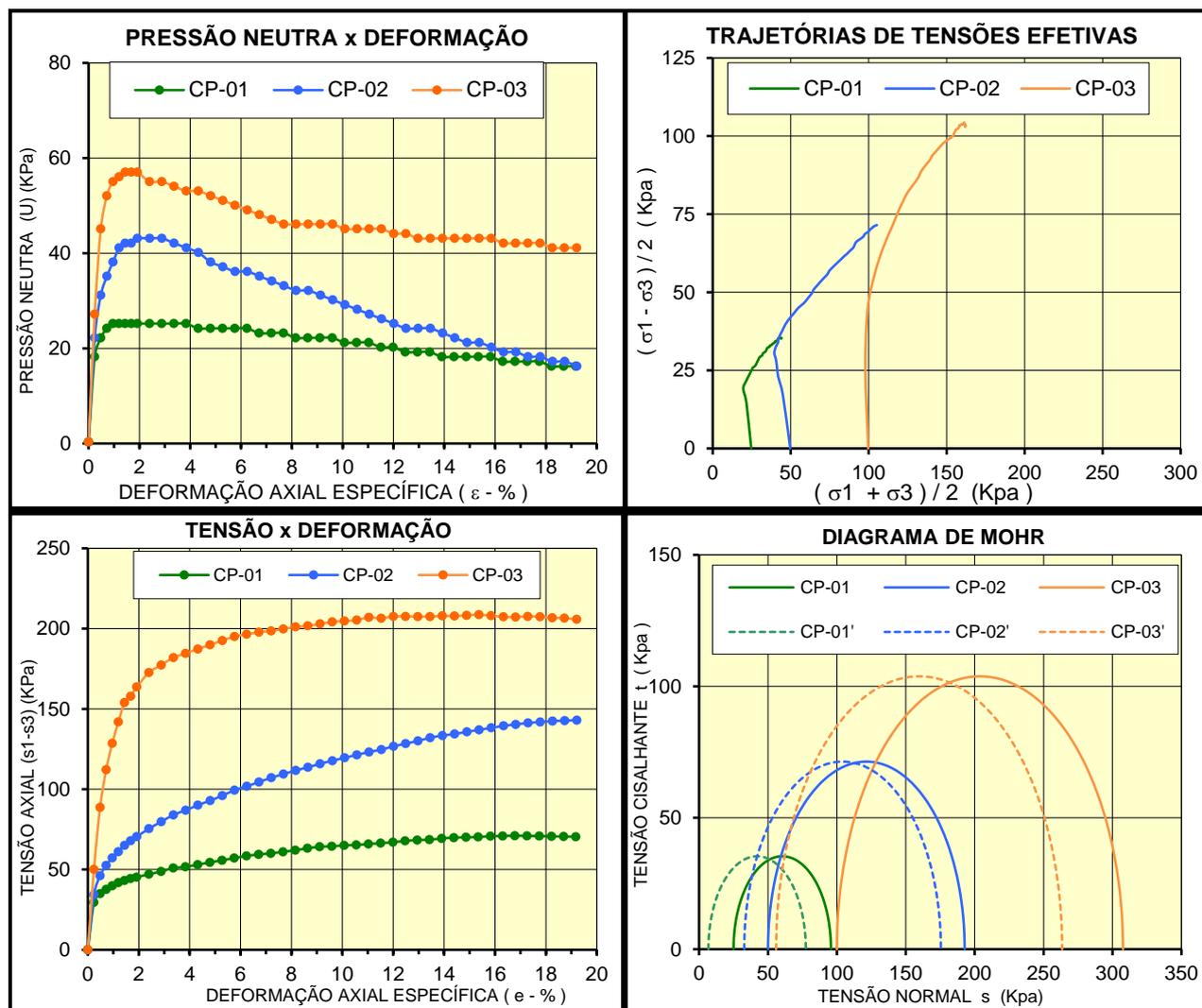


Figura 7: Resultados para o ensaio triaxial CU realizado nos depósitos aluvionares do município Biguaçu/SC: amostra AM-01 do ponto CPTU-01 na profundidade entre 3,00 e 3,65m. (Fonte: O autor, 2019)

Para a AM-02 do CPTU-01, a profundidade de coleta foi entre 5,00-5,65 metros, gerando os resultados da Figura 8. Embora a amostra AM-02 do CPTU-01 nos três ensaios triaxiais CU tenha se comportado como um material elastoplástico com *strain softening* e comportamento volumétrico contrátil, não apresentou uma tendência lógica de carga vs deformação em função da variação da tensão confinante, assim como no formato do círculo de Mohr e por sua vez na definição da envoltória de ruptura. Provavelmente isso é justificado por erros no ensaio do CP-03, uma vez que a resposta do estado de tensão e da curva tensão vs deformação do CP-03 foi intermediária comparada ao comportamento dos demais testemunhos. Por fim, as amostras apresentaram variações de comportamento dilatante e contrátil dependendo da tensão confinante.

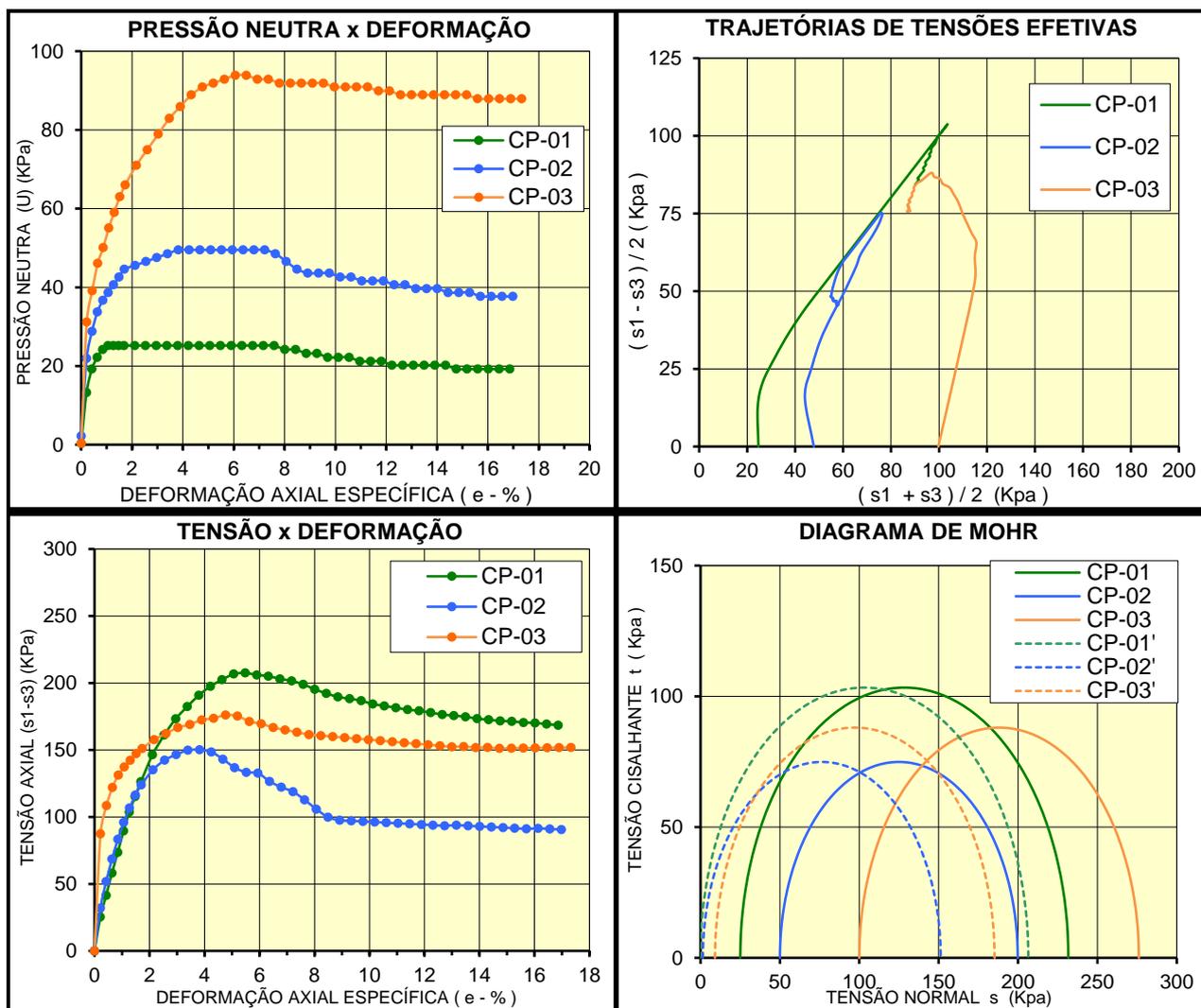


Figura 8: Resultados para o ensaio triaxial CU realizado nos depósitos aluvionares do município Biguaçu/SC: amostra AM-02 do ponto CPTU-01 na profundidade entre 5,00 e 5,65m. (Fonte: O autor, 2019)

Por fim, os resultados da amostra AM-01 do CPTU-03 (profundidade entre 2,00-2,65m) são apresentados na Figura 9. Os gráficos demonstram que a argila em questão possui um comportamento entre normalmente adensado a levemente pré-adensado. Nota-se na Figura 9 que conforme a deformação axial aumenta, o valor da poropressão (pressão neutra) também se eleva. Esse comportamento é mais visível nas amostras com maior tensão confinante.

Quanto ao comportamento volumétrico, pode se afirmar que para tensões confinantes menores, é dilatante, porém para tensões confinantes maiores, o solo reage como um material contrátil. Neste aspecto percebe-se uma similaridade da amostra AM-02 CPTU -01 com amostra AM-01 CPTU-03.

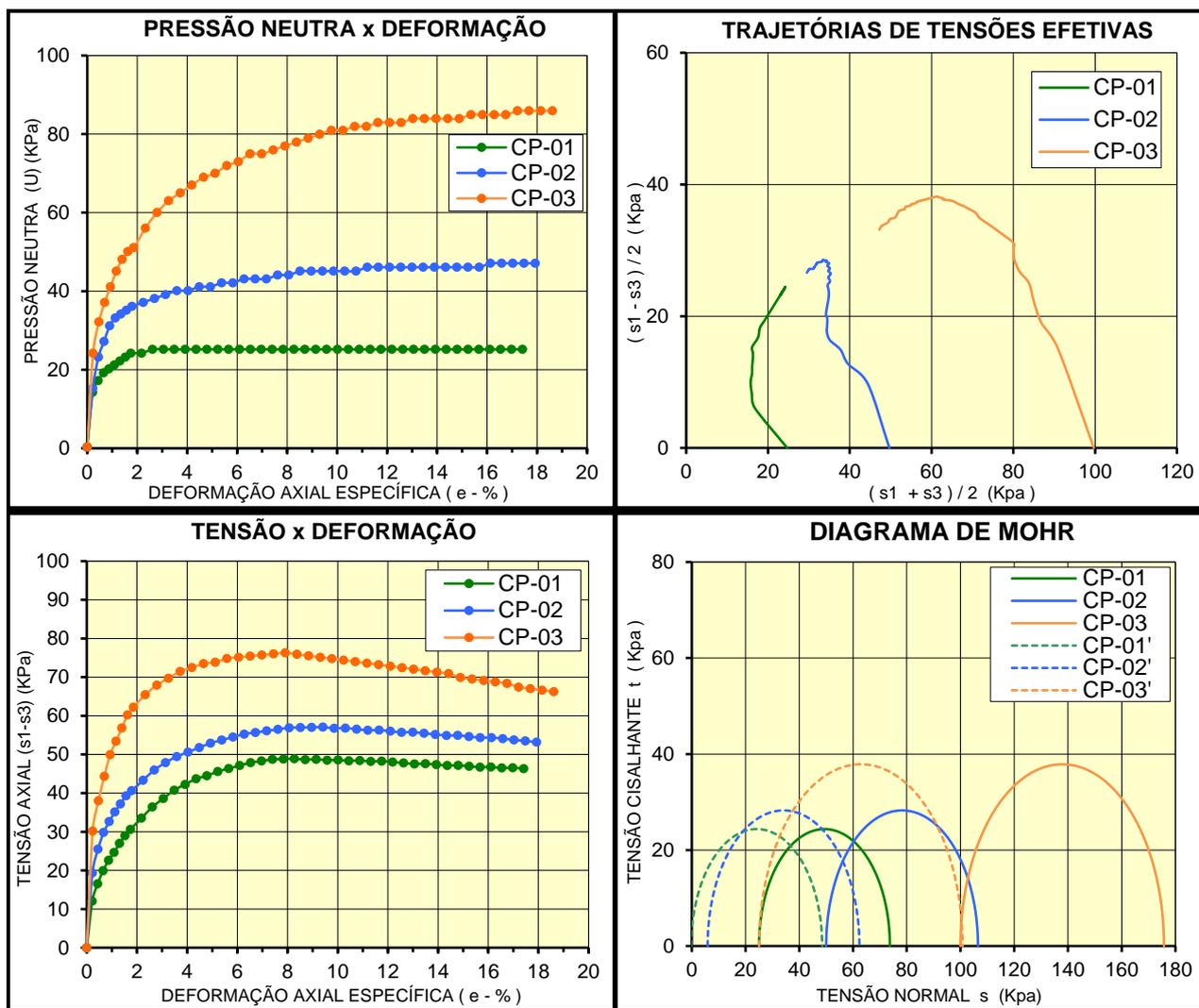


Figura 9: Resultados para ensaio triaxial CU realizado nos depósitos aluvionares do município Biguaçu/SC: amostra AM-01 do ponto CPTU-03 na profundidade entre 2,00 e 2,65m. (Fonte: O autor, 2019)

Com os resultados para a amostra AM-01 tanto do ponto CPTU-01 quanto CPTU-03, foram atribuídas as propriedades mecânicas do material. Para obter o ângulo de atrito e o intercepto coesivo calculou-se o ângulo  $\alpha$  relações através dos valores de pico dos círculos de Mohr em diferentes tensões confinantes (tanto as efetivas quanto as totais). As relações são apresentadas nas equações (1) e (2), os detalhes sobre os parâmetros obtidos podem ser observados na Figura 10 e Figura 11.

$$\tau = c + \sigma tg\phi \tag{1}$$

$$\phi = \arcsen(tg\phi) \tag{2}$$

Pelos resultados obtidos nos ensaios, os valores para o ângulo de atrito e intercepto coesivo (totais e efetivos) são apresentados conforme a Tabela 5.

Tabela 5: Resumo dos parâmetros totais e efetivos obtidos pelos ensaios triaxiais CU (Fonte: O autor, 2019)

Amostra	Prof. (m)	Parâmetros totais		Parâmetros efetivos	
		$\phi$	c	$\phi'$	c'
AM-01 CPTU-01	3,00-3,65	28,19°	10,74 kPa	35,60°	13,29 kPa



AM-01 CPTU-03    2,00-2,65    8,85°    16,74 kPa    20,21°    17,27 kPa

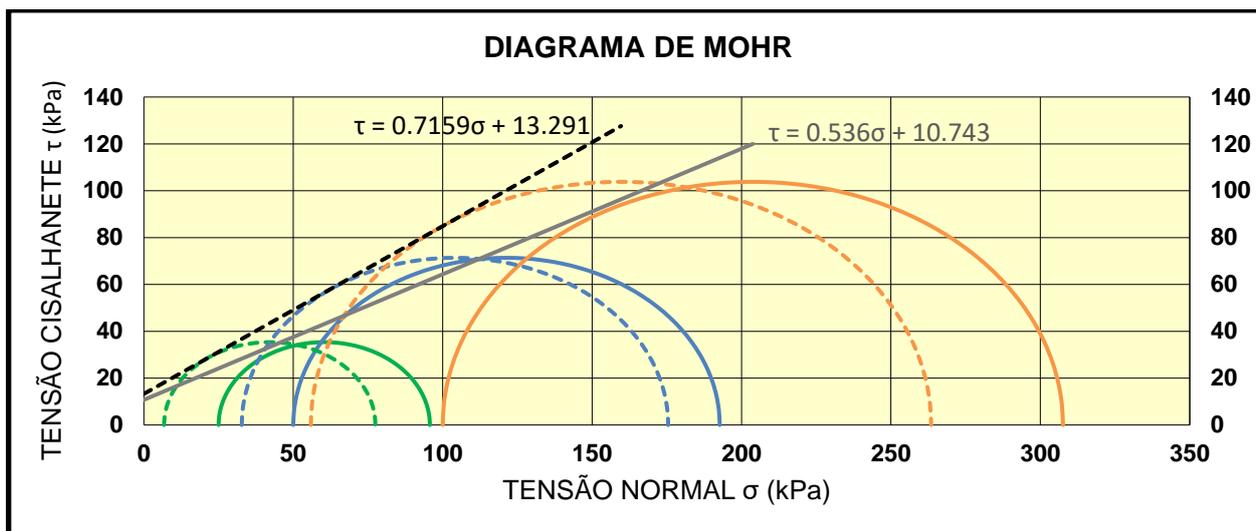


Figura 10: Resultados da envoltória para as tensões totais e efetivas da amostra AM-01 do CPTU-01 (Fonte: O autor, 2019)

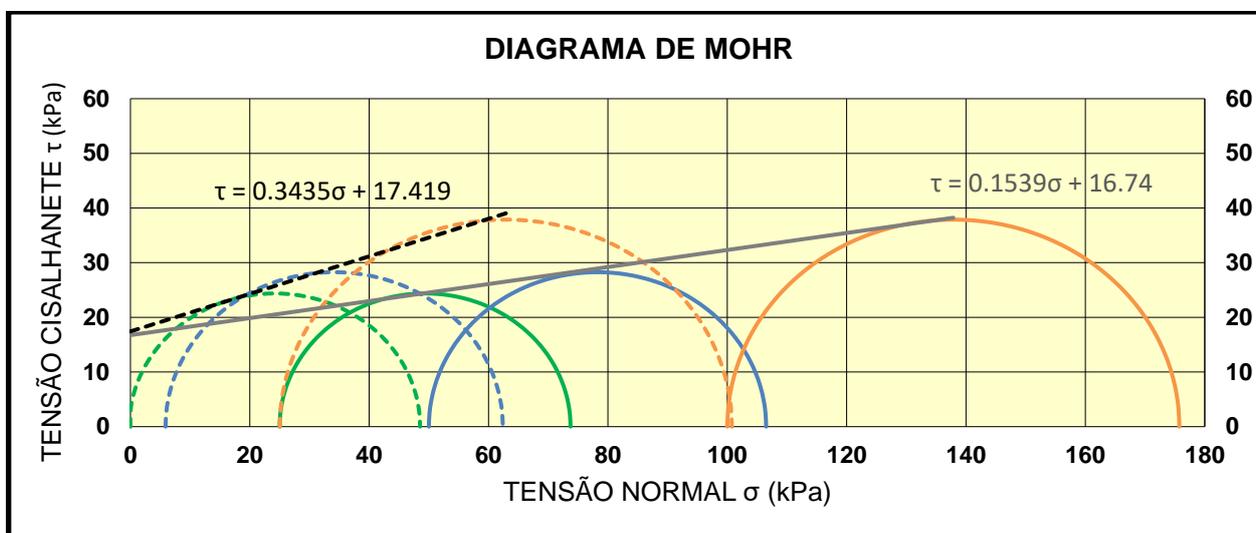


Figura 11: Resultados da envoltória para as tensões totais e efetivas da amostra AM-01 do CPTU-03 (Fonte: O autor, 2019)

O solo coletado na CPTU-01 apresenta um maior ângulo de atrito e menor valor para o intercepto coesivo, quando comparado ao material do CPTU-03, seja o comportamento em parâmetros totais ou efetivos. Esse tipo de resposta é compatível com classificação granulométrica das amostras supracitadas. A existência de fração de finos na amostra AM-01 CPTU-03 naturalmente afetou a magnitude do ângulo de atrito comparado aos resultados do AM-01 CPTU-01, ainda que houvesse um valor de intercepto coesivo superior. Isso se deve ao fato de que o ângulo de atrito interno é um parâmetro que varia em função da compactidade, teor de finos, tamanho e forma dos grãos envolvidos na massa de solo (Pinto, 2006). Quando comparados com bibliografia (Pinto, 2006; Sowers e Sowers, 1991 apud Lambe e Whitman, 1969) os valores são correntes para a Amostra AM-01 (areia argilo-siltosa), visto que os autores apresentam intervalo

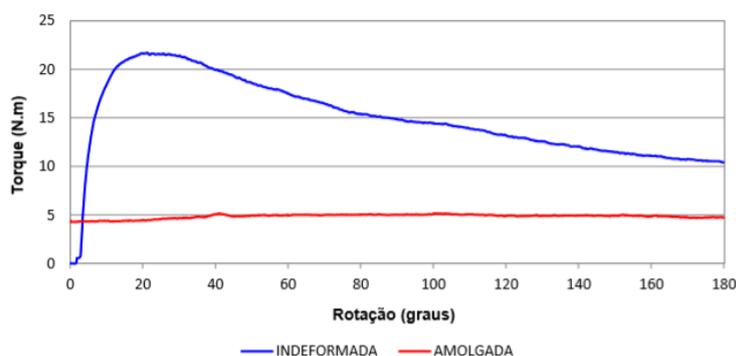


entre  $26^\circ$  e  $30^\circ$  para o ângulo de atrito total. Já a argila siltosa (CPTU-03), apresentou valores compatíveis com os resultados obtidos na Ceesa, Porto Alegre/RS (Soares, 1997), Vale do Rio Quilombo/SP (Árabe, 1995) e João Pessoa/PB (Cavalcante, 2002). Comparando com outros autores (Sousa Pinto, 2006; Almeida e Marques, 2013 e Massad, 2016), os valores obtidos ficam abaixo do esperado para o material. Ameratunga *et al.* (2016) apresentaram uma relação de ângulos de atrito ( $\phi'$ ) de  $26^\circ$  e  $32^\circ$  e 0 a 5 kPa intercepto coesivo efetivos ( $c'$ ) para solos argilas siltosas na Austrália, justamente próximos aos obtidos no estudo.

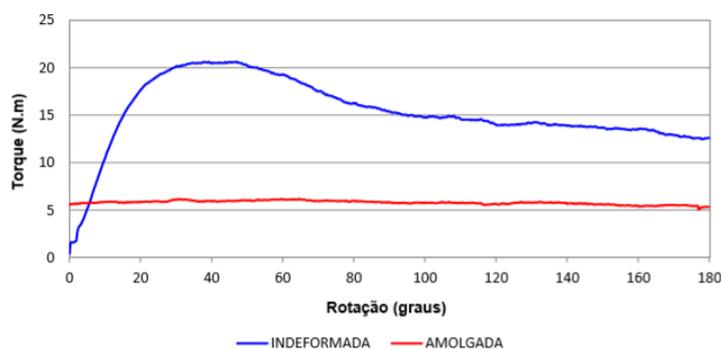
A

Figura 12 e Figura 13 ilustram os resultados obtidos no ensaio de palheta realizados no local tanto em condição indeformada quanto em condição amolgada. Avaliando a

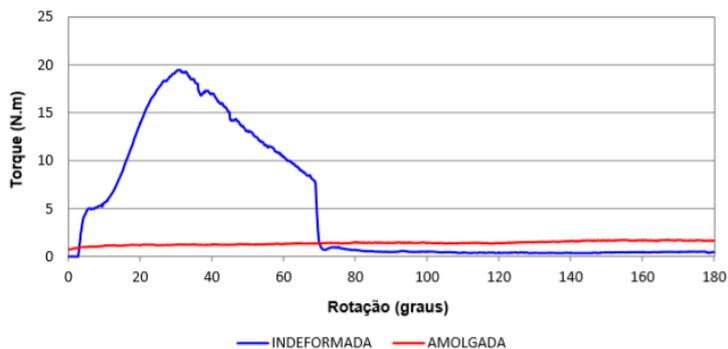
Figura 12c e Figura 13b é possível perceber comportamentos atípicos de curvas torque vs rotação provavelmente justificado pela presença de materiais siltosos, arenosos ou matéria orgânica não degradada.



(a)

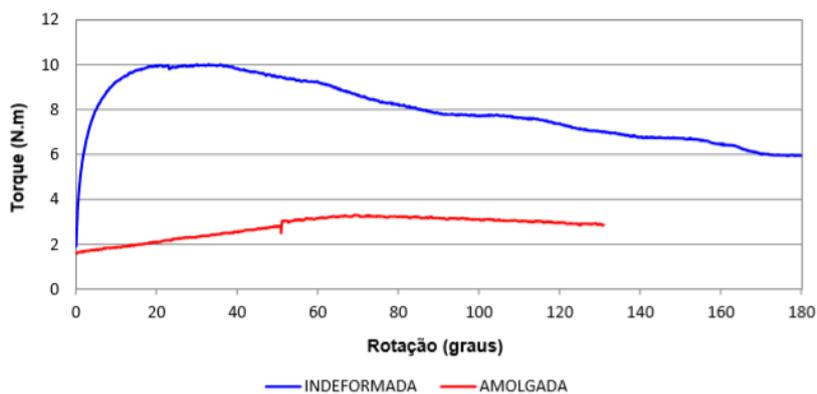


(b)

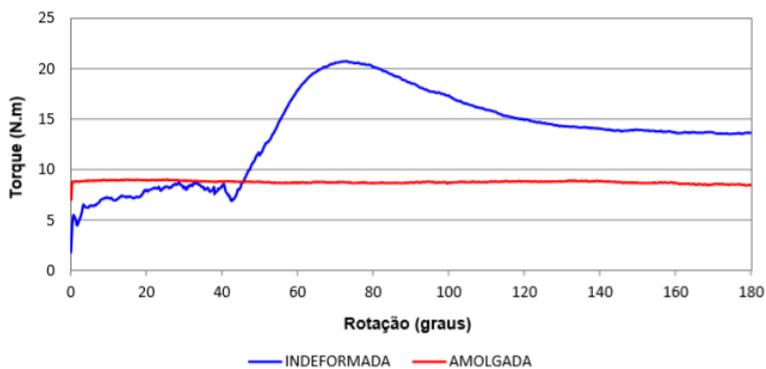


(c)

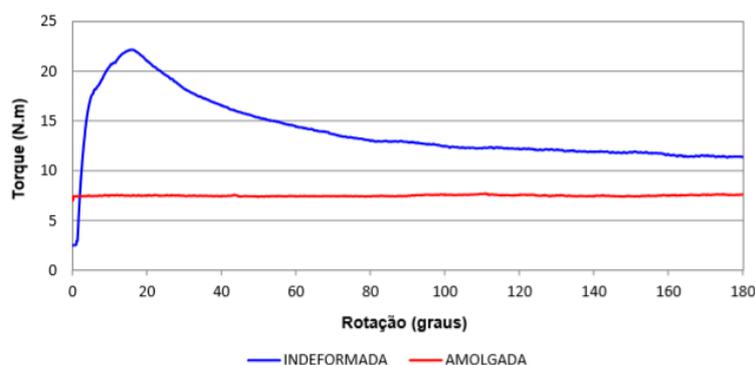
Figura 12: Resultados de ensaio de palheta (“Vane Test”) – VT-01: a) 1,00m; b) 3,00m; c) 5,00m (Fonte: O autor, 2019)



(a)



(b)



(c)

Figura 13: Resultados de ensaio de palheta (“Vane Test”) – VT-03: a) 2,00m; b) 4,00m; c) 6,00m (Fonte: O autor, 2019)

Quanto a isso, Schnaid e Odebrecht (2012) explicaram que a presença de quantidades reduzidas de areia ou silte na matriz argilosa ou a ocorrência de lentes arenosas promovem um ganho de resistência decorrente da drenagem parcial durante a rotação da palheta. Aliado a isto, existem interferências produzidas por partículas granulares, conchas e raízes que podem desenvolver descontinuidades gráficas com patamares localizados.

A Tabela 6 apresenta os resultados de resistência ao cisalhamento não drenada em condições indeformada e amolgada e sensibilidade do depósito sedimentar de Biguaçu/SC. No ponto VT-01 a argila apresenta de média a alta sensibilidade, já no ponto VT-03 a argila apresenta baixa sensibilidade, segundo a classificação de Skempton e Northey (1952). Schnaid e Odebrecht (2012) apresentaram um levantamento amplo de sensibilidade ( $St$ ) de várias argilas moles litorâneas de variados estudos e ao comparar as respostas pode-se perceber que o VT-03 encontra-se na faixa de muitas argilas moles nacionais, já o VT-01 com respostas parecidas com as dos estudos de Oliveira e Coutinho (2000) e Baroni (2010). Grandó (2018) ao estudar depósitos sedimentares litorâneos pré-adensados no município de Biguaçu/SC encontrou valores de  $S_u$ ,  $S_{u_{res}}$  e  $St$  e encontrou valores similares aos primeiros 3m no furo VT-01 nas profundidades 3,5 metros e 4,5 metros.

Tabela 6: Resultados de resistência ao cisalhamento não drenada e sensibilidade do solo através do Vane test (Fonte: O autor, 2019)

Local	Profundidade (m)	Resistência ao cisalhamento não drenada – $S_u$ (kPa)	Resistência ao cisalhamento amolgada – $S_{u_{res}}$ (kPa)	Sensibilidade - $St$
VT-01	1,00	21,64	4,84	4,47
	3,00	20,57	5,77	3,56
	5,00	19,41	1,39	13,91
VT-03	2,00	9,99	2,76	3,62
	4,00	20,69	8,74	2,37
	6,00	22,09	7,47	2,96

Analisando os resultados obtidos pela sondagem à percussão (SPT), para o SP-01 notou-se que existe uma argila mole a muito mole no início da camada, cujos resultados apontados pelo CPTU-01 mostraram-se compatíveis com essa informação. Percebe-se pela Figura 14a que o material apresenta uma poropressão superior ao material arenoso que está presente nas camadas

abaixo dessa inicial. Esse comportamento fica mais acentuado na Figura 14b (SP-18), no qual a camada siltosa apresenta valores superiores ao da camada arenosa. Além disso, as camadas com material mais granular apresentam uma resistência de ponta maior do que os trechos com solos mais finos.

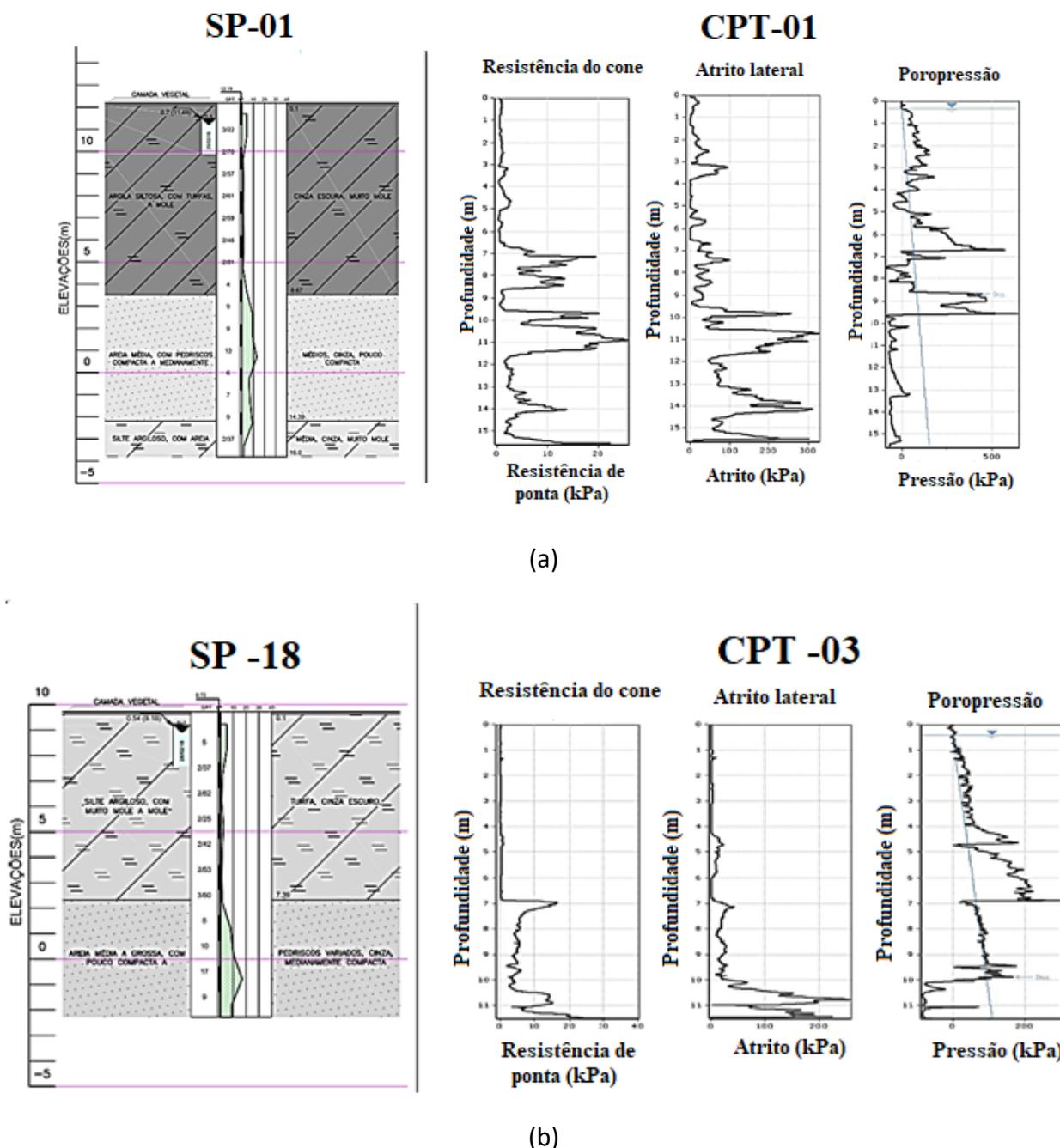


Figura 14: Comparação dos respectivos ensaios SPT e CPTU para os locais investigados. (a) SP-01 e CPTU-01 (b) SP-18 e CPTU-03. (Fonte: O autor, 2019)

Nota-se que para ambos os perfis existe uma camada de material mole a muito mole e depois uma região com areia média, com isso foi possível estabelecer um perfil prévio para melhor interpretação da área (Figura 15).

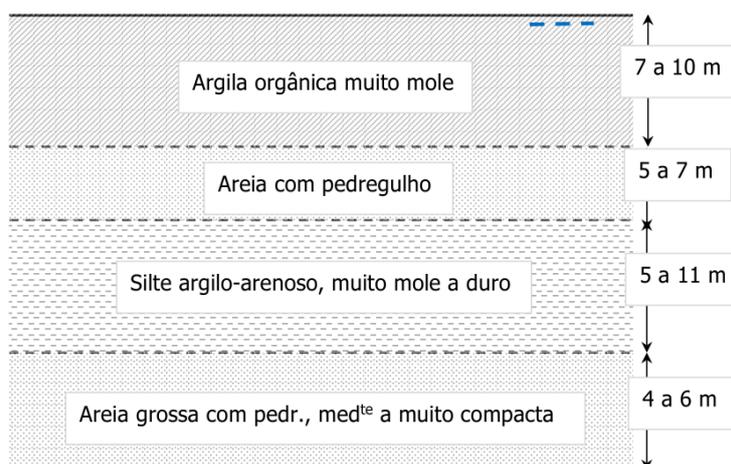


Figura 15: Perfil geológico usual para a região de Biguaçu. (Fonte: O autor, 2019)

## 5 CONCLUSÕES

O presente artigo possui como objetivo caracterizar um depósito sedimentar localizado no município de Biguaçu/SC. Com base em investigações realizadas neste depósito através de ensaios SPT, CPT, *Vane test* e uma variedade de ensaios laboratoriais, nota-se que o material encontrado pelas análises possui parâmetros e propriedades compatíveis com as de ensaios e outras sondagens realizadas no Brasil e presentes em bibliografia geotécnica. Desta forma, foram elencadas várias considerações extraídas ao longo deste artigo, sendo elas:

- As amostras retiradas dos furos CPTU-01 e CPTU-03 indicaram presença de areia argilo-siltosa com vestígios de pedregulho e de argilas siltosas com vestígios de areia, cujo perfil estratigráfico típico local é caracterizado pela presença de argila orgânica muito mole (7 – 10m), areia com pedregulho (5 – 7m), silte argilo-arenoso muito mole a duro (5 – 11m) e areia grossa com pedregulho medianamente a muito compacta (4 -6m), conforme ilustrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**;
- As camadas mais superficiais do solo apresentaram comportamento contrátil, enquanto as mais profundas um comportamento dilatante conforme apresentado através das trajetórias de tensões dos ensaios triaxiais;
- O material apresenta argila apresenta de média a alta sensibilidade no furo VT-01 (4,47 – 13,91) no furo VT-03 com baixa sensibilidade (2,96 – 3,62);
- A presença de material granular altera de maneira considerável as propriedades de resistência (intercepto coesivo e ângulo de atrito). Como pode ser visto na Tabela 5 os valores dos parâmetros efetivos dos materiais investigados foram de 20,21° e 35,60° para ângulo de atrito e intercepto coesivo de 13,29 kPa e 17,27 kPa. Quanto ao ângulo de atrito, Schnaid e Odebrecht (2012) apresentaram valores de ângulo de atrito de solos argilosos similares aos apresentados neste estudo baseados em estudos em sites do São Paulo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Paraíba e Pernambuco (18° e 34°);

- As camadas mais profundas apresentam maiores índices de vazios (2,07 – 2,50), menores pesos específicos (aproximadamente 13 kN/m<sup>3</sup>), altos teores de umidade (159% a 221,1%) e de grau de saturação (96% - 99%);

Dessa forma, quando for iniciada uma nova campanha de ensaios na região de Biguaçu/SC, os responsáveis pela obra já podem se atentar a estas condições esperadas em campo. Assim, pode-se tomar uma melhor decisão sobre a escolha o tipo de obra, fundação ou outro aspecto geotécnico, em virtude de se já saber imaginar seu comportamento. Ressalta-se novamente que as informações descritas neste trabalho servem para somar a companhia de ensaios realizada antes da obra e não para suprimir uma bateria de sondagem.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, M. de S., Marques, M. E. S. (2013). Design and performance of embankments on very soft soils. London, United Kingdom: CRC Press.

Ameratunga, J., Sivakugan, N., Das, B.M. (2016) Correlation of soil and rock properties in Geotechnical Engineering. Nova Delhi, Índia: Springer

American Society for Testing and Materials (2020). ASTM 4767-11. Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils. Pensilvania.

Árabe, L. C. G. (1995). Aplicabilidade de ensaios in situ para a determinação de propriedades geotécnicas de depósitos de argilosos e de solos residuais. Tese de doutorado, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). NBR 6459.Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). NBR 7181.Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). NBR 7184.Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1990). NBR 12007.Solo –Ensaio de adensamento unidimensional – Método de Ensaio. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995). NBR 6502.Rochas e Solos. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). NBR 6508. Grãos de solo que passam na peneira #4,8mm – Determinação da massa específica e Solos. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1988). NBR 10838. Solo – Determinação da massa específica aparente de amostras indeformadas com emprego de balança hidrostática – Método de ensaio. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6457.Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro.

Baran, K. R. (2014). Propriedades geotécnicas de compressibilidade de uma argila mole de Itajaí-sc. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.



Baroni, M. (2010). Investigação geotécnica em argilas orgânicas muito compressíveis em depósitos da Barra da Tijuca. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Bertolino, L. C.; Palermo, N.; Bertolino, A.V. F. A. (2009). Geologia. In: de Almeida, S. L. M; da Luz, A. B. Manual de agregados para construção civil. Rio de Janeiro: CETEM.

British Standard (1990). BS 1377-8. American Society for Testing and Materials (2020). ASTM 4767-11. Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils. United Kingdom.

. Pensilvania.

Cavalcante, E. H. (2002). Investigação teórico-experimental sobre o SPT. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CPRM (2019). Carta Geológica do Brasil ao milionésimo – Curitiba. Recuperado em 21 de outubro de 2019, de [http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/4999/sg22\\_curitiba.pdf?sequence=2](http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/4999/sg22_curitiba.pdf?sequence=2)

Fortes, E. (1996). A planície costeira da região de Biguaçu - SC: Abordagens dos aspectos ambientais da bacia hidrográfica do rio Biguaçu. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

Grando, A. (2018). Propriedades e parâmetros geotécnicos de depósitos com argilas moles de Santa Catarina. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

Higashi, R. R. (2006). Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

Horn Filho, N.O., Schmidt L., A. D., Benedet, C., Neves, J., Pimenta, L. H. F., Paquette, M., Alencat, R., Silva, W. B., Villela, E., Genovez, R., Santos, C. G. (2014). Estudo Geológico dos depósitos clásticos quaternários superficiais da planície costeira de Santa Catarina. Gravel, 1, 41-107.

Lambe, T. W., Whitman, R. V. (1969). Soil Mechanics. New York: John Wiley & Sons.

Magnani, H. O. (2006) Comportamento de aterros reforçados sobre solos moles levados à ruptura. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRJ, Rio de Janeiro.

Massad, F. (2016). Mecânica dos solos experimental. São Paulo: Oficina de textos.

Oliveira, A. T. J., Coutinho, R. Q. (2000). Utilização de um equipamento elétrico de palheta de campo em uma argila mole de Recife. In: Seminário Brasileiro de Investigação de Campo (BIC'2000), s/v., 186 – 198.

Pinto, C. de S. (2006). Curso básico de mecânica dos solos. São Paulo: Oficina de textos.

Santos, G. T. (1997) Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

Schnaid, F., Odebrecht, E. (2012). Ensaio de campo e suas aplicações na engenharia de fundações. São Paulo: Oficina de textos.

Skempton, A. W.; Northey, R. D (1952). The sensitivity of clays. *Geotéchnique*, 3 (1), 30-53.

Soares, J. M. D. (1997). Caracterização do depósito de argilas moles da região metropolitana de Porto Alegre. Tese de doutorado (Ph.D.), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

Spindola, M. S. (2011). Análise dos parâmetros geotécnicos dos solos moles da obra de ampliação do Aeroporto Internacional Hercílio Luz, Florianópolis. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

#### COMO CITAR ESTE ARTIGO:

De Souza Jr, T. F., Silva, C. F., Silva, J. P. S. (2022). Caracterização geotécnica de um depósito sedimentar do município de Biguaçu/SC. *HOLOS*, 2, 1- 23, Recuperado de <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/10062>.

#### SOBRE OS AUTORES

##### T. F. DE SOUZA JUNIOR

Graduação em Engenharia Civil – UFBA. MBA. Gerenciamento de Projetos - SENAI/BA. Mestrado em Eng. Civil com ênfase em Geotecnia - UFPR. Doutorado em Eng. Civil com ênfase em Geotecnia (em andamento) – UFRGS.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0235-3152>

E-mail: [tennisonupr@outlook.com](mailto:tennisonupr@outlook.com)

##### C. F. SILVA

Bacharel em Administração de empresas (UEL). Bacharel em Engenharia Civil (UFPR). Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos (UFPR).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7472-1431>

E-mail: [cezarfalavigna@gmail.com](mailto:cezarfalavigna@gmail.com)

##### J. P. S. SILVA

Bacharel em Engenharia Civil (UFPR). Mestre em Engenharia de Construção Civil (UFPR).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2429-3242>

E-mail: [jpaulossilva93@gmail.com](mailto:jpaulossilva93@gmail.com)



**Editor(a) Responsável:** Francinaide de Lima Silva Nascimento

**Pareceristas *Ad Hoc*:** Paulo Filipe Trindade Lopes e Milene Sabino Lana



**Recebido:** 06 de maio de 2020

**Aceito:** 17 de agosto de 2020

**Publicado:** 13 de julho de 2022