

ALISON DE SOUZA NORBERTO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE AMOSTRAS  
INDEFORMADAS DE SOLOS MOLES E CORREÇÃO DA  
TENSÃO DE PRÉ-ADENSAMENTO**

Caruaru, 2017.

ALISON DE SOUZA NORBERTO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE AMOSTRAS  
INDEFORMADAS DE SOLOS MOLES E CORREÇÃO DA  
TENSÃO DE PRÉ-ADENSAMENTO**

Proposta de trabalho a ser apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste – CAA, da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, com requisito para a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II.

Áreas de concentrações: Engenharia Civil - Geotécnica.

Orientador (a): Prof(a). Dr(a). Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello.

Caruaru, 2017.

Catálogo na fonte:

Bibliotecária – Marcela Porfírio – CRB/4-1878

N823a Norberto, Alison de Souza.

Avaliação da qualidade de amostras indeformadas de solos moles e correção da tensão de pré-adensamento. / Alison de Souza Norberto. – 2017.

79f. ; il. : 30 cm.

Orientadora: Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2017.

Inclui Referências.

1. Solos. 2. Aterros. 3. Argila. 4. Engenharia Civil. I. Bello, Maria Isabela Marques da Cunha Vieira (Orientadora). II. Título.

620 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2017-140)

ALISON DE SOUZA NORBERTO

## **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE AMOSTRAS INDEFORMADAS DE SOLOS MOLES E CORREÇÃO DA TENSÃO DE PRÉ-ADENSAMENTO**

Proposta de trabalho a ser apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste – CAA, da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, com requisito para a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II.

Áreas de concentrações: Engenharia Civil - Geotécnia.

Orientador (a): Prof.(a). Dr(a). Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello.

APROVADO.

Caruaru, 24 de julho de 2017.

Prof.<sup>a</sup> Dr(a). Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello:

---

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientadora)

Prof.<sup>a</sup> Dr(a). Maria Odete Holanda Mariano:

---

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora I)

Prof.<sup>a</sup> Dr(a). Leila Brunet de Sá Beserra

---

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora II)

Prof. Dr. Cléssio Leão Silva Lima:

---

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina).

*Dedico este trabalho aquele que sempre será minha referência e inspiração, meu eterno e saudoso Pai.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por me dar forças, não somente para a conclusão deste trabalho, mas também para vencer todos os desafios superados ao longo dessa jornada.

Aos meus pais, José Claudio e Maria José, por serem meu alicerce e minha fonte de inspiração para sempre seguir independente do obstáculo, amo vocês.

À minha madrinha, tia, e uma segunda mãe, Celeste, por ter sido sem sombra de dúvidas a maior apoiadora nessa minha jornada, amo demais a senhora.

As minhas Tias, Ninha, Célia, Sônia, Gêuzá, Claudeci, Nina. Como amo essas mulheres.

A toda a minha família, minha irmã, Amanda, meus tios, padrinhos, madrinhas, primos, e em especial aos primos que são como irmãos para mim, Laine, Duda e Edmar.

À minha orientadora, Professora Isabela, pelos ensinamentos, pela paciência e acima de tudo pela motivação e incentivo de buscar sempre o crescimento.

A todos os professores que compõe o curso de Engenharia Civil da UFPE/CAA, por todos os conhecimentos transmitidos. E um agradecimento especial à Professora Odete, por todo seu incentivo e apoio.

Aos meus grandes amigos de Lage Grande, por toda torcida, apoio e por sempre me transmitirem boas energias quando voltava para casa.

A todos da Família Britto, em especial a Maria Tereza, por todo suporte, amizade e carinho. E um agradecimento mais que especial a meu amigo Leonel, o qual me estendeu a mão e mesmo sem me conhecer, e fez algo que poucos seres humanos são capazes de fazer, terei eterna gratidão por tudo que fizestes por mim.

Aos muitos amigos que fiz durante toda essa jornada, alguns são como irmãos que vou guardar sempre no meu coração. Bem, a lista é grande, mas faço questão de citar todos, são eles: Hugo, Mariana Primo, Marcelo, Vinicius, Nayane, Tayrony, Renatha, Arianne, Jhonata, Anderson, Germano, João, Kaio, Caio, Henrique, Maylon, Carlos, Mariana Mendes, Danylo, Gabriel, Adieil, Silvia, Andreia, Anny, Rafaela, Claudia, Jayne, Junior e Felipe.

**MUITO OBRIGADO!!**

## RESUMO

A construção de aterros sobre solos moles requer do profissional de engenharia uma série de conhecimentos técnicos que abrangem desde as fases de investigação do terreno e de elaboração do projeto geotécnico, até as de execução e de controle de obra. Esses solos possuem alta compressibilidade e baixa resistência, podendo gerar problemas à grandes estruturas. Os parâmetros geotécnicos obtidos em ensaios de laboratórios devem ser representativos com a situação de campo, sendo assim, devem ser tomados precauções na retirada, transporte e armazenamento de amostras indeformadas. A baixa qualidade das amostras tem influência significativa nos parâmetros de compressibilidade e resistência de solos moles, podendo causar expressivos equívocos de projeto. Neste trabalho são apresentados os resultados da avaliação da qualidade de amostras indeformadas e a correção do valor da tensão de pré-adensamento de três depósitos de argilas moles: Suape/PE (BELLO, 2011); Barra da Tijuca/RJ (BARONI, 2010) e Recife/PE (ROCHA, 2015). Para avaliação da qualidade de amostras indeformadas, foram utilizadas as metodologias de Lunne *et al.* (1997), Coutinho (2007) e Futai (2010). Para a correção do valor da tensão de pré-adensamento foram utilizados os métodos de Schmertmann (1955) e de Futai (2010, *apud* Bello, 2011). Os parâmetros obtidos foram correlacionados estatisticamente e comparados entre si. Os resultados apresentados foram satisfatórios, confirmando a necessidade da avaliação da qualidade de amostras indeformadas de solos moles, e da correção dos valores dos parâmetros de compressibilidade, em especial da tensão de pré-adensamento, obtidos em ensaios de laboratório. Conclui-se que as amostras de qualidade não satisfatória podem ser utilizadas em projeto, desde que sejam corrigidas pelos métodos apresentados neste trabalho. As amostras classificadas como Boa a Regular, também podem ter os valores da tensão de pré-adensamento corrigidos, mostrando assim a importância e o potencial do uso dos métodos de avaliação de amostras indeformadas e de correção de parâmetros geotécnicos a serem utilizados em projetos.

**Palavras-Chave:** Solos Moles. Amostras Indeformadas. Qualidade de Amostras. Tensão de Pré-Adensamento.

## ABSTRACT

The construction of embankments on soft soils requires the engineering professional a series of technical knowledge that ranging from the phases of investigation of the terrain and elaboration of a geotechnical project to the execution and control of the construction. Soft soils have high compressibility and low resistance, which can cause problems to great structures. The geotechnical parameters obtained through laboratory tests should be representative with the field situation. Therefore, all the care should be taken during the withdrawal, transport and storage of undisturbed samples. The low quality of the samples has a significant influence on the compressibility and resistance parameters of soft soils, which can cause significant project misconceptions. This work presents the results of the evaluation of the quality of undisturbed samples and the correction of the value of the pre-densification stress of three deposits of soft clays located in: Suape/PE (BELLO, 2011); Barra da Tijuca/RJ (BARONI, 2010) and Recife/PE (ROCHA, 2015). The methodologies of Lunne et al. (1997), Coutinho (2007) and Futai (2010) were used to evaluate the quality of undisturbed samples while the methods proposed by Schmertmann (1955) and of Futai (2010, apud Bello, 2011) were used to the correction of the value of the pre-densification stress. The obtained parameters were statistically correlated and compared to each other. The results were satisfactory, confirming the need to evaluate the quality of undisturbed samples of soft soils, and the correction of the values of the compressibility parameters, especially of the pre-densification stress, obtained through laboratory tests. It is concluded that samples of unsatisfactory quality can be used in the project, provided that they are corrected by the methods presented in this work. Samples classified as Good to Regular may also have the values of the pre-densification stress corrected, showing the importance and potential of using the methods of evaluation of undisturbed samples and correction of geotechnical parameters to be used in projects.

**Keywords:** Soft Soils. Undisturbed Samples. Sample Quality. Pre-densification stress.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 - Variação do estado de tensão total e efeito durante amostragem. ....	21
Figura 2-2 - Caminho de tensões teórico no processo de amostragem tubular. ....	22
Figura 2-3 - Amostrador tubo aberto (Shelby) de parede fina. ....	23
Figura 2-4 - Amostrador dotado de pistão estacionário. ....	25
Figura 2-5 - Sequência de amostragem – Amostrador Laval. ....	26
Figura 2-6 - O amostrador Sherbrooke. ....	27
Figura 2-7 -História de Tensões. ....	28
Figura 3-8 –Localização da área estudada - Barra da Tijuca. ....	30
Figura 3-9– Vista aérea do relevo atual de parte da região estudada - Barra da Tijuca/RJ. ....	31
Figura 3-10 – Localização da área estudada. ....	32
Figura 3-11– Localização da área estudada – Bairro de Chão de Estrelas-Recife/PE. ....	34
Figura 4-12 - Curva de Compressão Normalizada. ....	39
Figura 4-13 - Curvas de compressão normalizadas de curvas de boa e má qualidade. ....	40
Figura 4-14 – Avaliação da qualidade pelo Método de Futai (2010) para a Ilha CM I. ....	47
Figura 4-15 – Avaliação da qualidade pelo Método de Futai (2010) para a Ilha CM II. ....	47
Figura 4-16 – Avaliação da qualidade pelo Método de Futai (2010) para a Ilha GLEBA F. ....	48
Figura 4-17 – Avaliação da qualidade pelo Método de Futai (2010) para a Sub-Área A, Estaca 109. ....	57
Figura 4-18 – Curvas de adensamento Ilha 1., nas profundidades de 2 m e 8 m ....	61
Figura 4-19 – Curvas de adensamento Ilha 1, na profundidade de 11 m. ....	61
Figura 4-20 – Curvas de adensamento Ilha 2, nas profundidades de 2 m e 8 m. ....	61
Figura 4-21 – Avaliação da qualidade pelo Método de Futai (2010) para a Ilha 1 e 2 de Rocha (2015). ....	63
Figura 4-22 - Procedimento esquemático para correção de Schmertmann. ....	65
Figura 4-23 – Curva experimental e curva construída pela proposta de Schmertmann (1955), para Ilha de Investigação Gleba F, AM3. ....	67
Figura 4-24 – Curva experimental e curva construída pela proposta de Schmertmann (1955), para Ilha de Investigação Gleba F, AM7. ....	68
Figura 4-25 – Curva experimental e curva construída pela proposta de Schmertmann (1955), para estaca 109 da Sub-Área A, para AM1(1,40-1,90). ....	70
Figura 4-26 – Curva experimental e curva construída pela proposta de Schmertmann (1955), para estaca 109 da Sub-Área A, para AM2 (2,00-2,50). ....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4-1 - Critério de avaliação de qualidade de amostras. ....	36
Tabela 4-2 – Critério de avaliação de qualidade de amostras – Argilas moles do Recife. .....	37
Tabela 4-3 – Avaliação da qualidade das amostras indeformadas retiradas por Baroni (2010) pelo Método de Coutinho (2007).....	41
Tabela 4-4 – Avaliação da qualidade das amostras indeformadas retiradas por Baroni (2010) pelo Método de Lunne <i>et al.</i> (1997). ....	42
Tabela 4-5 – Resumo dos resultados da classificação de qualidade das amostras indeformadas retiradas por Baroni (2010) pelo Método de Lunne <i>et al.</i> (1997). ....	43
Tabela 4-6 – Resumo dos resultados da classificação de qualidade das amostras indeformadas retiradas por Baroni (2010) pelo Método de Coutinho (2007).....	43
Tabela 4-7 – Resumo dos parâmetros geotécnicos da ilhas de investigação da Barra da Tijuca utilizados para avaliação da qualidade pelo Método de Futai (2010). ....	45
Tabela 4-8 – Ensaio de Adensamento realizados para argilas moles da Barra da Tijuca.....	46
Tabela 4-9 – Resumo da avaliação com os três métodos para amostras da Barra da Tijuca.....	50
Tabela 4-10 – Avaliação da qualidade das amostras indeformadas retiradas por Bello (2011) pelo Método de Lunne <i>et al.</i> (1997). ....	52
Tabela 4-11 – Avaliação da qualidade das amostras indeformadas retiradas por Bello (2011) pelo Método de Coutinho. (2007).....	53
Tabela 4-12 – Resumo dos resultados da classificação de qualidade das amostras indeformadas retiradas por Bello (2010) pelo Método de Lunne <i>et al.</i> (1997).....	54
Tabela 4-13 – Resumo dos resultados da classificação de qualidade das amostras indeformadas retiradas por Bello (2010) pelo Método de Coutinho (2007). ....	54
Tabela 4-14 – Resumo dos parâmetros geotécnicos da ilhas de investigação de Suape/PE utilizados para avaliação da qualidade pelo Método de Futai (2010).....	55
Tabela 4-15 – Ensaio de Adensamento realizados para argilas moles de Suape/PE. .....	56
Tabela 4-16 – Avaliação da qualidade das amostras indeformadas retiradas por Rocha (2015) pelo Método de Lunne <i>et al.</i> (1997). ....	58
Tabela 4-17 – Avaliação da qualidade das amostras indeformadas retiradas por Rocha (2015) pelo Método de Coutinho (2007).....	59
Tabela 4-18 – Resumo dos resultados da classificação de qualidade das amostras indeformadas retiradas por Rocha (2015) pelo Método de Lunne <i>et al.</i> (1997). ....	59
Tabela 4-19 – Resumo dos resultados da classificação de qualidade das amostras indeformadas retiradas por Rocha (2015) pelo Método de Coutinho (2007).....	60
Tabela 4-20 – Resumo da avaliação com os três métodos para amostras da Recife/PE. .....	64
Tabela 4-21 – Resumo da correção de Futai (2010, <i>apud</i> Bello, 2011) para as amostras AM3 e AM7, da ilha de investigação Gleba F. ....	68

Tabela 4-22 – Comparativo das correções de pré-adensamento pelos Método de Schmertmann (1955) e Futai (2010, <i>apud</i> Bello, 2011), para duas amostras da de Gleba F. ....	69
Tabela 4-23 – Resumo da correção de Futai (2010, <i>apud</i> Bello, 2011) para as amostras AM1 e AM2, Estaca 109 da Sub-Área A.....	71
Tabela 4-24 – Comparativo das correções de pré-adensamento pelos Método de Schmertmann (1955) e Futai (2010, <i>apud</i> Bello, 2011), para duas amostras da Estaca 109, Sub-Área A.....	71
Tabela 4-25 – Resumo final do percentual da Avaliação de Qualidade de amostras indeformadas de solos moles, para os três depósitos de investigação estudados no presente trabalho. ....	73
Tabela 4-26 – Relação do percentual da tensão de Pré-Adensamento para as amostras corrigidas pelos métodos de Schmertmann (1955) e Futai (2010, <i>apud</i> , Bello, 2011), para amostras da Barra da Tijuca e Suape/PE. ....	74

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>AE1</b>	área de estudo 1
<b>AE2</b>	área de estudo 2
<b>CM I</b>	centro metropolitano I
<b>CM II</b>	centro metropolitano II
<b>Cc</b>	índice de compressibilidade
<b>Cc*</b>	índice de compressibilidade intrínseco
<b>Ch</b>	coeficiente de adensamento horizontal
<b>Cv</b>	coeficiente de adensamento vertical
<b>Cae</b>	coeficiente de compressão secundário para variação do índice de vazios
<b>Cae</b>	coeficiente de compressão secundário para variação da deformação
<b>eo</b>	índice de vazios inicial
<b>evmax</b>	índice de vazios máximo
<b>ey</b>	índice de vazios no escoamento
<b>Δe</b>	variação do volume de vazios
<b>εvmax</b>	deformação volumétrica máxima
<b>εvn</b>	deformação volumétrica normalizada
<b>ID</b>	índice de desestruturação
<b>IDo</b>	ID para condição de campo
<b>OCR</b>	razão de sobre adensamento
<b>TMO</b>	teor de matéria orgânica
<b>u</b>	poro-pressão
<b>us</b>	tensão de confinamento
<b>UU</b>	ensaio de resistência, não-drenado e não-adensado
<b>p</b>	tensão efetiva
<b>K<sub>0p</sub></b>	tensão efetiva

<b><math>p_k</math></b>	tensão efetiva para o estado isotrópico
<b>RPM</b>	rotações por minuto
<b><math>\sigma_1</math></b>	tensão total para o estado anisotrópico
<b><math>\sigma_3</math></b>	tensão total para o estado anisotrópico
<b><math>\sigma'_v</math></b>	tensão vertical efetiva
<b><math>\sigma'_{vm}</math></b>	tensão de pré-adensamento
<b><math>\sigma'_{vo}</math></b>	tensão vertical efetiva de campo
<b><math>\sigma'_{vy}</math></b>	tensão de escoamento vertical
<b><math>\xi_c</math></b>	inclinação compressão normalizada para $ID > 1$

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	14
1.2	MOTIVAÇÃO .....	15
1.3	OBJETIVOS .....	16
1.3.1	Objetivo Geral .....	16
1.3.2	Objetivos Específicos .....	16
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1	ESTUDOS RECORRENTES SOBRE SOLOS MOLES .....	18
2.2	TIPOS DE AMOSTRAS .....	19
2.3	PROCESSO DE AMOSTRAGEM E EFEITOS .....	19
2.4	PRINCIPAIS AMOSTRADORES PARA SOLOS MOLES .....	22
2.4.1	Amostrador De Tubo Aberto (Shelby) (Mohr, 1936).....	23
2.4.2	Amostrador Com Pistão Estacionário (OLSSON, 1925) .....	24
2.4.3	Amostrador Laval (La Rochelle Et Al., 1981) .....	25
2.4.4	Amostrador Tipo Bloco (Sherbrooke) (Lefebvre & Poulin, 1979) .....	26
2.5	COMPRESSIBILIDADE E TENSÃO DE PRÉ-ADENSAMENTO .....	27
<b>3</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DAS ILHAS DE INVESTIGAÇÃO .....</b>	<b>30</b>
3.1	DEPÓSITO DE ARGILAS ORGÂNICAS – BARRA DA TIJUCA/RJ .....	30
3.1.1	Caracterização Do Solo .....	30
3.2	DEPÓSITO DE ARGILAS ORGÂNICAS – SUAPE/PE .....	31
3.2.1	Caracterização Do Solo .....	32
3.3	DEPÓSITO DE ARGILAS ORGÂNICAS – RECIFE/PE .....	33
3.3.1	Caracterização Do Solo .....	34
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>36</b>
4.1	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS AMOSTRAS INDEFORMADAS .....	36
4.1.1	Metodologias De Avaliação .....	36
4.1.2	Avaliação Da Qualidade Das Ilhas Estudadas.....	40
4.2	METODOLOGIA DE CORREÇÃO.....	64
4.2.1	Correção De Schmertmann (1955).....	64
4.2.2	Correção De Futai (2010, Apud Bello, 2011) .....	66
4.2.3	Correção Da Tensão De Pré-Adensamento Das Ilhas Estudadas .....	67
4.3	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	72
4.3.1	Avaliação De Qualidade De Amostra .....	72
4.3.2	Correção Da Tensão De Pré-Adensamento .....	74
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....</b>	<b>75</b>
5.1	CONCLUSÕES.....	75
5.2	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	76
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>77</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A urbanização das cidades brasileiras ocorreu de forma irregular. A rápida expansão da cidade nas últimas décadas tem provocado escassez de locais com melhor capacidade de suporte, resultando nas frequentes construções sobre depósitos de solos moles. Devido à alta compressibilidade e baixa resistência, a presença destes depósitos é motivo de preocupação nas obras de engenharia, reduzindo a área de instalação de estruturas civis, como fundações, estradas e grades edificações (BELLO, 2011).

Esse processo vem desencadeando uma necessidade de se conhecer o meio físico, o qual tem que suportar cada vez mais esforços. Com isso, o estudo de solos moles através de ensaios de laboratório e de campo, para quantificar propriedades mecânicas do solo (compressibilidade, permeabilidade e resistência ao cisalhamento), torna-se preponderante para estabelecer critérios de uso do mesmo.

Os procedimentos de retirada, transporte e armazenamento de amostras indeformadas podem influenciar os resultados dos parâmetros geotécnicos obtidos em ensaios de laboratórios, e que serão usados em projetos.

O amolgamento da estrutura do solo, segundo Hvorslev (1949), consiste no enfraquecimento da adesão entre as partículas ou no rearranjo estrutural dos grãos do solo. Hvorslev (1949) comenta ainda que a influência destes amolgamentos nos resultados dos ensaios de laboratório depende não apenas do tipo e grau de amolgamento, mas também das características do solo e da técnica de ensaio.

Segundo Jamiolkowski *et al.* (1985), os principais fatores que geram esse efeito são: a variação nas tensões devido a abertura do furo; remoção das tensões cisalhantes de campo; geometria e tipo de amostrador; método de cravação do amostrador; relação entre diâmetro do amostrador e do corpo de prova e transporte, armazenagem e manuseio no laboratório.

Para atenuar os efeitos gerados pelo amolgamento de amostras de solos moles, pesquisadores desenvolveram métodos de correção de dados, tendo em vista a necessidade de não se descartar os parâmetros obtidos em amostras avaliadas

como de má qualidade, mas corrigi-los, tornando-os representativos de uma amostra de boa qualidade, tendo em vista que a utilização de amostras de má qualidade diretamente conduz a valores muito diferentes dos obtidos por amostras de boa qualidade.

Na literatura técnica, alguns métodos de avaliação da qualidade de amostra veem sendo comumente utilizado, como Lunne *et al.* (1997), Coutinho (2007) e Futai (2010). Para correção da tensão de pré-adensamento, são reportados na literatura os métodos de Construção de Curvas Edométricas Oliveira (2002), Correção de Coutinho (2007), Correção de Schmertmann (1955), Curvas Edométricas Normalizadas Futai (2010, *apud* Bello, 2011).

Neste contexto, temos diversos estudos relacionados a solos moles, Soares (1997), Oliveira (2002), Hallal (2003), Coutinho (2007), Baroni (2010) e Bello (2011). Esse vultuoso banco de informações possibilitou estabelecer correlações estatísticas empíricas de parâmetros geotécnicos, contribuindo na análise do comportamento de solos moles. Para estabelecer essas correlações estatísticas de confiabilidade, os parâmetros utilizados precisam ser representativos de amostras de boa qualidade. Sendo assim, esses bancos de dados possibilitou a expansão do estudo da qualidade de amostras e correção de parâmetros geotécnicos a serem utilizados em projetos.

Neste trabalho são apresentados os resultados da avaliação da qualidade de amostras indeformadas e a correção do valor da tensão de pré-adensamento de três depósitos de argilas moles: Suape/PE (BELLO, 2011); Barra da Tijuca/RJ (BARONI, 2009) e Recife/PE (ROCHA, 2016). Para avaliação da qualidade de amostras indeformadas, foram utilizadas as metodologias de Lunne *et al.* (1997), Coutinho (2007) e Futai (2010). Para a correção do valor da tensão de pré-adensamento foram utilizados o método de Schmertmann (1955) e de Futai (2010, *apud* Bello, 2011). Os resultados obtidos foram correlacionados estatisticamente e comparados entre si.

## 1.2 MOTIVAÇÃO

Com a necessidade de otimização do tempo e custos que envolvem uma campanha de investigação geotécnica, fica evidente a ânsia de práticas científicas que permitam sobretudo, o desenvolvimento de projetos de alta qualidade técnica, mas que estejam inseridos na realidade econômica.

No que se refere aos estudos de depósitos de solos moles, alguns autores propuseram alternativas de grande significância de correção de resultados de ensaios, criando critérios de qualidade e metodologias de correções de dados que apresentassem qualidade inferior ao satisfatório. Com isso, diminuiu-se a necessidade de realização de novos ensaios, evitando-se o retrabalho e estabelecendo assim uma maior e melhor exploração dos dados.

Com base neste contexto, é de fundamental importância, a necessidade de ampliação e aplicação de estudos de avaliação de qualidade de amostras de solos moles nivelada aos estudos de correções de resultados de parâmetros geotécnicos, e assim estabelecer um desenvolvimento nos estudos da Engenharia Geotécnica.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho visa estudar, compreender e aplicar métodos de avaliação da qualidade de amostras indeformadas e de correção do valor da tensão de pré-adensamento obtido em ensaios de laboratório, em três depósitos de argilas moles relatados na literatura.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterização dos três depósitos de argilas moles: Suape/PE (BELLO, 2011), Barra da Tijuca/RJ (BARONI, 2010) e Recife/PE (ROCHA, 2015).
- Estudo da avaliação da qualidade de amostras indeformadas de solos moles através dos critérios de Lunne *et al.* (1997), Coutinho (2007) e Futai (2010).
- Aplicar os critérios de avaliação de qualidade de amostra no depósito de Barra da Tijuca/RJ (BARONI, 2010).
- Aplicar os métodos de Schmertmann (1955) e de Futai (2010, *apud* Bello, 2011), para a correção da pressão de pré-adensamento em amostras de má qualidade nos depósitos de Barra da Tijuca/RJ (BARONI, 2010).
- Análise e comparação dos resultados da correção do valor da pressão de pré-adensamento obtidos no depósito de Barra da Tijuca/RJ, com resultados reportados dos estudos dos solos de Suape/PE (BELLO, 2011).

- Obtenção de correlações estatísticas dos resultados das correções de tensão de pré-adensamento.
- Comparação e avaliação final de todos os resultados de avaliação da qualidade de amostras e correção do valor da tensão de pré-adensamento dos três depósitos estudados.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentados os aspectos que são considerados no estudo de depósitos de solos moles, sobretudo na avaliação da qualidade de amostras indeformadas de solos moles e na correção de parâmetros geotécnicos, fatores e efeitos do amolgamento de amostras indeformadas, e estudos banco de dados de parâmetros geotécnicos de solos moles reportados na literatura técnica.

### 2.1 ESTUDOS RECORRENTES SOBRE SOLOS MOLES

Os estudos sobre solos moles tornaram-se recorrentes, devido a sua incidência, principalmente nas zonas de baixadas próximo ao litoral brasileiro, tornando assim habituais os estudos e a formação de bancos de dados de tais tipos de solos.

Hallal (2003) reuniu, copilou e analisou dados de informações relacionadas à caracterização geotécnica dos depósitos dos solos moles do Rio Grande do Sul, através de dados obtidos de pesquisas anteriores e de projetos de infraestrutura, constituindo um banco de dados, onde são disponibilizadas as principais propriedades geotécnicas de argilas e as correlações que possibilitam suas alternativas.

Almeida *et al.* (2008) comenta que Pacheco Silva (1953) realizou um pioneiro e importante estudo das propriedades geotécnicas das argilas do Rio de Janeiro. Entretanto o estudo mais detalhado nas argilas moles e Sarapuú por pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e a Universidade Católica (PUC-RJ). Segundo Bello (2011) alguns depósitos dessas argilas no estado do Rio de Janeiro foram utilizados para realização de projetos de pesquisa, por meio de estudos de mestrados e doutorado, tais quais: Botafogo e Uruguaiana (metrô: Viela (1976); Lins & Lacerda (1980)); Barra da Tijuca (aterro industrial), Caju (aterro sanitário: Cunha & Lacerda 1991); Costa Norte, escavação experimental de Itaipu (Sandroni *et al.* (1984)).

Bello (2011) dotou-se de um vultuoso banco de dados de argilas moles da planície de Suape, e com ele efetuou diversas análises. Em sua tese, ela programatizou e planejou os estudos de avaliação de qualidade de amostras indeformadas, assim como efetuou a validação das formas de correção de resultados de amostras com qualidade insatisfatória.

## 2.2 TIPOS DE AMOSTRAS

Hvorslev (1949) considera a seguinte classificação para os diferentes tipos de amostras, de uma maneira geral: (a) amostras não-representativas; (b) amostras representativas; (c) amostras indeformadas. Algumas características destes tipos de amostras são resumidas a seguir:

### 1) Amostras não-representativas

- Solos de várias camadas misturados;
- Alguns componentes do solo removidos;
- Materiais estranhos dentro da amostra.

### 2) Amostras representativas

- Estrutura do solo destruída;
- Variação na umidade ou índice de vazios;
- Sem variação nos constituintes do solo.

### 3) Amostras indeformadas

- Sem destruição (amolçamento) da estrutura do solo;
- Sem variação na umidade, índice de vazios e composição química.

Ainda segundo Hvorslev (1949), as amostras não-representativas não são adequadas para ensaios de laboratório, permitindo apenas uma classificação preliminar das variações das camadas do terreno e indicando em que profundidades amostras representativas ou indeformadas devem ser obtidas. Atualmente estas amostras não são mais consideradas úteis para uso em investigações geotécnicas (Clayton *et al.*, 1982). As amostras representativas seriam adequadas apenas para realização de ensaios de classificação, enquanto que as amostras indeformadas seriam indicadas para todos os tipos de ensaios de laboratório, principalmente os ensaios de resistência, de deformabilidade e permeabilidade.

## 2.3 PROCESSO DE AMOSTRAGEM E EFEITOS

Hvorslev (1949) classifica o amolçamento em 5 tipos básicos: (a) Variação nas condições de tensão; (b) 2) Variação na umidade e no índice de vazios; (c) Amolçamento da estrutura do solo; (d) Variação química e; (e) Mistura e separação dos constituintes do solo.

Hvorslev (1949) comenta ainda que a influência destes amolgamentos nos resultados dos ensaios de laboratório depende não apenas do tipo e grau de amolgamento, mas também das características do solo e da técnica de ensaio. Segundo Sandroni (1977) o ato de amostragem e manuseio da amostra obtida tem duas consequências indesejáveis: a distorção estrutural e a variação do estado de tensões efetivas. Comenta o autor que a distorção estrutural é devido à inevitável destruição do arranjo micro-estrutural dos grãos, quando do puncionamento pelo amostrador e que a região do solo afetada por esta distorção é da mesma ordem de grandeza da espessura das paredes do amostrador. A variação da tensão efetiva durante a amostragem é inevitável, porque é decorrente da sollicitação não-drenada de descarregamento impossível de evitar durante a operação.

Skempton e Sowa (1963) apresentaram didaticamente a variação do estado de tensão total e efetivo durante a amostragem. Considerando um elemento de argila no campo submetido a um estado anisotrópico de tensões totais  $\sigma_1$  e  $\sigma_3$ , poro-pressão  $u_0$  e tensões efetivas  $p$  e  $K_0p$ . Se este elemento é removido do terreno, na amostragem, sem amolgamento mecânico e sem variação de umidade, as tensões totais são reduzidas a zero e a poro-pressão torna-se negativa nesta amostra ( $u_k$ ). A argila está neste estágio submetida a um estado de tensão efetiva isotrópica  $p_k$  numericamente igual à poropressão e de sinal contrário ( $p_k = -u_k$ ). Quando esta argila é ensaiada na célula triaxial, aplica-se uma tensão confinante igual a  $\sigma_3$  e a poro-pressão no corpo de prova será igual a  $u_s$ , onde  $u_s = u_k + \sigma_3$ . É mostrada, na Figura 2-1, esta variação do estado de tensões.

Figura 2-1 - Variação do estado de tensão total e efeito durante amostragem.

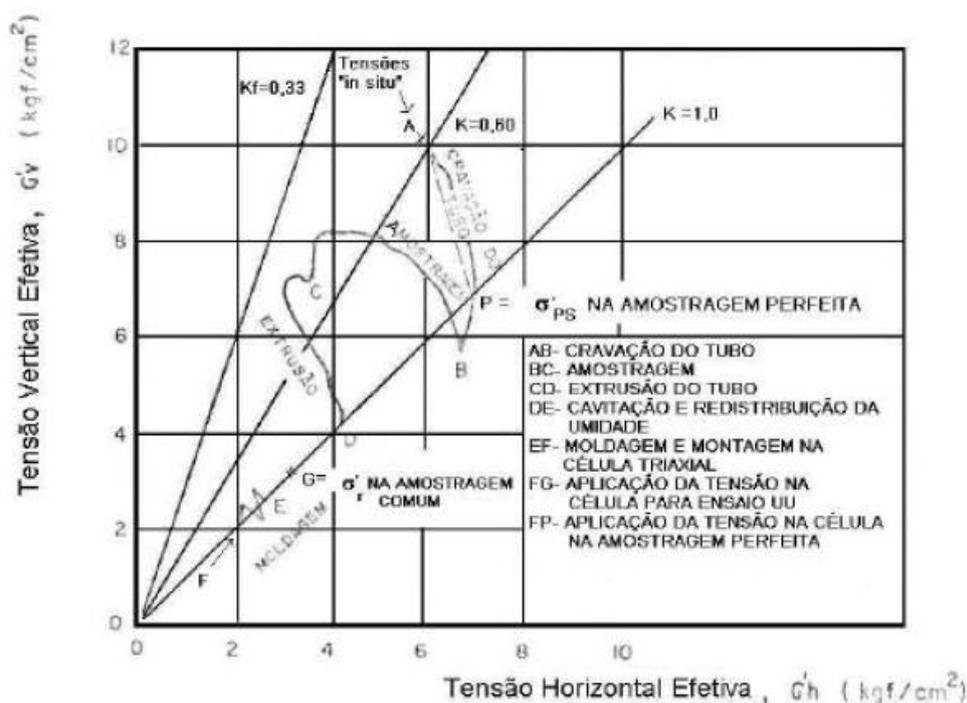
	tensão	adensamento	amostragem		ruptura
terreno	tensão total				
	poro-pressão	$u_0$			$u_{fg}$
	tensão efetiva				
	resistência				$C_g = 1/2 (\sigma_1 - \sigma_3)_{fg}$
amostragem	tensão total		campo 	laboratório 	
	poro-pressão	$u_0$	$u_k = -pk$	$u_s = u_k + \sigma_3$	$u_{fs}$
	tensão efetiva				
	resistência				$C_s = 1/2 (\sigma_1 - \sigma_3)_{fs}$

Fonte: Skempton e Sowa, 1963.

Ladd e Lambe (1963) definiram o conceito de amostragem perfeita. O significado deste termo está relacionado ao processo onde o amolgamento é causado apenas pelo alívio das tensões cisalhantes de campo. A amostragem real, entretanto, apresenta amolgamentos adicionais, além do alívio de tensões, tais como perfuração, cravação do tubo, extrusão, redistribuição de umidade, moldagem e montagem na célula.

Na Figura 2-2 é ilustrado o caminho de tensões que ocorre durante um processo de amostragem e manuseio.

Figura 2-2 - Caminho de tensões teórico no processo de amostragem tubular.



Fonte: Ladd e Lambe, 1963.

O ponto A representa o estado de tensões in situ do solo antes da amostragem. O ponto P corresponde à amostragem perfeita. O ponto B corresponde ao final da cravação do amostrador e o ponto C representa a retirada da amostra do terreno. O ponto D corresponde ao final da extrusão da amostra do tubo. O ponto E representa a variação na tensão efetiva devido à poro-pressão de cavitação e redistribuição da umidade, enquanto o ponto F indica a diminuição na tensão efetiva devido à moldagem e montagem na célula triaxial. O ponto G representa a tensão efetiva de um corpo de prova no início de um ensaio triaxial UU, após a aplicação da tensão confinante.

## 2.4 PRINCIPAIS AMOSTRADORES PARA SOLOS MOLES

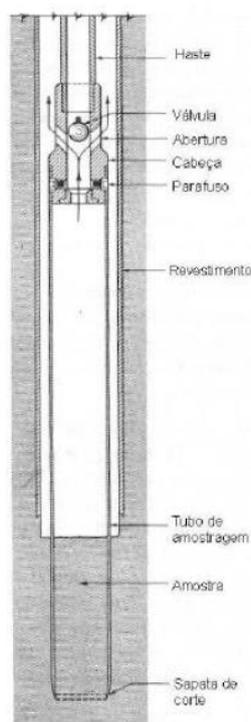
O tipo de amostrador utilizado no processo de retirada de amostras indeformadas de solos moles é de total significância nos efeitos que geram o amolgamento nas amostras. Este subcapítulo deste referencial, tem como objetivo apresentar os principais amostradores utilizados, assim como um breve caracterização e procedimento de execução dos mesmos.

#### 2.4.1 Amostrador De Tubo Aberto (Shelby) (Mohr, 1936)

Hvorslev (1949) comenta que um amostrador de tubo aberto, bastante simples, foi introduzido por Mohr (1936). Consistia de um tubo metálico inoxidável de parede fina da marca “Shelby” que é acoplado a uma cabeça de amostragem e às hastes de sondagem. Na Figura 2-3 é apresentado este amostrador. Aperfeiçoamentos posteriores consistiram na colocação de uma sapata de corte. A amostra é preservada e transportada para o laboratório no próprio tubo.

Um amostrador de parede fina, ainda segundo Hvorslev (1949), pode ser arbitrariamente definido como sendo o tubo de amostragem com a espessura da parede menor do que 2,5% do seu diâmetro. A principal vantagem deste tipo de amostrador seria a simplicidade operacional. Este amostrador possui na cabeça de amostragem aberturas para saída da água, além de válvula de proteção contra formação de coluna de água (Figura 2-3).

**Figura 2-3 - Amostrador tubo aberto (Shelby) de parede fina.**



Fonte: Hvorslev, 1949.

#### 2.4.2 Amostrador Com Pistão Estacionário (OLSSON, 1925)

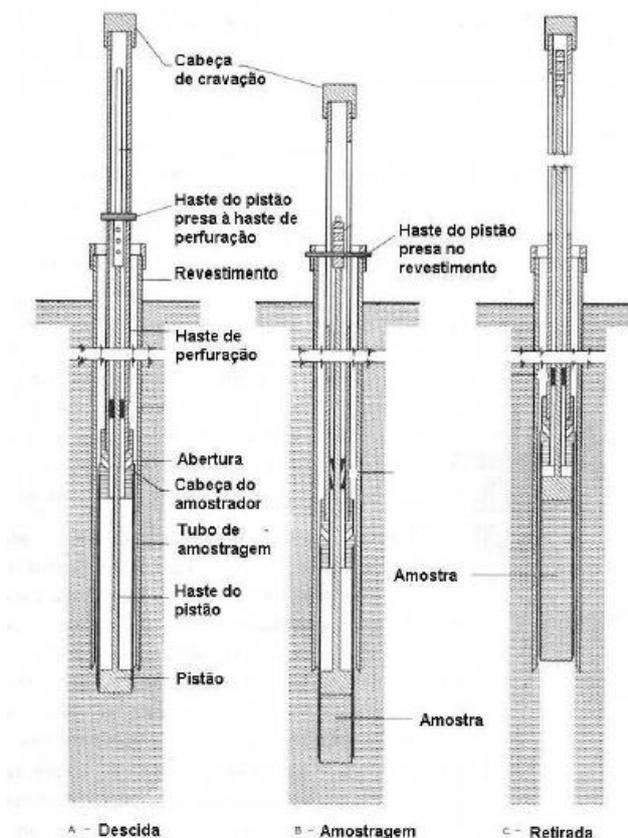
Um amostrador de pistão, segundo Hvorslev (1949), é um amostrador em que a extremidade inferior do tubo de amostragem é fechada com um pistão. A grande vantagem deste tipo de amostrador é que o pistão impede a entrada de solo amolgado da base do furo dentro do tubo.

O primeiro amostrador dotado de pistão estacionário foi desenvolvido por Olsson (1925), segundo Hvorslev (1949). Neste tipo de amostrador o pistão é mantido a uma profundidade constante, ou seja, estacionário durante a amostragem. Este amostrador é apresentado esquematicamente na Figura 2-4.

O pistão é nivelado à altura da sapata de corte e fixado na haste de sondagem, enquanto o amostrador é descido no furo e forçado através do solo até a profundidade desejada de amostragem. Nesta profundidade a fixação da haste de sondagem é liberada, sendo a haste do pistão presa no revestimento. O pistão é mantido estacionário, enquanto o amostrador é cravado no solo. O amostrador é então retirado do solo, contendo a amostra. As vantagens deste método de operação seriam entre outras: o impedimento de entrada de excesso de solo no amostrador e a não transferência de pressão hidrostática ou atmosférica para a amostra.

Hvorslev (1949) comenta ainda que o amostrador dotado de pistão estacionário é o melhor amostrador para obter amostras indeformadas de solos argilosos moles. Em comparação com amostradores de tubo aberto tem a desvantagem de a fabricação ser mais complicada e que a operação de amostragem no campo requer um tempo maior. Entretanto estas desvantagens são compensadas pela obtenção de amostras de melhor qualidade e com menor percentual de perda.

Figura 2-4 - Amostrador dotado de pistão estacionário.



Fonte: Hvorslev 1949, adaptado de Olsson, 1925.

#### 2.4.3 Amostrador Laval (La Rochelle *Et Al.*, 1981)

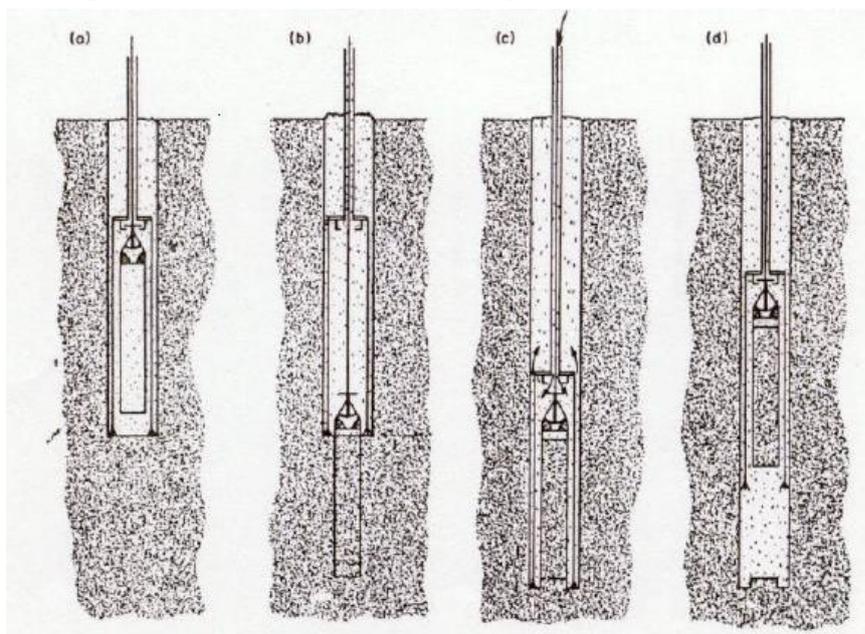
Este amostrador foi desenvolvido pelo Grupo de Geotecnia da Universidade de Laval no Canadá e descrito por La Rochelle *et al.* (1981). A partir de estudos anteriores o amostrador foi projetado seguindo alguns princípios, a saber:

1. A relação de folga interna foi eliminada;
2. A tolerância na variação do diâmetro interno deve ser pequena;
3. O ângulo da sapata de corte deve ser muito suave;
4. O pistão deve ser eliminado;
5. A sucção deve ser evitada em todos os estágios da amostragem;
6. O diâmetro deve ser suficientemente grande para reduzir o amolgamento em torno do núcleo intacto.

O amostrador possui três partes principais: tubo de amostragem, cabeça do amostrador e tubo externo. O diâmetro interno do tubo de amostragem deve ter 200 mm. A sequência da amostragem no campo é a seguinte (Figura 2-5): (a) o conjunto

tubo de amostragem + cabeça do amostrador + tubo externo é descido no pré-furo; (b) o tubo externo é fixado e o tubo de amostragem é cravado; (c) o tubo externo é descido para realizar a limpeza externa do furo a partir de rotação; (d) o conjunto é retirado do furo.

**Figura 2-5 - Sequência de amostragem – Amostrador Laval.**



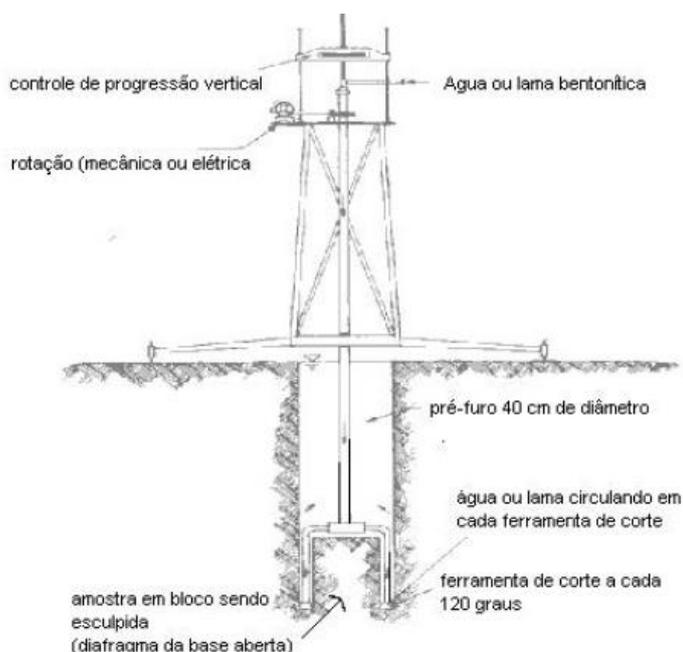
Fonte: La Rochelle *et al.*, 1981.

#### 2.4.4 Amostrador Tipo Bloco (Sherbrooke) (Lefebvre & Poulin, 1979)

Segundo Oliveira (2002), este equipamento foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Sherbrooke no Canadá, sendo apresentado pela primeira vez por Lefebvre & Poulin (1979). São obtidas amostras do tipo bloco, de forma cilíndrica, com 250 mm de diâmetro e altura variável entre 250 e 350 mm. O objetivo do desenvolvimento deste amostrador foi o de recuperar amostras profundas, a partir da superfície do terreno e utilizando procedimento semelhante ao empregado na obtenção de blocos em trincheiras superficiais. O amostrador é descido até a cota de amostragem dentro de um pré-furo de 40 cm de diâmetro, após a base do mesmo ser limpa com um trado de fundo chato. As paredes laterais do furo podem ser revestidas ou estabilizadas com lama bentonítica. O amostrador possui 3 hastes por onde circulam água ou lama para facilitar o corte do material natural. Na extremidade de cada haste existe uma faca, que tem a função de esculpir a amostra de solo, através da rotação lenta (5 RPM) do amostrador. Esta rotação é dada por uma máquina, de

forma mecânica ou manual. Na Figura 2-6 é apresentado o procedimento de amostragem.

**Figura 2-6 - O amostrador Sherbrooke.**



Fonte: Lefebvre & Poulin, 1979.

Este equipamento já foi utilizado em várias argilas do mundo, em países como Canadá, Noruega, Inglaterra e Japão (LEFEVBRE & POULIN, 1979; LACASSE *et al*, 1985; HIGHT *et al.*, 1992; LUNNE *et al.*, 1997), e as amostras apresentaram qualidade superior em relação àquelas obtidas através de amostragem convencional utilizando tubos de parede fina (shelby e pistão estacionário).

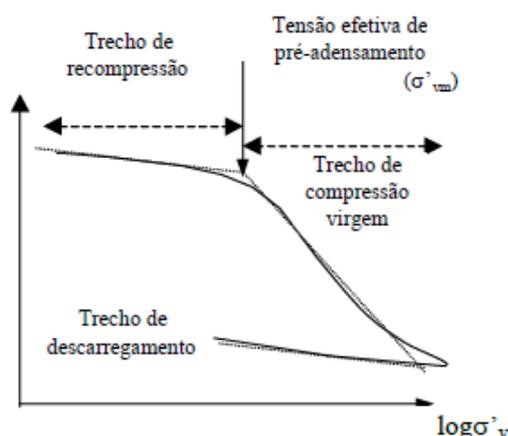
## 2.5 COMPRESSIBILIDADE E TENSÃO DE PRÉ-ADENSAMENTO

Quando se executa uma obra de engenharia, impõe-se no solo uma variação no estado de tensão que acarreta em deformações, as quais dependem não só da carga aplicada, mas principalmente da compressibilidade do solo.

Pode se definir compressibilidade como sendo a relação entre a magnitude das deformações e a variação no estado de tensões imposta. No caso de solos, estas deformações podem ser estabelecidas através de variações volumétricas ou em termos de variações no índice de vazios (CAPUTO, 1988).

Segundo Caputo (1988) para o estudo da compressibilidade de solos moles é muito comum a utilização da curva:  $(e \times \log \sigma'_v)$ . Nela observa-se uma mudança brusca de inclinação da tangente à curva de compressibilidade. Este fato se dá porque este tipo de gráfico permite observar claramente quando o solo muda de comportamento. No trecho inicial, de menor compressibilidade, o solo está, na realidade, sendo submetido a um processo de recompressão. No trecho seguinte, o solo está sendo carregado, pela primeira vez, para valores de tensão efetiva maiores do que os máximos que o depósito já foi submetido (Figura 2-7). Assim sendo, o limite entre os dois trechos é definido por um valor de tensão efetiva correspondente à máxima tensão efetiva que o solo foi submetido em toda sua história. A esta tensão efetiva dá-se o nome de tensão efetiva de pré-adensamento ( $\sigma'_{vm}$ ).

**Figura 2-7 -História de Tensões.**



Fonte: Caputo, 1988.

Originalmente, acreditava-se que o trecho de compressão virgem pudesse ser representado por uma reta. Entretanto, com os avanços das técnicas de amostragem e preparação de corpos de prova para realização de ensaios; isto é, com a melhoria da qualidade das amostras, tem-se verificado a não linearidade do trecho de compressão virgem. Há uma redução da compressibilidade ( $C_c$ ) com o aumento do nível de tensão efetiva. Este comportamento pode ser atribuído à indução de alinhamento das partículas com o aumento da tensão efetiva vertical. Com isso, gera-se uma mudança na estrutura e, conseqüentemente, na compressibilidade do material.

O conhecimento do valor de  $\sigma'_{vm}$  é extremamente importante para o estudo do comportamento dos solos, pois representa a fronteira entre deformações relativamente pequenas e muito grandes.

Martins (1983) analisou os ensaios de Coutinho (1976) e Ferreira (1982) e, enumerou os seguintes efeitos do amolgamento na curva de compressibilidade edométrica:

- a. Independente de  $\sigma'_{vo}$ , o índice de vazios é menor na amostra amolgada;
- b. A tensão de pré-adensamento é mascarada;
- c. Diminuição da tensão de pré-adensamento;
- d. Aumento da compressibilidade na região de recompressão;
- e. Decréscimo da compressibilidade no trecho virgem.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DAS ILHAS DE INVESTIGAÇÃO

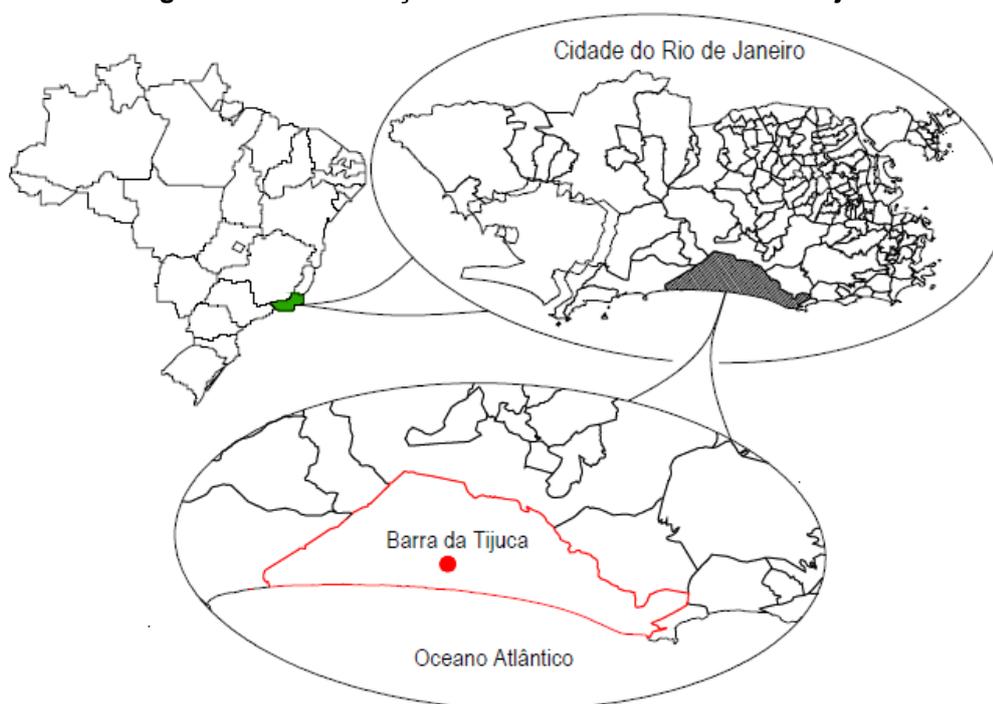
Este capítulo deste trabalho faz uma breve descrição das regiões de estudo que serão utilizadas com o objetivo de melhor caracterizar as propriedades dos solos analisados.

#### 3.1 DEPÓSITO DE ARGILAS ORGÂNICAS – BARRA DA TIJUCA/RJ

Baroni (2010) em sua tese realizou três campanhas de ensaios nos locais denominados: Centro Metropolitano I, Centro Metropolitano II e Gleba F. Estes locais de investigação foram respectivamente chamados de CM I, CM II e Gleba.

Os ensaios foram realizados em depósitos de argila mole a muito mole na Zona Oeste do município do Rio de Janeiro, no bairro da Barra da Tijuca, cuja localização é apresentada esquematicamente na Figura 3-1.

**Figura 3-8 –Localização da área estudada - Barra da Tijuca.**



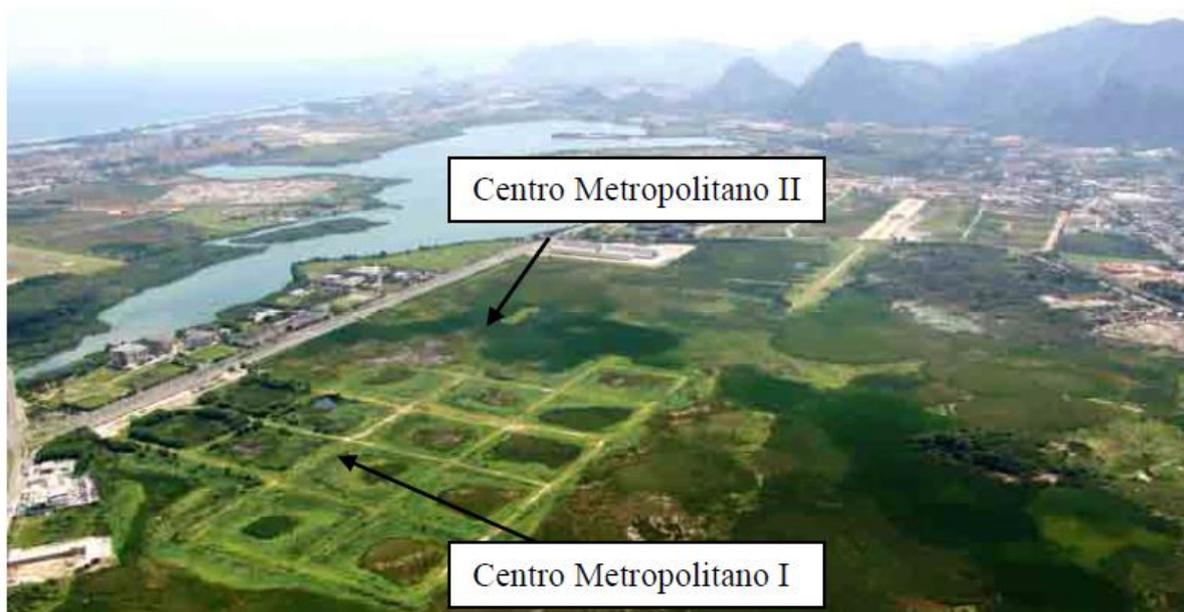
Fonte: Baroni, 2010.

##### 3.1.1 Caracterização Do Solo

As três áreas estudadas pertencem a uma planície costeira com cerca de 120 km<sup>2</sup> coberta de sedimentos cenozóicos, sendo circundada por elevações dos maciços da Tijuca (Leste) e Pedra Branca (Oeste), Almeida *et al.* (2000). O relevo da região pode ser observado na Figura 3-2. Uma das características desta região são os

aterros de conquista das vias realizados paulatinamente em pequenas camadas ao longo dos anos tendo em vista a baixíssima resistência que o solo apresenta.

**Figura 3-9– Vista aérea do relevo atual de parte da região estudada - Barra da Tijuca/RJ.**



Fonte: Baroni, 2010.

Almeida *et al.* (2001) elaborou a coluna estratigráfica da bacia da região, que engloba desde sedimentos basais, supostamente correlacionáveis ao Grupo Barreiras, até os depósitos atuais. O registro litológico e biológico demonstra que a história quaternária da área foi bastante movimentada, graças aos eventos de transgressão e regressão marinha.

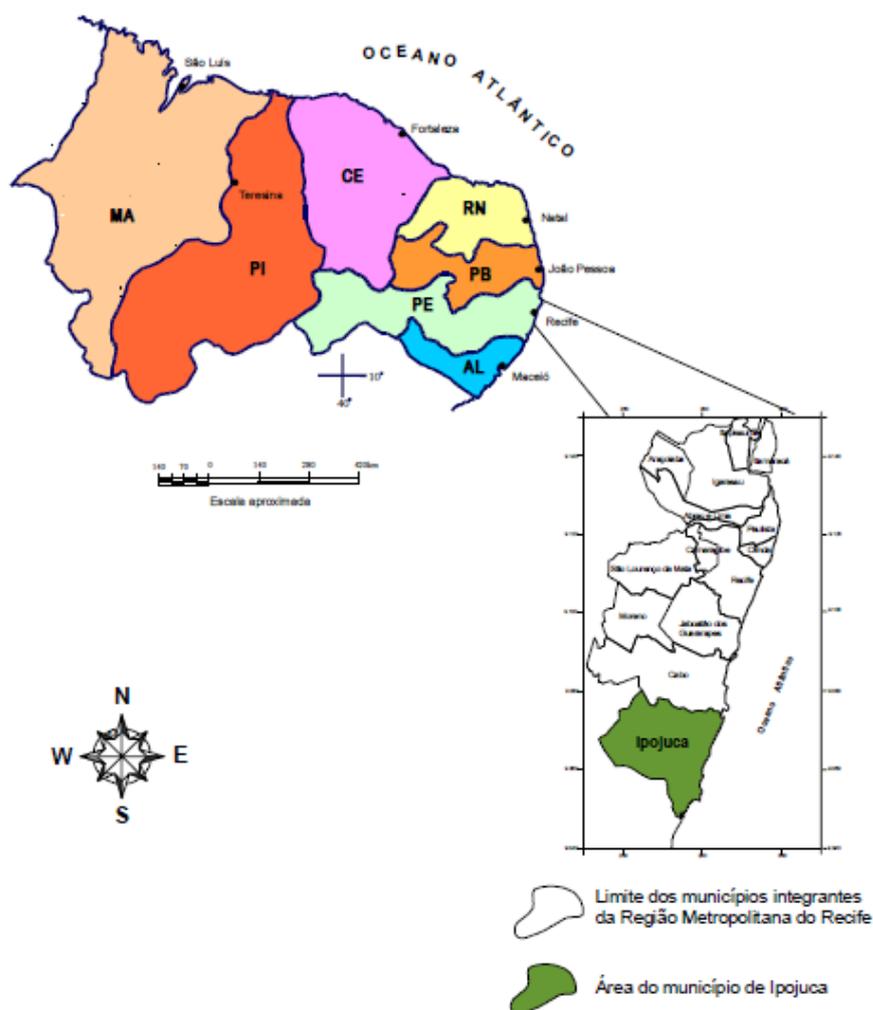
Almeida e Marques (2005) identificaram a geologia da Zona Oeste do Rio de Janeiro como sendo composta por depósitos sobrepostos de sedimentos fluviais, flúvio-marinhos e flúvio-lacustres de espessuras bastante variáveis.

### 3.2 DEPÓSITO DE ARGILAS ORGÂNICAS – SUAPE/PE

Bello (2011) em sua tese realizou campanhas de estudos geotécnicos no Complexo Portuário de Suape, localizado no município de Ipojuca, ao sul da cidade do Recife. Estes estudos foram realizados objetivando um melhor conhecimento da região, tendo em vista o grande potencial de expansão da mesma, cabendo assim uma melhor fomentação de informações do solo de tal local.

Os ensaios foram realizados em duas obras localizadas em diferentes áreas do Complexo Industrial e Portuário de Suape (Figura 3-3). A campanha de investigação de campo e laboratório foi acompanhada pelo GEGEP/UFPE. Essas obras foram denominadas de áreas de estudo AE-1 e AE-2.

**Figura 3-10 – Localização da área estudada.**



Fonte: Pfaltzgraf, 1973.

### 3.2.1 Caracterização Do Solo

Segundo Lima Filho (1996) no município de Ipojuca encontram-se representadas quatro unidades geológicas, posicionadas da seguinte forma na coluna estratigráfica: Complexo Migmatítico, Rochas Granitóides, Grupo Pernambuco e Coberturas Quaternárias.

O limite oeste da área estudada é formado, na sua quase totalidade, por formações pré-quadernárias. Estes depósitos são representados na área, pelos sedimentos dos terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos, recife, fluviais, mangues e areias de praia. Do ponto de vista fisiográfico, está localizada no Setor Sul da Planície Costeira de Pernambuco (BELLO, 2011).

Segundo Bello (2011) a Planície Costeira é a unidade mais representativa da área, entendendo-se desde a linha de recife até o sopé das formações mais antigas. O modelo de sedimentação dominante na planície costeira, durante os períodos de nível de mar alto, era o sistema de ilha barreira-laguna, onde os rios não alcançavam a plataforma e construíam delta em ambientes protegidos. Ao contrário, durante o abaixamento do nível do mar, as lagunas e baías tornaram-se emergentes, a planície costeira progradiou através dos cordões litorâneos de arenito, os rios retrabalham os sedimentos da planície e da plataforma interna, favorecendo a progradação da linha da costa. Essas areias são incorporadas ao sistema de deriva litorânea e posteriormente acumulada em alguns locais ao longo da costa, como por exemplo, a desembocadura de rios, recifes ou reentrâncias na linha de costa.

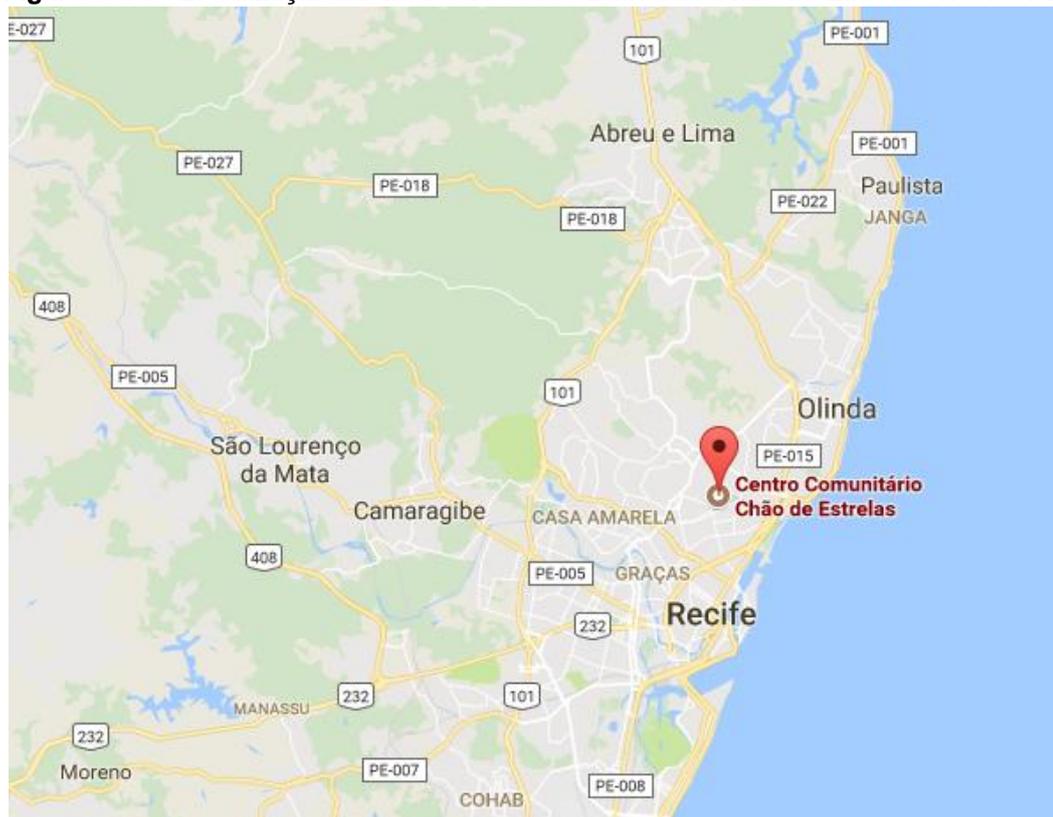
Do ponto de vista das características geotécnicas dos terrenos formadores do município de Ipojuca, podemos dividi-los em duas áreas distintas: Bacia do Cabo e Terrenos Cristalinos. Na área da Bacia do Cabo encontram-se seis tipos litológicos distintos são encontradas na área: Conglomerados, calcários, rochas vulcânicas, arenitos, argilitos e sedimentos incossolidados (englobam areias, argilas, siltes, cascalhos e turfas). Os Terrenos Cristalinos constituem áreas formadas por rochas cristalinas e pelos materiais oriundos da decomposição destas, a declividade é bastante acentuada.

### 3.3 DEPÓSITO DE ARGILAS ORGÂNICAS – RECIFE/PE

Rocha (2015) utilizou estudos das literaturas, o quais foram realizados no bairro de Chão de Estrelas localizado na Cidade do Recife (Figura 3-4) para o desenvolvimento de projeto de construção de uma via que foi construída na marginal direita do Rio Beberibe com cerca de 1.400 m de extensão, 7,0 m de largura para o tráfego de veículos, ciclovia com 2,5 m de largura, além de um passeio com largura de 2,5 m.

Os estudos realizados em conjunto com o Departamento de Geotecnia da UFPE resultou no Certificado nº 900/2014 que apresentou os resultados de Granulometria, Limites de Atterberg e resultados dos ensaios de palheta. Tais resultados foram suficientes para formação de um banco informacional de parâmetros geotécnicos da região.

**Figura 3-11 – Localização da área estudada – Bairro de Chão de Estrelas-Recife/PE.**



Fonte: Google Maps, 2017.

### 3.3.1 Caracterização Do Solo

Segundo Ferreira (1982), a cidade do Recife está inserida em uma planície de origem flúvio-marinha com cerca de 210 km<sup>2</sup> de extensão, limitada pela formação Barreira terciária (neogênica) formando um semicírculo quase perfeito pelas colinas de Olinda, de Casa Amarela, da Várzea e de Prazeres e a leste os arrecifes de arenito que protegem o litoral.

Ferreira (1982) expõe que em relação ao nível do mar, a altitude da planície recifense varia de dois a onze metros na base da barreira, isto faz com que o nível do lençol freático se encontre muito próximo a superfície, razão pelo qual os depósitos de argila orgânicas estejam saturados. A matéria orgânica é o produto da decomposição

de restos de vegetais e animais pela ação de microrganismos, podendo alterar sensivelmente as características do solo. Arrancada das margens e dos leitos de rios de vários tamanhos, às vezes, sob forma coloidal, e transformada por eles, a matéria orgânica se encontra sempre misturada com argilas, constituindo as argilas orgânicas.

Segundo Bello (2004) a quantidade (teor) e a qualidade (tipo e grau de decomposição) da matéria orgânica condicionam fortemente o comportamento dos solos orgânicos. Acrescenta, que as umidades naturais dos solos crescem com a presença da matéria orgânica e destaca classificação dos solos orgânicos em três grupos, segundo classificação geral do LPC (PERRIN, 1974; MAGNAN, 1968): solos pouco orgânicos ( $3 < \text{TMO} < 10\%$ ); solos medianamente orgânicos ( $10 < \text{TMO} < 30\%$ ); e, solos muito orgânicos ( $\text{TMO} > 30\%$ ).

Coutinho e Bello (2005) destaca-se que para argilas moles/médias e as turfas/solos orgânicos de Recife são ligeiramente pré-adensadas com  $\text{OCR} \leq 3,0$  ou levemente normalmente adensadas com  $\text{OCR} < 1,3$ . OCR maiores que 3,0 podem ser encontrados na crosta ressecada.

## 4 METODOLOGIA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo descreve a metodologia utilizada para avaliação da qualidade das amostras indeformadas de solos moles, assim como a correção das tensões de pré-adensamento. A base de análise são os resultados de ensaios edométricos realizados por Baroni (2010), Bello (2011) e Rocha (2015).

### 4.1 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS AMOSTRAS INDEFORMADAS

Neste subcapítulo, são apresentados os métodos de avaliação de amostras indeformadas, utilizadas neste trabalho. Inicialmente serão feitas as considerações sobre os métodos, assim como os critérios que cada autor considera para avaliação das amostras, e em seguida serão feitas as avaliações de qualidade das amostras para cada depósito estudada.

#### 4.1.1 Metodologias De Avaliação

##### 4.1.1.1 Método de Avaliação de Lunne *et al.* (1997)

A primeira metodologia de avaliação utilizada foi a proposta por Lunne *et al.* (1997), a qual os autores sugerem que a utilização de  $\Delta e/e_0$  para classificar amostras de argila. Os autores consideram  $e_0$  o índice de vazios inicial da amostra e  $e_v$  o índice de vazios correspondente à tensão efetiva de campo. Estes autores justificam que uma variação no volume de vazios ( $\Delta e$ ) é mais prejudicial à estrutura do solo quanto menor for o índice de vazios inicial ( $e_0$ ), sendo então sugerido usar  $\Delta e/e_0$ . Na Tabela 4-1 é apresentada a proposta de classificação de qualidade de amostra.

**Tabela 4-1 - Critério de avaliação de qualidade de amostras.**

OCR	$\Delta e/e_0$ (Lunne <i>et al.</i> , 1997)			
	Muito Boa a Excelente	Boa a Regular	Pobre	Muito Pobre
<b>1 - 2</b>	< 0,04	0,04 - 0,07	0,7 - 0,14	> 0,14
<b>3 - 4</b>	< 0,03	0,03 - 0,05	0,05 - 0,10	> 0,10

Fonte: Lunne *et al.*, 1997.

#### 4.1.1.2 Método de Avaliação de Coutinho (2007)

O Método de avaliação seguinte será o formulado por Coutinho (2007), o qual foi uma adaptação do critério de Lunne *et al.* (1997) e Coutinho *et al.* (1998a) para argilas orgânicas do Recife, para o intervalo de OCR variando na faixa 1 - 2,5 (Tabela 4-2). Comparada a tabela de avaliação de Lunne *et al.* (1997) (Tabela 4-1), há uma variação na faixa de 0,01 entre os graus de qualidade de Coutinho (2007).

**Tabela 4-2 – Critério de avaliação de qualidade de amostras – Argilas moles do Recife.**

OCR	$\Delta e/e$ (Coutinho, 2007)			
	Muito Boa a Excelente	Boa a Regular	Pobre	Muito Pobre
1 - 2,5	< 0,05	0,05 - 0,08	0,08 - 0,14	> 0,14

Fonte: Coutinho, 2007.

#### 4.1.1.3 Método de Avaliação de Futai (2010)

O último método de avaliação que será utilizado neste trabalho é o proposto por Futai (2010), o qual realizou a normalização de curvas de compressão dos solos das literaturas tidas como “referências”, com objetivo de utilizá-los em cálculos de recalque e também para verificar a qualidade da amostra.

Ele propôs neste estudo a aplicação de um índice ID (Futai, 1999 e Futai, 2002), a razão entre a tensão atuante ( $\sigma'_v$ ) e a tensão de escoamento ( $\sigma'_{vy}$ ) para representar a desestruturação ou reestruturação do solo (Equação 4.1).

$$ID = \frac{\sigma_v}{\sigma_{vy}} \quad (4.1)$$

Assim, um solo com  $ID > 1$ , significa que o solo foi submetido a um valor de tensão vertical  $\sigma'_v$  superior à tensão de escoamento ( $\sigma'_{vy}$ ). Quando  $ID < 1$ , o solo está pré-adensado em relação à história de tensões de campo (no caso de solos sedimentares). Um solo pré-adensado submetido a tensões inferiores à sua tensão de escoamento terá uma resposta fortemente dependente da sua estrutura. À medida que se impõe aumento do nível de tensões solicitantes, o solo sofre quebra de eventuais cimentações (rupturas locais), rearranjo das partículas, variação da distribuição e tamanho dos poros.

Futai (2010) idealizou que o parâmetro  $\Delta e/e_0$  seja utilizado para representar a deformação do solo, que em essência é a deformação volumétrica normalizada. Ou seja, é a razão entre a deformação volumétrica  $\Delta e/(1+e_0)$  e a deformação volumétrica máxima teórica  $e_{vmax}$ , admitindo-se, de forma idealizada que todos os vazios possam ser expulsos por compressão. A deformação volumétrica máxima que o solo pode ter por compressão (Equação 4.2).

$$\varepsilon_{vmax} = \frac{e_0}{1 + e_0} = n \quad (4.2)$$

Essa relação (Equação 4.2) é a própria definição de porosidade do solo, portanto, a porosidade inicial seria o valor teórico da máxima deformação volumétrica possível. A partir dessa relação, pode-se obter a deformação volumétrica normalizada, definida como sendo a relação entre a deformação volumétrica e a deformação volumétrica máxima.

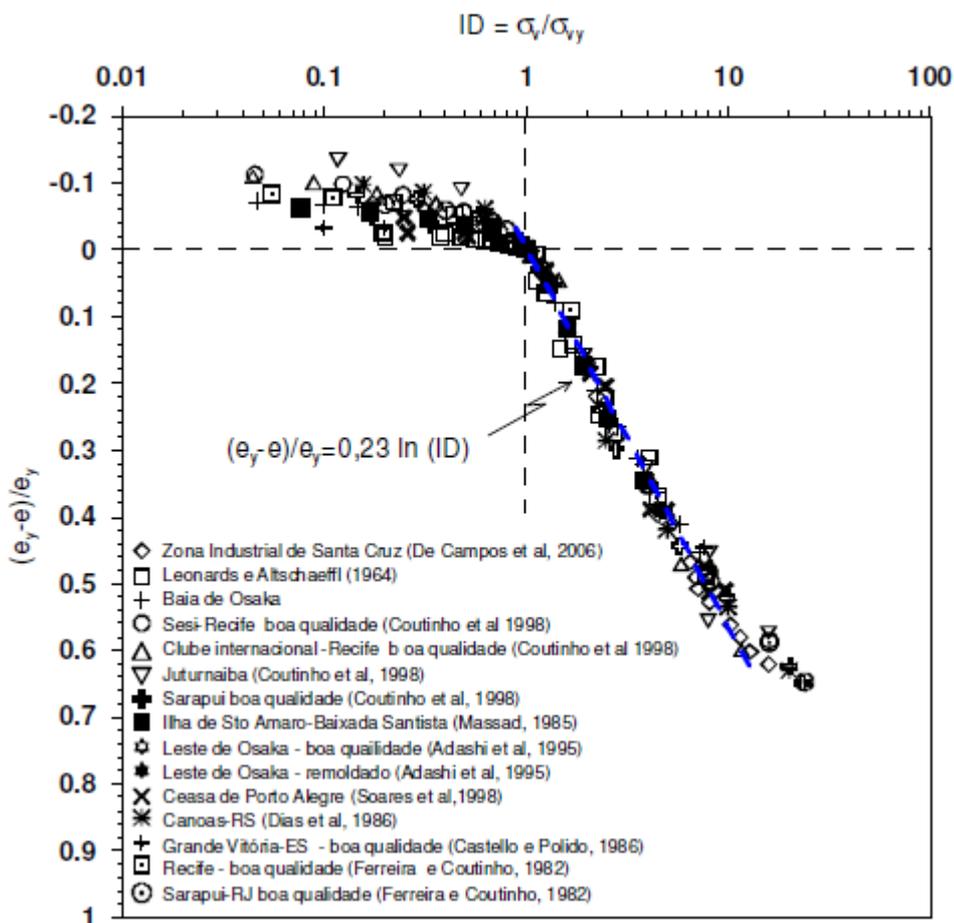
$$\varepsilon_{vN} = \frac{\left( \frac{\Delta e}{(1 + e_0)} \right)}{\frac{e_0}{1 + e_0}} = \frac{\varepsilon_v}{n} = \frac{\Delta e}{e_0} \quad (4.3)$$

A variação de  $\Delta e/e_0$  é limitada entre 0 e 1, caso se utilize a deformação volumétrica, o valor teórico máximo varia em função do índice de vazios inicial. Por exemplo, um solo com  $e_0$  de 1.0 teria  $e_{vmax}$  (Equação 4.3) igual a 50%, ao passo que outro solo com  $e_0 = 4$  teria  $e_{vmax}$  igual a 80%, porém ambos teriam eliminado todos os vazios. Utilizando o conceito apresentado, ambos estariam com  $\Delta e/e_0$  igual a 1 nessa condição hipotética. Entretanto, como a tensão vertical está sendo normalizada pela tensão de escoamento, é preciso também tomar como referencial o índice de vazios no escoamento,  $e_y$ . Assim, a Equação (4.3) deve ser reescrita como:

$$\varepsilon_{vN} = \frac{e_y - e}{e_y} \quad (4.4)$$

A partir de ensaios coletados na literatura aplicou-se a normalização proposta e o resultado está apresentado na Figura 4-1

Figura 4-12 - Curva de Compressão Normalizada.



Fonte: Futai, 2010.

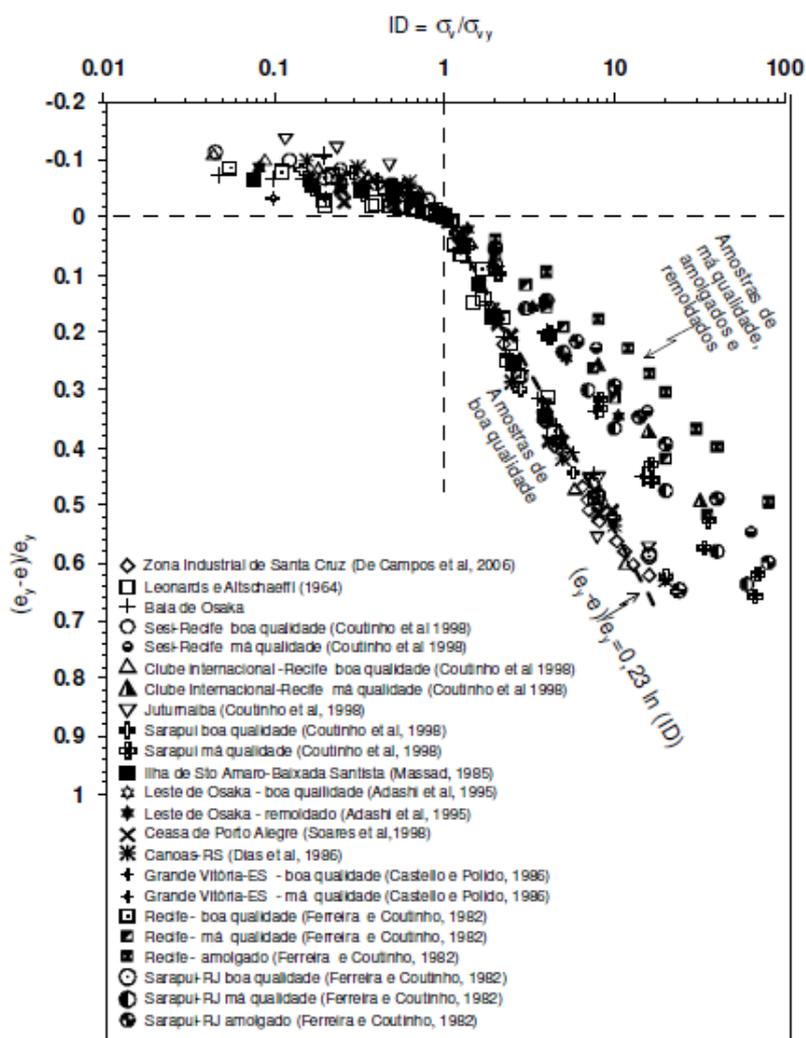
. Nessa figura foram incluídas curvas de compressão edométrica de argilas de diferentes localidades brasileiras e também de alguns dados da literatura internacional. Para  $ID > 1$  (normalmente adensada) há uma faixa bem definida, na qual se enquadram todos os solos testados. Para valores de  $ID$ , menores que 1, a normalização não é tão clara.

A curva de compressão normalizada, para  $ID > 1$ , pode ser representada por uma função logarítmica e que representa todos os solos analisados:

$$\frac{e_y - e}{e_y} = \xi_c * \ln(ID) \quad (4.5)$$

A normalização das curvas de compressão permitiu a Futai (2010) verificar a qualidade das amostras de uma forma mais direta que as propostas de Lunne *et al.* (1997) e Coutinho (2007) (Figura 4-2).

Figura 4-13 - Curvas de compressão normalizadas de curvas de boa e má qualidade.



Fonte: Futai, 2010.

#### 4.1.2 Avaliação Da Qualidade Das Ilhas Estudadas

Utilizando os métodos de avaliação de qualidade de amostras apresentados no item 4.1.1, segue-se os procedimentos descritos para os resultados de ensaios edométricos dos três depósitos de solos moles estudados.

##### 4.1.2.1 Barra da Tijuca/RJ – (BARONI, 2010)

Para retirada de as amostras indeformadas da Barra da Tijuca, Baroni (2010) utilizou o amostrador tipo “Shelby” de pistão estacionário de paredes finas de diâmetro interno igual a 10 cm e altura igual a 60 cm (altura efetiva de 55 cm), tendo em vista o potencial de tal amostrador e custo comparados a outros, além da sua simplicidade de utilização, como já citado no item 2.3 do presente trabalho.

As amostras coletadas foram transportadas e levada para laboratório para efetuar os ensaios.

No presente trabalho, foram utilizados os dados dos ensaios edométricos obtidos por Baroni (2010), para avaliar a qualidade das amostras indeformadas das três ilhas (ACM I, ACM II e GLEBA F). A primeira avaliação realizada foi a da Lune *et al.* (1997) em seguida a de Coutinho (2007), e finalmente a metodologia de Futai (2010). Nas Tabelas 4-3 e 4-4 estão apresentados os resultados da avaliação de Coutinho (2007) e Lunne *et al.* (1997), respectivamente.

**Tabela 4-3 – Avaliação da qualidade das amostras indeformadas retiradas por Baroni (2010) pelo Método de Coutinho (2007).**

ILHA DE INVESTIGAÇÃO	Amostrador	Prof. (m)	OCR	$\Delta e/e_0$	Coutinho (2007)
CM I	Shelby	1,25 - 1,80	0,42	0,13	Pobre
		3,25 - 3,80	0,35	0,07	Boa a Regular
		5,25 - 5,80	0,40	0,07	Boa a Regular
		7,25 - 7,70	0,26	0,07	Boa a Regular
		9,25 - 9,60	0,88	0,06	Boa a Regular
CM II	Shelby	0,90 - 1,50	2,59	0,14	Pobre
		2,50 - 2,95	1,59	0,07	Boa a Regular
		3,50 - 4,10	1,10	0,06	Boa a Regular
		4,50 - 4,82	2,07	0,08	Boa a Regular
		5,50 - 6,10	1,03	0,08	Boa a Regular
GLEBA F	Shelby	6,50 - 7,10	1,11	0,09	Pobre
		1,00 - 1,60	8,76	0,07	Boa a Regular
		2,00 - 2,35	1,70	0,06	Boa a Regular
		3,00 - 3,60	0,87	0,91	Muito Pobre
		4,00 - 4,60	0,76	0,08	Boa a Regular
		5,00 - 5,60	1,15	0,08	Boa a Regular
		6,00 - 6,60	0,67	0,07	Boa a Regular
		7,00 - 7,60	1,07	0,09	Pobre
		8,00 - 8,60	1,29	0,07	Boa a Regular
		10,0 - 10,6	0,53	0,10	Pobre
12,0 - 12,6	1,22	0,04	Muito Boa a Excelente		
14,0 - 14,6	1,59	0,07	Boa a Regular		

Fonte: Autor, 2017.

**Tabela 4-4 – Avaliação da qualidade das amostras indeformadas retiradas por Baroni (2010) pelo Método de Lunne *et al.* (1997).**

ILHA DE INVESTIGAÇÃO	Amostrador	Prof. (m)	OCR	$\Delta e/e_0$	Lunne <i>et al.</i> (2007)
CM I	Shelby	1,25 - 1,80	0,42	0,13	Muito pobre
		3,25 - 3,80	0,35	0,07	Boa a Regular
		5,25 - 5,80	0,40	0,07	Boa a Regular
		7,25 - 7,70	0,26	0,07	Boa a Regular
		9,25 - 9,60	0,88	0,06	Boa a Regular
CM II	Shelby	0,90 - 1,50	2,59	0,14	Muito pobre
		2,50 - 2,95	1,59	0,07	Boa a Regular
		3,50 - 4,10	1,10	0,06	Boa a Regular
		4,50 - 4,82	2,07	0,08	Pobre
		5,50 - 6,10	1,03	0,08	Pobre
		6,50 - 7,10	1,11	0,09	Pobre
GLEBA F	Shelby	1,00 - 1,60	8,76	0,07	Pobre
		2,00 - 2,35	1,70	0,06	Boa a Regular
		3,00 - 3,60	0,87	0,91	Muito pobre
		4,00 - 4,60	0,76	0,08	Pobre
		5,00 - 5,60	1,15	0,08	Pobre
		6,00 - 6,60	0,67	0,07	Boa a Regular
		7,00 - 7,60	1,07	0,09	Pobre
		8,00 - 8,60	1,29	0,07	Boa a Regular
		10,0 - 10,6	0,53	0,10	Pobre
		12,0 - 12,6	1,22	0,04	Muito Boa a Excelente
14,0 - 14,6	1,59	0,07	Boa a Regular		

Para uma melhor visualização e comparação dos resultados dos métodos de avaliação de Lunne *et al.* (1997) e Coutinho (2007), para o Bairro da Tijuca/RJ com base nos dados geotécnicos de Baroni (2010), foram calculados os percentuais de qualidade para cada área para ambos os métodos, os resultados estão dispostos nas Tabelas 4-5 e 4-6. Esta análise foi realizada tendo em vista que os autores seguem uma mesma classificação de qualidade, diferindo apenas os intervalos de ponderação da avaliação de avaliação.

**Tabela 4-5 – Resumo dos resultados da classificação de qualidade das amostras indeformadas retiradas por Baroni (2010) pelo Método de Lunne *et al.* (1997).**

LOCAL	Classificação Lunne <i>et al.</i> (2007)	TOTAL DE AMOSTRAS	PERCENTUAL (%)
CM I	Muito Boa a Excelente	0,00	0,00
	Boa a Regular	4,00	80,00
	Pobre	0,00	0,00
	Muito Pobre	1,00	20,00
CM II	Muito Boa a Excelente	0,00	0,00
	Boa a Regular	3,00	50,00
	Pobre	2,00	33,33
	Muito Pobre	1,00	16,67
GLEBA F	Muito Boa a Excelente	1,00	9,09
	Boa a Regular	4,00	36,36
	Pobre	5,00	45,45
	Muito Pobre	1,00	9,09

Fonte: Autor, 2017.

Na Tabela 4-5, para a avaliação proposta por Lunne *et al.* (1997), verifica-se que no local CMI, das 5 amostras, 4 delas foram classificadas como Boa a Regular. Na CMII, das 6 amostras, 5 delas foram classificadas entre Boa a Regular e Pobre, e apenas 1 amostra foi avaliada como Muito Pobre. Na Gleba F, 1 amostra foi classificada como Muito Boa a Excelente, 9 amostras entre Boa a Regular e Pobre, e apenas 1 como Muito Pobre. Estas informações permitem concluir que das 22 amostras obtidas no depósito da Barra da Tijuca/RJ, 10 amostras de qualidade não satisfatória podem ser utilizadas para obtenção de parâmetros de compressibilidade, desde que esses parâmetros sejam corrigidos por propostas como as relatadas neste trabalho.

**Tabela 4-6 – Resumo dos resultados da classificação de qualidade das amostras indeformadas retiradas por Baroni (2010) pelo Método de Coutinho (2007).**

LOCAL	Classificação Coutinho (2007)	TOTAL DE AMOSTRAS	PERCENTUAL (%)
CM I	Muito Boa a Excelente	0,00	0,00
	Boa a Regular	4,00	80,00
	Pobre	1,00	20,00
	Muito Pobre	0,00	0,00
CM II	Muito Boa a Excelente	0,00	0,00
	Boa a Regular	4,00	66,67
	Pobre	2,00	33,33
	Muito Pobre	0,00	0,00
GLEBA F	Muito Boa a Excelente	1,00	9,09
	Boa a Regular	7,00	63,64
	Pobre	2,00	18,18
	Muito Pobre	1,00	9,09

Fonte: Autor, 2017.

Na Tabela 4-6, para a avaliação proposta por Coutinho (2007), verifica-se comportamento semelhante a avaliação de Lunne *et al* (1997) no local CMI. Entretanto, na CMII, 4 amostras foram classificadas como Boa a Regular e 2 amostras como Pobre. Na Gleba F, 1 amostra foi classificada como Muito Boa a Excelente, 9 amostras entre Boa a Regular e Pobre, e apenas 1 como Muito Pobre.

Estas informações permitem concluir que das 22 amostras obtidas no depósito da Barra da Tijuca/RJ, 10 amostras de qualidade não satisfatória (de acordo com proposta de Lunne *et al* (1997) e 6 amostras de acordo com proposta de Coutinho (2007), podem ser utilizadas para obtenção de parâmetros de compressibilidade, desde que esses parâmetros sejam corrigidos por propostas como será apresentada a posteriori neste trabalho, além de também possibilitar a melhoria dos parâmetros de amostras classificadas como Boa a Regular.

O último critério de avaliação aplicado para as amostras de Baroni (2010) foi o Método de Futai (2010). Para efetuar esta avaliação exigiu-se uma vultuosa quantidade de parâmetros geotécnicos, os quais estão apresentados nas Tabelas 4-7 e 4-8.

Com os dados geotécnicos da Tabela 4-7 e os dados dos ensaios de adensamento (Tabela 4-8) foi possível efetuar o processo de avaliação das amostras pelo Método de Futai (2010), os quais estão apresentados para as três ilhas: CM I, CM II e GLEBA F, nas Figuras 4-3, 4-4 e 4-5, respectivamente..

**Tabela 4-7 – Resumo dos parâmetros geotécnicos da ilhas de investigação da Barra da Tijuca utilizados para avaliação da qualidade pelo Método de Futai (2010).**

<b>ILHA DE INVESTIGAÇÃO</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b><math>\sigma'_{vo}</math> (kPa)</b>	<b><math>\sigma'_{vm}</math> (kPa)</b>	<b>OCR</b>	<b>ID</b>	<b>e0</b>	<b><math>\Delta e/e_0</math></b>
<b>CM I</b>	1,25 - 1,80	13,02	5,50	0,42	2,37	10,67	0,13
	3,25 - 3,80	17,57	6,20	0,35	2,83	5,64	0,07
	5,25 - 5,80	22,26	9,00	0,40	2,47	4,84	0,07
	7,25 - 7,70	26,99	7,00	0,26	3,86	4,82	0,07
	9,25 - 9,60	31,90	28,00	0,88	1,14	4,00	0,06
<b>CM II</b>	0,90 - 1,50	3,47	9,00	2,59	0,39	8,76	0,14
	2,50 - 2,95	4,58	7,30	1,59	0,63	7,43	0,07
	3,50 - 4,10	6,79	7,50	1,10	0,91	3,92	0,06
	4,50 - 4,82	10,64	22,00	2,07	0,48	1,42	0,08
	5,50 - 6,10	16,55	17,00	1,03	0,97	3,85	0,08
	6,50 - 7,10	18,91	21,00	1,11	0,90	4,85	0,09
<b>GLEBA F</b>	1,00 - 1,60	2,74	24,00	8,76	0,11	8,14	0,07
	2,00 - 2,35	2,47	4,20	1,70	0,59	12,37	0,06
	3,00 - 3,60	3,69	3,20	0,87	1,15	12,24	0,91
	4,00 - 4,60	5,02	3,80	0,76	1,32	6,07	0,08
	5,00 - 5,60	6,98	8,00	1,15	0,87	6,10	0,08
	6,00 - 6,60	9,19	6,20	0,67	1,48	4,76	0,07
	7,00 - 7,60	11,25	12,00	1,07	0,94	5,47	0,09
	8,00 - 8,60	13,21	17,00	1,29	0,78	5,08	0,07
	10,00 - 10,60	17,33	9,20	0,53	1,88	4,71	0,10
	12,00 - 12,60	22,14	27,00	1,22	0,82	4,03	0,04
	14,00 - 14,60	27,04	43,00	1,59	0,63	4,85	0,07

Fonte: Adaptado, Baroni (2010).

Tabela 4-8 – Ensaio de Adensamento realizados para argilas moles da Barra da Tijuca.

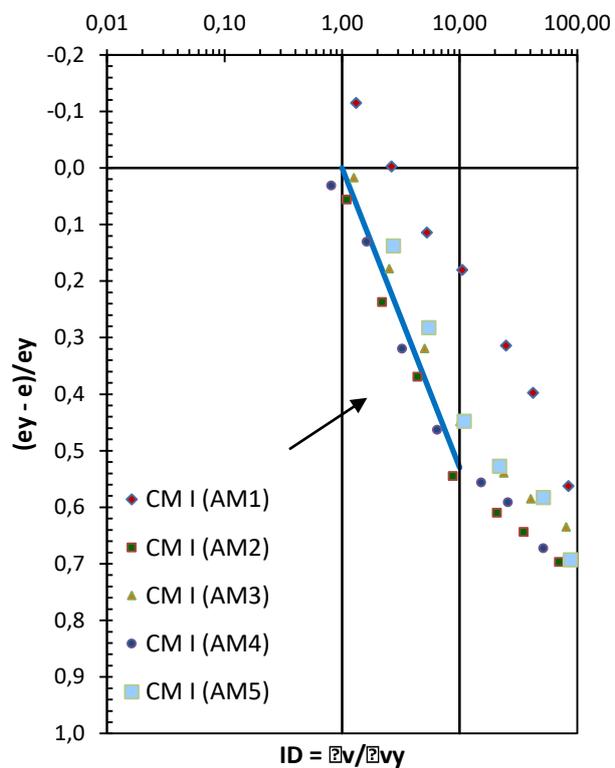
<b>CENTRO METROPOLITANO I</b>			
Amostra	Prof. Shelby* (m)	Prof. Ensaio** (m)	Estágios de carregamento e descarregamento (Kpa)
CM I - AM1	1,25 - 1,80	1,65 - 1,75	
CM I - AM2	3,25 - 3,80	3,65 - 3,75	
CM I - AM3	5,25 - 5,80	5,65 - 5,75	3,125 - 6,25 - 12,5 - 25 - 50 - 100 - 200 - 400 - 200 - 100
CM I - AM4	7,25 - 7,80	7,65 - 7,75	
CM I - AM5	9,25 - 9,60	9,65 - 9,75	
<b>CENTRO METROPOLITANO II</b>			
Amostra	Prof. Shelby* (m)	Prof. Ensaio** (m)	Estágios de carregamento e descarregamento (Kpa)
CM II - AM1	0,90 - 1,45	1,30 - 1,40	
CM II - AM2	2,50 - 2,95	2,80 - 2,90	
CM II - AM3	3,50 - 4,05	3,90 - 4,00	1,25 - 3,125 - 6,25 - 12,5 - 25 - 50 - 100 - 200 - 400 - 400 - 200 - 100 - 25
CM II - AM4	4,50 - 4,82	4,67 - 4,77	
CM II - AM5	5,50 - 6,05	5,90 - 6,00	
CM II - AM6	6,50 - 7,05	6,90 - 7,00	
<b>GLEBA F</b>			
Amostra	Prof. Shelby* (m)	Prof. Ensaio** (m)	Estágios de carregamento e descarregamento (Kpa)
GL - AM1	1,00 - 1,55	1,40 - 1,50	
GL - AM2	2,00 - 2,35	2,20 - 2,30	
GL - AM3	3,00 - 3,55	3,40 - 3,50	
GL - AM4	4,00 - 4,55	4,40 - 4,45	
GL - AM5	5,00 - 5,55	5,40 - 5,50	0,625 - 1,25 - 3,125 - 6,25 - 12,5 - 25 - 50 - 100 - 200 - 400 - 400 - 200 - 100 - 25
GL - AM6	6,00 - 6,55	6,40 - 6,50	
GL - AM7	7,00 - 7,55	7,40 - 7,50	
GL - AM8	8,00 - 8,55	8,40 - 8,50	
GL - AM9	10,00 - 10,55	10,40 - 10,50	
GL - AM10	12,00 - 12,55	12,40 - 12,50	
GL - AM11	14,00 - 14,55	14,40 - 14,50	

\* Profundidade em que o amostrador foi retirado

Fonte: Adaptado, Baroni (2010).

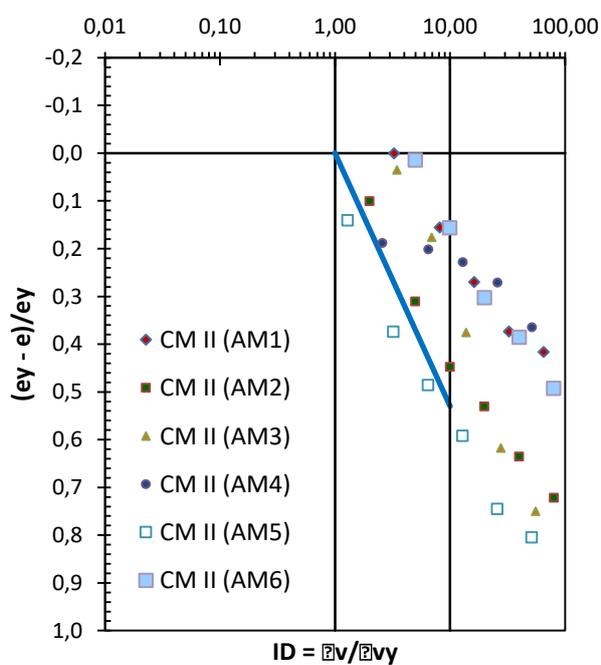
\*\* Profundidade em que o corpo de prova foi moldado

Figura 4-14 – Avaliação da qualidade pelo Método de Futai (2010) para a Ilha CM I.



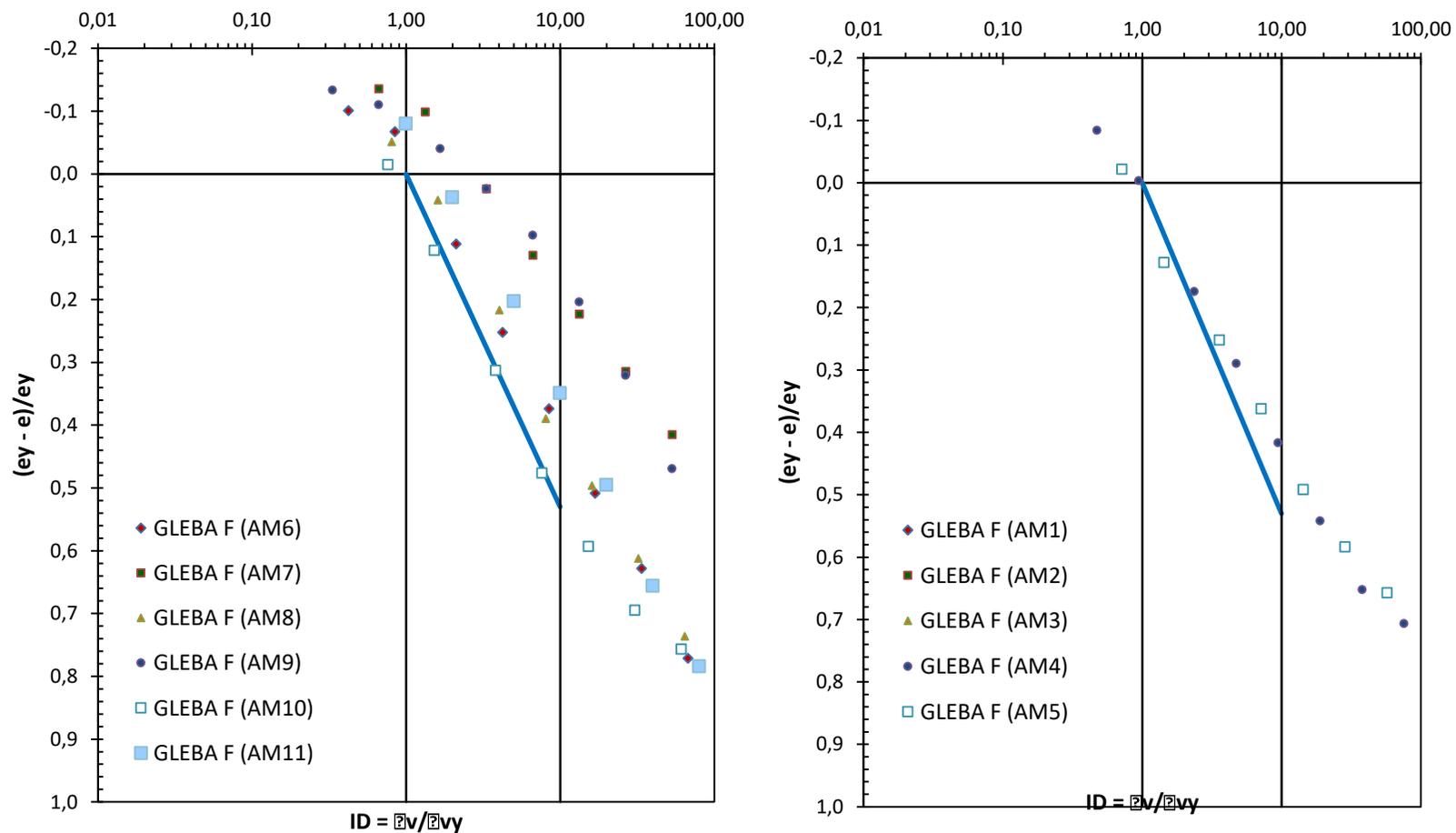
Fonte: Autor, 2017.

Figura 4-15 – Avaliação da qualidade pelo Método de Futai (2010) para a Ilha CM II.



Fonte: Autor, 2017.

Figura 4-16 – Avaliação da qualidade pelo Método de Futai (2010) para a Ilha GLEBA F.



Fonte: Autor, 2017.

Observa-se que a amostra AM1 da Ilha CM I apresenta uma menor sinuosidade de curvatura comparada as demais amostras e também está mais afastada da faixa de qualidade criada por Futai (2010), esse resultado vai de encontro com os resultados dos outros dois métodos apresentados anteriormente.

Para Ilha CM II algumas amostras apresentaram comportamentos diferentes, como foi o caso da AM4. Isso pode ter ocorrido por ser uma amostra com valor de ID inferior a 1, e indo de encontro com o que o autor cita que para esta situação a avaliação não é tão precisa, e amostras pode apresentar comportamentos diferentes, esse fato deve-se também aos critérios iniciais que Futai (2010) utilizou para elaborar este método, pois o mesmo utilizou dados de diversos ensaios edométricos de argilas pré-adensadas de  $OCR > 1$  e  $ID < 1$ , daí justifica-se o fato de tal comportamento da AM4 – CM II. As amostras AM1, AM3 e AM6 apresentaram se na zona de Má qualidade criada pelo autor. As amostras AM2 e AM5 obtiveram uma avaliação de Boa Qualidade, isso é pelo notável comportamento das amostras no gráfico (Figura 4-4).

Para a Ilha de investigação Gleba F ocorreu um maior número de amostras na zona de Má Qualidade, destacando-se as amostras AM3, AM7 e AM9, por apresentarem um maior afastamento da zona de Boa Qualidade, as demais amostras apresentaram resultados de qualidade mais satisfatório, destaque para a amostra AM10 que teve os pontos quase coincidindo com a curva de qualidade de Futai (2010).

Ao fim das avaliações de qualidade das amostras indeformadas da Barra da Tijuca, foi feita a seguinte ponderação, para uma avaliação comparativa dos três métodos de avaliação, com adoção o seguinte critério:

- Boa a Regular e Muito boa a Excelente = Boa Qualidade;
- Pobre e Muito Pobre = Má Qualidade;

Adotando isso pode-se fazer uma avaliação comparativa dos métodos de Futai (2010), Coutinho (2007) e Lunne *et al.* (1997) para as amostras de solos moles da Barra da Tijuca (Tabela 4-9).

Tabela 4-9 – Resumo da avaliação com os três métodos para amostras da Barra da Tijuca.

ILHA DE INVESTIGAÇÃO	AMOSTRA	Lunne <i>et al.</i> (1997)	Coutinho (2007)	Futai (2010)
CM I	CM I - AM1	Má Qualidade	Má Qualidade	Má Qualidade
	CM I - AM2	Boa Qualidade	Boa Qualidade	Boa Qualidade
	CM I - AM3	Boa Qualidade	Boa Qualidade	Boa Qualidade
	CM I - AM4	Boa Qualidade	Boa Qualidade	Boa Qualidade
	CM I - AM5	Boa Qualidade	Boa Qualidade	Boa Qualidade
CM II	CM II - AM1	Má Qualidade	Má Qualidade	Má Qualidade
	CM II - AM2	Boa Qualidade	Boa Qualidade	Boa Qualidade
	CM II - AM3	Boa Qualidade	Boa Qualidade	Boa Qualidade
	CM II - AM4	Boa Qualidade	Boa Qualidade	Indeterminado
	CM II - AM5	Má Qualidade	Boa Qualidade	Má Qualidade
	CM II - AM6	Má Qualidade	Má Qualidade	Má Qualidade
GLEBA F	GL - AM1	Má Qualidade	Boa Qualidade	Boa Qualidade
	GL - AM2	Boa Qualidade	Boa Qualidade	Boa Qualidade
	GL - AM3	Má Qualidade	Má Qualidade	Má Qualidade
	GL - AM4	Má Qualidade	Boa Qualidade	Boa Qualidade
	GL - AM5	Má Qualidade	Boa Qualidade	Má Qualidade
	GL - AM6	Boa Qualidade	Boa Qualidade	Boa Qualidade
	GL - AM7	Má Qualidade	Má Qualidade	Má Qualidade
	GL - AM8	Boa Qualidade	Boa Qualidade	Boa Qualidade
	GL - AM9	Má Qualidade	Má Qualidade	Má Qualidade
	GL - AM10	Boa Qualidade	Boa Qualidade	Boa Qualidade
	GL - AM11	Boa Qualidade	Boa Qualidade	Boa Qualidade

Fonte: Autor, 2017.

Conforme apresentado na Tabela 4-9 e comentado anteriormente, das 22 amostras obtidas no depósito da Barra da Tijuca/RJ, 10 amostras de qualidade não satisfatória (de acordo com proposta de Lunne *et al.* (1997)) e 6 amostras (de acordo com proposta de Coutinho 2007). Quando a proposta de Futai (2010), 8 amostras foram classificadas como de má qualidade e uma amostra como indeterminada.

Ressalta-se que os resultados dos parâmetros de compressibilidade obtidos em ensaios de laboratório, nessas amostras de qualidade não satisfatória, podem ser utilizados em projeto, desde que sejam corrigidos por propostas como as que serão relatadas neste trabalho. Os parâmetros de compressibilidade de amostras classificadas como Boa a Regular, também podem ser melhorados, mostrando assim a importância e o potencial do uso da avaliação de amostras indeformadas e a correção dos parâmetros geotécnicos a ser utilizados em projetos.

#### 4.1.2.2 Suape/pe – (bello, 2011)

Para os estudos de solos moles de Suape/PE Bello (2011) utilizou amostrador tipo pistão estacionário de paredes finas com tubo de aço-inox com diâmetro 4" e 4,5" (100 e 110 mm) e comprimento de 1000 mm, para retirada de amostra indeformada.

Para este estudo serão avaliadas as amostras da área AE-2, sendo que desta área serão avaliadas as Sub-áreas A e B, todos estudos são baseados em dados geológicos/geotécnicos de Bello (2011), a autora retirou as amostras Indeformada e executou ensaios edométricos, e com estes dados serão executadas as análises de avaliação deste trabalho.

A sequência de avaliação destas argilas moles se seguirá primeiro pela avaliação de Lunne *et al.* (1997) (Tabela 4-10), e em seguida a de a avaliação pelo Método de Coutinho (2007), os resultados estão representados na e Tabela 4-11.

Para a Sub-Área A, seis amostras apresentaram qualidade insatisfatória pelo método de avaliação de Lune *et al.* (1997), as outras treze amostras apresentaram bons resultados de qualidade para este método. Para a Sub-Área B, pela a análise do já referido método, cinco das oito amostras apresentaram baixa qualidade. Tal situação evidencia a necessidade de correção de parâmetros de compressibilidade para esta ilha de investigação.

Já pela avaliação de qualidade de Coutinho (2007), a Sub-Área A apresentou cinco amostras com avaliação insatisfatória e quatorze com boa avaliação. Para a Sub-Área B, os resultados coincidiram com os de Lune *et al.* (1997), sendo está área a de maior ocorrência de amostras com baixa qualidade, segundo os critérios de avaliação das literaturas.

Tabela 4-10 – Avaliação da qualidade das amostras indeformadas retiradas por Bello (2011) pelo Método de Lunne *et al.* (1997).

ILHA DE INVESTIGAÇÃO	Amostrador	ESTACA	Prof. (m)	OCR	$\Delta e/e_0$	Lunne <i>et al.</i> (1997)
SUB-ÁREA A	Shelby	E101	1,00 - 2,00	1,77	0,06	Boa à Regular
			1,50 - 2,50	0,46	0,06	Boa à Regular
		E102	0,40 - 1,40	3,55	0,09	Pobre
			1,40 - 2,40	1,74	0,05	Boa à Regular
		E105	2,40 - 3,40	0,90	0,07	Boa à Regular
			3,40 - 4,40	0,59	0,11	Pobre
			4,40 - 5,40	0,47	0,05	Boa à Regular
		E106	1,00 - 2,00	3,28	0,07	Pobre
			5,00 - 6,00	0,66	0,11	Pobre
			1,00 - 2,00	2,00	0,05	Boa à Regular
			2,00 - 3,00	1,11	0,03	Muito Boa à Excelente
			4,00 - 5,00	0,31	0,11	Pobre
			6,00 - 7,00	0,31	0,07	Boa à Regular
		E109	7,00 - 8,00	0,32	0,03	Muito Boa à Excelente
			1,40 - 1,90	1,18	0,07	Boa à Regular
			2,00 - 2,50	0,89	0,07	Boa à Regular
			4,00 - 4,50	0,83	0,06	Boa à Regular
			5,00 - 5,50	0,96	0,06	Boa à Regular
			6,00 - 6,50	0,53	0,14	Muito Pobre
		SUB-ÁREA B	Shelby	E45	0,00 - 1,30	7,62
2,80 - 3,60	2,29				0,03	Muito Boa à Excelente
3,70 - 4,50	2,44				0,07	Boa à Regular
4,70 - 5,40	0,92				0,06	Boa à Regular
E123	0,00 - 1,30			2,06	0,09	Pobre
	0,40 - 1,20			4,41	0,09	Pobre
	1,30 - 2,10			1,97	0,09	Pobre
	2,20 - 3,00			1,02	0,11	Pobre

Fonte: Autor, 2017.

**Tabela 4-11 – Avaliação da qualidade das amostras indeformadas retiradas por Bello (2011) pelo Método de Coutinho. (2007).**

ILHA DE INVESTIGAÇÃO	Amostrador	ESTACA	Prof. (m)	OCR	$\Delta e/e_0$	Coutinho (2007)	
SUB-ÁREA A	Shelby	E101	1,00 - 2,00	1,77	0,06	Boa à Regular	
			1,50 - 2,50	0,46	0,06	Boa à Regular	
		E102	0,40 - 1,40	3,55	0,09	Pobre	
			1,40 - 2,40	1,74	0,05	Boa à Regular	
			2,40 - 3,40	0,90	0,07	Boa à Regular	
			3,40 - 4,40	0,59	0,11	Pobre	
			4,40 - 5,40	0,47	0,05	Boa à Regular	
			E105	1,00 - 2,00	3,28	0,07	Boa à Regular
		5,00 - 6,00		0,66	0,11	Pobre	
		E106	1,00 - 2,00	2,00	0,05	Boa à Regular	
			2,00 - 3,00	1,11	0,03	Muito Boa à Excelente	
			4,00 - 5,00	0,31	0,11	Pobre	
			6,00 - 7,00	0,31	0,07	Boa à Regular	
			7,00 - 8,00	0,32	0,03	Muito Boa à Excelente	
			E109	1,40 - 1,90	1,18	0,07	Boa à Regular
				2,00 - 2,50	0,89	0,07	Boa à Regular
				4,00 - 4,50	0,83	0,06	Boa à Regular
				5,00 - 5,50	0,96	0,06	Boa à Regular
				6,00 - 6,50	0,53	0,14	Muito Pobre
		SUB-ÁREA B	Shelby	E45	0,00 - 1,30	7,62	0,09
2,80 - 3,60	2,29				0,03	Muito Boa à Excelente	
3,70 - 4,50	2,44				0,07	Boa à Regular	
4,70 - 5,40	0,92				0,06	Boa à Regular	
E123	0,00 - 1,30			2,06	0,09	Pobre	
	0,40 - 1,20			4,41	0,09	Pobre	
	1,30 - 2,10			1,97	0,09	Pobre	
	2,20 - 3,00			1,02	0,11	Pobre	

Fonte: Autor, 2017.

Na sequência calculou-se o percentual dos resultados da avaliação da qualidade de amostras indeformadas de solos moles pelos métodos de Lunne *et al.* (1997) e Coutinho (2007), para o Suape/PE com base nos dados geotécnicos de Bello (2011), tais resultados estão apresentados nas Tabelas 4-12 e 4-13.

**Tabela 4-12 – Resumo dos resultados da classificação de qualidade das amostras indeformadas retiradas por Bello (2010) pelo Método de Lunne *et al.* (1997).**

LOCAL	Classificação Lune <i>et al.</i> (1997)	TOTAL DE AMOSTRAS	PERCENTUAL (%)
SUB-ÁREA A	Muito Boa a Excelente	2,00	10,53
	Boa a Regular	11,00	57,89
	Pobre	5,00	26,32
	Muito Pobre	1,00	5,26
SUB-ÁREA B	Muito Boa a Excelente	1,00	12,50
	Boa a Regular	2,00	25,00
	Pobre	5,00	62,50
	Muito Pobre	0,00	0,00

Fonte: Autor, 2017.

**Tabela 4-13 – Resumo dos resultados da classificação de qualidade das amostras indeformadas retiradas por Bello (2010) pelo Método de Coutinho (2007).**

LOCAL	Classificação Coutinho (2007)	TOTAL DE AMOSTRAS	PERCENTUAL (%)
SUB-ÁREA A	Muito Boa a Excelente	2,00	10,53
	Boa a Regular	12,00	63,16
	Pobre	4,00	21,05
	Muito Pobre	1,00	5,26
SUB-ÁREA B	Muito Boa a Excelente	1,00	12,50
	Boa a Regular	2,00	25,00
	Pobre	5,00	62,50
	Muito Pobre	0,00	0,00

Fonte: Autor, 2017.

Pela avaliação percentual, fica evidente o alto percentual de amostras de bxa qualidade na Sub-Área B. Seguindo o roteiro de avaliação sequenciado no item 4.1.1 deste trabalho, a última avaliação da qualidade para amostras indeformadas de Suape é o Método de Futai (2010), método que necessita de uma série de parâmetros geotécnicos, os quais estão apresentados nas Tabelas 4-14 e 4-15.

Tabela 4-14 – Resumo dos parâmetros geotécnicos da ilhas de investigação de Suape/PE utilizados para avaliação da qualidade pelo Método de Furai (2010).

ILHA DE INVESTIGAÇÃO	ESTACA	AMOSTRA	Prof. (m)	$\sigma'_{vo}$ (kPa)	$\sigma'_{vm}$ (kPa)	OCR	ID	e0	$\Delta e/e_0$
SUB-ÁREA A	E101	1,00	1,00 - 2,00	8,46	15,00	1,77	0,56	4,43	0,06
		2,00	1,50 - 2,50	17,46	8,00	0,46	2,17	2,51	0,06
	E102	1,00	0,40 - 1,40	6,20	22,00	3,55	0,28	2,26	0,09
		2,00	1,40 - 2,40	9,20	16,00	1,74	0,57	9,62	0,05
		3,00	2,40 - 3,40	12,20	11,00	0,90	1,11	3,00	0,07
		4,00	3,40 - 4,40	15,20	9,00	0,59	1,69	3,60	0,11
		5,00	4,40 - 5,40	21,20	10,00	0,47	2,13	3,65	0,05
	E105	1,00	1,00 - 2,00	15,26	50,00	3,28	0,30	6,27	0,07
		2,00	5,00 - 6,00	27,26	18,00	0,66	1,52	3,65	0,11
	E106	1,00	1,00 - 2,00	10,50	21,00	2,00	0,50	12,27	0,05
		2,00	2,00 - 3,00	18,00	20,00	1,11	0,90	6,85	0,03
		3,00	4,00 - 5,00	19,50	6,00	0,31	3,23	2,46	0,11
		4,00	6,00 - 7,00	25,50	8,00	0,31	3,23	4,07	0,07
		5,00	7,00 - 8,00	28,50	9,00	0,32	3,13	4,32	0,03
	E109	1,00	1,40 - 1,90	16,16	19,00	1,18	0,85	3,50	0,07
		2,00	2,00 - 2,50	17,96	16,00	0,89	1,12	7,24	0,07
		3,00	4,00 - 4,50	23,96	20,00	0,83	1,20	4,59	0,06
		4,00	5,00 - 5,50	26,96	26,00	0,96	1,04	8,47	0,06
		5,00	6,00 - 6,50	29,96	16,00	0,53	1,89	5,24	0,14
	SUB-ÁREA B	E45	1,00	0,00 - 1,30	2,10	16,00	7,62	0,13	0,96
2,00			2,80 - 3,60	9,60	22,00	2,29	0,44	1,82	0,03
3,00			3,70 - 4,50	12,30	30,00	2,44	0,41	0,75	0,07
4,00			4,70 - 5,40	15,30	14,00	0,92	1,09	0,88	0,06
E123		1,00	0,00 - 1,30	2,80	16,50	2,06	0,49	1,63	0,09
		2,00	0,40 - 1,20	3,40	15,00	4,41	0,23	1,71	0,09
		3,00	1,30 - 2,10	6,10	12,00	1,97	0,51	1,81	0,09
		4,00	2,20 - 3,00	8,80	9,00	1,02	0,98	2,02	0,11

Fonte: Bello, 2011.

Tabela 4-15 – Ensaio de Adensamento realizados para argilas moles de Suape/PE.

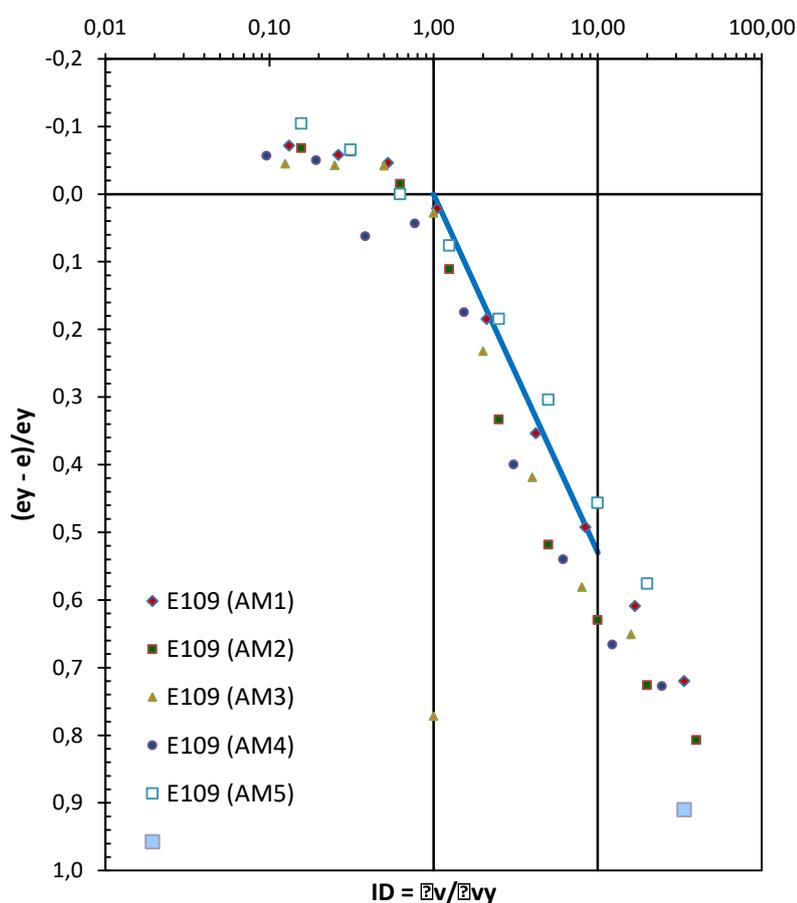
<b>SUB-ÁREA A</b>			
ESTACA	Amostra	Prof. Shelby (m)	Estágios de carregamento e descarregamento (Kpa)
E101	AM1	1,00 - 2,00	1,00 - 2,50 - 5 - 10 - 20 - 40 - 80 - 160 - 320 - 640 - 320
	AM2	1,50 - 2,50	
E102	AM1	0,40 - 1,40	5,00 - 10 - 20 - 40 - 80 - 160 - 330 - 400 - 1100 - 400
	AM2	1,40 - 2,40	
	AM3	2,40 - 3,40	
	AM4	3,40 - 4,40	
	AM5	4,40 - 5,40	
E105	AM1	1,00 - 2,00	1,00 - 2,50 - 5 - 10 - 20 - 40 - 80 - 160 - 320 - 640 - 320
	AM2	5,00 - 6,00	
E106	AM1	1,00 - 2,00	1,00 - 2,50 - 5 - 10 - 20 - 40 - 80 - 160 - 320 - 640 - 320
	AM2	2,00 - 3,00	
	AM3	4,00 - 5,00	
	AM4	6,00 - 7,00	
	AM5	7,00 - 8,00	
E109	AM1	1,40 - 1,90	1,00 - 2,50 - 5 - 10 - 20 - 40 - 80 - 160 - 320 - 640 - 320
	AM2	2,00 - 2,50	
	AM3	4,00 - 4,50	
	AM4	5,00 - 5,50	
	AM5	6,00 - 6,50	
<b>SUB-ÁREA B</b>			
ESTACA	Amostra	Prof. Shelby* (m)	Estágios de carregamento e descarregamento (Kpa)
E45	1,00	0,00 - 1,30	5,00 - 10 - 20 - 40 - 80 - 160 - 330 - 400 - 1100 - 400
	2,00	2,80 - 3,60	
	3,00	3,70 - 4,50	
	4,00	4,70 - 5,40	
E123	1,00	0,00 - 1,30	1,00 - 2,50 - 5 - 10 - 20 - 40 - 80 - 160 - 320 - 640 - 320
	2,00	0,40 - 1,20	
	3,00	1,30 - 2,10	
	4,00	2,20 - 3,00	

Fonte: Bello, 2011.

Com os dados geotécnicos da Tabela 4-14 e os dados dos ensaios de adensamento (Tabela 4-15) foi possível efetuar o processo de avaliação das amostras pelo Método de Futai (2010) para apenas à Estaca 109 da Sub-Área A, pois a literatura não forneceu os índices de vazios das demais amostras das Sub-Áreas avaliadas, o resultado para esta estaca é apresentado na Figura 4-6.

Vale ainda ressaltar que Bello (2010) realizou diversas avaliações de qualidades em outras Sub-Áreas do Complexos de Suape. Os resultados apresentados pela autora se mostraram muito satisfatórios, tendo em vista que a mesma foi uma das primeiras a efetivar o potencial do trabalho de avaliação desenvolvido por Futai (2010).

**Figura 4-17 – Avaliação da qualidade pelo Método de Futai (2010) para a Sub-Área A, Estaca 109.**



Fonte: Autor, 2017.

É de grande conotação que todas as amostras da estaca 109 apresentaram um comportamento muito próximo da curva de qualidade de Futai (2010), tal comportamento de qualidade, não foi atingido por nenhuma das Ilhas de investigação de Baroni (2010). Comparativamente pode-se avaliar que a forma de retirada assim como acondicionamento e transporte para estaca 109 foi de excepcional qualidade, tendo em vista o resultado da avaliação da qualidade da mesma.

#### 4.1.2.3 Recife/PE – (ROCHA, 2015)

Rocha (2015) realizou algumas campanhas de ensaios no bairro Chão de Estrelas, o qual utilizou para retirada de um total de sete amostras indeformadas, o amostrador tipo shelby, tal amostrador era metálico de parede fina e ponta biselada, com diâmetro interno de 10 cm (4”) e comprimento em geral de 80 cm. As amostras foram acondicionadas em câmara úmida, onde permaneceram até a utilização para a realização desses ensaios.

Do total das amostras utilizadas no estudo realizado por Rocha (2015), três são provenientes da Ilha 1 coletadas a profundidades de 2m, 8m e 11m, enquanto as outras duas da Ilha 2, coletadas a profundidades de 2m e 8m.

Seguindo o roteiro já esquematizado anteriormente, a avaliação se seguirá inicialmente pela avaliação de Lunne *et al.* (1997) (Tabela 4-16), e em seguida a de a avaliação pelo Método de Coutinho (2007), os resultados estão representados na e Tabela 4-17.

**Tabela 4-16 – Avaliação da qualidade das amostras indeformadas retiradas por Rocha (2015) pelo Método de Lunne *et al.* (1997).**

<b>ILHA DE INVESTIGAÇÃO</b>	<b>Amostrador</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>OCR</b>	<b><math>\Delta e/e_0</math></b>	<b>Lunne <i>et al.</i> (1997)</b>
		2,00	3,99	0,05	Boa à Regular
<b>ILHA 1</b>	Shelby	8,00	1,44	0,07	Pobre
		11,00	1,37	0,09	Pobre
<b>ILHA 2</b>	Shelby	2,00	1,98	0,14	Muito Pobre
		9,00	1,64	0,07	Pobre

Fonte: Autor, 2017.

**Tabela 4-17 – Avaliação da qualidade das amostras indeformadas retiradas por Rocha (2015) pelo Método de Coutinho (2007).**

<b>ILHA DE INVESTIGAÇÃO</b>	<b>Amostrador</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>OCR</b>	<b><math>\Delta e/e_0</math></b>	<b>Coutinho (2007)</b>
<b>ILHA 1</b>	Shelby	2,00	3,99	0,05	Boa à Regular
		8,00	1,44	0,07	Boa à Regular
		11,00	1,37	0,09	Pobre
<b>ILHA 2</b>	Shelby	2,00	1,98	0,14	Pobre
		9,00	1,64	0,07	Boa à Regular

Fonte: Autor, 2017.

Pelo critério de avaliação de Lunne *et al.* é notório o número de amostras com qualidade insatisfatória em ambas as ilhas de investigação. Mas segundo a avaliação pelo critério de Coutinho (2007) o número de amostras com boa qualidade é maior. Essas análises ficam mais claras quando vemos os dados em percentual, como segue nas Tabelas 4.18 e 4-19.

**Tabela 4-18 – Resumo dos resultados da classificação de qualidade das amostras indeformadas retiradas por Rocha (2015) pelo Método de Lunne *et al.* (1997).**

<b>LOCAL</b>	<b>Classificação Lune <i>et al.</i> (1997)</b>	<b>TOTAL DE AMOSTRAS</b>	<b>PERCENTUAL (%)</b>
<b>ILHA 1</b>	Muito Boa a Excelente	0	0
	Boa a Regular	1,00	33,33
	Pobre	2,00	66,67
	Muito Pobre	0	0
<b>ILHA 2</b>	Muito Boa a Excelente	0	0
	Boa a Regular	0	0
	Pobre	1,00	50,00
	Muito Pobre	1,00	50,00

Fonte: Autor, 2017.

As amostras da Ilha 2 para esse método se mostraram totalmente impróprias para uma caracterização real do solo, tendo em vista a baixa qualidade das amostras.

**Tabela 4-19 – Resumo dos resultados da classificação de qualidade das amostras indeformadas retiradas por Rocha (2015) pelo Método de Coutinho (2007).**

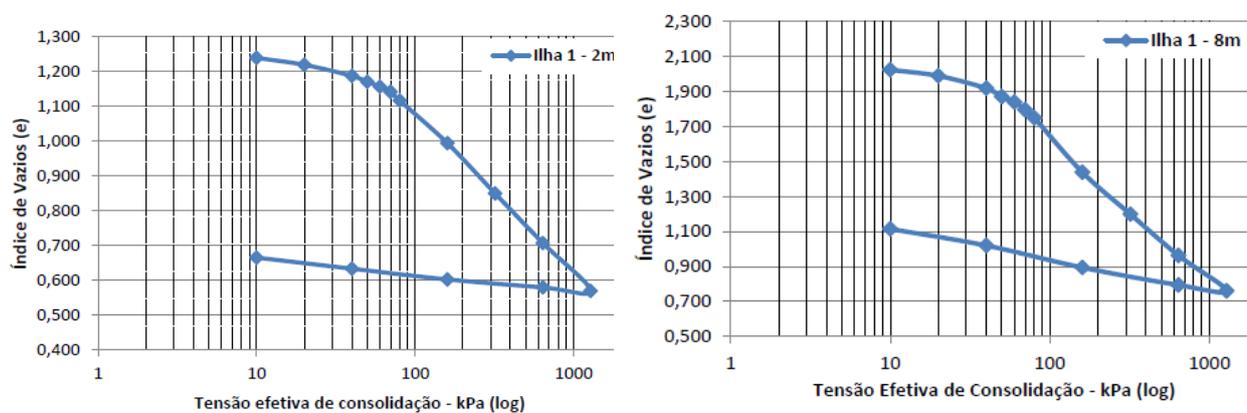
<b>LOCAL</b>	<b>Classificação Coutinho (2007)</b>	<b>TOTAL DE AMOSTRAS</b>	<b>PERCENTUAL (%)</b>
<b>SUB-ÁREA A</b>	Muito Boa a Excelente	0	0
	Boa a Regular	2,00	66,67
	Pobre	1,00	33,33
	Muito Pobre	0	0
<b>SUB-ÁREA B</b>	Muito Boa a Excelente	0	0
	Boa a Regular	1,00	50,00
	Pobre	1,00	50,00
	Muito Pobre	0	0

Fonte: Autor, 2017.

Percentualmente é bem perceptível que o critério de Coutinho (2007) é menos rigoroso em sua avaliação, já que as amostras avaliadas por seu método se apresentaram com melhor qualidade.

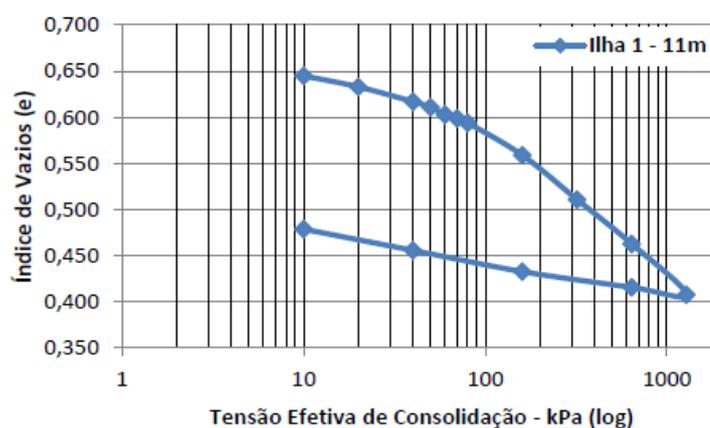
Seguindo o roteiro de avaliação sequenciado no item 4.1.1 deste trabalho, a última avaliação da qualidade para amostras indeformadas de Suape é o Método de Futai (2010), método que necessita de uma série de parâmetros geotécnicos, para avaliação da qualidade das amostras de Rocha (2015), foram retiradas informações das curvas de adensamentos das ilhas investigadas, tais curvas estão apresentadas nas Figuras 4-7, 4-8 e 4-9.

Figura 4-18 – Curvas de adensamento Ilha 1., nas profundidades de 2 m e 8 m



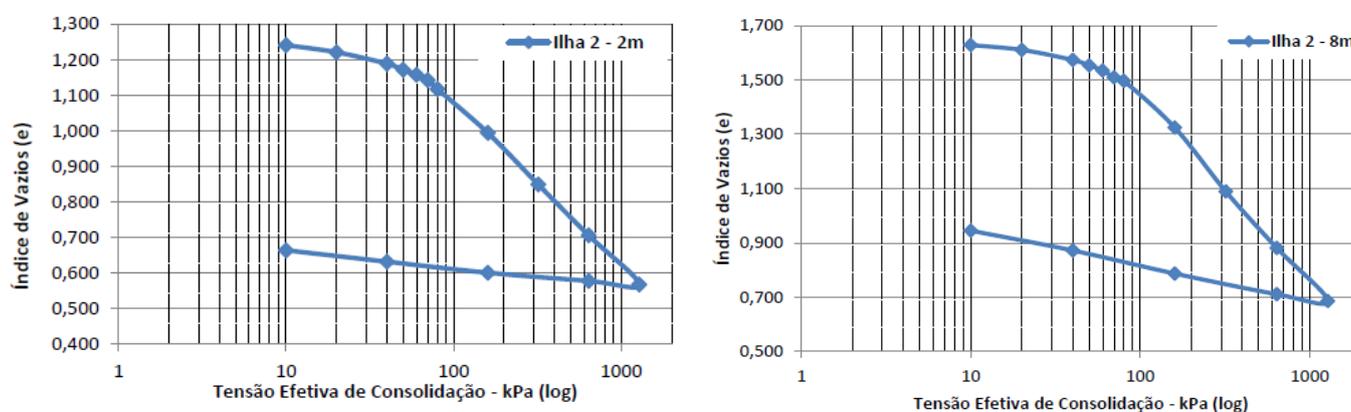
Fonte: Rocha, 2015.

Figura 4-19 – Curvas de adensamento Ilha 1, na profundidade de 11 m.



Fonte: Rocha, 2015.

Figura 4-20 – Curvas de adensamento Ilha 2, nas profundidades de 2 m e 8 m.

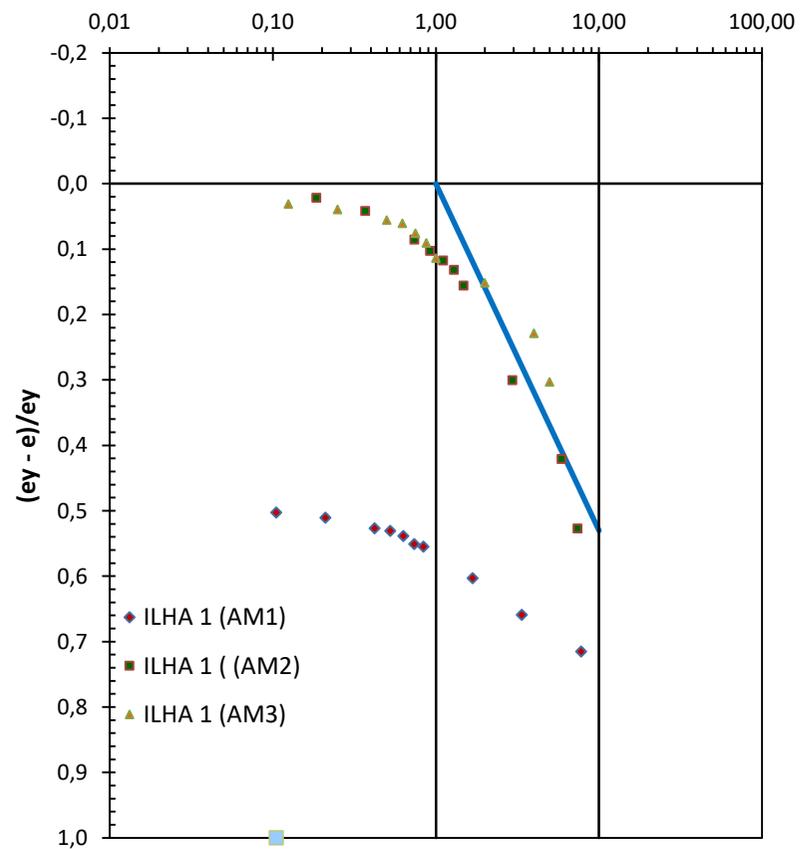
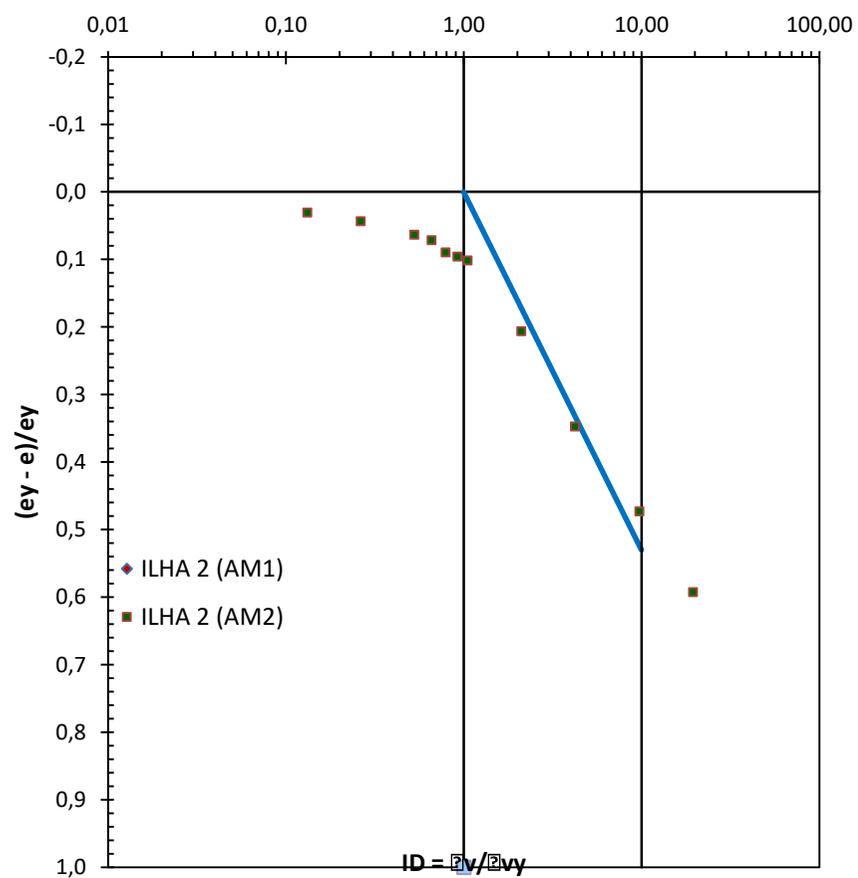


Fonte: Rocha, 2015.

Com os dados geotécnicos e os dados dos ensaios de adensamento apresentados anteriormente, foi possível efetuar o processo de avaliação qualidade das amostras pelo Método de Futai (2010) para as Ilhas 1 e 2, tais resultados estão dispostos na Figura 4-10.

Foi possível novamente notar o comportamento indeterminado da avaliação de Futai (2010) para alguns casos de argilas pré-adensadas, tal comportamento aconteceu para AM1 – Ilha 1. As demais amostras apesar de apresentarem um pouco abaixo da curva de avaliação do autor, apresentam um comportamento de amostras de Boa Qualidade.

Figura 4-21 – Avaliação da qualidade pelo Método de Futai (2010) para a Ilha 1 e 2 de Rocha (2015).



Fonte: Autor, 2017.

Seguindo o mesmo critério utilizado na avaliação comparativa da qualidade de amostras de solos moles da Barra da Tijuca, neste mesmo item, do presente trabalho, temos o resumo da avaliação da qualidade para os três métodos (Tabela 4-9).

**Tabela 4-20 – Resumo da avaliação com os três métodos para amostras da Recife/PE.**

ILHA DE INVESTIGAÇÃO	AMOSTRA	Lunne <i>et al.</i> (1997)	Coutinho (2007)	Futai (2010)
ILHA 1	AM1	Boa Qualidade	Boa Qualidade	Indeterminado
	AM2	Má Qualidade	Boa Qualidade	Boa Qualidade
	AM3	Má Qualidade	Má Qualidade	Boa Qualidade
ILHA 2	AM1	Má Qualidade	Má Qualidade	Boa Qualidade
	AM2	Má Qualidade	Boa Qualidade	Boa Qualidade

**Fonte: Autor, 2017.**

## 4.2 METODOLOGIA DE CORREÇÃO

Este subcapítulo apresenta os métodos de correção utilizados no presente trabalho para execução da correção da tensão de pré-adensamento. Os primeiros tópicos apresentam a forma de correção que cada método utiliza, sequencialmente efetuam-se as correções para cada depósito de investigação.

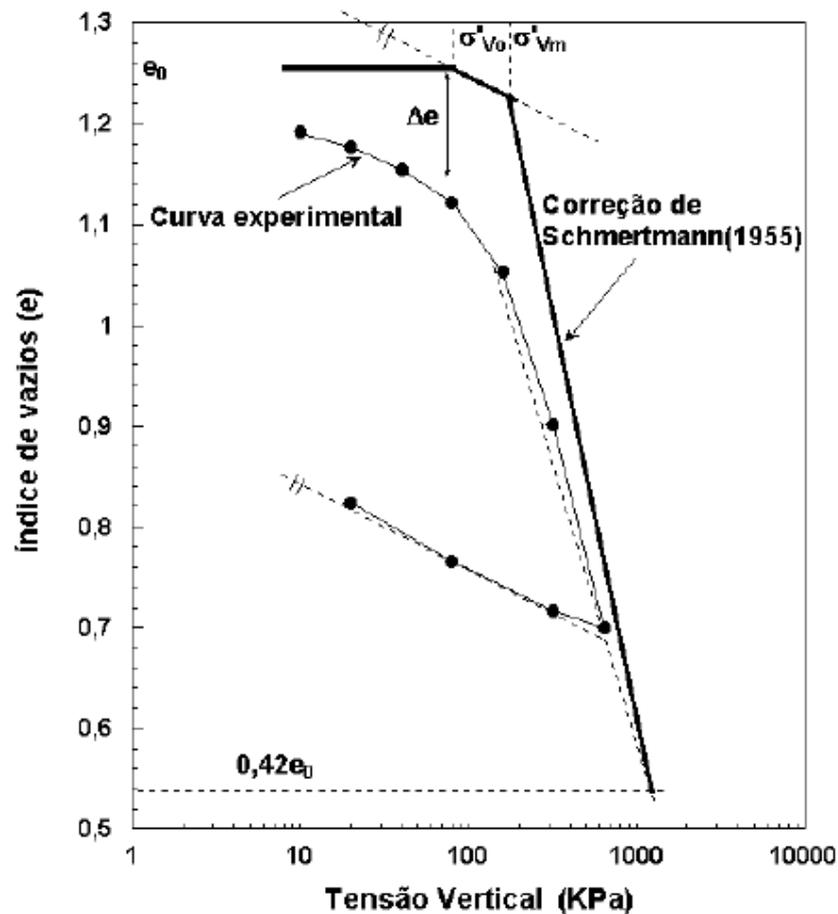
### 4.2.1 Correção De Schmertmann (1955)

Sabe-se que o amolgamento pode influenciar fortemente a tensão de pré-adensamento, diminuindo o seu valor. Schmertmann (1955) propôs a correção da tensão de pré-adensamento de uma maneira interativa, através do método de tentativas e erro, tendo como base a diferença de índice de vazios na curva edométrica, entre a curva corrigida e a curva de laboratório para diversos valores de tensão de pré-adensamento arbitradas. O ponto de simetria da curva de diferença de índice de vazios é a tensão de pré-adensamento supostamente real.

Schmertmann (1955) propôs uma correção da curva edométrica experimental para levar em conta o amolgamento e obter a curva de campo. A Figura 4-11 ilustra esquematicamente este procedimento, que segue as seguintes etapas:

1. A partir do índice de vazios inicial ( $e_0$ ) traçar uma reta horizontal até atingir a tensão vertical efetiva de campo ( $\sigma'_{v0}$ );
2. Traçar uma paralela ao trecho de descarregamento do ensaio passando pelo ponto ( $e_0, \sigma'_{v0}$ );
3. Adotar um valor da tensão de pré-adensamento ( $\sigma'_{vm}$ ) igual ou superior ao obtido no ensaio e marcar este valor na reta paralela da etapa 2;
4. Traçar uma linha reta a partir do ponto marcado na etapa 3 até o ponto da curva ou seu prolongamento correspondente ao índice de vazios igual a 0,42 e 0.
5. Calcular as diferenças entre os índices de vazios da curva experimental e corrigida, plotando os valores em função do  $\log \sigma'_v$ . Se o valor da tensão de pré-adensamento estiver correto o gráfico da diferença será simétrico em relação à  $\sigma'_{vm}$ . Caso contrário adotar outro valor para  $\sigma'_{vm}$  e repetir as etapas 3 a 5.

Figura 4-22 - Procedimento esquemático para correção de Schmertmann.



Fonte: Schmertmann, 1955.

#### 4.2.2 Correção De Futai (2010, *Apud* Bello, 2011)

O Método de correção da tensão de pré-adensamento proposto por Futai (2010, *apud* Bello, 2011) baseou-se na análise das faixas de valores da qualidade de amostras das literaturas, como foi ilustrado anteriormente na Figura 4-2. Com os dados de ensaios em argilas de diferentes localidades brasileiras e coletados na literatura internacional, o autor aplicou-se a normalização das curvas de compressão edométrica.

Na proposta, foram considerados 2 trechos:  $ID > 1$  (normalmente adensada), e  $ID < 1$  (tensão vertical final maior que a tensão de escoamento). A curva de compressão normalizada, para  $ID > 1$ , pode ser apresentada por uma função logarítmica (Equação 4.6).

$$e = e_y * (1 - \xi * \ln(ID)) \quad (4.6)$$

No trecho com  $ID < 1$ , a relação é linear, e o índice de vazios de campo é usado como referência (Equação 4.7).

$$\frac{e_y - e}{e_y} = \chi * (ID_o - 1) \quad (4.7)$$

Sendo  $\xi$  o coeficiente de ajuste igual a 0,23, e  $\chi$  o coeficiente angular da reta igual a 0,06.

E assim é possível calcular o índice de vazios referente ao escoamento (Equação 4.8).

$$e_y = \frac{e_o}{1,06 - (0,06 * ID_o)} \quad (4.8)$$

Onde  $ID_o$  é igual a relação da tensão vertical de campo ( $\sigma'_{vo}$ ) com a tensão de escoamento ( $\sigma'_{vy}$ ).

Este é o sequenciamento da metodologia de correção da tensão de pré-adensamento apresentado por Futai (2010, *apud* Bello, 2011). Bello (2010) foi a pioneira na criação deste método, baseando-se nas análises de Futai (2010).

### 4.2.3 Correção Da Tensão De Pré-Adensamento Das Ilhas Estudadas

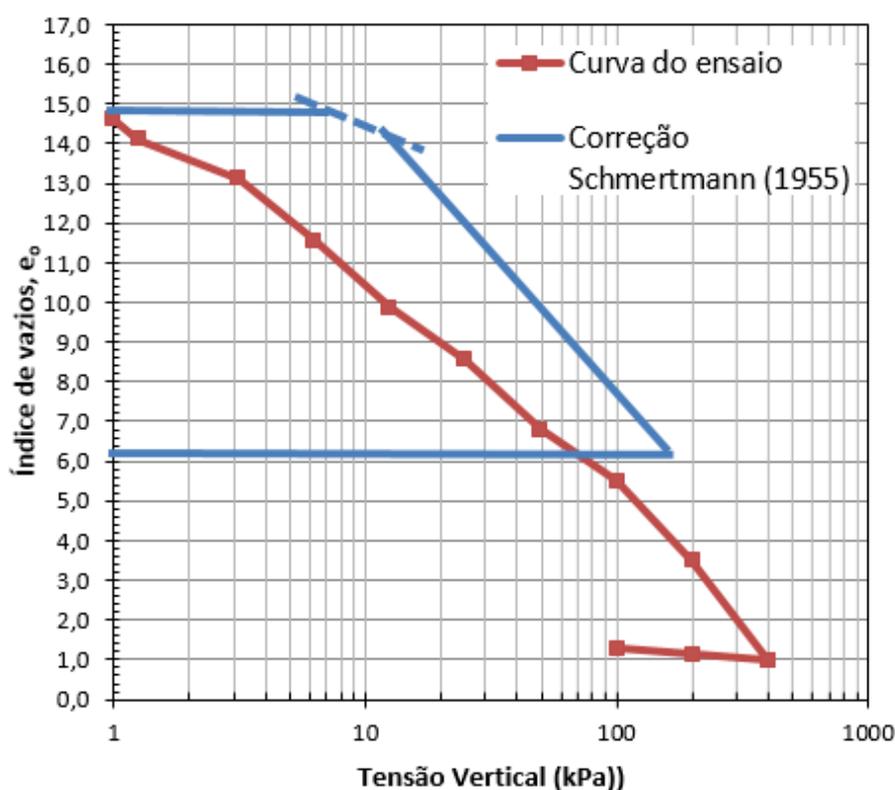
Para execução da correção da tensão de pré-adensamento optou-se por corrigir amostras de Boa Qualidade de Bello (2011) e amostras de Má Qualidade de Baroni (2010), para assim ter uma análise mais ampla do comportamento das correções para diferentes depósitos de argilas. Para as amostras de Rocha (2015) não foram efetuadas correções, pois não haviam dados suficientes para as análises.

#### 4.2.3.1 Barra da Tijuca/RJ – (BARONI, 2010)

As amostras utilizadas para a correção da tensão de pré-adensamento para as argilas da Barra da Tijuca foram as amostras da Ilha Gleba F, amostras AM3 e AM7.

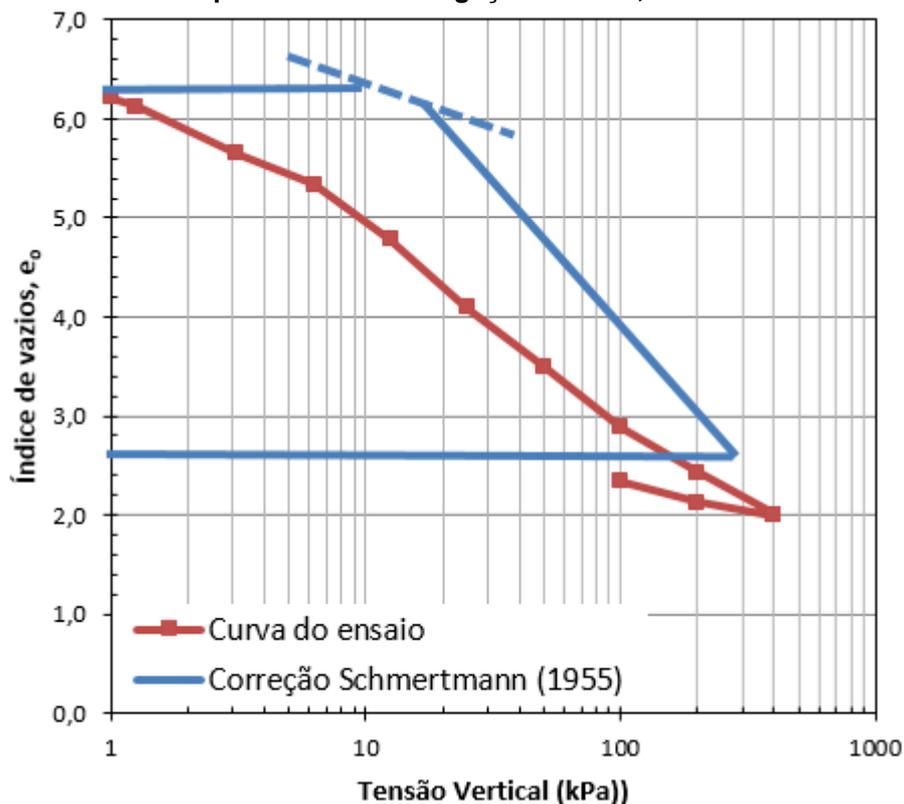
Primeiramente utilizando a proposta de Schmertmann (1995) para correção da tensão de pré-adensamento, sabendo que tal método usa a metodologia da tentativa e erro foram efetuadas diversas tentativas até obter os resultados de correção para a estaca 109, os quais estão apresentados nas Figuras 4-12 e 4-13.

**Figura 4-23 – Curva experimental e curva construída pela proposta de Schmertmann (1955), para Ilha de Investigação Gleba F, AM3.**



Fonte, Autor, 2017.

Figura 4-24 – Curva experimental e curva construída pela proposta de Schmertmann (1955), para Ilha de Investigação Gleba F, AM7.



Fonte, Autor, 2017.

Com as correções, a tensão corrigida para a AM3 teve o valor de aproximadamente 12,5 Kpa. Já para a AM7 o valor foi de 17,8 Kpa, observa-se que os valores são maiores que os iniciais apresentados na Tabela 4-14.

A segunda correção da tensão de pré-adensamento será realizada pelo Método de Futai (2010, *apud* Bello, 2011), o qual já teve seu procedimento esquematizado no item 4.2.2 do presente trabalho. As correções executadas foram para as amostras AM3 e AM7 da ilha de investigação Gleba F. Os resultados estão apresentados na Tabela 4-21.

Tabela 4-21 – Resumo da correção de Futai (2010, *apud* Bello, 2011) para as amostras AM3 e AM7, da ilha de investigação Gleba F.

Correção Futai (2010, <i>apud</i> Bello, 2011)							
GLEBA F	Amostra	IDo	ey	ef	$\frac{(ey-e)}{ey}$	$\sigma'_{vf}$	$\sigma'_{vm}$
	AM3	3,200	16,820	0,98	0,94	1,38	6,67
	AM7	12,000	18,265	0,11	0,99	1,38	16,01

Fonte: Autor, 2017.

Para uma avaliação comparativa dos resultados das correções pelos Métodos de correção de tensão de pré-adensamento propostos por Schmertmann (1997) e Futai (2010, *apud* Bello, 2011, temos os valores corrigidos comparados na presente Tabela 4-22.

**Tabela 4-22 – Comparativo das correções de pré-adensamento pelos Método de Schmertmann (1955) e Futai (2010, *apud* Bello, 2011), para duas amostras da de Gleba F.**

GLEBA F	Amostra	Qualidade			Tensão de Pré-Adensamento, $\sigma'_{vm}$ (kPa)		
		Lunne et al. (1997)	Coutinho (2007)	Futai (2010)	Edométrico	Schmrtmann (1955)	Futai (2010)
	AM3	Muito Pobre	Pobre	Má Qualidade	3,20	12,5	6,666
	AM7	Muito Pobre	Pobre	Má Qualidade	12,00	17,8	16,01

Fonte: Autor, 2017.

Nota-se uma tendência de ambos os métodos em aumentar o valor da tensão de pré-adensamento, tendo vista que as amostras possuem baixa qualidade. Este comportamento é coerente com os resultados encontrados em Oliveira (2002) e Bello (2011).

#### 4.2.3.2 Suape/PE – (BELLO, 2011)

Para a metodologia de Correção do Depósito de Suape foram utilizadas duas amostras (AM1 e AM2) da Sub-Área A, Estaca 109.

Inicialmente utilizando a proposta de Schmertmann (1955) para corrigir a tensão de pré-adensamento, sabendo que tal método usa a metodologia da tentativa e erro foram efetuadas diversas tentativas até obter os resultados de correção para a estaca 109, os quais estão apresentados nas Figuras 4-14 e 4-15.

Figura 4-25 – Curva experimental e curva construída pela proposta de Schmertmann (1955), para estaca 109 da Sub-Área A, para AM1(1,40-1,90).

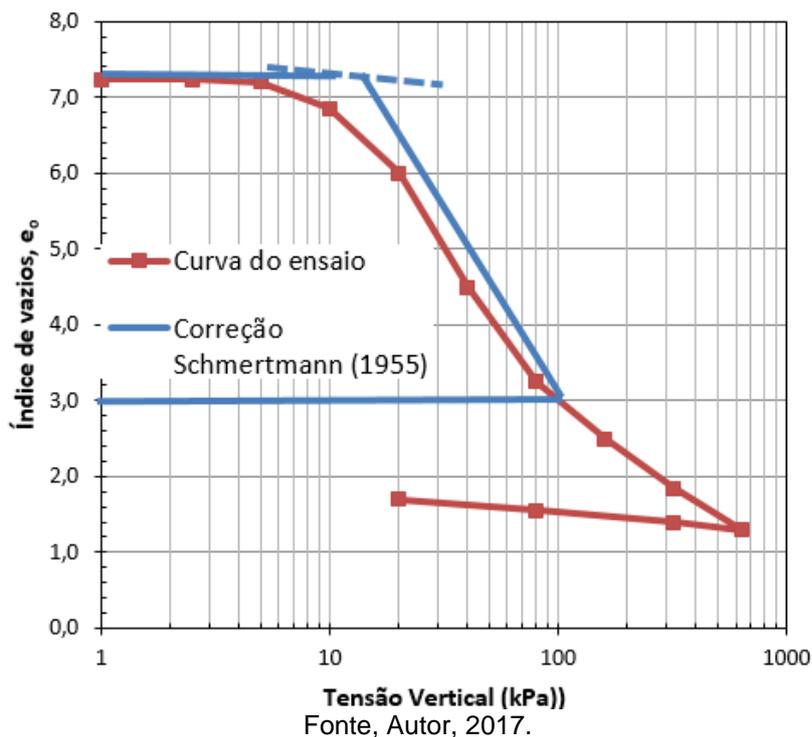
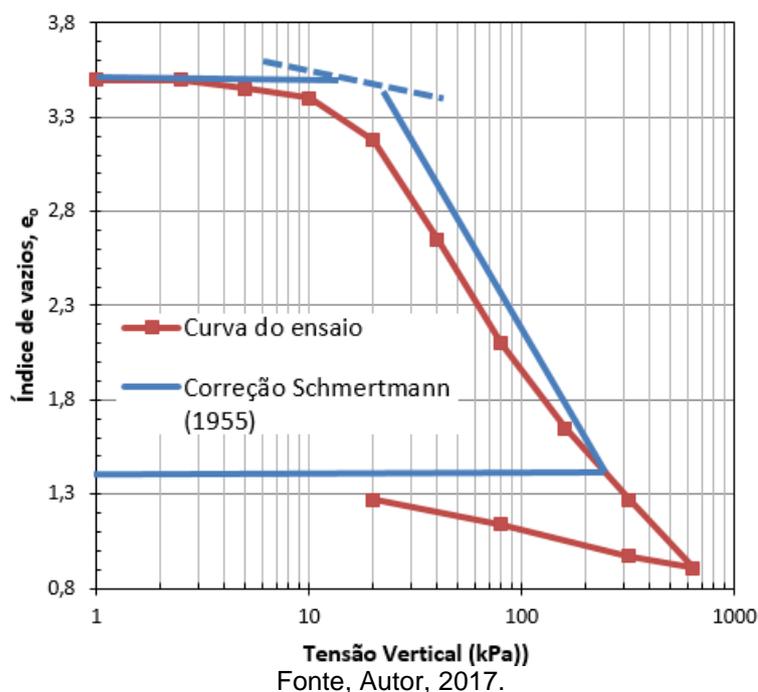


Figura 4-26 – Curva experimental e curva construída pela proposta de Schmertmann (1955), para estaca 109 da Sub-Área A, para AM2 (2,00-2,50).



A tensão corrigida para a AM2 teve o valor de aproximadamente 22,10 Kpa já para a AM2 o valor foi de 17,50 Kpa, observa-se que os valores são maiores que os iniciais apresentados na Tabela 4-14.

A segunda correção da tensão de pré-adensamento será realizada pelo Método de Futai (2010, *apud* Bello, 2011), o qual já teve seu procedimento esquematizado no item 4.2.2 deste trabalho. As correções serão realizadas nas amostras da Estaca 109, da Sub-Área A. Os resultados estão apresentados na Tabela 4-23.

**Tabela 4-23 – Resumo da correção de Futai (2010, *apud* Bello, 2011) para as amostras AM1 e AM2, Estaca 109 da Sub-Área A.**

<b>Correção Futai (2010, <i>apud</i> Bello, 2011)</b>								
	Estaca	Amostra	IDo	ey	ef	(ey-e)/ey	s'vf	$\sigma'_{vm}$
SUB-ÁREA A	109	AM1	0,851	3,469	0,910	0,738	1,486	25,899
		AM2	1,123	7,294	1,300	0,822	1,486	17,968

Fonte: Autor, 2017.

Mantendo o critério de avaliação comparativa dos resultados das correções, adotado para as análises das correções de Baroni (2010), pelos Métodos de correção de tensão de pré-adensamento propostos por Schmertmann (1955) e Futai (2010, *apud* Bello, 2011), temos os valores corrigidos comparados na presente Tabela 4-24.

**Tabela 4-24 – Comparativo das correções de pré-adensamento pelos Método de Schmertmann (1955) e Futai (2010, *apud* Bello, 2011), para duas amostras da Estaca 109, Sub-Área A.**

SUB-ÁREA A	Estaca	Amostra	Qualidade			Tensão de Pré-Adensamento, $\sigma'_{vm}$ (kPa)		
			Lunne <i>et al.</i> (1997)	Coutinho (2007)	Futai (2010)	Edométrico	Schmertmann (1955)	Futai (2010)
A	109	AM1	Boa à Regular	Boa à Regular	Boa	19,00	22,10	25,90
		AM2	Boa à Regular	Boa à Regular	Boa	16,00	17,50	17,97

Fonte: Autor, 2017.

Nota-se uma tendência de ambos os métodos em aumentar o valor da tensão de pré-adensamento. E isto vai de encontro com os resultados de Oliveira (2002) e Bello (2010).

### 4.3 ANÁLISE DE RESULTADOS

Este item finaliza a etapa de análise e discussões dos resultados deste trabalho, fazendo uma avaliação dos resultados de avaliação e correção das amostras indeformadas.

#### 4.3.1 Avaliação De Qualidade De Amostra

Para avaliação da qualidade de amostras da Barra da Tijuca, o método de Lunne *et al* (1997) obteve um total de 55% de amostras de Boa Qualidade e 45% com Má Qualidade. Já para Coutinho (2007) os números foram de 73% de amostras com Boa Qualidade e 27% de Má Qualidade. Por Futai (2010) os resultados foram 59% de Boa Qualidade e 36% de Má Qualidade e 5% tiveram sua avaliação indeterminada, os resultados citados encontram-se na Tabela 4-25.

As amostras de Suape, pelo método de Lunne *et al* (1997) obtiveram um total de 59% de amostras de Boa Qualidade e 41% com Má Qualidade. Já para o critério de avaliação de Coutinho (2007) os números foram de 63% de amostras com Boa Qualidade e 37% de Má Qualidade. Por Futai (2010), só foram realizadas avaliações de da Estaca 109 da Sub-Área A, da Ilha AE-1, as demais análises não foram realizadas para as outras estacas, devido à falta de informações da ilha de investigação, sendo assim não ficaria valorosa nem criteriosa a comparação de apenas parte da avaliação de Futai (2010) com os outros dois métodos.

Nas amostras de Recife/PE, segundo avaliação de Lunne *et al*. (1997) as amostras possuem um total de 20% com Boa Qualidade e 80% com Má Qualidade. Na análise com os critérios de Coutinho (2007), os valores de avaliação foram de 60% de amostras com Boa Qualidade e 40% com Má Qualidade. E por último, a avaliação de Futai (2010), a qual avaliou 80% das amostras como de Boa Qualidade e 20% tiveram sua avaliação considerada indeterminada.

**Tabela 4-25 – Resumo final do percentual da Avaliação de Qualidade de amostras indeformadas de solos moles, para os três depósitos de investigação estudados no presente trabalho.**

DEPÓSITO DE INVESTIGAÇÃO	NÚMERO DE AMOSTRAS INDEFORMADAS	Lune <i>et al.</i> (1997)		Coutinho (2007)		Futai (2010)		
		BOA QUALIDADE	MÁ QUALIDADE	BOA QUALIDADE	MÁ QUALIDADE	BOA QUALIDADE	MÁ QUALIDADE	INDETERMINADO
Barra da Tijuca/RJ - (BARONI, 2010)	22	55%	45%	73%	27%	59%	36%	5%
SUAPE/PE - (BELLO, 2011)	27	59%	41%	63%	37%	-	-	-
Recife/PE - (ROCHA, 2015)	5	20%	80%	60%	40%	80%	-	20%

Fonte: Autor, 2017.

Com estes dados é possível notar uma tendência do Método de Lunne *et al.* (1997) em ter resultados de amostras com boa qualidade inferiores percentualmente comparados aos de resultados de avaliação de Coutinho (2007). Isso ocorre pelo fato que o Método de Coutinho (2007) não possui uma faixa mais ampla de intervalos de análises para os diferentes valores de OCR. Já para avaliação do critério de Futai (2010), ficou claro na análise da Ilha CM II de Baroni (2011) e para AM1 da Ilha 1 de Rocha (2015) que podem ocorrer comportamentos oscilatórios em sua avaliação, e isto ocorre pelo fato de tal avaliação não apresentar tanta precisão quando são avaliadas amostras com valores de ID inferiores a 1. O próprio autor que afirma isto, e os resultados deste trabalho vão de encontro com esta afirmação.

#### 4.3.2 Correção Da Tensão De Pré-Adensamento

Para as correções das amostras de indeformadas da Barra da Tijuca ficou notória a necessidade da correção tendo em vista que eram amostras avaliadas como de baixa qualidade. Os valores da tensão de pré-adensamento após as correções foram suficientemente maiores que os dos ensaios oedométricos.

Já as correções para amostras do depósito de solo mole do complexo de Suape, apresentaram um gradativo aumento das tensões, embora as amostras possuíssem boas avaliações de qualidade pelos métodos já discutidos neste trabalho. Isto evidencia que mesmo amostras de Boa qualidade sofreram os efeitos de amolgamento e que as mesmas também necessitam de correções de seus parâmetros.

Em uma avaliação global entre os dois métodos percebeu-se que os valores de tensão de pré-adensamento corrigidos pelo método de Futai (2010) tendenciaram para valores bem maiores que os de Schmertmann (1955) amostras de Suape, o inverso ocorreu para amostras da Barra da Tijuca.

Avaliando o percentual de aumento da tensão de pré-adensamento (Tabela 4-26) é possível notar que a taxa de aumento é de em média de 125% para ambos os métodos de correção, tal avaliação exclui os resultados obtidos da amostra GL-AM3, que obteve um aumento ainda mais expressivo, isso pode ser explicado pelo seu baixo valor de tensão de pré-adensamento do ensaio edométrico.

**Tabela 4-26 – Relação do percentual da tensão de Pré-Adensamento para as amostras corrigidas pelos métodos de Schmertmann (1955) e Futai (2010, apud, Bello, 2011), para amostras da Barra da Tijuca e Suape/PE.**

DEPÓSITO DE INVESTIGAÇÃO	AMOSTRA	Edométrico - $\sigma'_{vm}$ (kPa)	Schmertmann (1955)		Futai (2010, <i>apud</i> Bello, 2011)	
			$\sigma'_{vm}$ (kPa)	Percentual de aumento da $\sigma'_{vm}$	$\sigma'_{vm}$ (kPa)	Percentual de aumento da $\sigma'_{vm}$
Barra da Tijuca/RJ - (BARONI, 2010)	GL - AM3	3,2	12,50	<b>209,06%</b>	6,67	<b>108,4%</b>
	GL - AM7	12	17,80	<b>48,3%</b>	16,01	<b>33,5%</b>
SUAPE/PE - (BELLO, 2011)	ESTACA 109 - AM1	19	22,10	<b>16,3%</b>	25,90	<b>36,3%</b>
	ESTACA 109 - AM2	16	17,50	<b>9,4%</b>	17,97	<b>12,3%</b>

Fonte: Autor, 2017.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

O presente capítulo traz inicialmente as conclusões a respeito dos resultados das avaliações de qualidade de amostras indeformadas de solos moles e das correções da tensão de pré-adensamento das amostras. Após as conclusões, são feitas algumas sugestões para futuras pesquisas.

### 5.1 CONCLUSÕES

O entendimento do comportamento de solos moles é de significativa relevância para dar suporte a projetos geotécnicos. Tais informações podem prevenir e/ou evitar ocorrência de acidentes, otimizar tempo e custos de projetos de engenharia. Ciente de tais aspectos, fica evidente a aplicabilidade de estudos sobre solos moles, e isto se faz suficiente quando é notável a sua ocorrência e geração de problemas.

Quanto as avaliações de qualidade, para o depósito da Barra da Tijuca cerca de 45%, 27% e 59% das amostras foram classificadas como de má qualidade pelos métodos de Lunne *et al.* (1997), Coutinho (2007) e Futai (2010), respectivamente. No depósito de Suape, 41% e 37% das amostras foram classificadas como de má qualidade pelos métodos de Lunne *et al.* (1997) e Coutinho (2007), por Futai (2010, *apud* Bello, 2011), os resultados não foram realizados para todas as amostras devido à falta de informações, sendo assim não ficaria significativa uma comparação para os estudos do depósito de argila mole de Suape. Na avaliação das amostras de Rocha (2015), cerca de 80%, 40% e 0% das amostras foram classificadas como de má qualidade pelos métodos de Lunne *et al.* (1997), Coutinho (2007) e Futai (2010), respectivamente

Pelos resultados apresentados, pode-se concluir que é necessária a avaliação de amostras indeformadas de solos moles, tendo vista uma grande quantidade de amostras que apresentaram qualidade insatisfatória. A má qualidade dessas amostras pode ser explicada pelo processo de amolgamento na retirada das mesmas no campo, pois, este processo pondera principalmente uma reestruturação das amostras, e nesse rearranjo, uma modificação de seus índices de vazios, tal alteração gera o mascaramento da tensão de pré-adensamento.

Analisando os métodos de correção da tensão de pré-adensamento, conclui-se que os mesmos se mostraram eficazes. Pois, houveram aumentos bastante

relevantes nos valores das tensões de pré-adensamento das amostras de má qualidade e também nas amostras de boa qualidade, reverberando assim, a necessidade de aplicação dos métodos de correção, independentemente de sua classificação de qualidade.

Os resultados apresentados foram satisfatórios, confirmando a necessidade da avaliação da qualidade de amostras indeformadas de solos moles, e da correção dos valores dos parâmetros de compressibilidade, em especial o da tensão de pré-adensamento, os quais são obtidos em ensaios de laboratório. Assim, as amostras de qualidade não satisfatória podem ser utilizadas em projetos, desde que sejam corrigidos pelos métodos apresentados neste trabalho.

## 5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Como sugestão para futuros trabalhos, podem-se apresentar as seguintes proposições:

- Agrupar informações de diversas curvas edométricas das literaturas com  $ID < 1$  e avaliadas como de boa qualidade pelos métodos de Coutinho (2007) e Lunne *et al.* (1997) e com elas expandir o critério de avaliação de Futai (2010) para esta situação, tendo vista a ainda defasagem do estudo para tal caso.
- Estudar as faixas de avaliação de Coutinho (2007) e Lunne *et al.* (1997) as quais não abrangem  $OCR < 1$  e  $OCR > 4$ .
- Criar critérios de avaliação baseados nas técnicas de retirada de amostra assim como relacionar o grau de amolgamento ao tipo de amostrador.
- Realizar a correção com outros métodos, como o da Construção de Família de Curvas Edométricas de Oliveira (2002) e a Correção de Coutinho (2007).
- Testar as metodologias de correção e avaliação para solos não saturados.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M.S.S., SANTA MARIA, P.E.L., MARTINS, I.S.M., SPOTTI, A.P., COELHO, L.B.M. – **Consolidation of a very Soft Clay with Vertical Drains** – Géotechnique 50, No.6: 633-643, 2000.
- ALMEIDA, M.S.S., MARQUES, M.E.S., & SPOTTI, A.P. **Two Case Histories of Vertical Drains in Very Soft Clays**. Elsevier Geo-Engineering Book Series, vol. 3, Ground Improvement-Case Histories. Editors: B. Indraratna, J. Chu, & J.A. Hudson, pp. 145–157, 2005.
- ALMEIDA, M.S.S., Marques, M.E.S., Alves, F., & Lima B. T. **Failure of a reinforced embankment on an extremely very soft peat clay layer**. 4th European Geosynthetics Conference, Edinburgh, 2008.
- BARONI, M. **Investigação geotécnica em argilas orgânicas muito compressíveis em depósitos da Barra da Tijuca**. Tese de Doutorado. Master's Dissertation, COPPE, Federal University of Rio de Janeiro, 2010.
- BELLO, M.I.M. **Parâmetros Geotécnicos e Banco de Dados de Argilas Moles: o Caso de Suape**. Tese de Doutorado. D. Sc. Thesis. Federal University of Pernambuco, 2011.
- BELLO, M.I.M. **Estudo de Ruptura em Aterros sobre Solos Moles: Aterro do Galpão Localizado na BR 101 – PE**. Tese de Mestrado – UFPE, Pernambuco, 2004.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações – Fundamentos**. 6° Ed. Volume 1. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro, 1988.
- CLAYTON, C.R.I., SIMONS, N.E., MATTEWS, M.C. – **Site Investigation** – Granada Publishing – Great Britain, 1982.
- COUTINHO, R. Q., **Características de Adensamento com Drenagem Radial de uma Argila Mole da Baixada Fluminense**, Tese MSc, COPPE-UFRJ, 1976.
- COUTINHO, R.Q e BELLO, M.I.M, Capítulo 3 – **Aterro sobre Solo Mole, Geotecnia no Nordeste**, Gusmão.A.D., Gusmão Filho, J.A., Oliveira, J.T.R., Maia, G.B. (Org.), editora UFPE, Recife, Pernambuco, 2005.
- COUTINHO, R. Q. **Characterization and engineering properties**. The Second International Workshop on Characterization e Engineering Properties of Natural Soils. Editors Tan, Phoon, High & Leroueil. Singapore, pp. 2049-2100, 2007.
- CUNHA, R. P. & LAERDA, W. A. **Analysis of a sanitary-embankment rupture over the Rio de Janeiro soft soil deposit**. Canadian Geotechnical Journal, v.28, p. 92-102, 1991.
- DE TORITAMA, PLANO DIRETOR. **Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco**. CONDEPE/FIDEM. Recife, 2006.
- FERREIRA, S. R. M., **Compressibilidade de uma Argila Orgânica do Recife**, Tese MSc, COPPEUFRJ, 1982.

FERREIRA, S. R. M, COUTINHO, R. Q., **Quantificação do Efeito do Amolgamento nas Características de Compressibilidade de Argila Mole** – Rio de Janeiro e Recife, Simpósio de Depósitos Quaternários, 1982.

FUTAI, M. M., **Utilização de conceitos teóricos e práticos na avaliação do comportamento de algumas argilas do Rio de Janeiro**, Seminário, COPPE-UFRJ, 1999.

FUTAI, M. M., **Estudo teórico-experimental de solos tropicais não-saturados: aplicação ao mecanismo de voçorocamento**, Tese de Doutorado, COPPE-UFRJ, 2002.

FUTAI, M.M **Theoretical and Practical Concepts on Behavior Analysis of some Rio de Janeiro Clays**. D.Sc. Seminar, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2010, 133 p.

HALLAL, R R. **Características de depósitos de argilas moles no estado do Rio Grande do Sul**. 2003.

HIGHT , D. W., BOESE, R., BUTCHER, A . P., CLAYTON, C. R. I. AND SMITH, P. R. – **Disturbance of the Bothkennar Clay Prior to Laboratory Testing – Géotechnique** 42, No. 2, pp. 199-217, 1992.

HVORSLEV, M.J. – **Subsurface Exploration and Sampling of Soils for Civil Engineering Purposes – Waterways Experiment Station** – Vicksburg, Mississipi-USA, 1949.

JAMIOLKOWSKI, M., LADD, C.C., GERMAINE, J.T. E LANCELLOTA, R. – **New developments in field and laboratory testing of soil**, Theme Lecture, 11th ICSMFE, San Francisco, USA, Vol. 1: 57-153,1985.

LACASSE, S., BERRE, T. AND LEFEBVRE, G.– **Block Sampling of Sensitive Clays- International Conference on Soil Mechanics & Foundation Engineering**, ISSMFE, San Francisco, Vol. 2, p. 887-892, 1985.

LADD, C. C. E LAMBE, T.W. - **The strength of undisturbed clay determined from undrained tests**, ASTM, Symposium on Laboratory Shear Testing of Soils, STP 361: 342-371, 1963.

LA ROCHELLE, P., Sarrailh,J., Tavenas, F., Roy, M., and Leroueil, S. (1981) – **Causes of Sampling Disturbance and Design of a new Sampler for Sensitive Soils** – Canadian Geotechnical Journal, 18(1): 52-66, 1981.

LEFEBVRE, G. E POULIN, C. – **A New Method of Sampling in Sensitive Clay** – Canadian Geotechnical Journal, Vol. 16, pp. 226-233, 1979.

LIMA FILHO, M. **Mapa geológico das folhas Ipojuca/ Ponta da Gamboá e Sirinhaém, escala 1:25000**. Recife: LAGES, 53p, 1996.

LINS, A. H. P. & LACERDA, W. A. **Compression and Extension Trial Test on Rio de Janeiro Grey Clay**, Botafogo. Solos e Rochas, v.2, pp. 5-29.

LUNNE, T.; BERRE, T. E STRANDVIK, S. **Sample Disturbance Effects in Soft Low Plastic Norwegian Clay, Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics**. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Vol. único, p. 81-102,1997.

MAGNAN, J. P. **Classification Géotechnique des Sols – A Propos de la Classification LPC**. Bulletin de Liaison des LPC, No. 105, Jan. Fev., pp.49-52, 1980.

MARTINS, I. S. M., **Sobre uma Nova Relação Índice de Vazios-Tensão Efetiva em Solos**, Tese MSc, COPPE-UFRJ, 1983.

MOHR, H. A. – **General Report on Sampling Operations** – Boston, Massachussets – USA, 1936.

OLIVEIRA, J. T. R. **A influência da qualidade da amostra no comportamento tensão-deformação-resistência de argilas moles**. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2002.

OLSSON, J. - **Kolvborr, ny borrhyp for upptagning av lerprov (Piston sampler, new sampler for obtaining samples of clay)** - Teknisk Tidskrift, vol. 55:17-20; 1925.

PACHECO SILVA, F., **Shearing Strength of a Soft Clay Deposit Near Rio de Janeiro**, Géotechnique, vol. 3, 300-305, 1953.

PERRIN, J. **Classification des Sols Organiques**. Bulletin de Liaison des LPC, n°69, pp.39-47, 1973.

PFALTZGRAFF, P. A. S. **Carta geotécnica e de suscetibilidade a processos geológicos do Município de Ipojuca/Pernambuco**. Recife: CPRM/FIDEM, 1998.

ROCHA, F. M. A. **Compressibilidade de uma Argila Orgânica Mole do Bairro de Chão de Estrelas no Recife**. Dissertação de Mestrado – UNICAP, Pernambuco, 2015.

SANDRONI, S. S.; SILVA, J. M. & PINHEIRO, J. C. N. **Site Investigation for Undrained Excavations in a Soft Peaty Deposit**. Canadian Geotechnical Journal, v. 21, N°, pp. 36-59, 1984.

SANDRONI, S. S. - **Amostragem indeformada em argilas moles** - 1o. Simpósio da ABMS-NE - Prospecção do subsolo – Recife: pp. 81-106, 1977.

SCHMERTMANN, J.H. – **The Undisturbed Consolidation Behaviour of Clay** – Transactions ASCE – Vol. 120: 1201-1227, 1955.

SKEMPTON, A.W. E SOWA, V.A. (1963) - **The behaviour of saturated clays during sampling and testing** - Géotechnique, Vol. 13, No. 4, pp: 269-290;

SOARES, J. M. D. **ESTUDO DO COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO DO DEP~ SITO DE ARGILA MOLE DA GRANDE PORTO ALEGRE**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

VILELA, T. F. **Determinação de Parâmetros de Resistência, Creep e Tensão de Relaxamento de uma Argila Mole do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado, COPPE/RJ, Rio de Janeiro, 206 pp, 1976.