

Parâmetros Físicos e de Compressibilidade de um Depósito de Solo Mole Localizado em Macaé-RJ.

Luisa Muylaert de Menezes Póvoa

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Brasil –
lulumuylaert@hotmail.com

Pedro Nolasco Castro Nascimento

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Brasil –
pedro_1nascimento@hotmail.com

Paulo César de Almeida Maia

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Brasil –
maia@uenf.br

RESUMO: Ao longo de todo o litoral brasileiro é comum existir solos moles encontrados em depósitos sedimentares formados no período do quaternário de alta compressibilidade, baixa permeabilidade, alto teor de matéria orgânica e pouca resistência a penetração. No Norte Fluminense particularmente na Cidade de Macaé, Rio de Janeiro, encontra-se um extenso depósito e que por conta principalmente do desenvolvimento da indústria do petróleo e gás, há a necessidade de novas construções, provocando a utilização dessas áreas. Além disso, em Macaé são escassas as informações sobre características físicas e de compressibilidade. Desse modo, o objetivo do trabalho é apresentar características física e de compressibilidade do solo mole do quaternário na área de baixada localizado em Macaé, enquadrando os resultados obtidos no presente trabalho através de correlações empíricas com os resultados provenientes da experiência dos outros autores nos solos moles. Para isso pretende-se fazer a caracterização geotécnica através de ensaios de laboratório para obter os parâmetros mais relevantes do material. O programa experimental compreendeu em ensaios de caracterização completa, ensaios de adensamento convencionais, e com medida de creep. Os ensaios de caracterização revelaram um material com limite de liquidez, próximo ao teor de umidade natural, o índice de atividade de Skempton avaliou as amostras analisadas como ativa e a densidade relativa dos grãos da argila apresentou um valor médio de 2,6. Os ensaios de adensamento indicaram comportamentos similares para as diferentes profundidades e os índices de compressão e de recompressão da ordem de 3 e 0,2 respectivamente. Comparando por meio de correlações os resultados obtidos com os outros solos moles percebe-se que as características do depósito são similares com os solos moles ao longo do litoral brasileiro especialmente no Estado do Rio de Janeiro.

PALAVRAS CHAVES: Caracterização, Solo Mole, Correlações.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo de todo o litoral brasileiro é comum existir solos moles encontrados em depósitos sedimentares formados no período do quaternário de alta compressibilidade, baixa permeabilidade, alto teor de matéria orgânica, baixa capacidade de carga e pouca resistência a penetração.

No Brasil diversos estudos a respeito desses solos moles têm sido feitos ao longo dos últimos 50 anos em cidades como Santos, Rio de Janeiro, Porto Alegre, Recife e Belém que contribuíram para o desenvolvimento de um banco de dados relacionado à caracterização geotécnica desses depósitos.

No Norte Fluminense particularmente na Cidade de Macaé, Rio de Janeiro, encontra-se

um extenso depósito e que por conta principalmente do desenvolvimento da indústria do petróleo e gás, há a necessidade de novas construções, provocando a utilização dessas áreas. Além disso, em Macaé são escassas as informações sobre características físicas, de compressibilidade e história de tensões. Em virtude dessa falta de conhecimento que esses depósitos apresentam é comum identificar patologias nas construções nessa região.

O objetivo da pesquisa é apresentar características físicas e de compressibilidade do solo mole do Quaternário na área de baixada localizado em Macaé, enquadrando os resultados obtidos no presente trabalho através de correlações empíricas com os resultados provenientes da experiência de outros autores nos solos moles.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é o depósito sedimentar da região de baixada localizada no Norte Fluminense, no Município de Macaé, Rio de Janeiro, Figura 1.



Figura 1. Localização geográfica da área estudada

A região costeira em que se ergueu Macaé está intensamente urbanizada. O fluxo de veículos provoca grandes congestionamentos além das questões ambientais geradas pela falta de saneamento básico, de coleta de lixo e de esgoto. Com esta saturação urbana a tendência é a expansão da cidade em direção ao interior, ocupando os depósitos de solo mole.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Os ensaios de campo compreenderam em 6 sondagens a percussão e o programa

experimental de laboratório compreendeu em ensaios de caracterização completa e ensaios de adensamento convencionais e com medida de creep.

Para a realização da campanha de ensaios de laboratório foram retiradas amostras indeformadas com amostrador tipo Shelby da camada de solo mole em diferentes profundidades.

As amostras foram preparadas e ensaiadas conforme recomendações das Normas Técnicas Brasileiras. Para a determinação dos limites de consistência foram utilizadas amostras em seu estado natural, pois segundo Bjerrum (1973) a secagem do material afeta as características de plasticidade da argila.

Os ensaios de adensamento foram executados no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Norte Fluminense nas prensas da marca Wykeham Farrance.

4 CARACTERIZAÇÃO DAS CAMADAS DE SOLOS COMPRESSÍVEIS

O depósito de solo mole possui a superfície do terreno praticamente plana e espessuras da camada compressível entre 0 e 9 metros. Há uma camada inicial com aproximadamente 1,5 metros de espessura, que sofre intensamente a variação natural do nível d'água do local. O nível d'água coincide praticamente com o nível do terreno.

A análise granulométrica revelou tratar-se de um solo sem partículas de pedregulhos e com partículas predominantes finas (Tabela 1). E os pontos ensaiados possuem solos granulometricamente semelhantes. Os resultados dos Limites de Liquidez, Limite de Plasticidade, Índice de Plasticidade e o Índice de atividade de Skempton estão apresentados na Tabela 2.

Verifica-se que o índice de atividade de Skempton classifica todas as profundidades analisadas como ativas, com exceção da camada superficial que foi classificado como atividade normal.

Tabela 1 - Resumo da análise granulométrica

Profundidade (m)	Areia			Silte	Argila
	Grossa	Média	Fina		
0,15 a 0,75	-	0,1	0,8	37,7	61,4
1,0 a 1,6	0,2	0,4	1	23,1	75,3
1,3 a 1,9	0,5	0,9	1	17,5	80,1
1,5 a 2,1	0,3	0,8	1,3	18,5	79,1
2,1 a 2,70	0,1	0,5	0,9	28,6	69,9

Tabela 2 - Limites de Atterberg e atividade do solo

Profundidade (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IA
0,15 – 0,75	102,5	44,3	58,2	0,95
1,0 - 1,6	194	78,4	115,6	1,54
1,3 - 1,9	192,9	56,8	136,1	1,66
1,5 – 2,1	191,4	62,3	129,1	1,63
2,1 - 2,70	165,1	60,2	105	1,5

Os índices físicos foram determinados em diferentes profundidades e encontram-se resumidos na Tabela 3.

A densidade relativa dos grãos (G_s) do depósito sedimentar varia de 2,56 a 2,62. Dessa forma, apresenta um pequeno aumento com a profundidade, evidenciando assim que não se tem uma variação mineralógica ao longo do perfil.

A camada superficial apresenta uma umidade natural de 80,8% e a umidade natural do depósito sedimentar varia de 187,7% a 217,7%. Verifica-se uma umidade menor na profundidade de 0,15 a 0,75 metros influenciado pela variação natural do nível d'água do local.

O peso específico natural se apresenta aproximadamente igual a 12,6 kN/m³. E a amostra da camada mais superficial apresenta um peso específico acima da faixa apresentada para as demais profundidades, pelo mesmo motivo que a umidade é inferior.

O índice de vazios na camada superficial apresentou um valor igual a 2,07 e nas demais profundidades variou de 4,8 a 5,7. Percebe-se que é um depósito compressível.

Tabela 3 - Índices físicos do depósito sedimentar de solo mole

Profundidade (m)	G_s	W_n (%)	γ (kN/m ³)	e_0
0,15 – 0,75	2,56	80,8	14,9	2,07
1,0 - 1,6	2,56	187,68	12,62	4,84
1,3 - 1,9	2,56	212,47	12,48	5,41
1,5 – 2,1	2,6	189,95	12,74	4,83
2,1 - 2,70	2,62	217,7	12,5	5,7

5 COMPRESSIBILIDADE ADENSAMENTO

E

Foram realizados 7 ensaios de adensamento edométrico incremental de dois tipos: convencional (AEI – 1, AEI – 2, AEI – 3, AEI – 4 e AEI - 5); e com medida de compressão secundária (AEI -6 e AEI – 7).

Os ensaios do tipo convencional cada estágio de carregamento permaneceu por um período de 24 horas e, nos descarregamentos, até a estabilização das leituras. Os ensaios de adensamento com medida de creep se difere do convencional apenas pelo fato que os estágios de carregamento foram de 72 horas (AEI -6 e AEI – 7).

A Figura 2 apresenta as curvas de adensamento das 7 amostras ensaiadas. Observa-se que uma tendência bem próxima de comportamento. Para a profundidade de 2,1 a 2,7 metros foram realizados 2 ensaios convencionais (AEI-3, AEI-4) e um ensaio com medida de creep (AEI-7), dessa maneira é possível observar (Figura 2) que a amostra tem uma tendência de diminuir os índices de vazios se os estágios de carregamento forem maiores.

Adicionalmente, observa-se que as curvas se apresentam em formato “S” que segundo Coutinho (1976) é característica de amostras de boa qualidade

A Tabela 4 apresenta um resumo de alguns parâmetros obtidos dos ensaios edométricos, sendo C_s o índice de recompressão e C_c o índice de compressão.

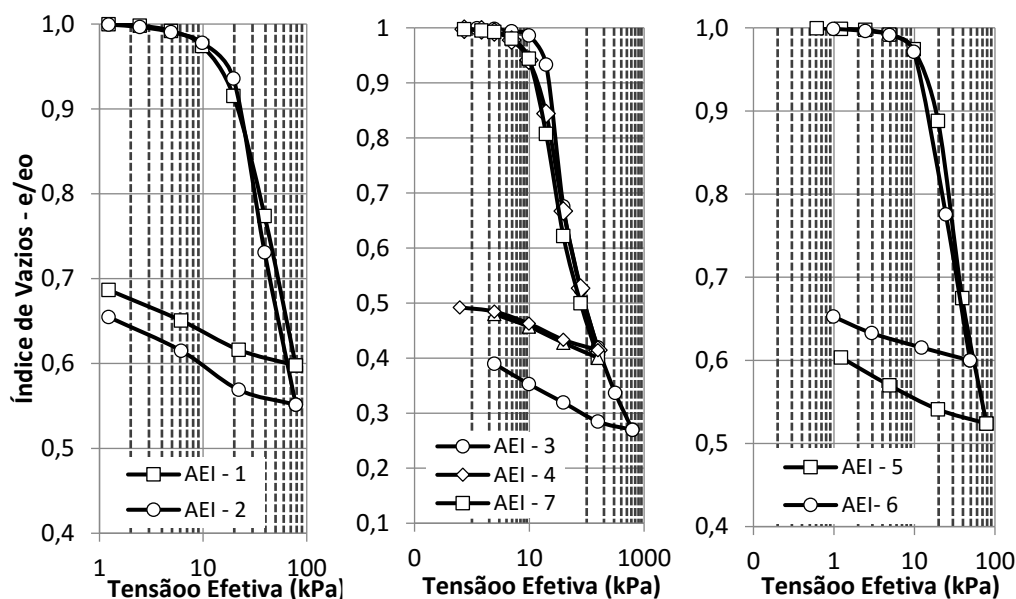


Figura 2. Comparação das curvas Tensão Efetiva x Índices de Vazios

Tabela 4 - Resumo dos parâmetros de compressibilidade dos ensaios de adensamento unidimensional

Ensaio	Prof. (m)	e_0	C_s	C_c	$CR = \frac{C_c}{1 + e_0}$
AEI - 1	1,0 - 1,6	4,8	0,2	2,55	0,44
AEI - 2	1,5 - 2,1	4,8	0,3	3,09	0,53
AEI - 3	2,1 - 2,7	5,7	0,3	3,22	0,48
AEI - 4	2,1 - 2,7	5,7	0,2	2,40	0,36
AEI - 5	1,3 - 1,9	4,9	0,2	2,90	0,49
AEI - 6	1,3 - 1,9	5,4	0,2	3,01	0,47
AEI - 7	2,1 - 2,7	5,8	0,2	2,89	0,42

Além disso, foi verificada a qualidade dos corpos de prova apenas para os ensaios de adensamento com estágios de carregamento de 24 horas, devido os critérios de classificação considerar o valor do OCR, parâmetro este que depende da tensão de pré-adensamento, que por sua vez é influenciada pelo tempo de carregamento. Os critérios utilizados foram propostos por Lunne et al (1997), Oliveira (2002) e Andrade (2009). A classificação quanto à qualidade dos corpos de prova está apresentada na Tabela 5. Verifica-se que as amostras coletadas não apresentam sinais de amolgamento.

Tabela 5 - Classificação da qualidade dos corpos de prova para os ensaios de adensamento

Ensaio	e_0	e_{v0}	$\frac{\Delta e}{e_0}$	Lunne et al (1997)	Oliveira (2002)	Andrade (2009)
AEI - 1	4,84	4,71	0,03	Muito Boa a Excelente	Muito Boa a Excelente	Muito Boa a Excelente
AEI - 2	4,83	4,72	0,02	Muito Boa a Excelente	Muito Boa a Excelente	Muito Boa a Excelente
AEI - 3	5,65	5,58	0,01	Muito Boa a Excelente	Muito Boa a Excelente	Muito Boa a Excelente
AEI - 4	5,13	4,83	0,06	Boa a regular	Boa a regular	Muito Boa a Boa
AEI - 5	4,93	4,81	0,03	Muito Boa a Excelente	Muito Boa a Excelente	Muito Boa a Excelente

5 CORRELAÇÕES

Uma forma consagrada de enquadrar os parâmetros do solo estudado com outros relatados na literatura é através de correlações de natureza semi-empírica. Pode-se correlacionar coeficiente de compressibilidade (C_c) e umidade natural como apresentado na Figura 3. A Figura 3 exibe-se as correlações propostas para solos brasileiros como no Rio de Janeiro (Futai, 1999) e Recife (Coutinho, 2001). Verifica-se que as linhas de tendências propostas por Futai (1999) e Hallal (2003) concordam bem, porém a proposta por Coutinho (2001) apresenta uma dispersão.

Percebe-se que a região estudada apresenta uma boa aproximação dos dados experimentais em relação a linha de tendência do Rio de Janeiro e as demais regiões.

Outra relação de dados é a variação do coeficiente de compressibilidade em função do índice de vazios (e_0), mostrada na Figura 4. Verifica-se que as linhas de tendências do Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e Recife e os dados das regiões referenciadas apresentam comportamentos bem próximos. Para a região de Juturnaiba (RJ) observa-se a tendência de elevados valores de coeficiente de compressibilidade e baixos valores de e_0 , com isso tem-se uma tendência a ter uma correlação com coeficiente angular maior que das demais regiões. Para Macaé os dados apresentam pouca dispersão em relação a outros depósitos.

Finalmente, exibe-se na Figura 5 a correlação do coeficiente de compressibilidade com o limite de liquidez. Na Figura 5 foram incluídas linhas de tendências de outros trabalhos como: Santos (Cazzolino, 1961), Sarapu (Ortigão), Grande Rio (Costa Filho et al, 1985) e Vitória (Castello et al, 1986). Verifica-se novamente uma grande aproximação dos dados apresentados em relação a outros depósitos.

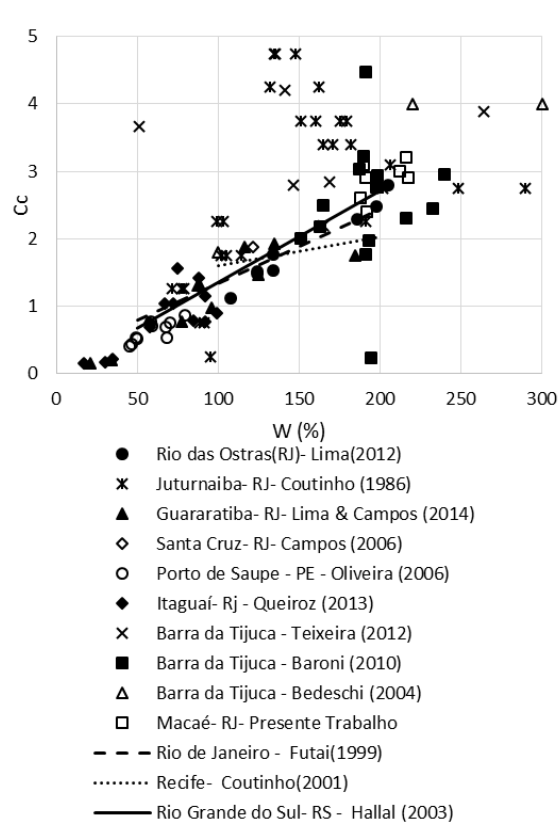


Figura 3. Correlação C_c x w para depósitos de solo mole

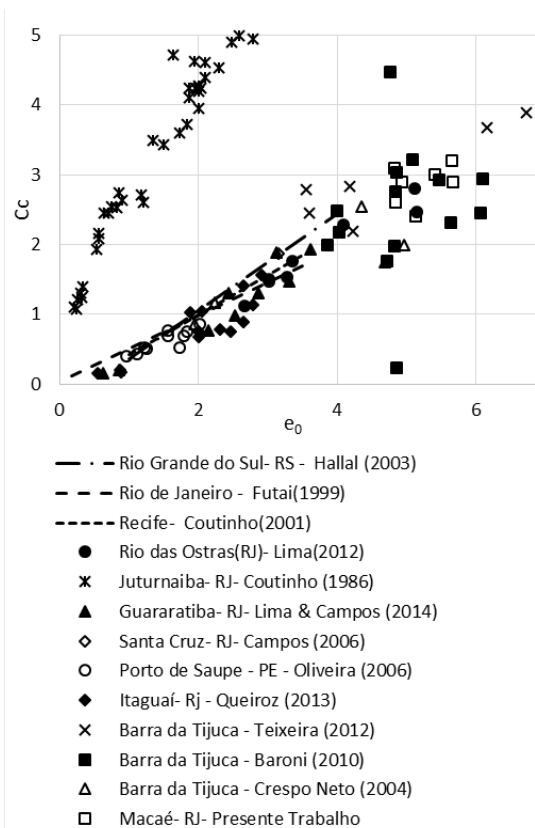


Figura 4. Correlação C_c x e_0 para depósitos de solo mole

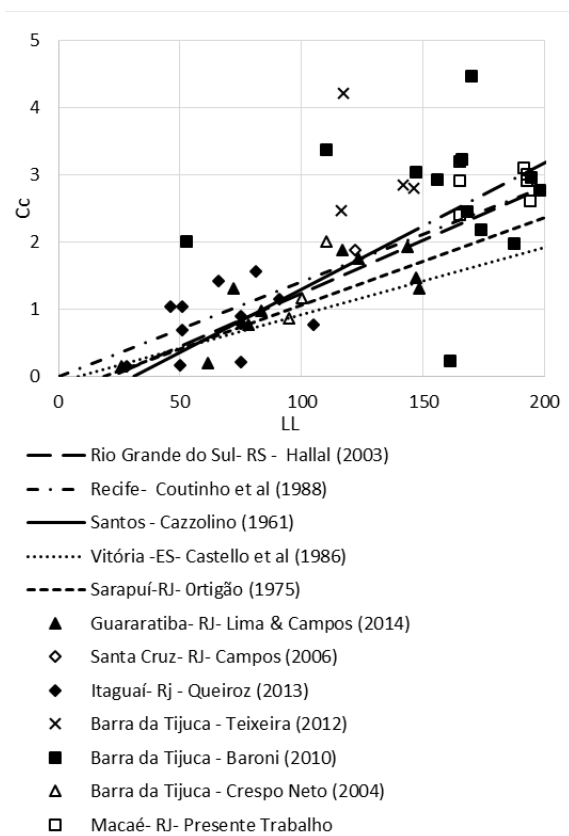


Figura 5. Correlação C_c x LL para depósitos de solo mole

5 CONCLUSÕES

São apresentados abaixo as principais conclusões após a realização de uma campanha de ensaios de laboratório.

Os resultados dos ensaios de condutividade elétrica e pH, em água (H_2O) e em solução salina (KCL), indicaram um solo ácido.

A análise granulométrica revelou tratar-se de um solo sem partículas de pedregulhos e com partículas predominantes finas. E os pontos ensaiados possuem solos granulometricamente semelhantes. O limite de liquidez encontrado foi da ordem de 170% e índice de plasticidade da ordem de 110%. O índice de atividade de Skempton indicou argilas de alta atividade com exceção da camada superficial.

Os ensaios de adensamento edométricos convencionais indicaram comportamentos similares para as diferentes profundidades com índices de compressão e de recompressão da ordem de 3 e 0,2 respectivamente.

Através de correlações de natureza semi-empírica é possível enquadrar os parâmetros do solo estudado com outros relatados na literatura.

Percebe-se que a região estudada apresenta uma boa aproximação dos dados experimentais em relação a linha de tendência do Rio de Janeiro e as demais regiões.

A avaliação da qualidade dos corpos de prova nos ensaios de adensamento oedométrico convencionais indicaram amostras de boa qualidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro dado pela FAPERJ e ao Laboratório de Engenharia Civil da UENF (LECIV).

Referências Bibliográficas

ANDRADE, M. E. S. *Contribuição ao estudo das argilas moles da cidade de Santos*. 2009. Tese de Doutorado. Tese de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

BARONI, M. *Investigação geotécnica em argilas orgânicas muito compressíveis em depósitos da Barra da Tijuca*. 2010. Tese de Doutorado. Master's Dissertation, COPPE, Federal University of Rio de Janeiro.

BEDESCHI, M. V. R. *Recalques em aterro instrumentado construído sobre depósito muito mole com drenos verticais na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro*. 2004. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.

BJERRUM, L. *Problems of soil mechanics and construction on soft clays and structurally unstable soils (collapsible, expansive and others)*. In: Proc. of 8th Int. Conf. on SMFE. 1973. p. 111-159.

CAMPOS, A. C. S. L. *Características de compressibilidade de uma argila mole da Zona Industrial de Santa Cruz, Rio de Janeiro*. 2006. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil/Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio.

CASTELLO, R. R.; POLIDO, U. F. *Algumas características de adensamento das argilas marinhas de Vitória-ES*. VIII COBRAMSEF, v. 1, p. 149-159, 1986.

COSTA FILHO, L. M.; ARAGÃO, C. J. G.; VELLOSO, P. P. C. *Características geotécnicas de alguns depósitos de argila mole na área do Grande Rio de Janeiro*. Revista Solos e Rochas, v. 8, n. 1, p. 3-13, 1985.

COUTINHO, R. Q. *Aterro experimental instrumentado levado à ruptura sobre solos orgânicos-argilas moles da barragem de Juturnaíba*. 1986. Tese de Doutorado. Tese D. Sc., COPPE/UFRJ.

COUTINHO, R. Q.; LACERDA, W. A. *Characterization/consolidation of Juturnaíba organic clay*. In: Proceedings of the International Symposium on Geotechnical Engineering of Soft Soil, Mexico. 1987. p. 17-24.

COUTINHO, R. Q.; OLIVEIRA, J. T. R.; OLIVEIRA, A. T. J. *Geotechnical properties of Recife soft clays*. Encontro Propriedades de Argilas Moles Brasileiras, p. 1-28, 2001.

COZZOLINO, V. M. *Statistical forecasting of compression index*. In: Proceedings of the 5th international conference on soil mechanics and foundation engineering Paris. 1961. p. 51-53.

CRESPO NETO, F. N. *Efeito da velocidade de rotação na tensão cisalhante obtida em ensaio de palheta*. 2004. Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

FUTAI, M. M.; ALMEIDA, M. S. S.; LACERDA, W. A. *Propriedades geotécnicas das argilas do Rio de Janeiro*. Encontro Propriedades de Argilas Moles Brasileiras, p. 138-165, 2001.

FUTAI, M.M. *Utilização de Conceitos Teóricos e Práticos na Avaliação do Comportamento de Algumas Argilas do Rio de Janeiro*, seminário de doutorado UFRJ, 1999.

HALLAL, R. *Características de depósitos de argilas moles no Estado do Rio Grande do Sul*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2003, 150p.

LADD, C.C. *Estimating Settlement of Structures on Cohesive Soils*, MIT Soils Publication, (1973) no 272, 99p.

LIMA, B.; ALMEIDA, R.; BARRETO, E.C; *Caracterização Geotécnica De Depósito De Argila Mole Em Rio Das Ostras – Rj*, COBRAMSEG, Porto de Galinhas, 2012.

LIMA. I.; CAMPOS, T; M., *Caracterização de um Depósito de Argila Mole de Guaratiba – Rio de Janeiro – RJ*, COBRAMSEG, Goiânia, 2014.

LUNNE, T.; ROBERTSON, P.K.; POWELL, J.J. M. *Cone penetration testing in geotechnical practice*. London: Spon Press, 1997.

MARTINS, I. S. M.; LACERDA, W. A. *Sobre a relação índice de vazios–tensão vertical efetiva na compressão unidimensional*. Solos e Rochas, v. 17, n. 3, p. p157-166, 1994.

DE OLIVEIRA, Joaquim Teodoro Romão. *A Influência da qualidade da amostra no comportamento tensão-deformação-resistência de argilas moles*. 2002. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.

OLIVEIRA, J. T. R.; *Parâmetros Geotécnicos Da Argila Mole Do Porto De Suape – PE*, COBRAMSEG, Curitiba, 2006.

ORTIGÃO, J. A. R. *Contribuição ao Estudo de Propriedades Geotécnicas de um Depósito de Argila Mole da Baixada Fluminense*. 1975. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, 94p.

QUEIROZ, C.M. *Propriedades Geotécnicas de Um depósito de Argila Mole da Região de Itaguaí-RJ*, Dissertação de Mestrado, UFMG/BH, 2013.

TEIXEIRA, C. F. (2012) *Análise dos Recalques de um Aterro Sobre Solos Muito Moles da Barra da Tijuca–RJ*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Rio de Janeiro – RJ, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-RJ, 326p.