

Compressão unidimensional de solos residuais da Formação Potengi

Olavo Francisco dos Santos Jr.
Departamento de Engenharia Civil
– Universidade Federal do Rio
Grande do Norte – UFRN
Francisco Chagas da Silva Filho
Departamento de Engenharia Civil
– Universidade de Fortaleza -
UNIFOR

Resumo

Este trabalho apresenta a caracterização geotécnica e as propriedades de compressibilidade do solo residual da Formação Potengi presente na cidade de Natal-RN. Foram executados ensaios de caracterização geotécnica e de compressão unidimensional confinada. Os ensaios de compressão confinada foram realizados na umidade natural, na condição saturada, em uma amostra amolgada preparada com o teor de umidade próximo do Limite de Liquidez e em uma amostra compactada com a energia do Proctor Normal. Foram ainda realizados ensaios inundados em vários estágios de carregamento com vistas a analisar a colapsibilidade do solo. Os resultados mostraram que o solo sofre colapso devido a inundação para os níveis de tensões ensaiados. Verificou-se ainda que as deformações de colapso aumentam com o aumento da tensão de compressão na qual o solo foi inundado, não tendo sido caracterizado uma deformação de colapso máximo.

Palavras-chave: Compressibilidade. Compressão unidimensional. Solos colapsíveis. Formação Potengi.

Abstract

This paper presents the geotechnical characterization and properties of compressibility of soil residual Potengi Formation present in the city of Natal-RN. We run tests for geotechnical characterization and compression one-dimensional confined. The confined compression tests were performed in natural moisture in the saturated condition in a remolded sample prepared with the moisture content near the Liquid Limit and compacted in a sample with the energy of the Proctor Normal. They were testing inundated still in various stages of loading in order to analyze the collapsibility soil. The results showed that the soil has collapsed due to inundation to the levels of stress tested. It was also found that the deformation of collapse increases with the increase in stress of compression in which the soil was inundated and it has not been characterized a maximum of collapse.

Keywords: Compressibility. Uni-dimensional compression. Potengi Formation

1 Introdução

Os solos, como todos os materiais, quando submetidos a carregamentos, apresentam deformações compatíveis com o nível das cargas aplicadas e de suas propriedades mecânicas. Eventualmente é possível que ocorra a ruptura em situações específicas. As deformações dependem das características de compressibilidade e a ruptura é função da resistência ao cisalhamento do solo. Nos projetos de fundações, estruturas de arrimo e nas análises de estabilidade de taludes a obtenção das propriedades de resistência são fundamentais para o sucesso dos projetos e análises. As características de compressibilidade são utilizadas nas previsões de recalques de fundações.

Um aspecto importante é que em algumas situações o comportamento dos solos pode ser fortemente influenciado pelo grau de saturação. Ou seja, os solos quando estão na condição não-saturada estão submetidos à existência de pressão da água inferior à pressão atmosférica. Neste caso denomina-se de sucção o valor da pressão de ar menos a pressão da água. A sucção pode conferir ao solo um aumento na resistência ao cisalhamento, aumentando também a rigidez e, em consequência, diminuindo a sua compressibilidade.

Quando estes solos são saturados, mudam de comportamento, isto é, diminuem a resistência, aumentando a sua compressibilidade. Portanto, esses aspectos importantes devem ser considerados na elaboração de projetos e análises de engenharia, tendo em vista que um solo pode se apresentar estável sob dadas condições de umidade e grau de saturação e após a infiltração de águas de chuva, por exemplo, sofrer recalques ou até mesmo a ruptura.

Estas deformações por aumento de umidade são denominadas de colapso e, por sua vez, os solos susceptíveis a este comportamento são conhecidos como colapsíveis. Existem várias situações em que o solo pode ser caracterizado por colapsível, sendo que uma condição importante para esta caracterização é a de que sua estrutura deve ser aberta, com a existência dos vazios favorecidos pela presença da sucção. Com a redução da sucção a estrutura é desfeita e o solo se deforma rapidamente e muitas vezes com valores bastante elevados.

Este trabalho avalia o efeito da água no comportamento geotécnico dos solos residuais da Formação Potengi, na cidade de Natal-RN. A geologia de Natal é formada por materiais de origem sedimentar. Os materiais mais profundos (considerando a faixa de interesse das obras de engenharia) são os sedimentos terciários da Formação Barreiras, que consistem de camadas intercaladas de arenitos com diversos teores de argila. Na superfície ocorrem Sedimentos Arenosos Eólicos que formam dunas ou Sedimentos Flúvio-marinhos na planície aluvionar/estuarina do Rio Potengi.

Existe uma unidade intermediária entre as dunas e a Formação Barreiras denominada Formação Potengi que também é descrita em alguns trabalhos, como Vilaça *et al.* (1986), Nazaré Jr. (1993) e Duarte (1995). A Formação Potengi, de acordo com Vilaça *et al.* (1986), é formada por areias quartzosas com pouca argila e pedregulhos de quartzo e limonita, de coloração amarelo-avermelhada, sendo mais escura nas proximidades do litoral.

Nazaré Jr. (1993) descreve esses sedimentos como sendo de origem eólica com contribuições fluviais, enquanto que Duarte (1995) atribui origem fluvial com contribuições eólicas. A estes sedimentos foi atribuída por Silva *et al.* (2002) uma origem eólica, recebendo contribuições da Formação Barreiras e possuindo também sedimentos modernos de idade Quaternária. A Formação Potengi serve de suporte para a maioria das fundações dos edifícios de Natal, assim como para obras de infra-estrutura urbana (drenagem, abastecimento de água e sistema de esgoto). Este fato justifica plenamente o estudo aqui apresentado neste trabalho.

2 Material e métodos

No local de uma antiga área de empréstimo foram coletadas amostras deformadas e blocos indeformados de acordo com os procedimentos recomendados pela ABNT (1986). As amostras coletadas foram submetidas a ensaios de caracterização geotécnica (granulometria e limites de consistência) e ensaios de compressão unidimensional (edométricos).

Os ensaios edométricos foram realizados em estágios de 12,6; 25,3; 50,5; 101,0; 202,1; 404,1; 808,2 kPa. O programa de ensaios executados está mostrado na Tabela 1. Inicialmente foi realizado um ensaio na umidade natural (teor de umidade que o solo apresentava no momento da coleta) e um ensaio em amostra saturada. Em seguida foram executados ensaios em amostra preparada com teor de umidade próximo ao Limite de Liquidez e em amostra compactada com a energia do Proctor Normal e na umidade ótima. Esses ensaios foram realizados com vistas a analisar o efeito da estrutura do solo na sua compressibilidade.

A etapa seguinte consistiu na realização de ensaios nos quais as amostras foram inundadas após a aplicação de um dado carregamento. Nesse sentido, foram executados 07 (sete) ensaios, sendo cada um inundado após o incremento de carregamento indicado acima. Os ensaios com inundação no decorrer do carregamento foram executados com o objetivo de estudar a colapsibilidade do solo.

Tabela 1: Programa de ensaios realizados

Ensaio	Características
1	Amostra indeformada com teor de umidade natural
2	Amolgado com teor de umidade próximo ao LL
3	Amostra indeformada com o solo saturado
4	Amostra compactada com o teor de umidade ótimo
5	Amostra inundada após a aplicação de 12.3 kPa
6	Amostra inundada após a aplicação de 25.3 kPa
7	Amostra inundada após a aplicação de 50.5 kPa
8	Amostra inundada após a aplicação de 101.0 kPa
9	Amostra inundada após a aplicação de 202.1 kPa
10	Amostra inundada após a aplicação de 404.1 kPa
11	Amostra inundada após a aplicação de 808.2 kPa

Os ensaios foram realizados em uma prensa convencional de adensamento, da Wykeham Farrance. Foram utilizadas amostras com diâmetro de 70 mm e altura de 20 mm. Cada estágio de carga teve a duração de 24 horas. Nos ensaios inundados no decorrer do carregamento procedeu-se, primeiramente, a aplicação da tensão, a qual atuou durante 24 horas. Em seguida, foi feita a inundação. A mesma tensão permaneceu atuando por mais 24 horas, desta feita com o corpo de prova inundado.

3 Resultados e análises

Os resultados obtidos na caracterização geotécnica dos solos estão apresentados na Tabela 2. De acordo com os dados apresentados na Tabela 1 o solo pode ser classificado em termos granulométricos como uma areia média a fina argilosa. De acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) o material é classificado com SM-SC,

ou seja, areia silto-argilosa. Na condição vigente no momento da amostragem o solo apresentava-se praticamente seco com grau de saturação de 1,84%.

Tabela 2: Caracterização geotécnica do solo estudado.

Pedregulhos (%)	0,50
Areia grossa (%)	4,80
Areia média (%)	55,70
Areia fina (%)	18,00
Silte (%)	4,00
Argila (%)	17,00
LL (%)	15,20
IP (%)	1,60
G	2,66
w (%)	0,39
γ (kN/m ³)	17,00
γ_d (kN/m ³)	16,93
e	0,57
n(%)	36,31
S (%)	1,84
w _{ot} (%)	9,40
$\gamma_{d\ max}$ (kN/m ³)	19,84

Os resultados dos ensaios de compressão unidimensional realizados nos corpos de prova na umidade natural, amolgados, saturados e compactados estão mostrados nas Figuras 1 e 2 em termos de curvas de variação da deformação volumétrica e do índice de vazios com a tensão aplicada, respectivamente. A Figura 3 ilustra resultados típicos dos ensaios onde a inundação foi feita após a aplicação de um dado carregamento. Na Figura 3 são mostrados, para efeito de comparação, as curvas dos ensaios na umidade natural e saturados.

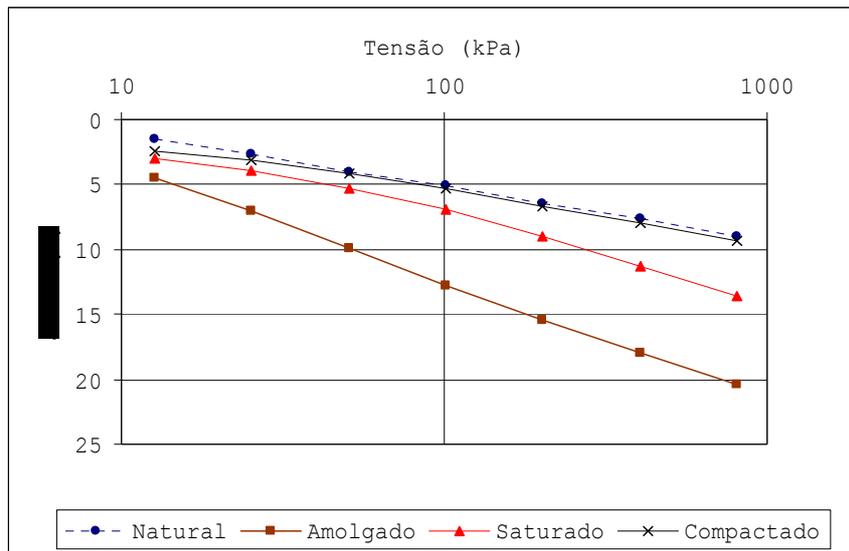


Figura 1: Variação volumétrica com o carregamento.

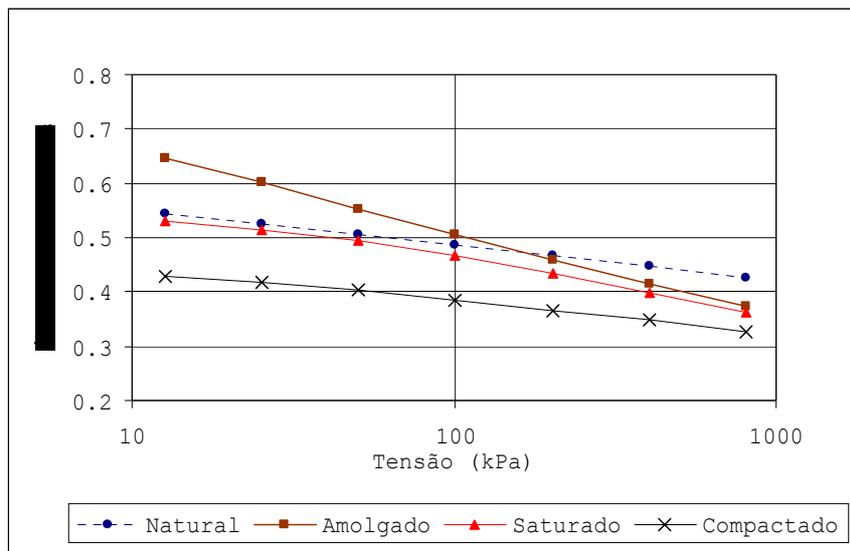


Figura 2: Variação do índice de vazios com o carregamento.

Os resultados dos ensaios de compressão confinada foram analisados em termos das curvas índice de vazios (e) “versus” $\log \sigma'_v$ e Deformação Volumétrica Específica (ϵ_v) “versus” $\log \sigma'_v$. Nessas curvas podem ser definidos os parâmetros de compressibilidade C_c e CR, respectivamente, de acordo com as Equações 1 e 2. A Tabela 3 mostra as deformações volumétricas e os valores de C_c , CR obtidos nos ensaios.

$$C_c = -\frac{de}{d \log \sigma'_v} \tag{1}$$

$$CR = \frac{d\epsilon_v}{d \log \sigma'_v} \tag{2}$$

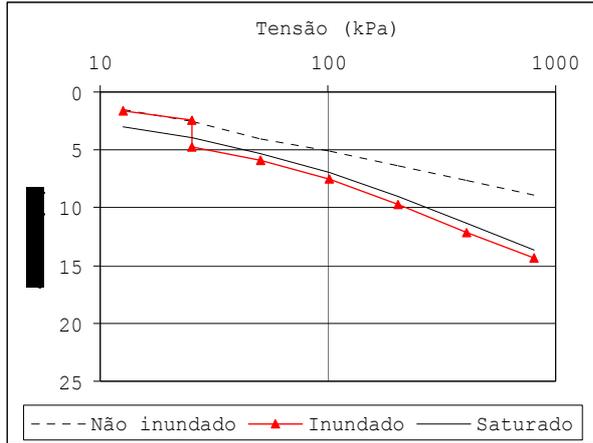
A análise das Figuras 1 e 2 mostra que o solo na umidade natural e compactado, apesar da diferença do índice de vazios inicial, apresenta o mesmo comportamento em termos de compressibilidade. Os dados da Tabela 3 mostram que os valores de C_c e CR para os ensaios 1 e 4 são idênticos.

Quando se compara a curva obtida para a amostra na umidade natural e saturada verifica-se que a saturada é mais compressível (Figuras 1 e 2). As curvas se afastam uma da outra com o aumento da tensão, ou seja, a diferença de comportamento é mais acentuada para níveis mais elevados de tensão. Nos dois últimos estágios de carregamento a amostra saturada apresentou valores de C_c e CR iguais a 0,121 e 7,88, respectivamente (Tabela 3). Pode ser visto ainda, na Tabela 3, que esses valores correspondem ao dobro daqueles obtidos para a amostra na umidade natural. Esse fato mostra que a sucção exerce grande influência no comportamento tensão-deformação deste solo.

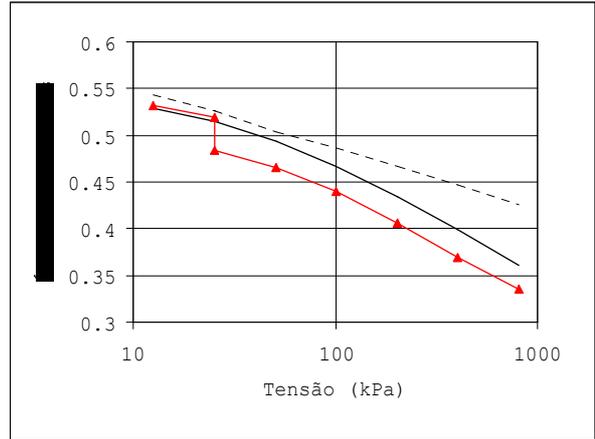
A amostra amolgada, preparada no teor de umidade em torno do limite de liquidez, foi a que se apresentou mais compressível. Essa diferença de comportamento entre a amostra amolgada e a indeformada ilustra o efeito da estrutura do solo sobre o seu comportamento.

Observando-se os gráficos da Figura 3 verifica-se que o solo, apesar de não possuir um elevado índice de vazios, pode ser caracterizado como colapsível por saturação. De acordo com Vargas (1977) um solo pode ser considerado colapsível quando as deformações volumétricas devido à inundação são superiores a 2%. Os dados mostrados na Tabela 3 mostram que isso ocorre para tensões de inundação a partir de 25,3 kPa. O material apresentou deformações volumétricas crescentes com o estágio de tensão para o qual era realizada a inundação da célula edométrica.

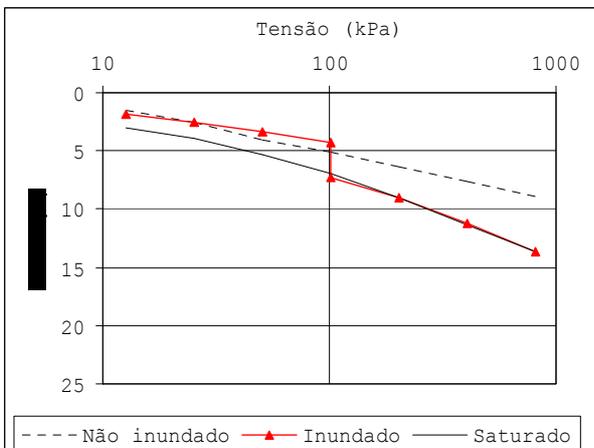
Conforme pode ser observado na Figura 3, as curvas antes da inundação se aproximam da curva do solo indeformado. As diferenças observadas no trecho inicial (antes da inundação) podem ser justificadas devido a heterogeneidade do solo em termos de índice de vazios. Após a inundação, o solo tende a apresentar o mesmo comportamento do solo saturado. Essa tendência é mais nítida em termos das curvas Tensão-Deformação Volumétrica, onde as curvas para as condições saturada e inundada praticamente coincidem após a inundação (Ver Figuras 3 (a), (c) e (d)). A Tabela 3 mostra que os valores de C_c e CR após a inundação dos ensaios 5 a 11 são os mesmos obtidos para a amostra saturada, independentemente da tensão de inundação.



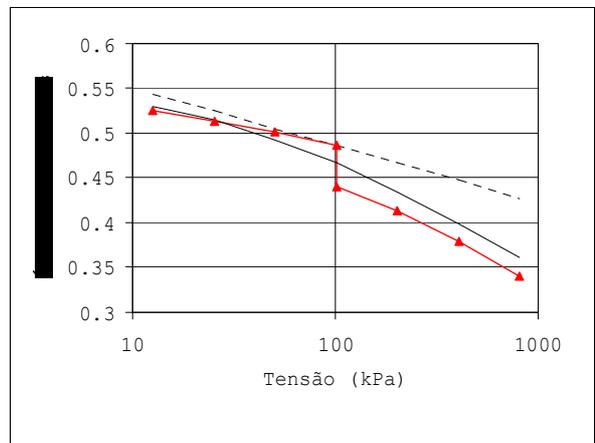
(a)



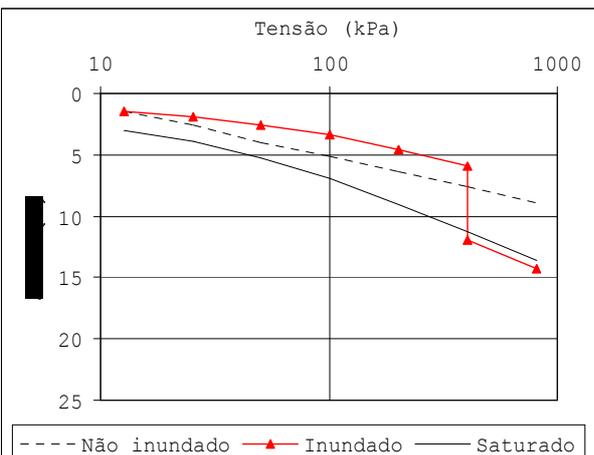
(b)



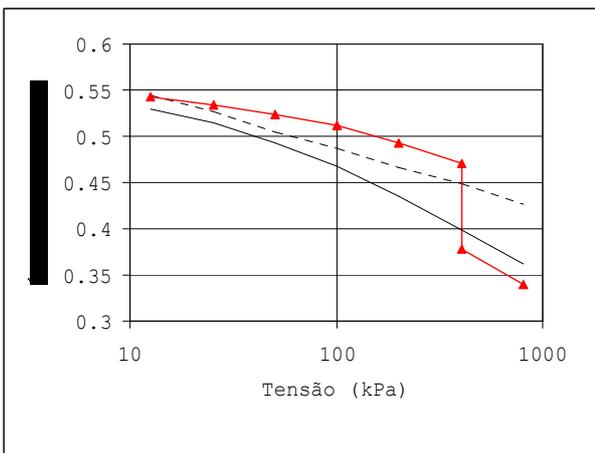
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 3: Resultados típicos dos ensaios com amostras inundadas em termos de variação de volume e de índice de vazios: a) e b) inundada na tensão de 50 kPa; c) e d) na tensão de 100 kPa; e) e f) na tensão de 400 kPa.

Tabela 3: Resultados dos ensaios

Ensaio	σ_v (kPa) (inundação)	ε_v (%) (inundação)	C_c	CR
1	Amostra na umidade natural		0,065	4,10
2	Umidade próximo ao LL		0,184	8,92
3	Amostra saturada		0,121	7,88
4	Amostra compactada		0,065	4,10
5	12,3	1,00	0,121	7,88
6	25,3	2,30	0,121	7,88
7	50,5	2,70	0,121	7,88
8	101,0	2,95	0,121	7,88
9	202,1	3,45	0,121	7,88
10	404,1	5,95	0,121	7,88
11	808,3	6,50	0,121	7,88

4 Conclusões

Este trabalho apresentou um estudo experimental de amostras dos solos da Formação Potengi na cidade de Natal-RN. Os resultados caracterizaram o solo como areia silto-argilosa sendo que devido a sua estrutura apresentou-se como potencialmente colapsível. Tendo em vista de que se trata de uma camada de solo frequentemente utilizada como fundações de edificações em Natal-RN deve ser entendido como uma informação muito importante para a engenharia local e deve ser utilizada durante os projetos geotécnicos onde se usa esta camada de solo como suporte de estruturas.

5 Agradecimentos

O primeiro autor agradece à CAPES a concessão de auxílio financeiro através do Processo BEX 0522/06-6 – Pós-Doutorado no Exterior. O segundo autor agradece a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo apoio financeiro.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9604*: abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Rio de Janeiro, 1986.
- DUARTE, M. I. M. *Mapeamento geológico e geofísico do litoral leste do Rio Grande do Norte*: Grande Natal (Área I). Relatório de Graduação, Depto de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 1995.
- NAZARÉ JUNIOR, D. *Mapeamento geológico e gravimétrico da região de Natal*. Relatório de Graduação, Depto de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 1993.
- PEREIRA, L. B. F. *Mapeamento geológico, estratigrafia cenozóica e estruturação neotectônica da região costeira entre Ponta Negra e Redinha e Estuário do Rio Potengi*. Relatório de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 1999.
- SILVA, E. A. J. et al. Caracterização geológica, geomorfológica e geotécnica de sedimentos do setor Sul de Natal/RN, com base em análises de perfis de sondagens de simples reconhecimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 10., 2002, Ouro Preto, MG. *Anais...* Ouro Preto, MG: ABGE, 2002. CD-ROM.
- VARGAS, M. *Introdução a mecânica dos solos*. São Paulo: Mcgraw-Hill, 1978.
- VILAÇA, J.G. et al. Geologia ambiental da área costeira de Ponta de Búzios a Barra de Maxaranguape - RN. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 12., 1986, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: ABGE, 1986. CD-ROM.

SOBRE OS AUTORES

Olavo Francisco dos Santos Júnior

Bolsista de Produtividade em Pesquisa 2 | Orientador de Doutorado. Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil(1996). Pós-Doutorado pela University of British Columbia, Canadá(2007). Atuação em Geotécnica, com ênfase em Mecânicas dos Solos. Professor Associado I da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Francisco Chagas da Silva Filho

Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil(1998). Pós-Doutorado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil(2003). Atuação em Geotécnica, com ênfase em Mecânicas dos Solos. Professor titular da Universidade de Fortaleza, Brasil

Recebido em: 12.12.2008

Accito em: 20.04.2009

Revisado em: 17.05.2008