

# Comportamento da Fundação de um Protótipo de Estrutura de Contenção em Solo Reforçado com Geotêxtil Não-tecido

Carlos Vinicius dos Santos Benjamim  
OBER S.A. Indústria e Comércio

Benedito de Souza Bueno  
Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos (USP)

Jorge Gabriel Zornberg  
Civil Engineering Department-GEO, University of Texas at Austin, Austin, Texas, EUA

**RESUMO:** Dentre as inúmeras características que as estruturas de contenção em solo reforçado com geossintéticos têm demonstrado está a capacidade em resistir aos recalques da fundação devido à sua alta flexibilidade. Com o objetivo de se estudar o comportamento de estruturas reforçadas com geotêxtil, foi construído um protótipo de estrutura de contenção, com 4,0 m de altura, construído sobre uma fundação com baixa capacidade de carga. A instrumentação da fundação foi composta por extensômetros magnéticos verticais, projetados e construídos em laboratório, para se medir os deslocamentos verticais do maciço de solo. Os resultados da instrumentação indicaram que durante a construção os maiores deslocamentos atingiram 21 mm e os deslocamentos pós-construção permaneceram constantes, não aumentando mais do que 2 mm após 84 dias. Os resultados mostraram que, ao contrário dos resultados dos deslocamentos horizontais e verticais dentro do maciço reforçado, onde os maiores deslocamentos se desenvolveram próximo da face e dentro da superfície potencial de ruptura, os deslocamentos da fundação apresentaram os maiores deslocamentos na seção central da zona reforçada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Solo reforçado, Geotêxtil, Geossintético, Recalque, Instrumentação.

## 1 INTRODUÇÃO

Os parâmetros de resistência e as propriedades de compressibilidade do subsolo são parâmetros de projeto importantes em estruturas de solo reforçado. Dentre as inúmeras características que as estruturas de contenção em solo reforçado com geossintéticos têm demonstrado está a capacidade em resistir aos recalques da fundação, totais ou diferenciais, devido à sua alta flexibilidade.

Entretanto, o efeito dos recalques das fundações no desempenho dessas estruturas de contenção ainda não está totalmente esclarecido. Na realidade, nenhum dos métodos de projeto existente leva em conta o efeito dos recalques da fundação no comportamento da massa reforçada.

A função do geossintético em uma estrutura de solo reforçado é garantir a estabilidade do

aterro compactado e não necessariamente de combater os seus recalques. Nesse sentido, mesmo os geossintéticos teoricamente mais rígidos, como as geogrelhas, têm-se mostrado pouco eficientes para cumprir essa finalidade, embora possam minimizar os recalques diferenciais do aterro.

Apesar da possibilidade de ocorrência de recalques elevados, os muros reforçados se comportam bem, observando-se, no geral, apenas pequenos danos nos elementos de face. Os reforços não sofrem muitos danos com as movimentações, assimilando de forma satisfatória as novas condições de trabalho.

Com isso, para contribuir com o avanço no estado da arte, programou-se a execução, no pátio da Empresa Ober S.A, em Nova Odessa - SP, de uma série de oito protótipos de estruturas reforçadas com geossintéticos de tal forma que se pudesse, além dos aspectos da fundação

mencionados anteriormente, avaliar os efeitos do tipo de solo, tipo e layout das inclusões. Este artigo apresenta os resultados de comportamento da fundação do primeiro protótipo construído nesta pesquisa.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Método construtivo

O protótipo ora apresentado foi construído utilizando a técnica de solo envelopado. Visando garantir um comportamento de deformação plana, a geometria do muro foi definida com 4,0 m de largura, 4,0 m de altura e 4,0 m de comprimento. Para viabilizar financeira e tecnicamente a construção dos oito protótipos, foi utilizado um arranjo particular, cujo esquema está esquematizado na Figura 1. Nesta Figura apresentam-se um esquema geral dos módulos básicos e as dimensões médias do protótipo reportado neste artigo.

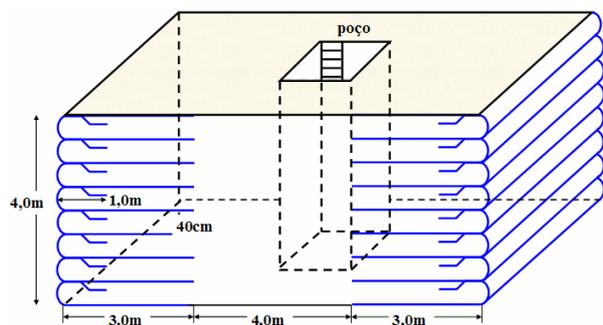


Figura 1. Esquema básico dos módulos.

Para minimizar o atrito lateral que se desenvolve entre a parede da caixa e o solo do maciço, em toda a lateral do muro foram colocadas duas lonas plásticas com graxa entre elas, de forma a aproximar o modelo de um estado plano de deformações.

O muro foi construído em 10 camadas de igual espessura (40 cm) sobre uma ficha com 50 cm de profundidade, inserida para aumentar a estabilidade externa do muro. A altura total do maciço compactado resultou, em vista disto, em 4,50 m.

O sistema de envelopamento foi desenvolvido com o auxílio de pranchas de

madeira apoiadas em suportes metálicos em forma de cantoneira, com ângulo interno de  $78^\circ$ , o que resultou em uma inclinação da face de 1:5. Para a construção de cada camada foram utilizadas 15 cantoneiras interligadas por uma barra metálica superior para dobrar o geossintético.

### 2.2 Materiais Utilizados

O solo utilizado na construção do protótipo foi uma areia pura, quartzosa, classificada segundo a NBR 7181 como uma areia média a grossa. Este material ainda apresenta cerca de 20% de areia fina, como apresentado pela Figura 2.

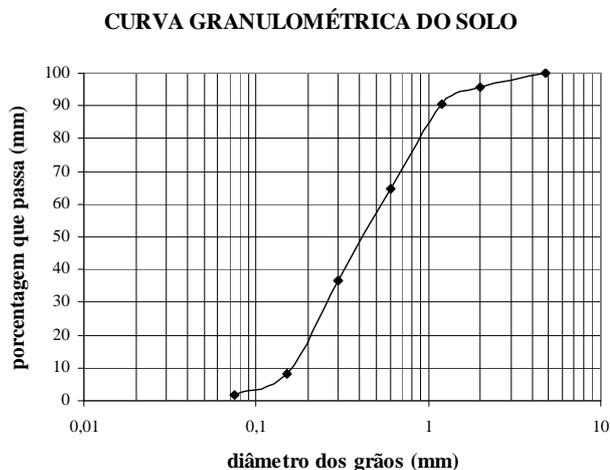


Figura 2. Curva granulométrica do solo.

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento deste solo foram obtidos a partir de ensaios de cisalhamento direto executados no solo seco e triaxial do tipo consolidado drenado executado com solo em seu teor de umidade de campo. Os resultados fornecidos pelos ensaios de cisalhamento direto foram  $c = 0$  kPa e  $\phi = 32^\circ$  e, para os triaxiais,  $c = 15$  kPa e  $\phi = 32^\circ$ .

Foi utilizado um geotêxtil não-tecido, de poliéster, fabricado a partir de fibras curtas agulhadas. A seguir, estão descritas as características do geotêxtil.

- Gramatura: 204,4 g/m<sup>2</sup>
- Espessura nominal: 1,26 mm
- Resistência à tração transversal: 8,41 kN/m
- Deformação específica: 89,81%
- Módulo de rigidez: 13 kN/m

### 2.3 Procedimentos de projeto

A estrutura foi projetada utilizando-se o processo de cálculo descrito por Mitchell & Villet (1987), com todos os fatores de redução iguais a um.

### 2.4 Propriedades da fundação

Furos de sondagem (SPT) executados no solo de fundação indicaram a presença de um solo residual de basalto, basicamente composto por uma argila vermelha. Um perfil simplificado do subsolo pode ser visto na Figura 3.

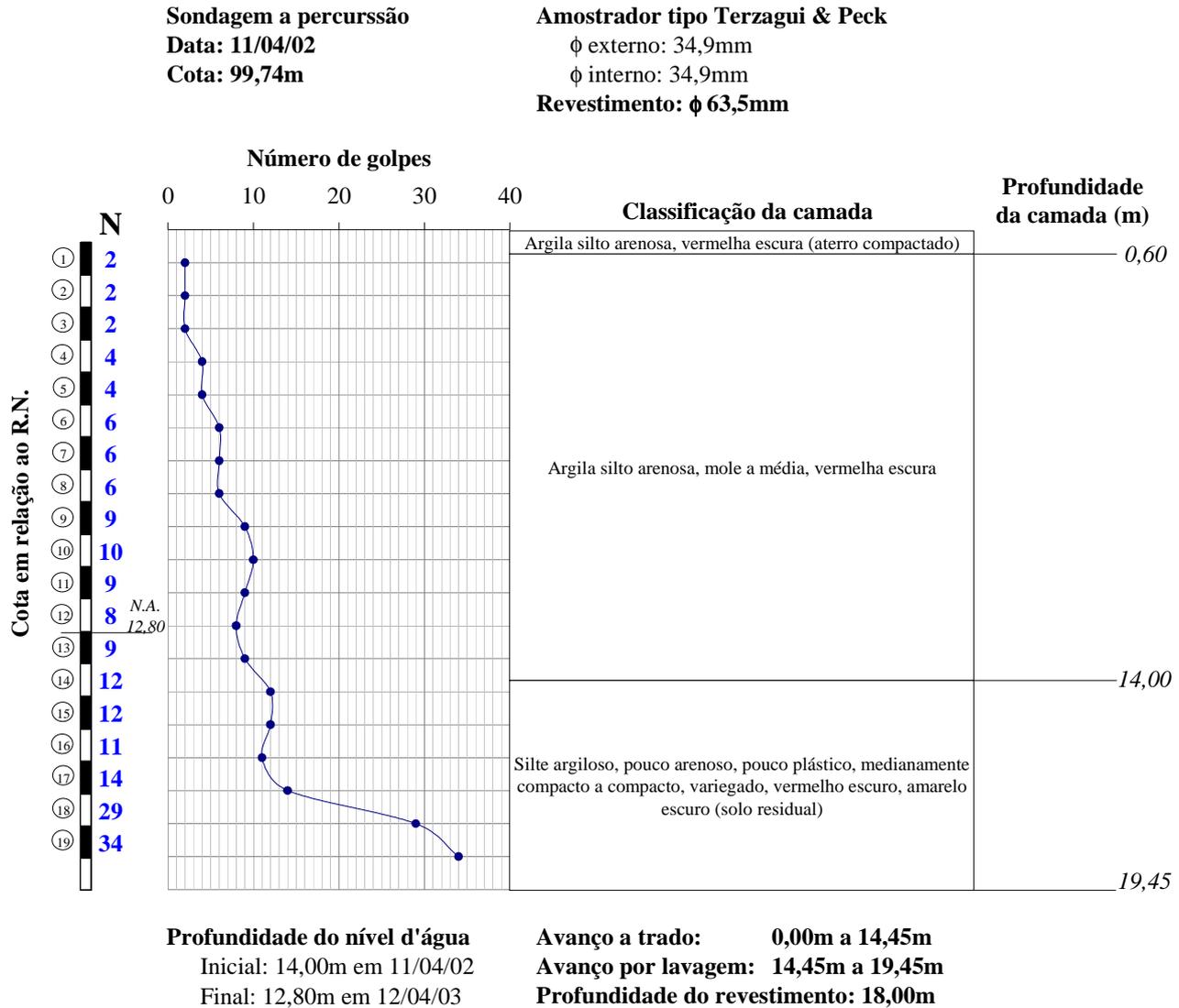


Figura 3. Perfil do solo a partir de ensaios SPT.

Os índices de SPT obtidos nas sondagens de simples reconhecimento apresentaram valores muito baixos, com N igual a dois em algumas camadas. Além disso, pôde-se comprovar a baixa capacidade de carga do solo de fundação após uma chuva muito forte, quando um caminhão carregado com solo encalhou próximo aos muros (Figura 4).

Com isso, resolveu-se utilizar uma “ficha” nos dois primeiros muros, ou seja, o muro foi embutido aproximadamente 50 cm na superfície do terreno, inserida para aumentar a estabilidade externa dos protótipos (Figura 5).



Figura 4. Caminhão encalhado próximo à estrutura.



Figura 5. Vista do embutimento do muro no solo de fundação.

O solo de fundação, classificado com uma areia siltosa segundo a NBR 7181, foi classificado de acordo com o Sistema de Classificação Unificado dos Solos (ASTM D 2487), como uma argila pouco plástica com areia (CL). Além disso, este mesmo solo pode ser classificado, segundo a Metodologia MCT (NOGAMI & VILLIBOR 1981), como uma areia argilosa laterítica.

Foram determinados os limites de Atterberg deste solo segundo a NBR 6459 (limite de liquidez) e a NBR 9180 (limite de plasticidade). Os valores encontrados foram

### 3 INSTRUMENTAÇÃO

Três aspectos do comportamento do muro foram avaliados durante e após a construção com instrumentação constituída por (Figura 6):

- a) Medidores de deslocamento da face
- b) Extensômetros magnéticos verticais
- c) Medidores de deslocamentos horizontais dos reforços

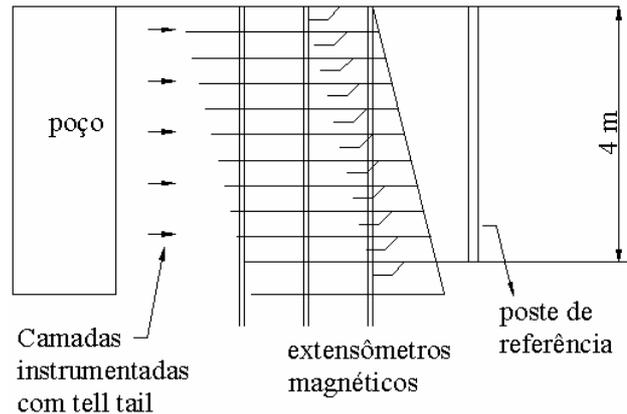


Figura 6. Instrumentação do protótipo.

Este artigo descreve apenas a instrumentação empregada para a medida de recalques, ou seja, os extensômetros magnéticos

Foram utilizados extensômetros magnéticos verticais, projetados e construídos em laboratório, para se medir os deslocamentos verticais do maciço de solo (Figura 7).

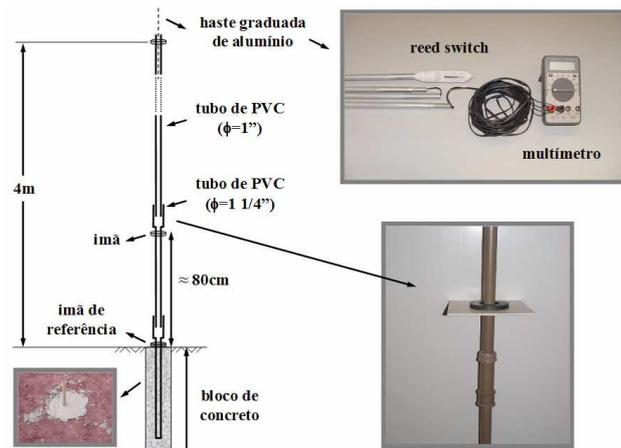


Figura 7. Esquema dos extensômetros magnéticos verticais.

Este extensômetro constitui-se em placas magnéticas acopladas em tubos de PVC. Estas placas são quadradas com 20cm de lado e são feitas também de PVC. Sobre cada uma delas apoia-se um ímã, formando um transdutor magnético.

A leitura dos deslocamentos é efetuada introduzindo-se no tubo de PVC uma haste de alumínio graduada que possui um "reed switch" na ponta. Ao se aproximar do ímã, fecha-se um

circuito elétrico que aciona o indicador sonoro de um multímetro ligado ao sensor.

O indicador sonoro é acionado quando a ponta da haste entra no campo magnético do ímã. As leituras foram realizadas quando o indicador sonoro parava de apitar exatamente na parte superior e inferior do ímã. Nesses pontos eram realizadas as leituras através da haste graduada. O ponto exato onde se encontra o ímã é a média entre as duas leituras. A resolução deste sistema de leitura é de 1mm.

#### 4 RESULTADOS OBTIDOS

Grandes deslocamentos da fundação eram esperados devido aos baixos valores registrados nos ensaios de SPT ( $N=2$ ). Entretanto, estes deslocamentos não se desenvolveram como esperado. Os maiores deslocamentos se desenvolveram durante a construção e atingiram aproximadamente 91% do total registrado.

Os deslocamentos da fundação foram registrados na seção central do muro, tendo em vista que o solo de fundação próximo das laterais da cava poderia estar sujeito ao fenômeno do arqueamento. Isto teria levado a uma redução das tensões verticais do solo de fundação sob o ponto de registro dos recalques nas laterais da caixa.

Os deslocamentos verticais observados durante a construção atingiram 21 mm na seção central do muro. Os deslocamentos pós-construção permaneceram constantes, não aumentando mais do que 2 mm após 84 dias.

A Figura 9 ilustra o desenvolvimento dos deslocamentos durante a fase de construção, e até 84 dias após o fim da construção. Se forem calculadas as deformações entre o ímã 1 e o ponto de referência concretado a 80 cm de profundidade, um gráfico como o ilustrado pela Figura 10 é obtido.

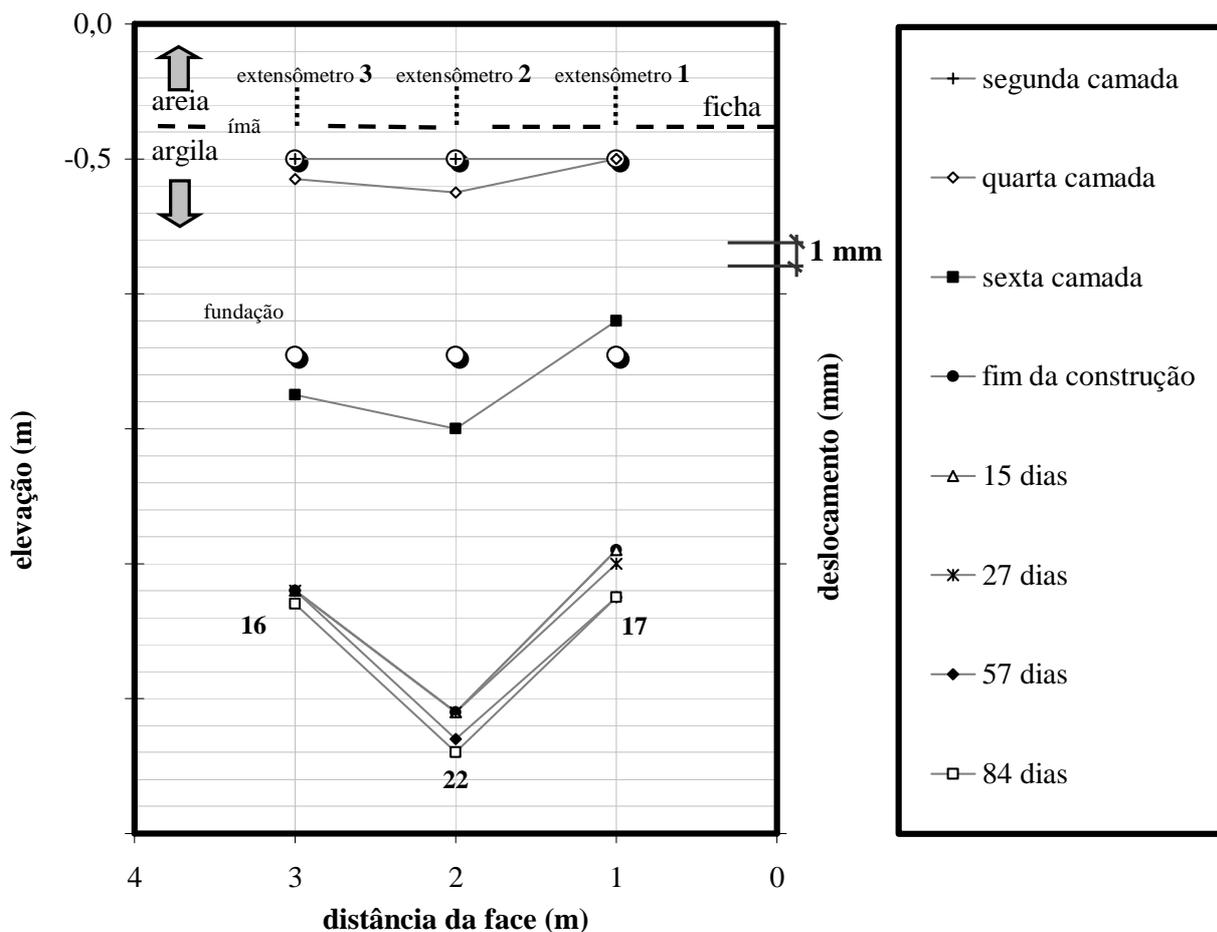


Figura 9. Deslocamentos verticais da fundação.

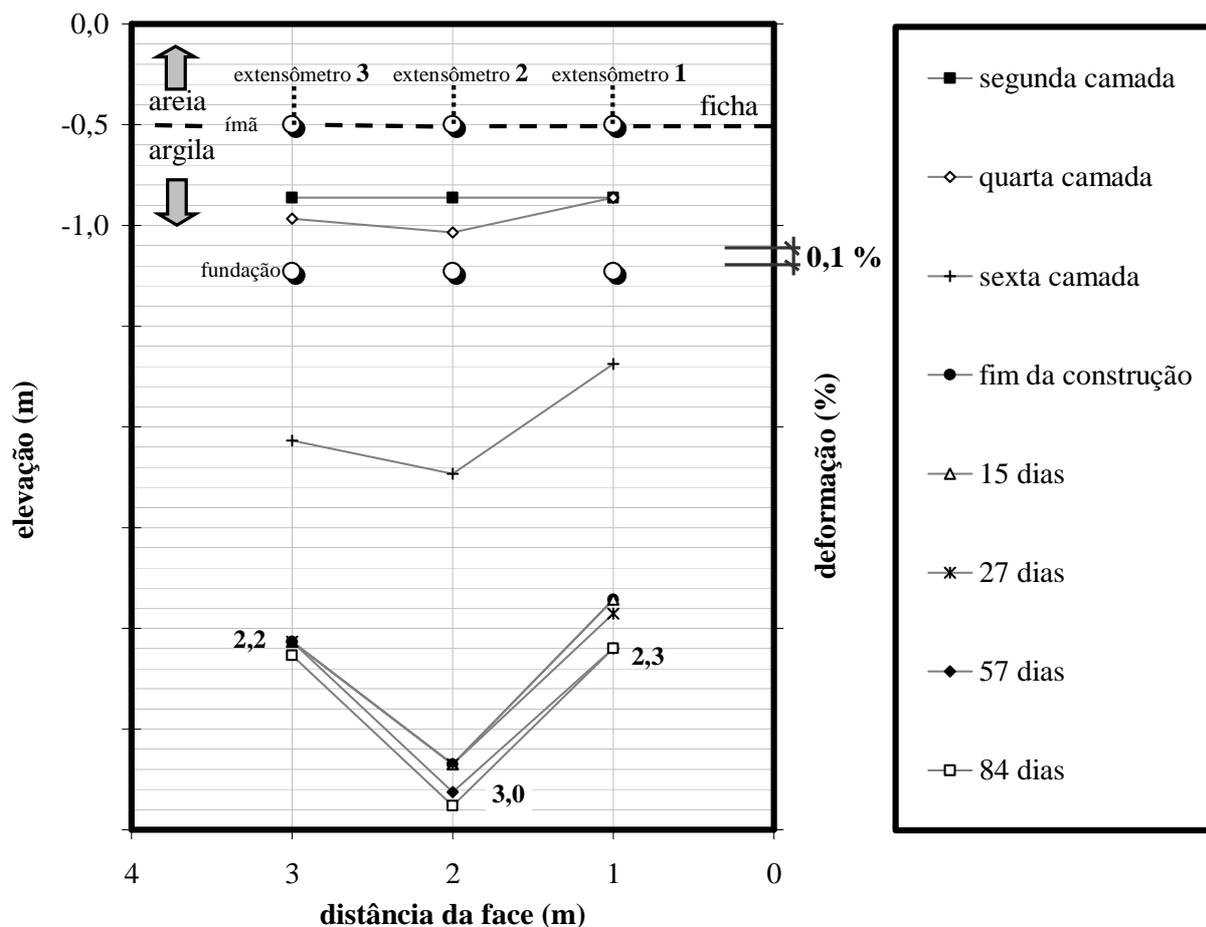


Figura 10. Deformações verticais da fundação.

Da mesma forma que os deslocamentos, as deformações se desenvolveram quase na sua totalidade durante a fase construtiva, atingindo valores da ordem de 2,8% na seção central do muro. Essas deformações aumentaram ligeiramente no período pós-construtivo, aumentando cerca de 0,2%.

Por esses resultados é possível verificar que, ao contrário dos resultados dos deslocamentos horizontais e verticais dentro do maciço reforçado, onde os maiores deslocamentos se desenvolveram próximo da face e dentro da superfície potencial de ruptura (BENJAMIM et al. 2003), os deslocamentos da fundação apresentaram os maiores deslocamentos na região próxima do extensômetro 2, na seção central da zona reforçada.

## 5 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou os resultados do

comportamento da fundação de um protótipo de estrutura de contenção em solo reforçado com geotêxtil não-tecido. Os deslocamentos registrados na fundação foram menores do que os previstos, sendo que 91% do registrado ocorreu durante a construção. Os resultados mostraram que, ao contrário dos resultados dos deslocamentos dentro do maciço reforçado, onde os maiores deslocamentos se desenvolveram próximo da face da estrutura, os deslocamentos da fundação apresentaram os maiores deslocamentos na seção central da zona reforçada.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a empresa Ober S.A. e a FAPESP pelo auxílio financeiro que viabilizou a realização desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- American Society for Testing and Materials (2000). D 2487 – 00: *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. New York.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1980). NBR 9180 - *Solo: determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984a). NBR 7181 - *Solo: análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984b). NBR 6459 - *Solo: determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.
- Benjamim, C.V.S., Bueno, B.S., Palma, S.L. (2003). *Análise Experimental e Numérica de um Protótipo de Estrutura de Contenção em Solo Reforçado com Geotêxtil*. IV Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, Porto Alegre.
- Mitchell, J.K.; Villet, W.C.B. (1987). *Reinforcement of earth slopes and embankments*. National Cooperative Highway Research Program Report. n.290.
- Nogami, J.S.; Villibor, D.F. (1981). *Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias*. Simpósio Brasileira de Solos Tropicais em Engenharia, Rio de Janeiro, p.30-40.