

Avaliação de Deformações Dependentes do Tempo em Muros de Solo Reforçado Através de Modelos em Centrífuga

Carina Maia Lins Costa
IFRN, Natal, Brasil, carina.maia@ifrn.edu.br

Jorge Gabriel Zornberg
University of Texas, Austin, EUA, zornberg@mail.utexas.edu

Benedito de Souza Bueno
EESC/USP, São Carlos, Brazil, bsbueno@sc.usp.br

RESUMO: Este artigo apresenta resultados de ensaios com modelos reduzidos de muros de solo reforçado com geotêxteis construídos para investigar as deformações ao longo do tempo dessas estruturas. Os modelos foram ensaiados em uma centrífuga geotécnica e construídos utilizando-se uma areia pura como solo de aterro e mantas de polipropileno como reforço. Técnicas para análise de imagens digitais foram usadas para determinar o deslocamento de marcos de areia dispostos ao longo das camadas de reforço nos modelos. Alguns modelos foram carregados até a ruptura com acréscimo de aceleração, enquanto outros foram observados, no decorrer do tempo, sob aceleração constante. Nos ensaios para investigação de fluência, deformações significativas foram observadas, ocorrendo, inclusive, a manifestação de ruptura após algumas horas de ensaio. Possíveis mecanismos de deformação ao longo do tempo em muros de solo reforçado com geossintéticos são ainda apresentados e discutidos como base nos resultados obtidos para os modelos.

PALAVRAS-CHAVE: Muros de solo reforçado, Geossintéticos, Fluência, Modelos em Centrífuga.

1 INTRODUÇÃO

Os muros de solo reforçado com geossintéticos constituem uma solução de engenharia atraente do ponto de vista econômico e apresentam vantagens expressivas do ponto de vista técnico. Todavia, a despeito das vantagens, os geossintéticos possuem um comportamento tensão-deformação dependente do tempo. Nesse sentido dois aspectos distintos são tradicionalmente identificados: fluência e relaxação. A fluência representa a deformação que esses materiais apresentam ao longo do tempo, sob carregamento constante. A relaxação, por outro lado, corresponde a uma diminuição da carga, no decorrer do tempo, com a deformação do material constante.

O comportamento dependente do tempo de geotêxteis apresenta-se extremamente importante em muros de solo reforçado já que, em tais estruturas, o reforço é solicitado à tração durante toda a vida útil da obra. Nesses casos, a

consideração da fluência é de fundamental importância em projetos pois pode provocar deformações excessivas assim como ruptura.

Com relação ao conhecimento acumulado até o presente momento, destaca-se o fato da possibilidade da fluência do solo confinante interferir na fluência do reforço. Wu e Helwany (1996) afirmam, por exemplo, que quando o solo apresenta menor susceptibilidade à fluência em relação ao reforço, a menor tendência à fluência do solo tende a restringir a fluência do reforço. No entanto, ao se avaliar as pesquisas presentes na literatura referentes ao assunto, fica evidente que esses mecanismos de interação solo-reforço, no decorrer do tempo, ainda não estão devidamente discutidos e comprovados.

Assim sendo, apesar da importância do tema e do interesse crescente da comunidade científica, nos últimos anos, acerca desses mecanismos, ainda se percebe uma acentuada ausência de informações com relação à

deformação de geotêxteis, em função do tempo, na presença de solo.

Nesse contexto, Allen e Bathurst (2002b) relatam que uma atenção considerável tem sido dispensada ao estudo do comportamento, em longo prazo, de muros de solo reforçado considerando, apenas, os geossintéticos. Porém, o esforço para estabelecer o desempenho da estrutura como um todo ainda é bastante limitado. Com efeito, para um melhor entendimento do comportamento da estrutura, necessário se faz considerar o problema em função de todos os elementos componentes e não, unicamente, em função do reforço.

Diante desse cenário, investigações sobre o comportamento dependente do tempo dos geossintéticos, considerando sua aplicação em muros de solo reforçado, são necessárias e altamente justificáveis, já que o maior fator de redução da resistência à tração do reforço empregado em projetos deve-se à possibilidade de fluência.

Tais aspectos ratificam a importância do tema e se apresentaram com motivação para o desenvolvimento deste trabalho cujo escopo consistiu em estudar as deformações dependentes do tempo de geotêxteis em muros de solo reforçado através de ensaios em centrífuga.

2 DESCRIÇÃO GERAL DOS MODELOS

Os modelos de muro de solo reforçado foram construídos utilizando-se uma areia pura e uma manta polimérica com gramatura bastante reduzida para simular os geotêxteis. Uma caixa com dimensões internas de 419 x 203 x 300 mm (comprimento, largura e altura) foi utilizada para a confecção dos modelos cuja configuração pode ser observada na Figura 1.

Os reforços tinham 200 mm de comprimento e um espaçamento igual a 19 mm foi adotado entre geotêxteis. A designação das camadas de reforço utilizada no presente trabalho é mostrada na Figura 1, a camada próxima à fundação será designada por camada 1, enquanto a camada mais próxima ao topo corresponde à camada 12.

Durante a construção dos modelos, marcos de areia colorida eram posicionados ao longo

das camadas de reforço a fim de registrar a movimentação da estrutura durante o ensaio. Uma câmera fotográfica posicionada dentro da centrífuga permitia a aquisição de imagens do modelo. A movimentação dos muros também foi acompanhada através de um LVDT posicionado no topo da estrutura. Alguns termopares foram ainda utilizados a fim de permitir o registro da temperatura durante os ensaios.

Os modelos foram ensaiados na Universidade do Colorado em Boulder, EUA, utilizando-se uma centrífuga geotécnica modelo Genisco 1230, 15g-ton, com raio de 1,36m. Maiores detalhes sobre os modelos podem ser obtidos em Costa (2004).

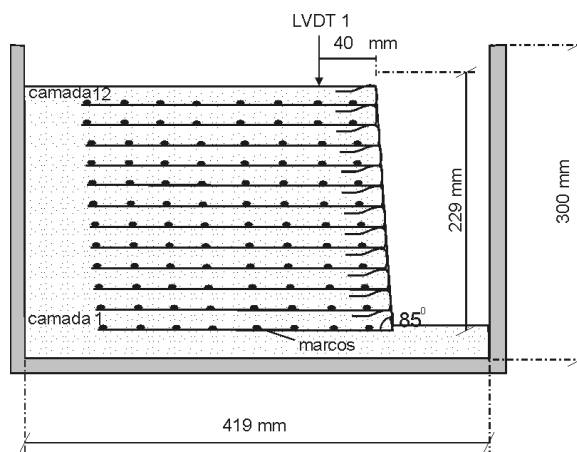


Figura 1. Configuração dos modelos, corte esquemático sem escala.

3 SOLO E GEOTÊXTIL UTILIZADOS

Em todos os modelos utilizou-se uma areia pura (Monterey n.30), classificada como SP de acordo com o sistema unificado de classificação de solos. Para a densidade relativa usada na preparação dos modelos ($D_r=70\%$), a areia possui um ângulo de atrito de pico (ϕ_p) correspondente a $36,4^\circ$.

A manta não tecida empregada nos ensaios é um geotêxtil de polipropileno, termoligado e que possui gramatura igual a 12 g/m^2 . A resistência à tração do geotêxtil, determinada segundo a NBR- 12824, é igual a $0,144 \text{ kN/m}$.

4 ENSAIOS REALIZADOS

Dois tipos de ensaios foram realizados. Nos ensaios designados de curto prazo, a aceleração

era aumentada até a observação de ruptura do modelo. Dois ensaios de curto prazo idênticos foram realizados para averiguar a repetibilidade dos resultados e identificar o valor da aceleração de ruptura (a_r) dos modelos.

Nos ensaios designados de “ensaios de longo prazo”, os modelos foram observados sob aceleração constante e igual a uma determinada porcentagem da aceleração de ruptura (a_r) identificada nos modelos de curto prazo. As imagens do modelo, bem como as leituras do LVDT e dos termopares eram registradas automaticamente em intervalos pré-estabelecidos. A Tabela 1 mostra os ensaios realizados.

Tabela 1. Ensaios realizados

Tipo	Nível de Aceleração (% a_r *)	Designação
Curto Prazo	-	CP1
Curto Prazo	-	CP2
Longo Prazo	25%	LP1
	40%	LP2
	60%	LP3
	80%	LP4

* a_r – aceleração na ruptura = média dos ensaios de ruptura

Os modelos foram realizados com o objetivo de avaliar o mecanismo de deformação ao longo do tempo em muros de solo reforçado para a discussão e elaboração de teorias a respeito, sem nenhum protótipo específico a ser modelado. Na verdade, a centrífuga foi usada como uma ferramenta eficaz para aplicar o carregamento nos modelos (tensões por peso próprio do solo). Com destaque por Ko (1988), a modelagem em centrífuga é utilizada também para a investigação de novos fenômenos: os modelos não necessariamente representam um protótipo e são ensaiados para a investigação de um determinado fenômeno.

5 RESULTADOS OBTIDOS

5.1 Curvas “aceleração x recalque” e “tempo recalque”

A curva aceleração x recalque obtida em cada ensaio de curto prazo é mostrada na Figura 2. Pode-se observar a boa repetibilidade dos resultados. A ruptura dos modelos foi caracterizada pela formação de uma cunha de ruptura bem definida. Um valor para $a_r = 48,5g$

(média entre ensaios) foi adotado de acordo com os resultados mostrados na Figura 2, bem como em função da observação visual dos modelos durante os ensaios.

A Figura 3 mostra os recalques com tempo no topo dos muros para os modelos com a aceleração mantida constante. Em todos os ensaios, ocorreram movimentações ao longo do tempo cuja intensidade aumentou com o acréscimo do nível de aceleração na ruptura aplicado. Para os ensaios com aceleração $a=80\% a_r$, observou-se, inclusive, a ruptura da estrutura após cerca de 2 h.

Não houve variação significativa da temperatura durante os ensaios com base nos termopares instalados nos modelos.

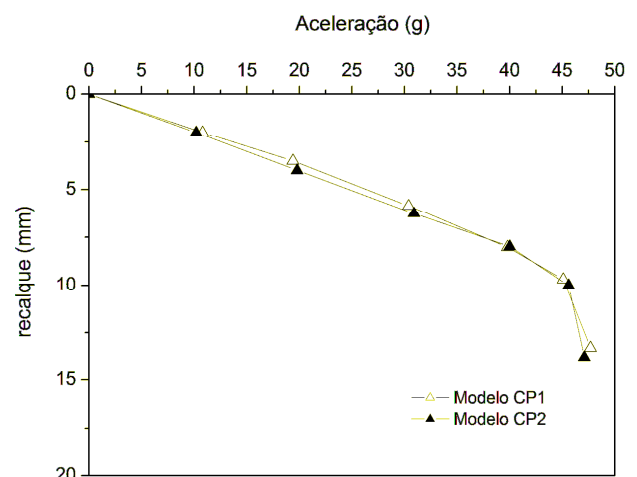


Figura 2. Curva Aceleração x recalque

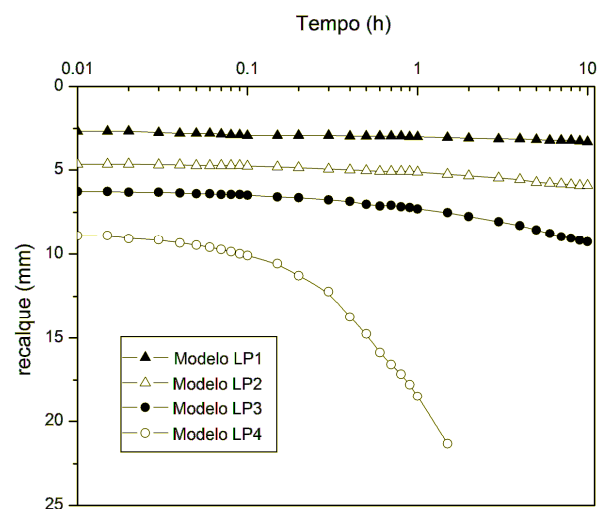


Figura 3. Recalque x tempo para ensaios de longo prazo

5.2 Resultados obtidos através da aquisição de imagens

Os deslocamentos dos marcos de areia foram obtidos através do tratamento das fotos registradas durante o ensaio utilizando o programa computacional *SigmaScan*, aplicativo dedicado à análise digital de imagens. Com os deslocamentos dos marcos, as deformações no reforço foram calculadas. O procedimento adotado consistiu em aproximar uma função aos deslocamentos encontrados e efetuar o cálculo da deformação derivando-se tal função.

A função sigmóide apresentada na expressão (1) foi utilizada para a regressão dos dados de deslocamentos.

$$d = \frac{1}{a + b \cdot e^{-cx}} \quad (1)$$

onde: d – deslocamento do marco até a face;
x – distância do marco até face; e – base do logaritmo neperiano; a, b, c – constantes obtidas após o ajuste da curva.

Esse procedimento foi utilizado anteriormente por Zornberg (1994) para a obtenção de deformações em estruturas de solo reforçado, apresentando resultados satisfatórios. A distribuição de deformação resultante da função adotada está de acordo com o comportamento observado em muros de solo reforçado com face flexível. Ou seja, a deformação na face é nula, cresce até atingir um valor máximo e então decresce tornando-se novamente igual a zero.

Em todos os ensaios de longo prazo, constatou-se que a estrutura apresentou deformações ao longo do tempo. Os resultados demonstram claramente a interferência do comportamento dependente do tempo dos reforços utilizados. Para avaliar se a magnitude da movimentação observada está de acordo com o que poderia ser previsto com base no reforço isolado, as Figuras 4 e 5 mostram ainda, a título de comparação, as deformações obtidas nos modelos e em ensaios convencionais de fluência (sem confinamento) apenas com o reforço. Nos ensaios de fluência do reforço

aplicou-se um carregamento correspondente a 60 e 80% de sua resistência à tração.

Com relação a Figuras 4 e 5, destaca-se que a princípio, 60 e 80% da aceleração na ruptura não significa necessariamente que todos os geotêxteis estão 60 e 80% de sua resistência à tração. O nível de carga atuante depende da distribuição de carga entre as camadas de reforço durante o ensaio. No entanto, trabalhos anteriores realizados com modelos reduzidos semelhantes aos do presente trabalho (Jaber, 1989; Arriaga, 2003) indicam haver uma redistribuição de força entre camadas de reforço de forma que a força não seria crescente com a profundidade, como freqüentemente adotado em procedimentos de cálculo de muros de solo reforçado. Esse comportamento provoca uma distribuição de força máxima nos reforços constante com a profundidade à medida que a estrutura se aproxima da ruptura. Assim, a hipótese do nível de aceleração nos modelos de curto prazo corresponder ao nível de carga nos reforços (em relação à resistência à tração do material) torna-se mais admissível.

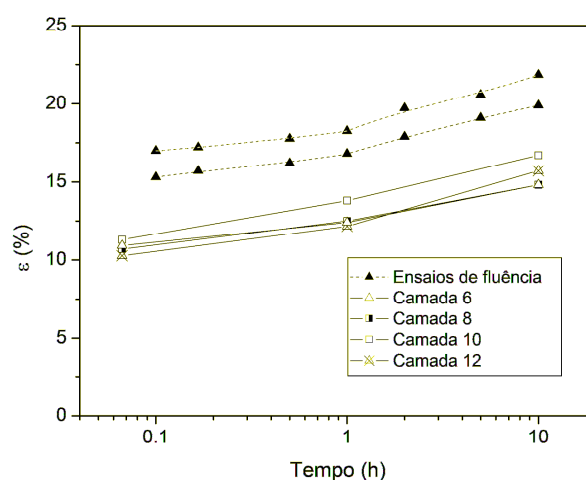


Figura 4. Deformações nos modelos (60% a_r) e obtidas nos ensaios de fluência não confinada (60% T_{ult}).

Ainda com relação às Figuras 4 e 5, embora as deformações iniciais tenham sido menores no caso dos modelos, possivelmente por efeito de confinamento do geotêxtil não tecido, a fluência observada foi bastante semelhante em todos os casos. As maiores diferenças em termos de deformação, observadas na Figura 5, são justificadas pela própria variabilidade do material, característica para o nível do carregamento. Em termos de tempo de ruptura,

o comportamento também foi semelhante, para os ensaios convencionais variou de 53 min a 1,6 h e no modelo ocorreu a 1,8 h.

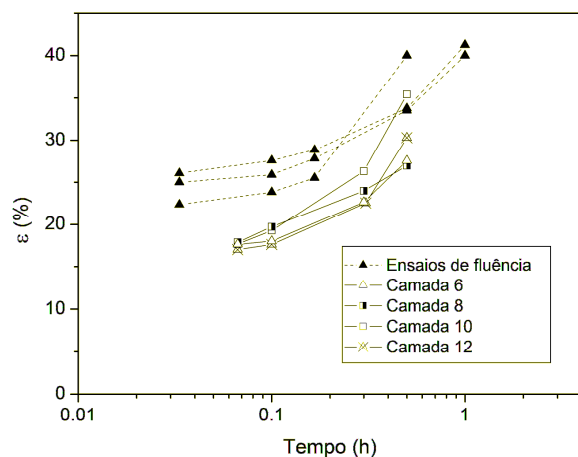


Figura 5. Deformações obtidas nos modelos (80% a_r) e obtidas nos ensaios de fluência não confinada (80% T_{ult}).

Os resultados encontrados em todos os modelos demonstraram aspectos importantes com relação a uma possível interação com o solo. A presença de uma areia não evitou a manifestação das deformações do reforço no decorrer do tempo. Tal comportamento ocorreu mesmo sendo as areias consideradas, geralmente, solos cuja fluência é admitida como insignificante. Deformações em função do tempo ocorreram em todos os níveis de aceleração considerados, e de acordo com o nível esperado com base nos ensaios não confinados, ocorrendo, inclusive, ruptura.

6. DISCUSSÃO GERAL SOBRE MECANISMOS DE INTERAÇÃO AO LONGO DO TEMPO (ii)

Os resultados encontrados no presente trabalho mostram deformações ao longo do tempo com o reforço confinado em areia semelhantes às estimadas com base nos ensaios de fluência do reforço isolado. Tal comportamento deve ser entendido como o resultado de um dos mecanismos que pode se desenvolver ao longo do tempo, isto é, constitui um caso particular e não, a regra geral.

No entanto, esses resultados foram importantes para mostrar a necessidade de reavaliar algumas idéias presentes na literatura

técnica sobre fluência de geossintéticos. Como por exemplo, a afirmação de que se o solo confinante apresenta uma menor tendência para apresentar deformações ao longo do tempo em relação ao geossintético, o solo irá necessariamente restringir a fluência do reforço.

Como base nos resultados obtidos nesta pesquisa, considera-se que a interferência da fluência do solo deve ser analisada de forma mais abrangente. Nesse sentido três situações distintas podem ocorrer. O solo pode apresentar: mesma tendência à fluência, menor tendência ou ainda, maior tendência à fluência em relação ao reforço.

Os três casos determinam diferentes mecanismos de interação solo-reforço ao longo do tempo, que se desenvolvem de acordo com as características do reforço e do solo confinante. A força requerida no reforço pelo solo para garantir o equilíbrio e a força mobilizada no reforço devem ser compatíveis ao longo do tempo. Para um elemento hipotético de solo reforçado submetido a uma tensão vertical e composto por um geossintético confinado entre duas camadas de solo, os mecanismos se desenvolvem da seguinte forma:

(i) Solo e reforço com mesma tendência à fluência

Solo e reforço apresentam deformações ao longo do tempo e esse acréscimo de deformação não provoca nenhuma variação no valor da carga no reforço. A tensão mobilizada no solo também permanece constante e as deformações observadas, de fato, podem ser consideradas como fluência (deformações ao longo do tempo sob carga constante).

(ii) Solo apresenta menor tendência à fluência

A menor taxa de fluência do solo em relação ao reforço não constitui condição suficiente para o solo restringir a fluência do reforço. Necessário se faz, ainda, analisar a possibilidade da força requerida pelo solo diminuir com o tempo. Tal exigência ocorre em função do comportamento reológico do reforço, que irá apresentar relaxação de tensão caso não ocorra fluência. Ou seja, se as deformações ao longo do tempo são reduzidas pela presença do solo, a força no reforço irá diminuir. Para garantir o equilíbrio, a força requerida pelo solo deverá também apresentar um decréscimo. Se o

solo tiver essa capacidade através, por exemplo, de um ganho de sucção matricial ao longo do tempo, o solo pode então restringir as deformações do reforço ao longo do tempo. Caso contrário, a restrição das deformações do reforço com o tempo, causada pela presença do solo, não é possível.

(iii) Solo apresenta uma maior tendência à fluência em relação ao reforço.

Quando o solo apresenta uma maior tendência à fluência em relação ao reforço, se a fluência do solo é impedida, o solo apresenta relaxação. Nesse caso, o reforço precisa mobilizar uma maior resistência em função das deformações ao longo tempo e as necessidades de ambos os materiais podem ser compatibilizadas.

Com relação à tendência à fluência do solo em relação ao reforço, é importante observar ainda que, apesar da fluência das areias ser tradicionalmente considerada desprezível, a taxa de fluência de uma areia nas condições encontradas em um muro de solo reforçado pode não ser consideravelmente inferior à taxa de fluência dos geossintéticos. Esse comportamento pode ser observado analisando-se resultados de ensaios de fluência de uma areia e de geossintéticos, como os mostrados na Figura 6 e 7, respectivamente.

A Figura 6 apresenta valores de taxa de deformação ao longo do tempo, tipicamente observada para areias, segundo Kuhn e Mitchell (1993). Os valores foram obtidos por Murayama et al. (1984) para uma areia pura submetida a uma diferença de tensão principal ($\sigma_1 - \sigma_3$) constante. Essa Figura apresenta a taxa de deformação ao longo do tempo ($d\gamma/dt$), onde $\gamma = \epsilon_1 - \epsilon_3$. Os valores são referentes a diversos níveis de tensão, em relação à máxima tensão cisalhante ($\tau_{m\acute{a}x}$) obtida em ensaios de compressão triaxial.

A Figura 7 apresenta valores de taxa de fluência para geossintéticos de polietileno (PE), polipropileno (PP) e poliéster (PET). Esses valores foram calculados neste trabalho com base em dados presentes na literatura. Para um mesmo material, são apresentadas taxas de fluência para diferentes níveis de carregamento em relação à resistência à tração de cada

geossintético ($\%T_{ult}$). Na Figura 7, considerando um determinado geossintético, quanto maior o nível de carregamento, maior a taxa de deformação para um mesmo tempo.

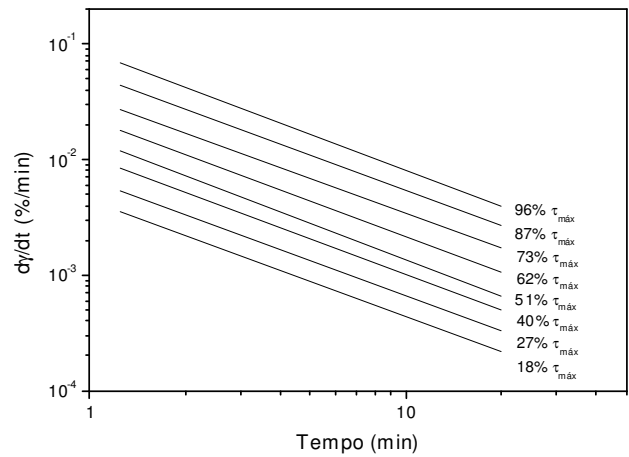


Figura 6. Taxa de fluência tipicamente observada para areias (Murayama et al., 1984).

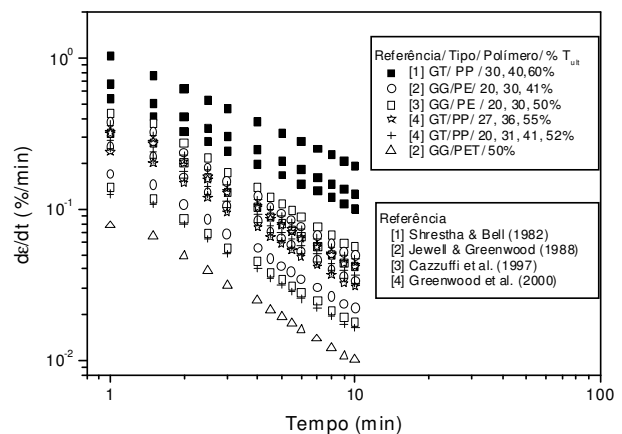


Figura 7. Taxa de fluência observada em geossintéticos (GT – geotêxtil tecido, GG – geogrelha).

Comparando-se a magnitude das taxas de fluência mostradas nas Figura 6 e 7, para um mesmo nível de solitação, percebe-se que a fluência da areia é consideravelmente menor que a apresentada por geossintéticos (comparando-se por exemplo, 40% de $\tau_{m\acute{a}x}$ e 40% de T_{ult} , para solo e reforço, respectivamente). No entanto, deve-se considerar que tal situação não corresponde à condição normalmente presente em estruturas de solo reforçado. Para o nível de deformação máxima freqüentemente verificado nos reforços em estruturas instrumentadas ($\epsilon = 1$ a 3%), o nível de carregamento no geossintético é bastante reduzido, ao passo que o nível de

tensão no solo é, possivelmente, bem mais elevado.

Allen e Bathurst (2002a), ao revisarem de forma criteriosa o comportamento de 6 muros instrumentados, mostram por exemplo, que a força máxima registrada nos reforços variou de 1 a 7% da resistência à tração. Assim, uma condição representativa de estruturas de solo reforçado, para comparar a taxa de fluência de areias em relação aos geossintéticos, corresponde ao reforço com um nível de carregamento bastante reduzido ao passo que o solo apresenta níveis mais elevados. Por exemplo, enquanto o reforço está submetido a um nível de solitação igual a 10% T_{ult} , o solo estaria sujeito a 60 - 90% $\tau_{m\acute{a}x}$.

A Figura 8 apresenta a faixa de valores para a taxa de fluência mostrada na Figura 6, considerando 62% a 96% $\tau_{m\acute{a}x}$ para o solo, e a faixa de valores para a taxa de fluência de geossintéticos de PE e PP com uma força igual a 20% T_{ult} mostrada na Figura 7. O nível de 20% foi considerado pela inexistência de dados correspondentes a um menor nível de solitação. Considerando a condição mostrada na Figura 8, percebe-se que a taxa de fluência, mesmo de uma areia, pode ser semelhante à taxa de fluência de um geossintético.

Assim, apesar da fluência das areias ser tradicionalmente considerada desprezível, a taxa de fluência de uma areia nas condições encontradas em um muro de solo reforçado pode não ser consideravelmente inferior à taxa de fluência dos geossintéticos. Isso implica que a hipótese de solo e reforço com mesma tendência à fluência é admissível, mesmo considerando uma areia como aterro.

É importante salientar ainda que os mecanismos discutidos anteriormente são referentes a um elemento de solo reforçado composto por um único reforço confinado entre duas camadas de solo. Deve-se considerar, ainda, que nos muros de solo reforçado existe a possibilidade de uma interação entre os demais componentes da estrutura. A redistribuição de força entre reforços, identificada nos modelos realizados em centrífuga no presente trabalho, bem com a redistribuição de força entre reforços em outros trabalhos presente na literatura sugere que pode haver ainda uma interação entre camadas ao longo do tempo.

Considerando todo o mecanismo anteriormente discutido, a presença do solo, de fato, pode afetar a fluência do reforço, mas não no sentido de alterar as propriedades do material. Com exceção dos geotêxteis não tecidos, a diferença entre o comportamento de geossintéticos confinados no solo e sem confinamento, submetidos a um mesmo carregamento inicial, ocorre devido às diferentes trajetórias de carregamento a que o material é submetido ao longo do tempo nas duas situações.

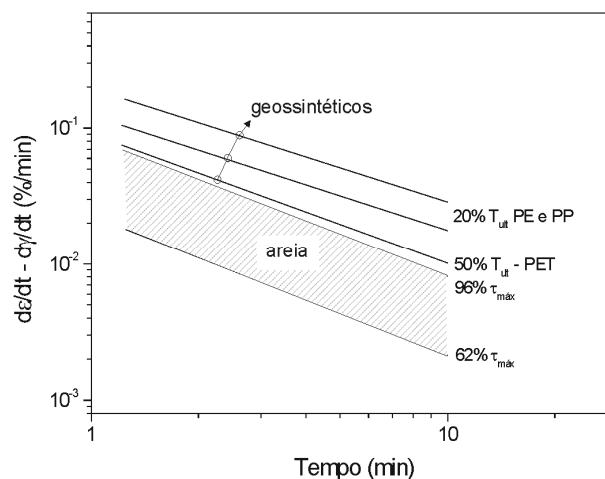


Figura 8. Comparação entre a tendência à fluência de areias e geossintéticos para níveis de solitação diversos

Sendo assim, nem sempre a previsão das deformações ao longo do tempo de uma estrutura com base em ensaios de fluência convencionais do reforço estará de acordo com o comportamento observado, mesmo que a carga inicial no reforço seja conhecida.

Diante de tal situação, uma previsão adequada das deformações ao longo do tempo em muros de solo reforçado com base em resultados de ensaios de laboratório não é simples e essa questão, certamente, ainda constitui tema de pesquisa. Na ausência de outro procedimento mais adequado, impor uma carga limite no reforço para a qual a deformação ao longo do tempo não é excessiva, com base em ensaios de fluência convencionais, ainda é a alternativa mais viável.

Com relação ao dimensionamento de muros de solo reforçado, os resultados encontrados no presente trabalho suportam que, embora os métodos utilizados em projeto sejam extremamente conservadores com relação à

ruptura, muita cautela deve ser tomada antes da adoção de procedimentos menos conservadores, já que as deformações ao longo do tempo podem comprometer a utilização da estrutura.

7 CONCLUSÕES

As seguintes considerações finais devem ser destacadas:

- Deformações ao longo do tempo foram observadas em todos os modelos realizados para investigação de fluência, ocorrendo, inclusive, a manifestação de ruptura, após algumas horas de ensaio.
- A taxa de deformação ao longo do tempo observada nos modelos foi semelhante à observada nos ensaios convencionais de fluência dos geotêxteis. Essa semelhança é válida, considerando o nível de sollicitação dos geotêxteis nos modelos em relação à resistência confinada do reforço.
- A menor taxa de fluência do solo em relação ao reforço não constitui condição suficiente para o solo restringir a fluência do reforço. É necessário avaliar ainda a possibilidade da força requerida pelo solo diminuir com o tempo.
- Não obstante a fluência das areias ser tradicionalmente considerada desprezível, a taxa de fluência de uma areia nas condições encontradas em um muro de solo reforçado pode não ser significativamente inferior à taxa de fluência dos geossintéticos.
- Embora os métodos utilizados para o dimensionamento de muros de solo reforçado sejam conservadores com respeito à ruptura, considera-se que qualquer reavaliação dos métodos atuais ou proposição de novas rotinas de cálculo não deve ser estabelecida sem uma análise criteriosa sobre os efeitos do comportamento dependente do tempo do reforço no desempenho da estrutura.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo apoio ao trabalho realizado.

REFERÊNCIAS

- Allen, T. M. e Bathurst, R. J. (2002a). Soil reinforcement loads in geosynthetic walls at working stress conditions, *Geosynthetics International*, v. 9, n.5-6, p.525-566.
- Allen, T. M. e Bathurst, R. J. (2002b). Observed long-term performance of geosynthetic wall and implications for design, *Geosynthetics International*, v. 9, n.5-6, p. 567-606.
- Arriaga, F. (2003). *Response of geosynthetic-reinforced structures under working stress and failure conditions*. Tese de Doutorado, University of Colorado at Boulder, 205p.
- Cazzuffi, D., Ghinelli, A, Sacchetti, M., Villa, C. (1997). European experimental approach to the tensile creep behavior of high-strength geosynthetics. *Geosynthetics' 97*,. California, USA, v.1. , p.253-266.
- Costa, C. M. L. (2004). *Deformações dependentes do tempo em muros de solo reforçado com geotêxteis*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 330p.
- Greenwood, J. H., Kempton, G. T., Watts, G. R. A., Bush, D. I. (2000). Twelve year creep tests on geosynthetic reinforcement. *European Geosynthetics Conference - EuroGeo, 2nd*. Bologna, v.1., p. 333-336
- Jaber, M. B. (1989). *Behavior of reinforced soil walls in centrifuge model tests*. Tese de Doutorado, University of California, Berkeley, 239p.
- Jewell, R. A. E Greenwood, J. H. (1988). Long term strength and safety in steep soil slopes reinforced by polymer materials, *Geotextiles and Geomembranes*, v. 7, n. 1 e 2, p.81-118.
- Ko, H. Y. (1988). Summary of the state-of-the-art in centrifuge model testing. *Centrifuges in Soil Mechanics*, p. 11-18.
- Kuhn, M. R. e Mitchell, J. K. (1993). New perspectives on soil creep, *Journal of Geotechnical Engineering*, v. 119, n. 3, p. 507-523.
- Murayama, S., Michihiro, K. e Sakagami, T. (1984). Creep characteristics of sands, *Soils and Foundations*, v. 24, n. 2, p. 1-15.
- Shrestha, S. C. e Bell, J. R. (1982). Creep behavior of geotextiles under sustained loads, *International Conference on Geotextiles, 2nd*, Las Vegas, USA, v. 3, p. 769-774.
- Wu, J. T. H. e Helawany, S. M. B. (1996). A performance test for assessment of long-term creep behavior of soil-geosynthetic composites, *Geosynthetics International*, v. 3, n.1, p. 107-124.
- Zornberg, J. G. (1994). *Performance of geotextile-reinforced soil structures*. Tese de Doutorado, University of California, Berkeley.