

MODELAGEM COMPUTACIONAL PARA PREVISÃO DE DEFORMAÇÕES AO LONGO DO TEMPO DE MUROS RESFORÇADOS APLICADOS EM FERROVIAS E ENCONTROS DE PONTES

Sarah Eilen Carvalho da Silva ¹; Rafael Ribeiro Plácido ²

¹ Aluna de Iniciação Científica do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

² Professor do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).

Resumo. *A estabilidade das estruturas de arrimo sob o efeito de carregamentos dinâmicos ao longo do tempo é um assunto pouco abordado pela literatura. Tendo isso em consideração, o presente projeto visa prever as deformações ao longo do tempo de solos reforçados devido à fluência e aos carregamentos dinâmicos incorporados à estrutura. Nessa pesquisa foi analisada um aterro com solo tropical e geogrelhas, o qual foi incorporado carregamentos estáticos e dinâmicos para acompanhar os seus efeitos a longo prazo. Foi realizada a simulação da estrutura após 1 mês, 3 meses, 6 meses, 1 ano, 2 anos, 5 anos, 10 anos, 25 anos, 50 anos e 100 anos a partir do término da construção. Foram calculados os fatores de segurança, bem como o deslocamento da face e a deformação que a estrutura obteve em cada um desses estágios pelo Método dos Modelos Finitos (MEF) e pelo modelo de “Soft Soil Creep” do software geotécnico Plaxis. O modelo desenvolvido possibilitou estipular deformações e fatores de segurança limite para a estrutura com o intuito de prever a necessidade de vistoria à construção. Os resultados sugerem que essas estruturas sejam vistoriadas anualmente, considerando que as decisões de reforços sejam tomadas em função de sua deformação.*

Introdução

O desenvolvimento econômico de um país está diretamente relacionado à sua capacidade de movimentar mercadorias provenientes das indústrias de base, como minérios de ferro, soja, farelos, cimento e produtos siderúrgicos, por exemplo. Neste sentido, o transporte ferroviário se mostra como uma alternativa eficiente permitindo se transportar produtos das indústrias de base entre locais distantes sob condições seguras e com menor custo quando comparado com o transporte rodoviário. No Brasil o transporte ferroviário está longe de atingir o seu ápice, tanto em termos de eficiência quanto em termos de utilização. Quando comparado com outros países, nota-se que a malha ferroviária brasileira é muito deficiente e demanda uma série de investimentos para se atingir um estágio minimamente satisfatório.

Neste contexto, pesquisas voltadas às técnicas de construção de ferrovias se tornam imprescindíveis. Por se tratar de obras lineares e de grande extensão, as ferrovias encontram ao longo do caminho diversos problemas geotécnicos de naturezas distintas devido às limitações de rampas. São comuns em ferrovias, por exemplo, obras de terraplenagem envolvendo grandes movimentações de terra para a execução de cortes e aterros.

As estruturas de contenção, mais especificamente aterros, muitas vezes são reforçadas com geossintéticos para melhorar seu desempenho ao longo do tempo. Quando se trata de obras dessa natureza existem dois fatores preponderantes que governam o comportamento em longo prazo dessas estruturas. São eles as deformações dependentes do tempo, ocasionadas pelo efeito da fluência do solo e dos reforços, e as deformações provenientes dos carregamentos cíclicos em função da passagem dos trens.

Geossintéticos

As obras de engenharia civil encontram diversas singularidades quando se trabalha com solos. Devido às características únicas de cada terreno, muitas vezes é necessário desenvolver novas soluções geotécnicas para tratamentos e reforços dos solos. Ao longo dos anos, os geossintéticos passaram a ser essenciais em grandes obras, principalmente como elementos de reforço, por serem recursos confiáveis e eficientes (Vertematti, 2004).

Entende-se por geossintético o material produzido industrialmente e trabalhado a fim de adquirir uma propriedade específica para seu uso em obras (Benjamim, 2006). Podendo ser constituídos por polímeros ou fibras naturais, os geossintéticos são categorizados acordo com as suas aplicações. Dentre elas: drenagem de líquidos, separação entre materiais, filtração, impermeabilização e reforço de solos (Vertematti, 2004). No que se refere a geossintéticos que auxiliam no reforço de maciços, como nas estruturas de contenções, os materiais mais utilizados são as geogrelhas.

As geogrelhas são produtos em forma de malha cujas aberturas permitem a interação com o meio em que estão confinadas, constituído por elementos resistentes à tração (Aguiar e Vertematti, 2004). Via de regra possuem alta resistência e alto módulo de rigidez. Essas malhas viabilizam maior interação entre o solo e o geossintético, aumentando a estabilidade e o reforço da estrutura (Benjamim, 2006).

Solos reforçados

A inclusão de geossintéticos em maciços de solo reforçado como elemento de reforço do material de aterro propicia uma redistribuição global das tensões e deformações, permitindo a adoção de estruturas com faces verticais (muros) ou maciços mais íngremes (taludes) com menor volume de aterro compactado (Vertematti, 2004).

Uma massa de solo reforçado pode ser considerada uma estrutura análoga ao concreto armado, já que as propriedades mecânicas do maciço são melhoradas com a utilização de reforços posicionados paralelamente à direção das deformações principais, de forma a compensar a falta de resistência à tração do solo (FHWA, 2001).

Solos reforçados com geossintéticos passaram a ser recursos muito utilizados devido às suas vantagens técnicas e de logística que incorporam nas obras geotécnicas. A fácil aplicação, a versatilidade dos materiais poliméricos e a possibilidade de usar quase todos os tipos de solo, minimizando o tempo de construção e custo da estrutura, estão entre os fatores que contribuem para a crescente demanda por esse tipo de solução geotécnica (Plácido, 2016; Benjamin, 2006).

Os solos reforçados têm como finalidade garantir maior estabilidade às estruturas mais íngremes, como taludes, muros e contenções. Ao redistribuir a gama de tensões através dos geossintéticos ao longo dos maciços, esse tipo de solo implica em menores deformações e rupturas por cisalhamento se comparado a um aterro comum (Plácido, 2016).

De acordo com Ashmawy e Bourdeau (1995), o comportamento desse tipo de solo varia de acordo com as propriedades do solo e do reforço empregado, bem como da interação desses dois elementos entre si. Outrossim, a forma de ligação do reforço na face, a forma de compactação do aterro e o escoramento do muro também são fatores que contribuem para deformações da estrutura (Plácido, 2016).

Solos reforçados aplicados em ferrovias e carregamentos dinâmicos

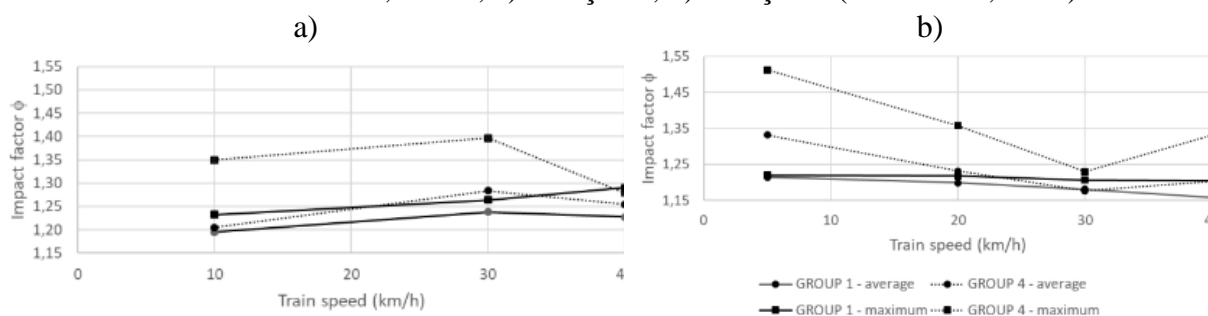
Estudos referentes à estabilização de taludes e aterros carregam certa relevância no que concerne os deslizamentos de terra (Benjamin, 2006). Estradas e percursos viários são extremamente impactados por esses fenômenos, principalmente em épocas chuvosas. Há, portanto, prejuízos sociais, econômicos e logísticos envolvendo esses tipos de acidentes. Assim,

recalques e deformações provocados por veículos pesados são de suma importância dentro de projetos geotécnicos aplicados em obras de infraestrutura (Lachouski, 2021).

Os carregamentos dinâmicos de veículos atuam constantemente sobre estruturas ferroviárias e rodoviárias induzindo-as a deformações consideráveis sobre as vias (Ashmawy e Bourdeau, 1995). A influência desses carregamentos é muitas vezes interpretada e traduzida como um fator dinâmico ou fator de impacto aplicado à carga para corrigir e utilizar valores mais assertivos em projetos de ferrovias. A carga dinâmica é um complemento à carga estática; ela incorpora variáveis como inércia, amortecimento e rigidez da estrutura ao cálculo da carga efetiva atuante na via (Pereira, Lopes e Castro).

Ensen et al (2021) realizaram o estudo de duas pontes férreas brasileiras quanto às velocidades dos trens e os fatores de impacto que o carregamento dinâmico implica na estrutura. A Figura 1 mostra os resultados obtidos das leituras dos fatores de impacto médio e máximo da ponte de Belizário com dois grupos diferentes.

Figura 1 – Fatores de impacto médio e máximo obtidos em duas direções da ponte situada em Belizário, Brasil; a) Direção 1; b) Direção 2 (Ensen et al, 2021)



Segundo Brina (1988), há diferentes autores que realizaram interpretações e experimentos distintos para o cálculo do coeficiente dinâmico. No entanto, vale ressaltar que um fator entre 1,3 e 1,4 para vias de padrão médio ou inferior é mais conservador, ficando ao lado da segurança da via.

Dentro do sistema dinâmico no qual são implantadas, as estruturas ferroviárias possuem irregularidades ao longo do percurso. Essas variações implicam em deteriorações geométricas da via, assim como contribuem para deslocamentos da camada de lastro (Pereira, Lopes e Castro). As linhas ferroviárias aliadas aos solos reforçados com geogrelhas promovem soluções de baixo custo tanto para carregamentos estáticos quanto transientes para o tipo de estrutura em questão, reduzindo os efeitos mencionados. Outro recurso aliado aos solos reforçados com geossintéticos são as paredes de contenção que dão maior estabilidade à estrutura e reduzem a área da base dos aterros, otimizando o canteiro de obra e o percurso das linhas ferroviárias (Esen et al., 2021).

Fluência dos materiais

Um fator importante a ser considerado em projetos de muros em solos reforçados com geossintéticos se refere às deformações que essas estruturas sofrem ao longo do tempo. O uso de geossintéticos como reforços de solo fazem com que essas estruturas apresentem comportamento tensão-deformação em função do tempo graças às características poliméricas desses materiais (Plácido, 2016). O fenômeno no qual materiais poliméricos sofrem deformações ao longo do tempo quando submetidos a carregamentos constantes é denominado fluência (França, 2012).

Infere-se por fluência de um material a deformação ao longo do tempo sob o efeito de uma carga constante (Alves, 2011). De acordo com Plácido (2016), os aspectos de fluência e relaxação dos materiais podem ser analisados como a perda das suas características iniciais, ou

mais especificamente, a redução da rigidez desses materiais. No que tange projetos de solos reforçados aplicados a estruturas de contenção, os efeitos de fluência tanto para o geossintético quanto para o solo utilizados devem ser considerados e estudados.

Os solos argilosos possuem características únicas que contribuem significativamente para o seu comportamento em estruturas. Dentre os aspectos reológicos das argilas, a fluência é um dos mais importantes analisados nesse tipo de solo. Realizando um comparativo entre solos arenosos e argilosos, o último apresenta maiores deformações ao longo do tempo, principalmente por apresentar um tipo de deslizamento lento cujos efeitos são evidenciados após longos períodos (Havel, 2004).

A deformação por fluência dos geossintéticos é regida por diversos fatores, destacando-se o tipo de geossintético e a velocidade do carregamento aplicado. Materiais com maior grau de liberdade em suas fibras manifestam grandes deformações por fluência, enquanto as menores deformações são observadas em geossintéticos com fibras unidas, a exemplo as geogrelhas. Quanto à velocidade de aplicação, carregamentos com velocidades elevadas apresentam as maiores deformações por fluência (Plácido, 2016).

Materiais e Métodos

Esse trabalho apresenta uma avaliação do comportamento ao longo do tempo de estruturas de solos reforçados com geossintéticos submetidos a carregamentos dinâmicos provenientes de ferrovias. A fim de analisar as deformações dependentes do tempo do solo do aterro e dos geossintéticos levando em consideração a fluência dos mesmos e os carregamentos dinâmicos aplicados à estrutura, foi utilizada como referência o muro de solo reforçado estudado por Plácido (2016).

Os solos utilizados nessa pesquisa, bem como os reforços considerados são apresentados nesse item. Apresentam-se também as metodologias empregadas para o desenvolvimento do trabalho.

Caracterização do solo

O solo empregado nessa pesquisa possui comportamento semelhante ao estudado por Plácido (2016), cujos parâmetros de resistência e deformabilidade são apresentados na Tabela 1.

Os parâmetros de deformabilidade ao longo do tempo do solo utilizado foram obtidos através de ensaios triaxiais nos quais o carregamento foi mantido constante e as deformações foram medidas ao longo do tempo. Tais ensaios foram realizados nas dependências do Instituto Mauá de Tecnologia. Caracterizado como areia silto-argilosa, o solo 207 possui massa específica $2,645 \text{ g/cm}^3$. A sua curva granulométrica é apresentada na Figura 2. Ademais, foi estudada a fluência desse solo com uma campanha de ensaios triaxiais cujos resultados são apresentados na Figura 3.

Figura 2 – Curva granulométrica do solo 207

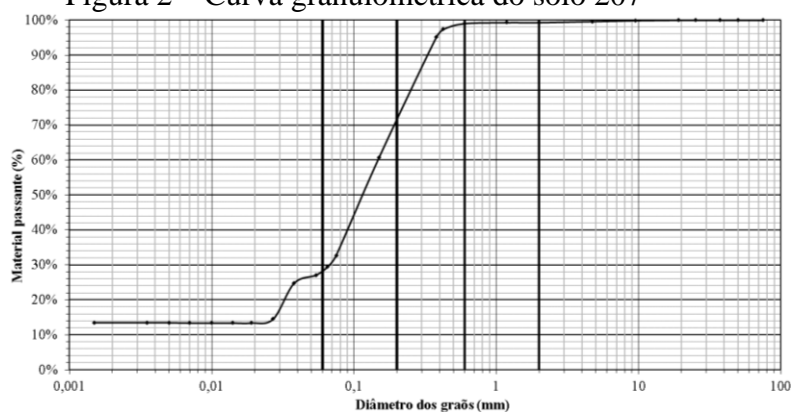
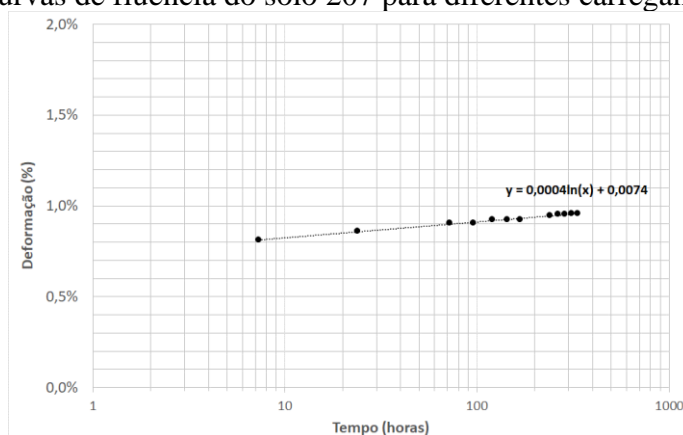


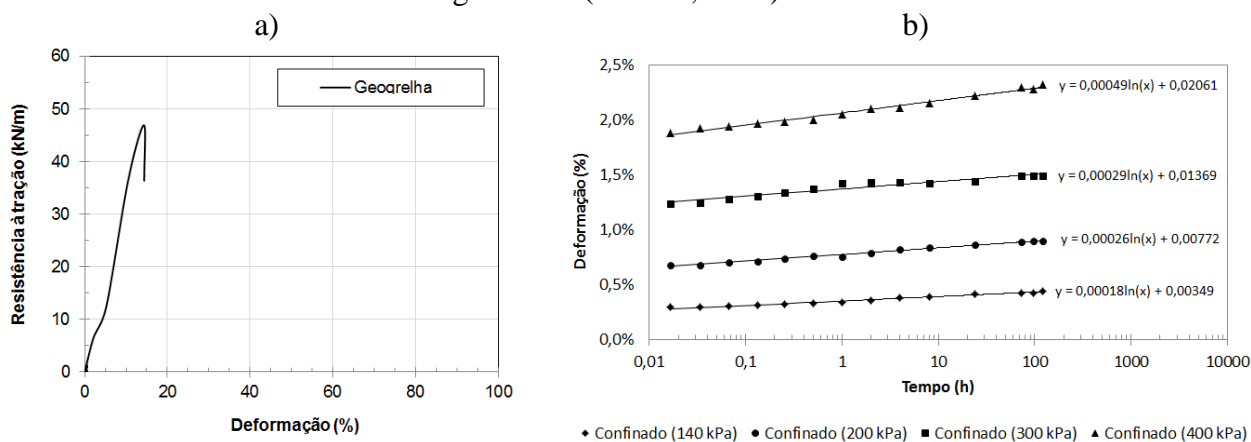
Figura 3 - Curvas de fluência do solo 207 para diferentes carregamentos



Características dos geossintéticos

A geogrelha utilizada nessa pesquisa foi a mesma empregada por Plácido (2016). Trata-se de uma geogrelhas biaxial de poliéster com resistência nominal à tração de 40kN/m. Os resultados dos ensaios de tração e de fluência são mostrados na Figura 4 a seguir.

Figura 4 – Resultados dos ensaios de caracterização da geogrelha utilizada na pesquisa: a) Curva de resistência à tração da geogrelha; b) Curvas de fluência da geogrelha para diferentes carregamentos (Plácido, 2016).



Método dos elementos finitos (MEF)

As análises numéricas podem ser resumidas em uma série de estudos que se utilizam de operações aritméticas básicas para a resolução de problemas matemáticos complexos. A fim de facilitar os cálculos, esses modelos agrupam números finitos de conexões entre si e obtêm análises significativas para um conjunto de pontos discretos, substituindo equações diferenciais ou integrais por equações lineares e não-lineares. (Havel, 2004).

Simulação numérica

Um muro de solo reforçado construído em Campinas serviu como base para a modelagem numérica, considerando sua geometria e as seções estudadas previamente por Plácido (2016).

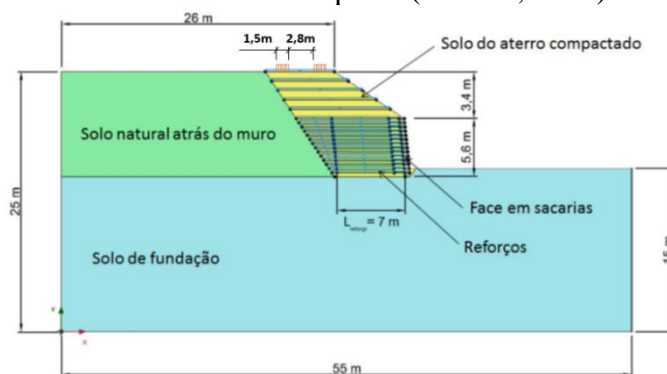
Na elaboração do modelo foram aplicados diferentes parâmetros para cada material. dentre eles: solo natural atrás do muro, solo do aterro, solo de fundação, reforços e sacarias que formam a face do aterro. Destaca-se que para o solo do aterro reforçado, que representa maior interesse para essa pesquisa, foi empregado o modelo constitutivo denominado *Soft Soil Creep*, o qual apresenta as seguintes características: módulo de rigidez do solo dependente do nível de carregamento; distinção entre carregamento primário e solicitações de carregamento e descarregamento; deformações secundárias dependentes do tempo; memória de tensões de pré-adensamento; critério de ruptura de Mohr-Coulomb. Para os demais solos, incluindo as sacarias de face, foi empregado um modelo elastoplástico convencional que emprega como critério de ruptura o critério de Mohr-Coulomb.

A Tabela 1 e a Figura 5 mostram os parâmetros utilizados e a vista geral do modelo respectivamente.

Tabela 1 - Parâmetros geotécnicos empregados nas análises numéricas (Plácido,2016)

Parâmetro	Solo de Fundação	Solo atrás do muro	Solo de Aterro	Paredes laterais
Modelo do Material	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Soft Soil Creep	Plate Elastic
Tipo de Comportamento	Drenado	Drenado	Drenado	-
Peso Específico (kN/m ³)	20.0	19.0	20.0	78.0
Módulo de Deformabilidade (kN/m ²)	1.0E+5	7.5E+4	-	2.1E+8
λ	-	-	9.0E-3	-
κ	-	-	6.0E-3	-
μ	-	-	4.0E-4	-
Coefficiente de Poisson	0.35	0.30	-	0.12
Coesão (kN/m ²)	53.0	53.0	53.0	-
Ângulo de atrito (graus)	32.0	35.0	32.0	-

Figura 5 – Vista geral do modelo numérico desenvolvido para a simulação do muro de referência de Campinas (Plácido, 2016)



As etapas de compactação do solo do aterro foram subdivididas para cada uma das 19 camadas, levando 0,5 dia para uma ser adicionada, contabilizando 9 dias e meio de operação. Nas primeiras 14 camadas, adotou-se carregamentos de $40,0 \text{ kN/m}^2$ no solo distante até 2,0 metros da face interna da sacaria e de $70,0 \text{ kN/m}^2$ na extensão restante do aterro. Nas últimas 5 camadas foi utilizada apenas a maior das cargas citadas ao longo de toda superfície. Tais carregamentos foram empregados para simular os efeitos da compactação do solo através de carregamentos estáticos. As correlações entre o equipamento utilizado para compactação e sua respectiva carga estática foram as mesmas apresentadas por Ehrlich e Becker (2009). Além disso, foram adicionados os geossintéticos sobre cada camada para configurar o solo reforçado na estrutura, concluindo a etapa de elaboração da estrutura.

A simulação da fase pós-construtiva iniciou-se com a criação de novas fases ao modelo. Considerando que o intuito desse trabalho é avaliar as deformações e variações do coeficiente de segurança que ocorrem na estrutura a longo prazo, foram incorporadas mais 10 etapas para o muro de referência, sendo subdivididas em 1 mês, 3 meses, 6 meses, 1 ano, 2 anos, 5 anos, 10 anos, 25 anos, 50 anos e 100 anos.

Foi simulado o comportamento do solo do aterro compactado para dois tipos de carregamentos: estático e dinâmico. Tendo em vista que o cálculo para a carga estática de vagões férreos foi realizado de acordo com o modelo de Talbot, considerou-se um valor de 80 kN/m^2 para as duas vias instaladas na estrutura, presentes acima do aterro na Figura 5. Nesse modelo, foram calculadas as tensões no subleito da ferrovia, com vias de 1,5 metros de largura. Para a carga dinâmica, foi aplicado um fator de impacto de 1,4 para uma velocidade de 60 km/h considerando o material disponibilizado por Brina (1988), resultando em uma carga de 112 kN/m^2 . Também foi monitorado o comportamento do fator de segurança em relação ao tempo em todas as fases criadas. Assim, com o modelo adequadamente calibrado, foram realizadas análises quanto aos parâmetros anteriormente mencionados.

Resultados e Discussão

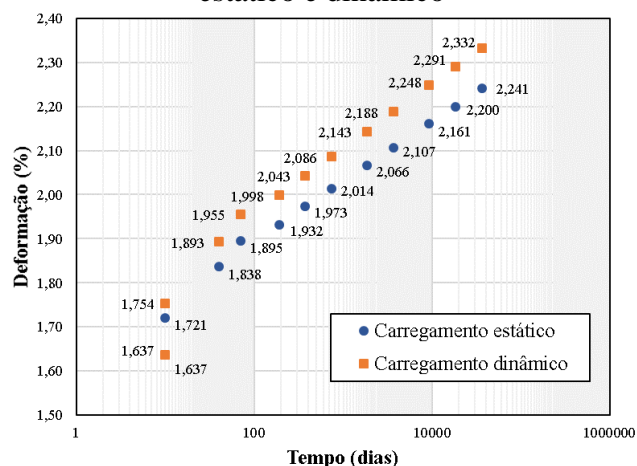
Procurando obter valores substanciais para a estrutura de aterro com solo reforçado, utilizando dois tipos de carregamento distintos, foram realizadas algumas análises numéricas. Os resultados e interpretações das mesmas estão presentes nesse item.

Análise numérica

As etapas de compactação do solo induziram um deslocamento da face da estrutura. O valor foi de 91,65 mm, com deformação de 1,637%. A estrutura, decorridos 9 dias e meio a partir do início da construção, apresentava um fator de segurança de 2,55. Para a simulação, foram aplicados, após os 9 dias e meio, os dois tipos de carregamentos de acordo com as fases

anteriormente criadas. Os valores de deformação da face do aterro em função do tempo para cada carga são apresentados na Figura 6.

Figura 6 - Deformação da face do aterro em função do tempo em dias com carregamento estático e dinâmico

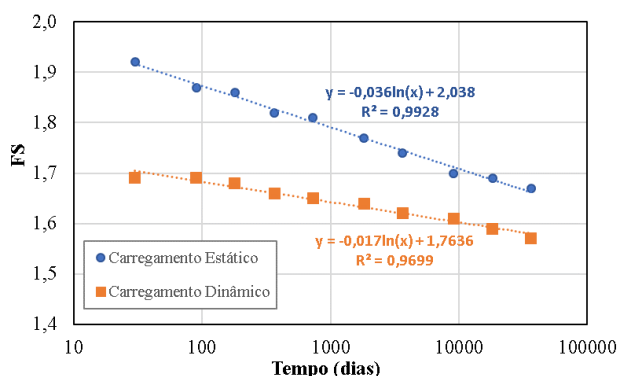


A estrutura sofre deformações maiores com o carregamento dinâmico, possuindo, pelo menos, 1,86% de aumento se comparado ao carregamento estático. As deformações aumentam gradativamente devido ao tempo para ambas as cargas. Vale ressaltar que a diferença entre as duas deformações também aumenta com relação ao tempo. Para o período de 40 dias, o acréscimo entre dinâmico e estático é de 1,91%. Já para 100 anos a deformação dinâmica supera a estática em 3,91%. Isso se deve ao comportamento dependente do tempo tanto do solo e quanto do geossintético sob o efeito da fluência.

Além disso, a partir desses dados é possível obter um tempo recomendado para que sejam feitas inspeções na estrutura. Limitando a deformação em 2,0%, que é um valor médio de deformações observadas em muros de solos coesivos reforçados com geossintéticos de acordo com Bathurst et al. (2008), a ferrovia com carregamento estático deverá ser inspecionada 2 anos após a sua construção, enquanto a vistoria prevista para a carga dinâmica é de 1 ano pós-construção. Essa é uma sugestão para que eventuais problemas de utilização das vias sejam evitados por excesso de deformação.

No que concerne ao fator de segurança, foi obtido um valor de 2,55 da estrutura logo após a construção do muro. É possível notar que ocorreu maior redução desse fator ao longo do tempo para o carregamento dinâmico. A maior carga aplicada implica no menor fator de segurança para a mesma estrutura. Os resultados dos períodos pós-constitutivos se encontram na Figura 7.

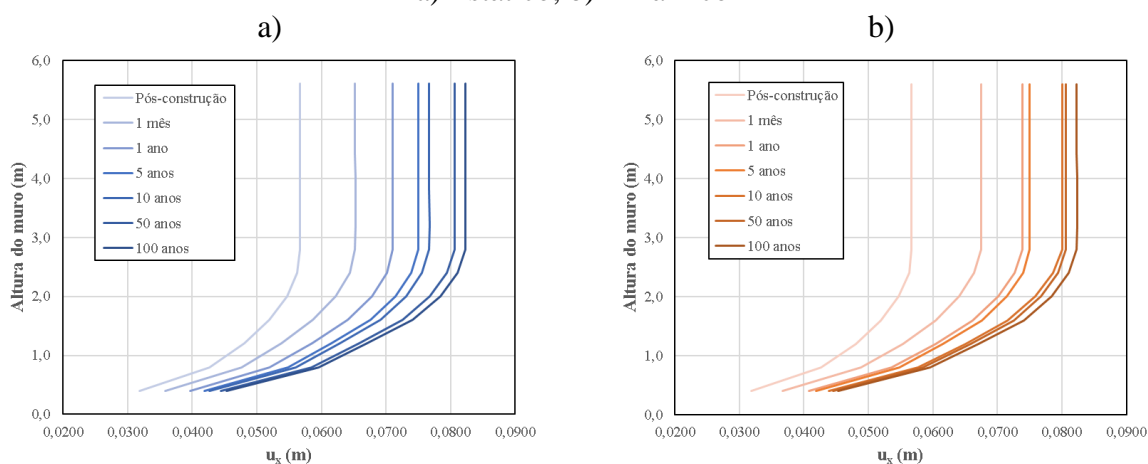
Figura 7 – Fator de segurança em função do tempo em dias de carregamentos estáticos e dinâmicos



Outra questão estudada foi o deslocamento da face do aterro ao longo da altura do muro. Foram simuladas 14 alturas diferentes de acordo com a espessura das sacarias da estrutura, variando de 40 cm em cada altura a partir do início do solo de aterro. Os resultados foram das seguintes fases: pós-construção, 1 mês, 1 ano, 5 anos, 10 anos, 50 anos e 100 anos.

Em ambos os carregamentos a altura influencia diretamente no deslocamento horizontal da face, considerando que a maior carga ocasiona as maiores distâncias. Assim como, quanto maior for o tempo atuante do carregamento, maiores serão os deslocamentos. Outrossim, nota-se que a partir de uma determinada altura, os deslocamentos tornam-se constantes independentemente do tipo de carregamento ou do tempo aplicado. Os deslocamentos se estabilizam a uma altura de 3,2 metros para os dois tipos de carregamento. Abaixo dessa altura, essa movimentação é menor em todos os casos. A distribuição dos deslocamentos da face é condizente com o observado por Pedroso (2000). Os dados obtidos estão apresentados na Figura 8.

Figura 8 – Altura do muro em função do deslocamento da face para os carregamentos: a) Estático; b) Dinâmico



Conclusões

O estudo da estrutura de aterro com solo reforçado foi realizado aplicando-se carregamentos estáticos e dinâmicos. A simulação com a carga estática de $80,0 \text{ kN/m}^2$ obteve valores de deformações médias inferiores à dinâmica de $112,0 \text{ kN/m}^2$, sendo eles, respectivamente, 1,982% e 2,047%. Tendo em vista que essas deformações sofrem acréscimos ao longo do tempo devido aos efeitos de fluência tanto do solo quanto do geossintético empregado na estrutura, foi possível determinar uma curva de tendência para prever as movimentações e para limitar períodos para inspeções do muro em questão.

O fator de segurança inicial da estrutura pós-constutivo foi de 2,55. Assim como a deformação, ele também sofre variações ao longo do tempo graças à perda de estabilidade da estrutura com as movimentações solo-reforço. Do mesmo modo que foi limitada uma deformação mínima para iniciar manutenções na estrutura, é possível estipular um fator de segurança com o mesmo intuito. Os resultados sugerem que vistorias em estruturas de solos reforçados com geossintéticos aplicados em obras ferroviárias sejam vistoriadas anualmente para que eventuais decisões de reforços sejam tomadas em função das deformações da estrutura.

Em uma segunda análise, vale ressaltar que existem algumas limitações para estipular um fator de segurança adequado à estrutura. Devido à grande redução desse fator ao longo do tempo, recomenda-se abranger uma margem de erro maior ao valor do fator de segurança. Não são aconselhados valores muito próximos a 1,5, sempre buscando se manter a favor da segurança.

Os deslocamentos horizontais da estrutura variam de acordo com três aspectos estudados: altura do muro, tipo de carregamento e tempo. Observou-se que, até uma altura de

3,2 metros a partir da base do aterro, a face sofre deslocamentos menores. À medida que, em alturas superiores à mencionada, a estrutura afasta-se mais, porém, não há variações entre esses deslocamentos.

Para posteriores trabalhos é recomendada aplicação de carregamentos dinâmicos utilizando outros mecanismos além do fator de impacto incorporado ao carregamento. Além disso, é proposta a variação do tipo de reforço, do solo empregado e do facetamento do muro.

Referências Bibliográficas

- Alves, R. M. M. (2011) Estudo de modelação da consolidação acelerada por drenos verticais tomando em consideração a fluência do terreno.
- Ashmawy, A.K., Bourdeau, P.L. (1995) Geosynthetic-Reinforced Soils Under Repeated Loading: A Review and Comparative Design Study. *Geosynthetics International*, v. 2, n. 4, 643-678.
- Bathurst, R. J., Miyata Y., Nernhein, A., Allen, T. M. (2008) Refinement of Kstiffness method for geosynthetic reinforced soil walls. *Geosynthetics International* 15(4):269-295.
- Benjamim, C. V. S., Avaliação Experimental de Protótipos de Estruturas de Contenção em Solo Reforçado com Geotêxtil. São Carlos.
- Brina, H. L. (1988) *Estradas de Ferro 1*. Segunda edição. Belo Horizonte. Editora UFMG.
- Ehrlich, M.; Becker, L. D. B. (2009) Muros e Taludes de Solo Reforçado: Projeto e Execução. São Paulo: Oficina de Textos. Coleção Huesker: Engenharia com geossintéticos, 2009. 126p.
- Esen, A. F.; Woodward, P. K.; Laghrouche, O.; Cebasek, T. M.; Brennan, A. J.; Robinson, S.; Connolly, D. P. (2021) Full-scale laboratory testing of a geosynthetically reinforced soil railway structure. *Transportation Geotechnics*, 28. Elsevier.
- França, F. A. N. (2011) Novo equipamento para realização de ensaios confinados e acelerados de fluência em geossintéticos. 263 p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Havel, F. (2004) Creep in Soft Soils. Norway.
- Lachouski, R. L. (2021) Aplicação de Geossintéticos em Engenharia Geotécnica: da Análise de 32 casos de obras para Soluções em Engenharia. Florianópolis.
- Pedroso, E.O. (2000) Estruturas de contenção reforçadas com geossintéticos. 2000. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Pereira, W. L.; Lopes, C. S.; Castro, C. Defeitos Provocados pela Interação Veículo Via na Degradação da Ferrovia. Rio de Janeiro.
- Plácido, R. R. (2016) Análise de Campo e Laboratório do comportamento ao longo do tempo de muros de solos tropicais finos reforçados com geossintéticos. São Paulo.
- Rodrigues, J. F.; Masini, L. F.; Botelli, M.; Junqueira, J.; Barichello, V.; Sisdelli, A.; Merheb, A.; Valente, L. (2021) Study of the influence of track and wagon defects on the safety of railway bridge structures. *IABMAS*. Rio de Janeiro.
- Saboia, J. (2001) Descentralização Industrial no Brasil na Década de Noventa: Um Processo Dinâmico e Diferenciado Regionalmente. *Nova Economia*, v.11, n.2. Belo Horizonte.
- Vertematti, J. C. (2004) *Manual Brasileiro de Geossintéticos*. São Paulo, Edgard Blucher.