



IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

Influência ao longo do tempo de sobrecargas adicionais devido a novas construções informais sobre obras de contenção de encosta em cortina ancorada em comunidades na cidade do Rio de Janeiro.

Alexandre Xavier Machado ¹, Luiz Carlos Mendes ²,

¹Universidade Federal Fluminense, doutorando, M. Sc.; e-mail: alexandre.georio@gmail.com

²Universidade Federal Fluminense, Professor Titular, D. Sc.; e-mail: lcarlos@predialnet.com.br

Resumo

A elaboração dos projetos estruturais de cortinas ancoradas tem como base o estudo geológico e geotécnico do solo a ser contido, assim como a engenharia de estruturas. Esta solução geotécnica se constitui na solução técnica mais adequada, quando se procura conter os elevados esforços horizontais advindos de escavações de grandes alturas, com um mínimo de deslocamentos do maciço de solo e das estruturas localizadas nas vizinhanças. As obras de contenção de encostas em cortinas ancoradas executadas em comunidades na cidade do Rio de Janeiro são projetadas conforme a NBR 5629, assim como pelos métodos de análise de estabilidade de taludes, consagrados pela mecânica dos solos, cujo objetivo principal é a verificação da condição de segurança do sistema solo-estrutura. Isso se dá através da obtenção do fator de segurança e será considerada segura a estrutura de contenção somente quando esta puder suportar as ações a elas solicitadas durante sua vida útil e sem ser impedida de desempenhar as funções para as quais foram concebidas. Porém, verifica-se que, para estas cortinas executadas em comunidades, ao longo do tempo, ocorrem acréscimos de sobrecarga muito além dos originalmente previstos, devido ao acréscimo de construções informais sobre os taludes arrimados. Este trabalho visa analisar a influência destes acréscimos sobre a durabilidade e vida útil destas estruturas de contenção.

Palavras-chave

Encosta; Durabilidade; Vida útil



Introdução

A política de intervenções de mitigação de riscos nas encostas da cidade do Rio de Janeiro é desenvolvida há mais de 40 anos desde a criação, pelo então estado da Guanabara, da fundação Geo-Rio. Neste período foram executadas intervenções de caráter urgente e preventivo, em diversos pontos da cidade e com diversas soluções geotécnicas como cortinas ancoradas, muros de flexão, barreiras de impacto, biomantas, etc.

Com o passar dos anos, as configurações de implementação dessas obras de contenção foram modificadas, principalmente, pela ocupação irregular no entorno que, além de provocar modificações nos valores de empuxos devidos aos acréscimos de sobrecarga dos taludes arrimados, modificam a composição química dos aterros com o incremento de agentes agressivos ao concreto, como o ácido sulfúrico, proveniente do esgotamento sanitário destes imóveis.

No caso das cortinas ancoradas, existe a particularidade de possuírem a necessidade de verificação de carga dos tirantes injetados que compõem o projeto de contenção, fazendo parte da estabilidade global desta estrutura.

A característica geométrica da obra de contenção de encosta consiste em grandes planos de paredes verticais, com poucas reentrâncias, que provocam acúmulo de água e micro-clima agressivo a estrutura. Foram constatadas nas cabeças de proteção dos tirantes uma perda de material de revestimento parcial ou total, em todas as obras de contenção em cortinas ancoradas vistoriadas.

Com o intuito de estabelecer diretrizes de manutenção de obras de contenção de encosta, em especial as de concreto armado, como as cortinas ancoradas, foram realizadas simulações de acréscimos de sobrecargas provenientes do crescimento desordenado dos imóveis localizados nas adjacências destas obras, para se avaliar o seu comportamento estrutural.

Esta análise faz-se necessária, pois a estrutura que foi projetada para um tipo de configuração estrutural, com o passar dos anos, passa a ter sua durabilidade comprometida pelo comportamento diferente ao originalmente previsto. Isto implica no aparecimento de fissuras que permitem um incremento do ataque de agentes agressivos provenientes do esgoto desses imóveis, não atendidos pela rede pública.

A ocupação das encostas das cidade do Rio de Janeiro

A cidade do Rio de Janeiro é conhecida mundialmente por suas belezas naturais e é caracterizada principalmente por sua geomorfologia particular, composta por maciços montanhosos, recobertos por vegetação da mata atlântica e próximos ao mar.

O relevo da cidade é dominado por três conjuntos principais de elevações de rochas: gnáissicas, graníticas e alcalinas que formam os maciços da Tijuca, da Pedra Branca e o de Gericinó-Mendanha. As regiões da zona sul, norte e centro apresentam maior densidade ocupacional, particularmente, em relação à existência de comunidades carentes (favelas)



IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

desenvolvidas nessas encostas, onde é comum o desgaste superficial pela desagregação do material rochoso, devido ao intemperismo em conjunto com a ação contínua da gravidade.

Este fenômeno provoca o movimento desses materiais em direção às partes mais baixas de um maciço, e a ele é dado o nome de movimento de massas. São os agentes atuantes na evolução das encostas e são os elementos principais dos processos de risco.

Apesar da grande influência das chuvas nos movimentos de massas, são diversas as variáveis que determinam se uma encosta é estável ou instável: o ângulo de repouso, a natureza do material na encosta, a quantidade de água infiltrada nos materiais, a inclinação da encosta e a presença de vegetação com raízes que enrijecem o solo. Esses fatores são condicionantes e poderão informar através de observação e monitoramento se a encosta tem risco de sofrer movimentos ou não.

Os maciços e morros, que compõem o relevo da cidade, têm sido ocupados há mais de cem anos por moradias precárias que foram denominadas de favelas. Este nome se deve ao fato de os primeiros moradores da Providência, primeira comunidade da cidade, chamarem o lugar de "morro da favela", em referência a um morro de mesmo nome que existia em Canudos, recoberto por um arbusto rasteiro, também chamado "Favela".

A partir do século XX as favelas cresceram mais intensamente, ocupando grande parte das encostas e morros da cidade, sendo possível observar um crescimento vertical no centro e na zona sul, enquanto que nos bairros da zona norte e dos subúrbios, a expansão deu-se através da construção horizontal, observada nas décadas de 1940-1950. Dados divulgados pelo Censo IBGE no ano de 2010 estimam que atualmente 20% da população da cidade moram em 763 favelas do município com áreas de moderada a alta probabilidade de serem atingidas por movimentos de massa.

Desde os anos 60 existe na cidade do Rio de Janeiro uma política de monitoramento e conservação de encostas da cidade, a cargo da Geo-Rio (Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro), criada para este fim.

Para fazer frente a este desafio, foram realizadas na cidade do Rio de Janeiro, nos últimos 50 anos, mais de 7.000 intervenções em encostas em diferentes pontos do município, com a execução de diversas obras de contenções de encostas e drenagem, principalmente contenções executadas em cortinas ancoradas, complementadas por obras de estabilização em concreto projetado e obras de drenagem de águas pluviais em canaletas de concreto armado.

A importância da execução da estrutura de contenção de encosta em cortina ancorada em favelas

Além da mitigação de risco geotécnico em comunidades carentes, que necessitam de obras de contenção de encosta para enfrentar as chuvas torrenciais que afetam a cidades brasileiras ao longo dos anos, as cortinas ancoradas são, em especial, objeto de estudo para implementação de grandes obras de infraestrutura com rodovias, ferrovias, túneis e pontes.

Essas obras, em particular as rodovias, exigem que grandes volumes de cortes e aterros sejam executados, e, como consequência direta, que os cortes sejam contidos. Quando o corte possui



IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

altura elevada em relação à base, as técnicas simples de contenção de encostas correntes se tornam inviáveis, tanto pelo aspecto prático de execução, como pelo aspecto econômico.

As cortinas atirantadas ou ancoradas são obras de contenção de encostas executadas em estruturas de concreto armado, destinadas a suportar esforços horizontais, principalmente empuxos de solo, podendo em alguns casos também reforçar o maciço de solo ou de rocha.

A elaboração dos projetos estruturais de cortinas ancoradas tem como base o estudo geológico e geotécnico do solo a ser contido, assim como a engenharia de estruturas. Esta solução geotécnica se constitui na solução técnica mais adequada, quando se procura conter os elevados esforços horizontais advindos de escavações de grandes alturas, com um mínimo de deslocamentos do maciço de solo e das estruturas localizadas nas vizinhanças.

A cortina ancorada (Figura 1) é um dos métodos mais modernos de contenção de encosta valendo-se de tirantes protendidos e chumbadores para dar sustentação ao terreno. Sua principal vantagem é a possibilidade de aplicação sem a necessidade de cortar nada além do necessário. Por essa solução geotécnica é possível vencer qualquer altura e situação de risco, porém possuem algumas desvantagens como o alto custo de implementação devido à demora para a sua execução.

Devido ao alto custo de implementação, as obras de contenção de encosta em cortinas ancoradas são executada no âmbito do município do Rio de Janeiro, quando seu custo beneficia uma quantidade mínima de moradores que justifique o investimento público, sendo este inferior ao custo de demolição e remoção das moradias e do reassentamento dos moradores.



Figura 1. Vista da cortina ancorada na Comunidade Pereira da Silva em Laranjeiras, executada para arrimar uma rua de acesso.

A modificação das condições originais de projeto devido ao crescimento das construções no entorno da obras de contenção de encosta

As obras de contenção de encosta em cortina ancorada são estruturas executadas em concreto aparente, ou seja, não possuem revestimento ou barreira de proteção, ficando assim totalmente expostas a intempéries da natureza e ao ambiente ao qual está inserida.

A sua durabilidade estará condicionada à sua capacidade de resistir a intempéries, ataques químicos, abrasão ou outros processos de deterioração. Sabe-se que mesmo que o concreto utilizado nas obras de contenção tenha sido produzido com eficaz controle tecnológico, não será eternamente durável devido às ações ambientais que limitam sua vida útil.

Uma característica das obras de contenção de encosta em cortina ancorada é a presença de tirantes como elementos de estabilidade global da estrutura. Esses elementos de aço podem perder carga, o que provoca a sobrecarga nos tirantes adjacentes, provocando fissuração das suas cabeças de proteção.

Com a fissuração, os acessórios de protensão do tirante começam a se corroer quimicamente com o tempo. Em alguns casos essa corrosão é tão agressiva que o tirante se torna perdido, ou seja, não é possível se recarregar. Segundo a NBR 5692 (Execução de tirantes ancorados no terreno), os tirantes devem possuir um sistema de proteção contra a corrosão e, garantir que, durante a vida útil para a qual estes tirantes foram projetados, não haja comprometimento da segurança da obra.

Porém, essas estruturas não são projetadas levando em conta o crescimento desordenado das edificações no seu entorno, que além de provocarem acréscimo do valor da carga distribuída na parte superior do talude, provocam modificações na configuração do material solo do talude com o preenchimento dos vazios por esgoto sanitário dos imóveis, que são de alta agressividade à estrutura de concreto armado dos painéis, conforme Figura 2.



Figura 2. Vista da cortina ancorada na Comunidade do Tuiuti em Benfca onde o imóvel foi construído sobre o painel de concreto armado da cortina.



IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

Metodologia e programação numérica utilizada

Para este trabalho foi utilizada a ferramenta numérica PLAXIS 2D versão 8.6, programa computacional geotécnico desenvolvido pela Universidade Tecnológica de Delft na Holanda. Desenvolvido especificamente para análises de deformações e de estabilidade em projetos de engenharia geotécnica por análise de elementos finitos, o programa PLAXIS 2D realiza análises considerando o estado plano de deformação ou análises axissimétricas.

Ele permite ao usuário uma entrada gráfica de dados com a rápida geração da malha de elementos finitos, agilidade na realização dos cálculos e a forma bem detalhada da apresentação dos resultados estão entre algumas de suas vantagens, facilitando a análise e o entendimento do comportamento do problema geotécnico estudado.

O programa é compatível com o Sistema Operacional Windows e possui quatro módulos operacionais que são o PLAXIS Input, PLAXIS Calculations, PLAXIS Output e PLAXIS Curves.

O PLAXIS Input é o módulo em que todos os dados de entrada são inseridos no programa como a geometria do problema, elementos construtivos, parâmetros dos materiais, condições de contorno, carregamentos externos, deslocamentos, tensões, estado plano de deformação e condição de drenagem dos materiais. Neste módulo ocorre a geração automática da malha de elementos finitos.

O PLAXIS Calculations executa os cálculos de tensões e deformações que são resultantes do carregamento do problema. O cálculo termina quando um número de interação pré-estabelecido é alcançado ou quando o nível de carregamento admissível é atingido. É nesse módulo onde são definidos os estágios de construção, seja por aplicação de cargas externas, ou pela aplicação de deslocamentos prescritos, pela instalação de protensão de elementos construtivos ou pela escavação de solo. Podem-se realizar os seguintes tipos de cálculos: análises plásticas, análises de adensamento e análises do fator de segurança global do problema, que ocorre pela redução dos parâmetros de resistência do solo até a ruptura ser atingida.

É através do PLAXIS Output que o usuário obtém os resultados das simulações realizadas no programa. Os principais resultados fornecidos pelo programa são: deformações, deslocamentos, tensões totais ou efetivas; tabelas que mostram os valores das deformações, deslocamentos ou tensões em todos os nós da malha de elementos finitos e gráficos de forças, tensões, deslocamentos e deformações que agem nos elementos construtivos. Podem-se visualizar também os pontos que atingiram a zona de plastificação.

O PLAXIS Curves é o módulo que apresenta a evolução dos deslocamentos, das deformações, das tensões, das forças ou das poropressões em pontos predeterminados. É utilizado quando se deseja comparar resultados das simulações com resultados medidos em campo, permitindo uma aferição/validação dos modelos e dos parâmetros considerados.

A precisão dos resultados depende da forma e das dimensões dos elementos que formam a malha de elementos finitos. Malhas mais refinadas tendem a resultados mais acurados. No entanto, quanto mais refinada for a malha, maior será o consumo de memória, podendo elevar

consideravelmente o tempo da simulação. Com relação a esse aspecto, o PLAXIS permite o refinamento da malha em locais de maior interesse do usuário.

Os refinamentos locais podem ocorrer através da seleção de pontos, de linhas ou de polígonos fechado, ou seja, o refinamento ocorrerá somente ao redor dos elementos previamente selecionados pelo usuário.

Análise do problema proposto

Para uma melhor compreensão dos mecanismos que envolvem o comportamento de uma estrutura genérica de cortina atirantada, foram realizadas simulações numéricas da obra de contenção com base no Método dos Elementos Finitos (MEF). Para isso foi utilizado o programa computacional geotécnico PLAXIS 8.6 que permite a elaboração de modelos geotécnicos e possibilita a avaliação de seu comportamento da estrutura após o acréscimo de carga devido ao aumento de imóveis informais a montante da cortina.

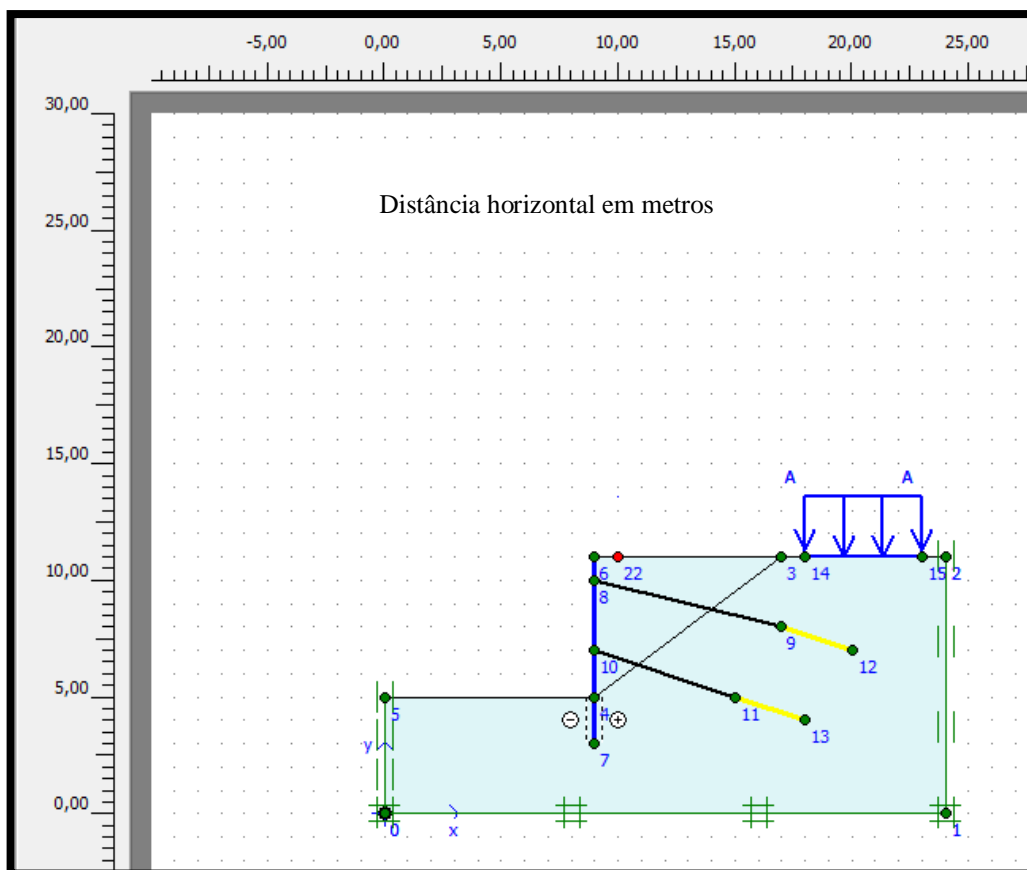


Figura 3. Modelo de cortina ancorada no programa PLAXIS. Considerando uma sobrecarga inicial de 50kN/m^2 .

Para a modelagem em questão foi considerada uma cortina ancorada de 8 metros de altura com tirantes espaçados a cada 2,5 m. Foi considerada a aplicação de protensão com uma carga de trabalho de 200 kN, conforme a Figura 3.



O talude foi considerado como uma argila drenada com modelo de análise de tensão por Mohr-Coulomb para observação da pior condição de solo carregado com a construção dos imóveis. As propriedades do talude estão na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros geotécnicos do solo (argila) utilizados na modelagem proposta no programa computacional PLAXIS (FONTE: O AUTOR).

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Peso não saturado	γ_{unsat}	16,00	kN/m ³
Peso Saturado	γ_{sat}	18,00	kN/m ³
Permeabilidade Horizontal	K_x	0,01	m/dia
Permeabilidade Vertical	K_y	0,01	m/dia
Módulo de deformabilidade do solo	E_{ref}	10000	kN/m ²
Coefficiente de Poisson.	ν	0,35	-
Coesão	C_{ref}	5	kN/m ²
Ângulo de atrito.	ϕ	25	Graus
Ângulo de dilatação.	ψ	0	Graus

Na segunda fase da análise computacional foi realizado um acréscimo de sobrecarga ao longo de 10 anos com a simulação da construção de novos imóveis a montante da cortina ancorada. Neste momento da análise a sobrecarga chega a 100kN/m². Apesar de elevados valores de sobrecarga, foi estimada a expansão ocupacional na região próxima ao topo da cortina cujo modelo de expansão se equivale aos das favelas.

As Figuras 4 e 5 ilustram o modelo de cortina ancorada no programa Plaxis, considerando uma sobrecarga adicional de 100kN/m² referente ao acréscimo de outros imóveis e o deslocamento da cortina no topo, que chega a 24 cm na modelagem devido ao acréscimo da sobrecarga da favelização.

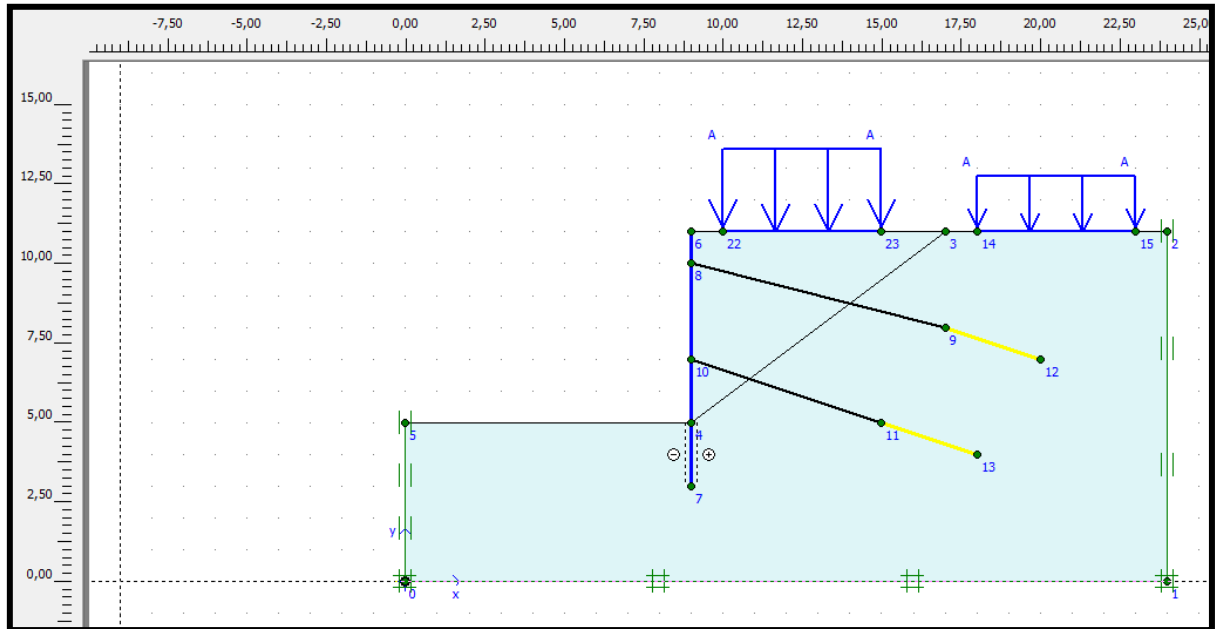


Figura 4. Modelo de cortina ancorada no programa PLAXIS, considerando uma sobrecarga adicional de 100kN/m^2 com acréscimo de outro imóvel.

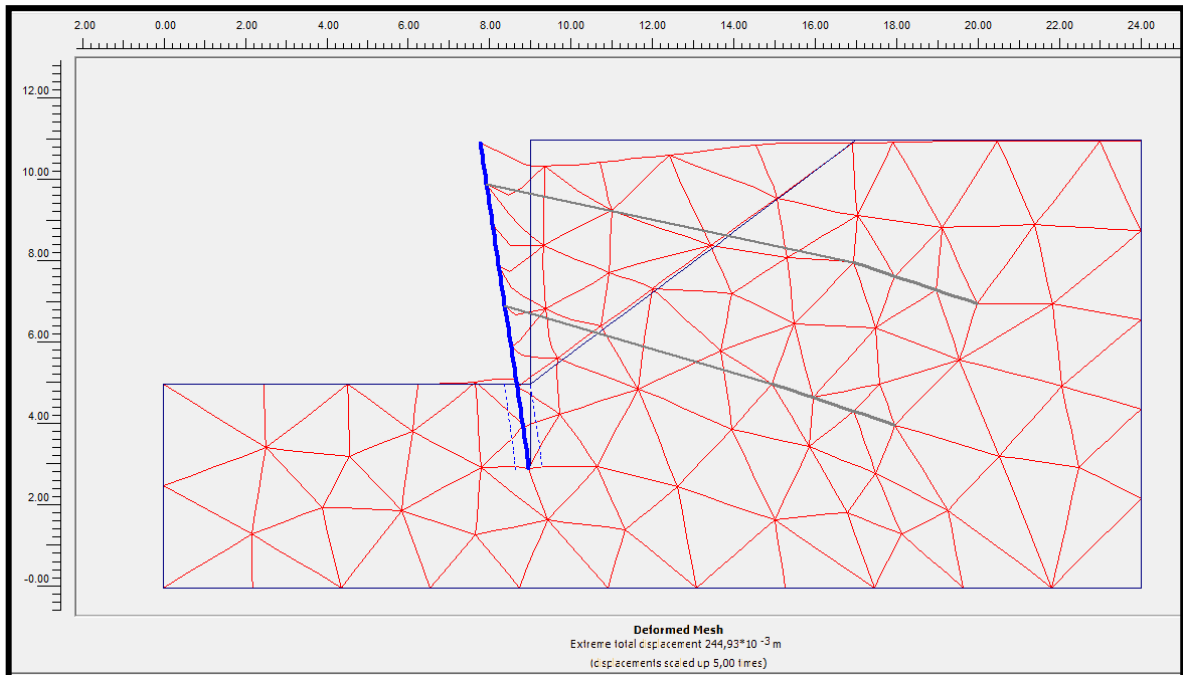


Figura 5. Modelo de cortina ancorada no programa PLAXIS onde o deslocamento da cortina no topo chega a 24 cm na modelagem devido ao acréscimo de sobrecarga.



Conclusões

Mesmo sem recriar uma simulação de um caso real, o modelo analisado demonstrou que o acréscimo de sobrecarga pelo crescimento descontrolado não planejado das construções informais à montante das obras de contenção de encosta em cortina ancorada pode provocar deslocamentos significativos. Estas estruturas ao se fissurarem permitirão a entrada de agentes agressivos provenientes principalmente dos esgotamentos sanitários dos imóveis que são despejados diretamente no solo do talude arrimado. Estes deslocamentos fazem com que ocorram alterações de carga dos tirantes. Apesar dos valores de sobrecargas avaliadas serem elevados, em muitos casos, na realidade, são construídos até prédios próximos a essas cortinas.

Um planejamento de intervenção de manutenção e recuperação estrutural está associado a estes estudos para que se proporcione à estrutura uma nova adequação a sua nova configuração de estabilidade estrutural, bem como a drenagem e os acessos no entorno destas obras. Tudo isto inclui, além dos serviços e materiais típicos de recuperação, remanejamentos de esgotamentos sanitários das ocupações, construção de acessos, limpeza de canaletas de drenagem e construção de obras de contenção com concreto projetado para, finalmente, se proteger a fundações das cortinas ancoradas.

Referências

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 5629. Execução de tirantes ancorados no terreno. Rio de Janeiro, 2006.
- BRANDÃO, A.M.S. Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos –Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
- CRAIG, R. F. Mecânica dos Solos. Tradução: Amir Kurban, 7ª edição, Rio de Janeiro: LTC. 2007.
- CRAIZER, W. Cortinas ancoradas – comprimento livre da ancoragem. Solos e Rochas, v. 13, São Paulo, 1990
- DAS, BRAJA M. Fundamentos de Engenharia Geotécnica. Tradução: All Tasks, 6ª edição, São Paulo: Thomson Learning, 2007.
- DERECZYNSKI, C.P; OLIVEIRA, JS de; MACHADO C.O; Climatologia da precipitação no Município do Rio de Janeiro, Revista Brasileira de Meteorologia, v.24, n.1, 24-38, 2009.
- GEORIO Manual Técnico de Encostas: Ancoragens e Grampos. Volume 4, 2ª edição, Rio de Janeiro. IBGE; Atlas do censo demográfico 2010, Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 160 p, 2000.
- SANTOS JOSEFINO, C. M. J.; GUERRA, N. M. C.; FERNANDES, M. M. Modelação de Ancoragens nas Análises 2D por Elementos Finitos de Cortinas de Contenção: A Questão da Simulação do Pré-Esforço, 2009.