

Verificação de carga em cortinas ancoradas localizadas em áreas de risco geotécnico na cidade do Rio de Janeiro

A. X. Machado*¹, L. C. Mendes¹

*Autor de Contacto: alexandrexm2007@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i1.200>

Recebido: 21/06/2017 | Aceito: 07/12/2017 | Publicado: 31/01/2018

RESUMO

Este artigo tem como objetivo verificar o comportamento da carga em tirantes de cortinas ancoradas executadas para eliminação de risco geológico-geotécnico em encostas da cidade do Rio de Janeiro. Considerando o aumento de sobrecarga devido ao crescimento de construções a montante destas estruturas e o término de sua vida útil, realizou-se uma simulação através do sistema computacional Plaxis para estimar a carga em tirantes de 20 cortinas ancoradas após 50 anos executadas e comparou-se com os resultados obtidos por meio de ensaios de verificação residual de carga. Os resultados mostram que, apesar da simulação teórica indicar aumento de carga em 50 anos devido a sobrecarga adicional, os tirantes tendem a perder carga mesmo com acréscimo de sobrecarga nas cortinas ancoradas.

Palavras chave: cortina ancorada; sobrecarga; durabilidade.

Citar como: A. X. Machado, L. C. Mendes (2018), “*Verificação de carga em cortinas ancoradas localizadas em áreas de risco geotécnico na cidade do Rio de Janeiro*”, Revista ALCONPAT, 8 (1), pp. 64-78, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i1.200>

¹ Universidade Federal Fluminense, Brasil.

Informação Legal

Revista ALCONPAT é uma publicação da Associação Latino-americana Controle de Qualidade, Recuperação Patologia e Construção, Internacional, A. C., Km. 6, antiga carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel. 5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Editor: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos ao No. 04-2013-011717330300-203 uso exclusivo, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional do Direito de Autor. Responsável pela atualização mais recente deste número, ALCONPAT Unidade Computing, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antiga carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e imagens publicadas sem autorização prévia do ALCONPAT Internacional A.C é proibida.

Qualquer discussão, incluindo a réplica dos autores, serão publicados na terceira edição do 2018, desde que a informação é recebida antes do encerramento da segunda edição de 2018.

Load check on anchored curtains located in geotechnical hazard areas in the city of Rio de Janeiro

ABSTRACT

This article aims to investigate the load behavior on the tie rods of anchored curtain walls built to eliminate geological-geotechnical hazards on hillsides in the city of Rio de Janeiro. Taking into account increases in overload due to the growth in construction uphill of these structures and the end of their service lives, a simulation was conducted using the Plaxis computational system to estimate the loads on the tie rods of 20 anchored curtains after 50 years. Those results were compared with results obtained from residual load verification tests. The comparison shows that although the theoretical simulations indicate increases in loads over 50 years due to the additional overloads, the tie rods tend to lose load, even with increased overloads in the anchored curtains

Keywords: anchored curtain; overload; durability.

Verificación de carga en cortinas ancladas ubicadas en áreas de riesgo geotécnico en la ciudad de Río de Janeiro

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo la verificación y comportamiento de carga en tirantes de cortinas ancladas, ejecutadas para eliminar el riesgo geológico-geotécnico en cuevas de la ciudad de Río de Janeiro. Considerando el aumento de sobrecarga debido al crecimiento de construcciones aguas arriba de estas estructuras y el término de su vida útil, se realizó una simulación a través del sistema computacional Plaxis para estimar la carga en tirantes de 20 cortinas ancladas después de 50 años de ejecutadas y se comparó con los resultados obtenidos mediante ensayos de verificación residual de carga. Los resultados muestran que, a pesar de la simulación teórica que indica un aumento de carga en 50 años debido a una sobrecarga adicional, los tirantes tienden a perder carga incluso con un aumento de sobrecarga en las cortinas ancladas.

Palabras clave: cortina anclada; sobrecarga; durabilidad.

1. INTRODUÇÃO

A cidade do Rio de Janeiro, conhecida pelas tragédias provocadas pelo deslizamento de encostas e pelo relevo que se desenha pelo encontro do mar com a montanha, executou, nos últimos 50 anos, mais de 11 mil intervenções em encostas em diferentes pontos do município, sendo que aproximadamente 20% dessas obras de contenção foram executadas em cortina ancorada.

Este tipo de obra de contenção de encostas se destaca como a mais importante executada na cidade ao longo dos anos, quer pela sua concepção estrutural, quer pelo seu custo de investimento e manutenção. Trata-se de uma estrutura de concreto armado, com geometria peculiar, composta por grandes painéis verticais de laje, com armadura reforçada na região dos apoios (tirantes) e ancorada em solo através de elementos estruturais em aço.

Nas encostas da cidade do Rio de Janeiro, onde se localiza a maioria dessas obras de contenção, ocorre o crescimento de comunidades carentes e a construção de imóveis residenciais informais, cuja principal característica é a ausência de padrão técnico adequado, muitas vezes sem urbanização no seu entorno e sem serviços públicos importantes, como a coleta de esgoto sanitário e lixo doméstico.

O esgotamento sanitário e o chorume oriundo do lixo não coletado penetram no solo arrimado pelas cortinas ancoradas e se infiltram diretamente sobre suas paredes, sendo em muitos casos perceptível a sua presença ao escorrer pelos drenos da estrutura.

Estas estruturas de concreto armado estão sujeitas ao ataque agressivo de agentes presentes nos esgotamentos sanitários de imóveis informais e do chorume do lixo não recolhido que provocam manifestações patológicas que diminuem a vida útil destas estruturas.

Há necessidade de conhecer, avaliar e classificar o grau de agressividade do ambiente e conhecer o concreto e a geometria da estrutura, estabelecendo então a correspondência entre ambos, ou seja, entre a agressividade do meio versus a durabilidade da estrutura de concreto. (HELENE, 1983).

Em função dos crescentes problemas de degradação precoce observados nas estruturas, das novas necessidades competitivas e das exigências de sustentabilidade no setor da Construção Civil, observa-se, nas últimas duas décadas, uma tendência mundial no sentido de privilegiar os aspectos de projeto voltados à durabilidade e à extensão da vida útil das estruturas de concreto armado e protendido. (CLIFTON, 1993).

Conforme prescrito na EN 206-1 2007, o tempo de vida útil de projeto para estruturas correntes é de no mínimo 50 anos, sendo aplicável a estruturas de concreto armado de cortinas ancoradas. Este indicador se torna útil para garantir os níveis mínimos de desempenho.

Tendo em vista o fim da vida útil mínima de projeto de aproximadamente 25% das obras em cortina ancorada executadas nas encostas da cidade, realizou-se um programa de vistorias destas estruturas que constatou a grande presença de manifestações patológicas que indicam a redução da vida útil das cortinas ancoradas antes mesmo do mínimo de 50 anos após a sua execução.

Além disso, muitas dessas estruturas apresentaram perda ou acréscimo de carga de trabalho sobre os tirantes, valores que muitas vezes são diferentes da carga incorporada à época da execução da estrutura.

A variação de carga ao longo do tempo indica mudança na distribuição dos esforços ao longo da parede estrutural da cortina, ocasionando o aumento da fissuração da superfície do concreto e a abertura para a entrada de agentes agressivos presentes no solo arrimado e contaminado.

Os ensaios de verificação de carga residual em tirantes de cortinas ancoradas devem ser executados periodicamente a cada cinco anos para obtenção dos valores residuais de cargas. Apesar da NBR 5629 2006 (Ensaio de tirantes ancorados no terreno) especificar os procedimentos para verificação do desempenho de um tirante através de quatro ensaios (básico, de qualificação, de recebimento e de fluência), este ensaio possui a mesma natureza dos ensaios anteriores, que é a colocação de carga no tirante para que este apresente desempenho compatível com o determinado em projeto.

O ensaio de verificação de carga residual em tirantes é importante na manutenção de estruturas de contenção em cortina ancorada e é realizado em 15% a 20% dos seus tirantes. Porém, a distribuição deste ensaio, além de ser aleatória, pode aumentar conforme os resultados dos ensaios iniciais que demonstrem a perda de carga de tirantes de uma determinada região da estrutura.

Além dos ensaios práticos para a avaliação do comportamento da carga dos tirantes ao longo do tempo, foram realizados ensaios teóricos dos tirantes com a utilização de uma ferramenta computacional denominada Plaxis, que permite simular ao longo dos anos o acréscimo de sobrecarga devido ao incremento de imóveis a montante da cortina ancorada. As estruturas de concreto armado das obras de contenção de encosta localizadas na cidade do Rio de Janeiro precisam de uma avaliação da previsão das cargas a que estarão sujeitos os tirantes, pois os acréscimos de sobrecarga provocam deformações e trincas nas estruturas de concreto, principal entrada de agentes agressivos como o ácido sulfúrico e proveniente do esgotamento sanitário dos imóveis a montante que, pelo solo arrimado, penetram na estrutura.

O objetivo da pesquisa, relacionado ao estudo de manifestações patológicas decorrente do processo de fissuração das estruturas, consiste em analisar se as cargas dos tirantes de obras de contenção em cortina ancorada se comportam como o previsto em simulação computacional devido ao crescimento dos imóveis informais a montante destas estruturas.

2. OBRAS DE CONTENÇÃO DE ENCOSTA EM CORTINA ANCORADA NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

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

O principal deles, o maciço da Tijuca, abrange as regiões da Zona Sul, Norte e Centro da cidade, apresenta a maior densidade ocupacional e tem sido ocupado há mais de cem anos por construções informais, desde o surgimento da primeira favela do Brasil, no morro da Providencia, no centro da Cidade, em 1897.

O nome favela se deve ao fato de os primeiros moradores da Providência chamar o lugar de "morro da favela". Era uma referência a um morro de mesmo nome que existia em Canudos, recoberto por um arbusto rasteiro também chamado "favela". Com o passar dos anos, a palavra virou sinônimo de uma triste realidade habitacional.

A população, não podendo se afastar do centro da cidade e de uma maior concentração de ofertas de trabalho, vai buscar outras formas de se manter no centro, surgindo, então, as primeiras favelas na cidade. O desenvolvimento urbano e a falta de mobilidade do pobre fazem com que se torne fundamental para ele permanecer nas áreas centrais, independente das condições de habitação que são oferecidas. (ABREU, 1988).

O alto índice de desemprego, o crescimento da informalidade, a especulação imobiliária, a falta de política habitacional para população de baixa renda e um sistema de transporte coletivo precário são apenas alguns exemplos dos motivos para o crescimento das favelas no município do Rio de Janeiro.

Dados divulgados pelo Censo IBGE no ano de 2010 estimam que, atualmente, 20% da população da cidade moram em favelas, ou seja, são 1.393.314 pessoas que residem em 763 favelas do município, sendo que aproximadamente um milhão mora em encostas situadas em áreas de risco, com alta probabilidade de serem atingidas por movimentos de massa (deslizamentos, quedas, rolamentos e corridas) envolvendo solo, rocha, vegetação e lixo/entulho.

Os deslizamentos em encostas na cidade do Rio de Janeiro são um fenômeno cíclico e que traz enormes prejuízos econômicos e sociais, como o bloqueio de vias e a destruição de casas populares, que deixam pessoas desabrigadas e em muitos casos levam à perda de vidas.

Portanto, a questão da previsão da ocorrência dos deslizamentos e outros acidentes geotécnicos vêm assumindo importância crescente na literatura geomorfológica e geotécnica da história da cidade. Na Figura 1 podem ser vistos os mapas de susceptibilidade ao deslizamento de quatro comunidades da cidade do Rio de Janeiro.

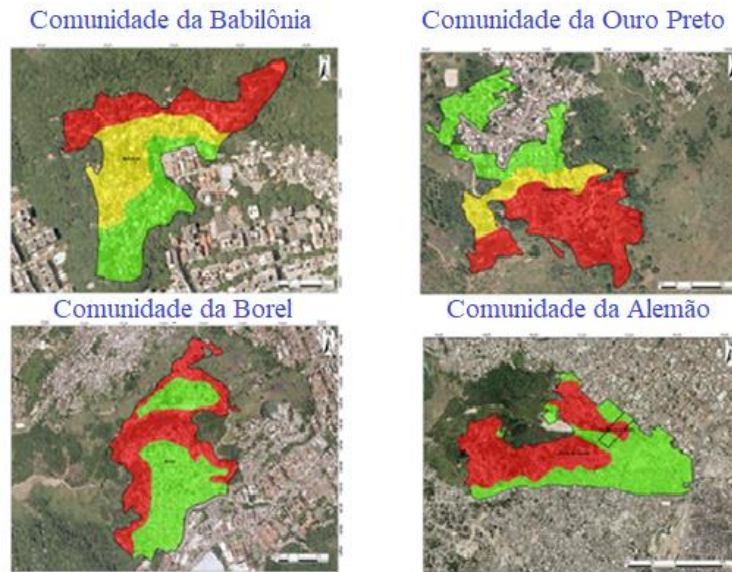


Figura 1. Susceptibilidade ao deslizamento em áreas de risco. Rio de Janeiro, Brasil (GEO-RIO 2014)

Há várias concepções para os problemas de deslizamento e formas de investigação, e a maior parte das metodologias propostas visa à definição de áreas críticas a deslizamentos, ou seja, áreas de maior susceptibilidade à ocorrência do processo.

O acidente refere-se a um fato já ocorrido, onde foram registradas consequências danosas sociais e/ou econômicas (perdas e danos). Já o risco representa a possibilidade ou probabilidade de ocorrência de algum dano a uma população (pessoas, estruturas físicas, sistemas produtivos) ou a um segmento da mesma. É uma condição potencial de ocorrência de um acidente (AUGUSTO FILHO et al. 1990a). A realização de obras de contenção de encosta em comunidades carentes atende às políticas públicas de mitigação de risco em encostas, urbanização e à melhoria da acessibilidade e mobilidade dos moradores. A Figura 2 apresenta a vista frontal de uma cortina ancorada executada na Comunidade do Barro Preto no Bairro do Méier, no Rio de Janeiro.



Figura 2. Vista de uma cortina ancorada em área de risco geotécnico: (Autor)

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 execução de cortinas ancoradas, apesar de antigo, é um dos métodos mais modernos de contenção, 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, porém há desvantagens, como o alto custo de implementação devido à demora na sua execução.

3. APLICAÇÃO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PLAXIS AO CASO DE CORTINAS EXISTENTES

A modelagem numérica de elementos finitos tornou-se, com o desenvolvimento computacional, uma ferramenta analítica poderosa e muito utilizada no meio geotécnico para análise de estruturas de contenção. Esta sofisticação melhora a modelagem das estruturas de contenção, pois permite analisar tanto a sua sequência de construção quanto seu comportamento ao longo do tempo, incluindo os efeitos de sobrecarga adicionais sobre a estrutura e sobre os tirantes ancorados no terreno, objeto de estudo deste trabalho. A análise de uma estrutura por elementos finitos é um método numérico bastante utilizado, com o auxílio indispensável de softwares, para resolver problemas de engenharia.

Segundo Lopes (1995), dentre os métodos numéricos utilizados na Engenharia Civil, o Método dos Elementos Finitos é o mais usado em geotécnica pela facilidade em se tratar de problemas heterogêneos e não lineares (elasticidade não linear e plasticidade) e dependentes do tempo (viscosidade e adensamento).

Na análise de tensão-deformação do solo, pode-se obter o FS (fator de segurança) através dos parâmetros de resistência do solo ou das cargas de trabalhos que estão envolvidas no problema em questão, ou seja, o FS pode ser estimado pelo MEF na simulação da ruptura de serviço que se caracteriza pela plastificação do solo.

O FS é avaliado em função da redução dos parâmetros de resistência do solo, dividindo-se os parâmetros reais por um valor estimado e, com isto, calculando-se o quanto a resistência do solo está sendo mobilizada, sendo então obtidos os valores de c^* e Φ^* conforme abaixo:

$$C^* = \frac{c}{M} \quad (1)$$

$$\tan \Phi^* = \frac{\tan \Phi}{M} \quad (2)$$

onde:

c - Coesão do solo;

c^* - Coesão reduzida pelo FS a ser usada na simulação;

Φ - Ângulo de atrito do solo;

Φ^* - Ângulo de atrito do solo reduzido pelo FS a ser usada na simulação;

M - Valor para redução dos parâmetros de resistência

O FS (fator de segurança) será de estabilidade global do modelo quando se desejar que o solo seja levado à eminência de ruptura, ou seja, a sua plastificação. Isso ocorrerá quando o FS for igual a M ou quando se dividir as cargas de trabalho do sistema por um valor estimado, em ambos os casos sempre se avaliando quanto da resistência está sendo mobilizada.

O modelamento por elementos finitos envolve a definição e a manipulação da geometria, especificação do material e suas propriedades, geração da malha de elementos finitos e definição das cargas e deslocamentos que serão aplicados ao componente e sua representação esquemática pode ser vista na Figura 3.

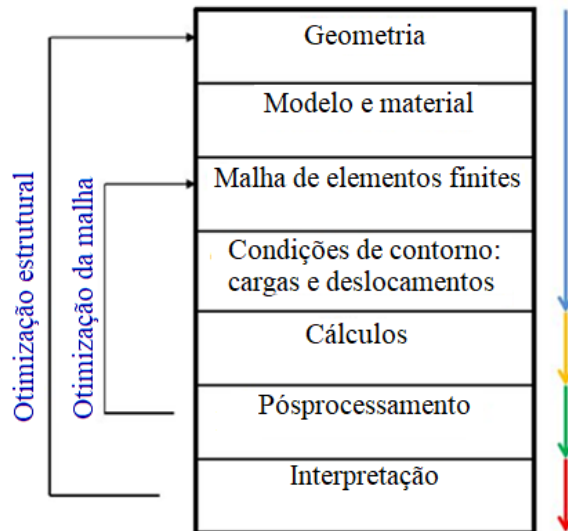


Figura 3. Representação esquemática da análise por elementos finitos (Tschiptschin, 2011).

São utilizados quatro procedimentos básicos na resolução de problemas de engenharia geotécnica com o Método de Elementos Finitos, a saber: a discretização do meio contínuo, a seleção do modelo de deslocamentos, o cálculo da matriz de rigidez e o cálculo das incógnitas do problema. Nesta primeira etapa, o meio contínuo ou domínio do problema é dividido em subdomínios denominados de elementos finitos, conectados em um número finito de pontos nodais ou simplesmente nós.

A discretização do meio contínuo se dá quando este é dividido mediante linhas e superfícies imaginárias, que resulta num número finito de elementos bidimensionais e que, neste trabalho, se verificou suficiente para análise.

Posteriormente, para a seleção do modelo de deslocamentos, utiliza-se um conjunto de funções polinomiais, ou seja, aquelas funções compostas por um polinômio que define o campo de deslocamentos em função dos deslocamentos nodais de cada elemento.

O cálculo da matriz de rigidez, que é uma função de interpolação, permite relacionar o valor da variável do problema a ser solucionado nos nós de cada elemento com sua geometria e propriedade, gerando um sistema de equações de forma matricial.

As barras da armadura de uma obra de contenção de encosta devem absorver os esforços de tração e de compressão que surgem principalmente nos parâmetros verticais de cortinas ancoradas, que são dimensionadas para resistir não somente à flexão como ao esforço de punção na região dos tirantes.

O modelo de cálculo é um modelo geométrico bidimensional com as dimensões de comprimento e altura. Linhas auxiliares são usadas para simular a escavação da estrutura. Os apoios na base são fixos e nas laterais móveis, para permitir os deslocamentos laterais.

Recomenda-se, para o bom desenvolvimento da modelagem da cortina, que sejam satisfeitas as condições do estado plano de deformação. Neste caso, a rigidez axial (EA) e a rigidez a flexão (EI) são determinados através das equações 3, 4 e 5, respectivamente, onde E_{eq} é o módulo de elasticidade e e a espessura da cortina.

$$EI = \frac{E_{eq} e^3}{12} \quad (3)$$

$$EI = E_{eq} e \quad (4)$$

$$EA = E \quad (5)$$

Na modelagem da ancoragem da cortina são observados diferentes elementos e divididos em trechos livre e ancorado. Entre o trecho livre e o solo, a tensão cisalhante mobilizada é ignorada e elementos de mola ligam a cortina ao bulbo ancorado.

O trecho ancorado gera tensões em estado tridimensional no maciço e tem uma modelagem menos satisfatória que a da cortina, pois esta se aproxima de um estado plano de deformação, já que a dimensão utilizada é bidimensional.

Por ser bidimensional a modelagem, as deformações do solo que ocorrem entre as linhas de ancoragem, na direção normal ao modelo apresentado, são completamente ignoradas e devem ser observados cuidados tais como: a entrada de dados; especificação dos parâmetros do solo e dos materiais; espaçamento dos tirantes, incluindo a divisão da força aplicada sobre os tirantes nesta medida.

O trecho livre da ancoragem é modelado por um elemento elastoplástico designado no Plaxis de “node-to-node anchor element”, uma vez que a pré-tensão é aplicada nesse elemento.

O bulbo de ancoragem é modelado por um elemento por metro tendo apenas rigidez axial, designado no Plaxis por “geogrid”. Esses elementos estão sujeitos apenas à tração, sendo assim, são caracterizados pela rigidez axial EA.

Segundo BEIJINHA (2009), o comportamento da cortina pode ser aproximado de modo realista a um estado plano de deformação e as ancoragens, por gerarem um estado tridimensional de tensões no maciço, não são representadas de maneira satisfatória no Plaxis 2D.

Nas modelagens realizadas com as 20 cortinas ancoradas verificaram-se o comportamento do solo em relação à resistência ao cisalhamento e à sua plastificação na época da execução da estrutura e na sua projeção após 50 anos de vida útil. Nas Figuras 4 e 5, a cortina ancorada não apresenta diferença de pontos de plastificação e resistência ao cisalhamento do solo arrimado ao longo de 50 anos de vida útil da estrutura. Isso se deve ao fato de a cortina possuir três linhas de tirantes que proporcionam à estrutura uma menor variação de esforços sobre a estrutura do solo.

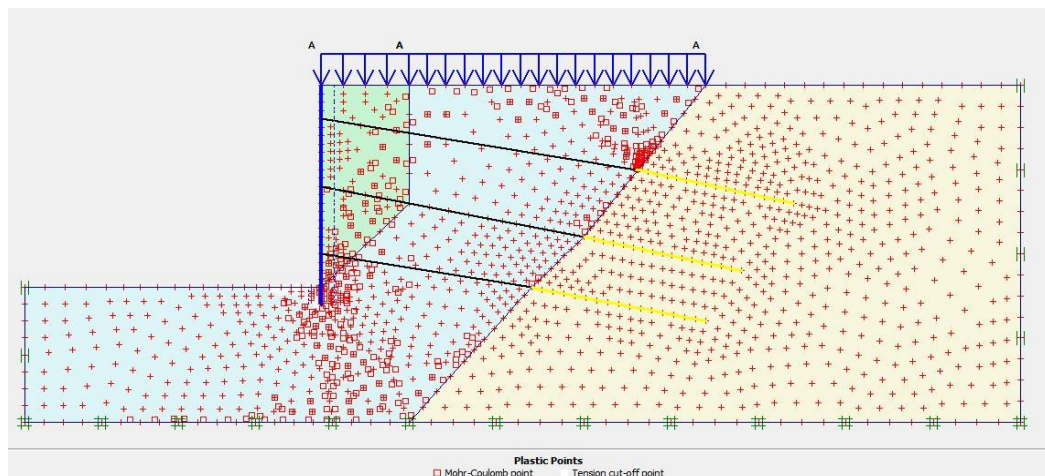


Figura 4. Plasticidade inicial do solo (Plaxis).

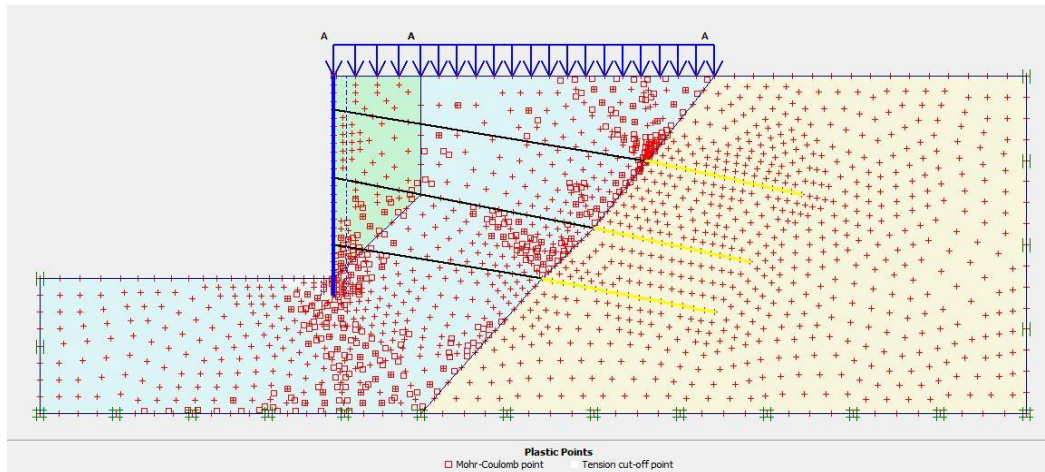


Figura 5. Plasticidade após 50 anos do solo.

As deformações do solo ou deslocamentos (ver Figura 6), que podem ocorrer entre as linhas de ancoragens, na direção normal ao plano do problema, são ignoradas pela situação bidimensional, por essa razão a força real aplicada nos tirantes é dividida pelo espaçamento entre os tirantes na direção normal.

A verificação dos pontos de plastificação e resistência ao cisalhamento do solo arrimado da cortina ancorada, ao longo do tempo, permite ver se existem alterações no comportamento do solo quanto ao acréscimo de sobrecarga adicional e os pontos de maior vulnerabilidade próximos à cortina onde existe a tendência a ruptura do solo.

Com o acréscimo de sobrecarga ao longo do tempo, ocorre uma segunda plastificação no trecho inferior do painel da cortina ancorada, ocorrendo uma pequena mudança nas zonas de plastificação do solo arrimado, sendo constatado que não existe plastificação do solo no trecho superior do painel.

A região próxima ao apoio da cortina e da primeira linha de tirantes, que coincide com o deslocamento que a cortina sofre com o aumento de sobrecarga ao longo do tempo e a segunda se trata de uma faixa próxima à transição entre o trecho livre e o trecho ancorado do tirante, indicam uma zona de esforços no solo.

Apesar da modelagem pelo MEF no programa computacional Plaxis 8.2 levar em consideração algumas características particulares do solo, como a sua natureza dilatante, a determinação do limite entre a zona de plastificação e de elasticidade do solo podem ser consideradas ausentes.

Para a análise do comportamento do solo em problemas de geotécnica costuma-se adotar de forma implícita que para as regiões de comportamento elástico, o solo é analisado por um modelo elástico-linear, como o que permite a verificação de recalques imediatos de uma fundação, ou seja, a distribuição de tensões relacionada às deformações que ocorrem no solo.

Já para a região plastificada do solo, observa-se o modelo rígido plástico com os parâmetros de resistência como coesão e ângulo de atrito do solo, que são relacionados à sua estabilidade e à ruptura, ou seja, avalia-se quanto o solo está em processo de escoamento.

Portanto, o comportamento elástico do solo e o comportamento plástico não variam com o acréscimo de sobrecarga ao longo do tempo e, apesar de não se poder determinar a zona limite entre os dois comportamentos do solo, conclui-se que esta também não sofre alterações significativas.

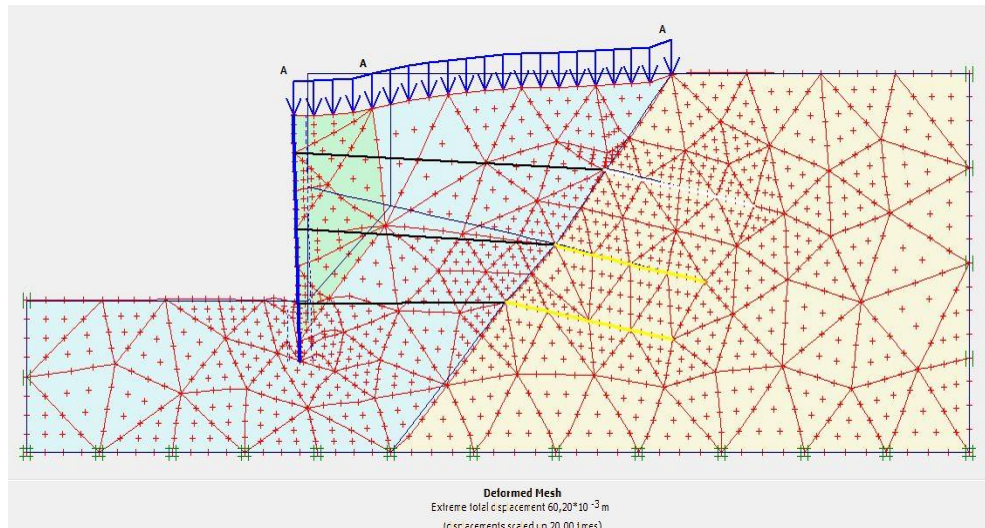


Figura 6. Deslocamento após 50 anos da cortina ancorada (Plaxis).

Essas observações são importantes para se saber em que ponto o acréscimo de sobrecarga influencia em mudanças significativas no solo e como este poderá reagir sobre o painel de concreto armado cortina.

O solo, ao longo do tempo, tende a se acomodar e a reajustar a distribuição das partículas dos grãos e os vazios ocupados por água, tornando-se um material consolidado e aumentando a sua resistência.

4. COMPARAÇÃO DE DADOS TEÓRICOS COM DADOS PRÁTICOS DE ENSAIOS DE VERIFICAÇÃO DE CARGA

Inicialmente, foi desenvolvida a análise do comportamento estrutural de 20 cortinas ancoradas, executadas na cidade do Rio de Janeiro, quanto aos efeitos das solicitações de sobrecarga devido aos esforços adicionais ao fim da vida útil de projeto, estimada em 50 anos, conforme previsto na EN 206-1 2007.

Ao longo do tempo, estas estruturas de contenção de encosta em cortina ancorada sofrem acréscimo de sobrecarga, não previsto em projeto, sobre o talude arrimado, devido ao crescimento das construções informais à montante em áreas de alto risco geológico-geotécnico e onde se localiza a maioria das cortinas que fazem parte do escopo desta análise.

Sabe-se que os fenômenos de alteração de cargas, originalmente previstos em projetos, podem comprometer o desempenho estrutural e a vida útil do projeto da estrutura, principalmente devido ao quadro fissuratório, que uma estrutura da geometria plana e delgada de uma cortina ancorada pode apresentar, se for comparada a outras estruturas de concreto armado, como pilares, vigas e lajes mais robustas.

Se forem excessivamente desenvolvidas ao longo do tempo, essas fissuras permitirão a entrada de agentes agressivos provenientes do esgotamento sanitário das construções informais sobre a estrutura de contenção, executadas em comunidades carentes, atacando a armação e a estrutura de concreto.

Para a realização da simulação numérica, foram utilizados como parâmetros as dimensões e a rigidez da cortina, o espaçamento vertical e horizontal, o comprimento e a carga dos tirantes, as características do solo de ancoragem do bulbo e da fundação, assim como as demais características pertinentes, conforme a especificação dos projetos das estruturas de contenção de encosta utilizados pela Fundação GEO-RIO.

Portanto, para simplificação do modelo e pela indisponibilidade de relatórios de sondagens para cada cortina executada, foi inserido na modelagem o comportamento dos solos pelo modelo Mohr-Coulomb, que se aproxima ao comportamento do solo em geral.

As propriedades dos materiais são inseridas para que o modelo possa ser um parâmetro mais próximo da realidade para cada caso real estudado.

Outro parâmetro importante na análise dos casos é a dificuldade de se obter o levantamento de imóveis informais sobre as cortinas ancoradas ou cadastro dos moradores, seja pela rotatividade dos mesmos ou pela dinâmica na construção de moradias, sendo estabelecido um padrão médio construtivo que implica em uma sobrecarga de 40kN/m². A Tabela 1 apresenta os parâmetros geotécnicos das camadas de solo e do aterro para cada cortina ancorada utilizados na modelagem numérica.

Tabela 1. Dados geotécnicos dos solos arrimados (GEO-RIO 2010).

Parâmetro	Símbolo	Unidade	Retroaterro	Camada 1	Camada 2
Modelo	-	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Jointed Rock
Comportamento	-	-	Drenado	Drenado	Drenado
Trecho	-	-	Livre	Livre	Ancorado
Peso específico seco	γ_d	kN/m ³	17	16	20
Peso específico natural	γ	kN/m ³	20	18	20
Permeabilidade horizontal	K_h	m/dia	1	1	1
Permeabilidade vertical	K_v	m/dia	1	1	1
Módulo de Young	E_{50}	k/Pa	1,300E+04	1,000E+04	1,139E+05

Os parâmetros de propriedades dos materiais para modelagem da cortina de concreto armado são vistos na Tabela 2. Eles representam os parâmetros utilizados em especificações para modelagem de projetos de cortinas ancoradas na Fundação GEO-RIO.

A homogeneização dos parâmetros dos materiais só foi possível por se tratarem de estruturas construídas ao longo de décadas com as mesmas especificações técnicas e processos executivos elaborados na diretoria de projetos da Fundação GEO-RIO. Portanto, as cortinas foram projetadas e construídas com os mesmos procedimentos em locais diferentes nas encostas da cidade do Rio de Janeiro, mudando-se somente suas características geométricas.

Tabela 2. Propriedades dos materiais da cortina ancorada

Parâmetros	Símbolo	Valor	Unidade
Comportamento	-	Elástico	-
Resistência normal	EA	2.10 ⁵	kN
Espaçamento ao plano	L_s	2,00 a 3,50	m
Carga de trabalho	CT	160 a 200	kN
Força máxima	F_{max}	1.10 ¹⁵	kN

Já a Tabela 3 apresenta a carga de trabalho, espaçamento ao plano e a força máxima dos tirantes, conforme adotado pela GEO-RIO.

Tabela 3. Carga de trabalho dos tirantes das cortinas ancoradas (GEO-RIO 2010).

Parâmetros	Símbolo	Valor	Unidade
Comportamento	-	Elástico	-
Rigidez axial	EA	12.10 ⁶	kN/m
Rigidez a flexão	EI	0,12.10 ⁶	kNm ² /m
Espessura	d	0,25	m
Peso	w	6	kN/m/m
Coefficiente de Poison	v	0,15	-

Após realizar a modelagem no sistema computacional Plaxis 8.2 de 20 cortinas ancoradas com o mesmo padrão executivo, mas com geometrias diferentes, foi realizada a comparação dos resultados de ensaio de verificação de carga com os resultados das modelagens para a observação da carga dos tirantes após o acréscimo de sobrecarga ao longo de 50 anos.

Em cada cortina ancorada foi realizado o ensaio de verificação residual de carga, por uma amostragem de até 20% dos tirantes existentes, escolhidos de forma aleatória, mas com a preocupação de ter pelo menos um tirante por linha.

Foram realizados, nos últimos cinco anos, pelo programa de recuperação estrutural da diretoria de obras da GEO-RIO, 229 ensaios de verificação residual de carga (EVRC) em 20 cortinas ancoradas. A execução do EVRC pode ser vista na Figura 7, sendo realizado à época da recuperação estrutural da obra de contenção de encosta, já com as sobrecargas adicionais ao longo do tempo após 50 anos de execução.



Figura 7. Ensaio de verificação residual de carga em andamento.

No gráfico da Figura 8 (linha em azul) estão os resultados máximos dos EVRC para cada uma das 20 cortinas ancoradas vistoriadas ao longo de um período de 5 anos. Para a obtenção de um valor

de carga residual mais conservador foi considerada a maior carga residual em toneladas para cada cortina ancorada.

O valor máximo obtido de carga residual dos tirantes foi de 22 toneladas na cortina localizada próxima à Linha Amarela, no subúrbio do Rio de Janeiro, e o menor valor de ZERO toneladas na cortina da Rua Mauriti, no Bairro de Santa Teresa.

Os resultados da simulação do valor da carga residual em tirantes após 50 anos de execução das mesmas cortinas ancoradas podem ser observados na Figura 8 (linha azul). Os valores da carga residual ao longo do tempo variaram de um valor máximo de 28 toneladas para duas cortinas localizadas em Santa Tereza e na comunidade do Tuiuti a um valor mínimo de 18 toneladas para uma cortina localizada na comunidade da Coréia.

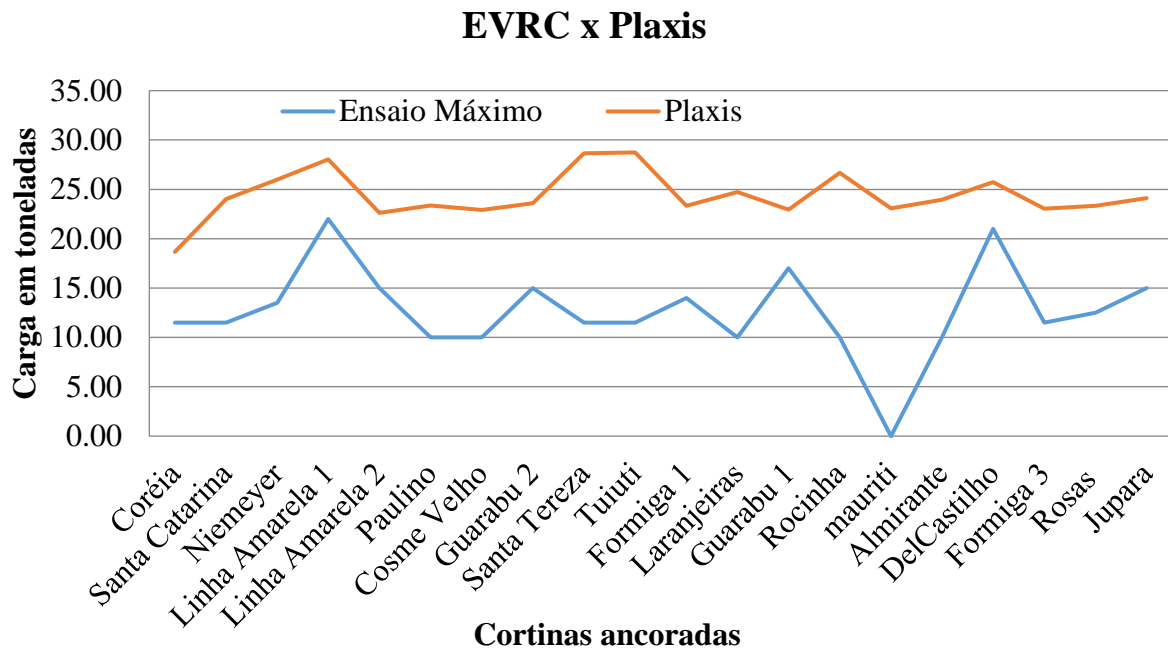


Figura 8. Gráfico de resultados de EVC x Plaxis (Autor).

Pode-se observar que as duas linhas que representam os ensaios simulados no sistema computacional Plaxis (linha Azul) e a do ensaio de verificação residual de carga (linha em vermelho) não se encontram em nenhuma das 20 cortinas ancoradas vistoriadas ao longo de um período de cinco anos nesta pesquisa.

5. CONCLUSÕES

As obras de contenção de encostas, em cortina ancorada, são estruturas de concreto armado com vida útil estimada de 50 anos e que são compostas basicamente por um painel de concreto armado com fundação em estacas, ancorado no terreno por meio de tirantes de aço pré-tensionados e que suportam as cargas verticais desses taludes arrimados.

Utilizadas como principal solução para mitigação de risco geológico-geotécnico na cidade do Rio de Janeiro ao longo de 50 anos, desde a criação da GEO-RIO, com aproximadamente 2.200 obras executadas, estas estruturas precisam de uma atenção especial quanto à manutenção e às intervenções para o restabelecimento e prolongamento da vida útil de projeto. Observando-se que o crescimento descontrolado de imóveis informais à montante e no entorno destas obras de contenção, pode-se dizer que surge além de sobrecargas adicionais, a contaminação do solo

arrimado com agentes agressivos, como o ácido sulfúrico, altamente corrosivo ao aço das armaduras.

Após comparar os resultados destes ensaios práticos com os ensaios teóricos desenvolvidos por meio da ferramenta computacional Plaxis 8.2 2D (Figura 8), constatou-se que os resultados dos ensaios de verificação residual de carga não apresentam aumento de carga ao longo do tempo.

Já os ensaios teóricos, ou seja, os resultados de carga teóricos da modelagem computacional apresentam resultados superiores aos resultados dos ensaios de verificação residual de carga (EVRC) dos tirantes ancorados, indicando que o programa Plaxis não consegue perceber o fenômeno da perda de carga destes ao longo do tempo.

Concluiu-se que a ferramenta computacional Plaxis 8.2 2D não leva em consideração, na sua análise, as perdas de carga de protensão dos tirantes devido ao fenômeno do relaxamento e a consolidação do terreno arrimado ao longo do tempo se comparados à projeção de carga residual futura a que os tirantes estarão submetidos após uma vida útil de 50 anos.

Recomenda-se ao desenvolvedor da ferramenta de análise geotécnica e estrutural computacional Plaxis 2D a revisão da modelagem de estruturas de cortina ancorada quanto ao desenvolvimento ao longo do tempo das cargas de tirantes ancorados no terreno devido ao acréscimo de sobrecarga do talude arrimado considerado no modelo proposto.

Conclui-se que as estruturas de concreto armado das cortinas ancoradas podem apresentar, ao longo da sua vida útil, um aumento de fissuras superficiais no concreto devido à variação da carga residual ao longo do tempo.

Este aumento do quadro fissuratório permitirá o acesso ao interior da massa de concreto armado de agentes agressivos caso a estrutura esteja sujeita a um meio ambiente agressivo, o que pode provocar um aumento das manifestações patológicas ao longo de sua vida útil.

6. REFERÊNCIAS

Abreu, M. (1988), "*Evolução Urbana do Rio de Janeiro*". IPLANRIO. Rio de Janeiro: Ed. Jorge Zahar, 1988.

Amaral, C. P. (1996) "*Escorregamentos no Rio de Janeiro: inventário, condicionantes e redução do risco*". Tese de Doutorado, Eng. Civil, PUC-Rio.

Andrade, T. (2005), "*Tópicos Sobre Durabilidade do Concreto*". In: ISAIA, Geraldo Cechella. (Ed) Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: Editora Ibracon, V1. Cap. 25, p. 753-754, 761,762.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), "*Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento, NBR – 6118*". ABNT, Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006), "*Execução de tirantes ancorados no terreno – NBR 5629*". Rio de Janeiro.

Augusto Filho, O., Cerri, L. E. S., Amenomori, C. J. (1990a), "*Riscos Geológicos: Aspectos Conceituais*". In: Simpósio Latino-Americano Sobre Risco Geológico Urbano, 1, São Paulo, 1990. Anais... São Paulo: ABGE, pp. 334-341.

Bejinha, A. M. D. (2009), "*Estruturas de Contenção Ancoradas Sujeitas a Ação Sísmica – Análise de Comportamento*". Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa.

Brinkgreve, R. B. J. (2002), "*Finite Element code for Soil and Rock Analyses – Plaxis – 2D user's manual*". Rotterdam, Netherlands, Balkema.

Brinkgreve, R. B. J. (2017), "*Plaxis – 2D manuals*". Rotterdam, Netherlands, Balkema.

Censo do IBGE: <https://censo2010.ibge.gov.br/materiais.html>

Clifton, James R. (1993), "*Predicting the Service Life of Concrete*". ACI Materials Journal, v. 90, n. 6, p. 611-16.

- Durval, R. (1992), "*La Durabilité des armatures et du béton d'enrobage*". Paris: Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, p. 173-225
- European Committee for Standardization (CEN). "*Betão: Parte 1 – Especificação, desempenho, produção e conformidade*". EN 206-1, Portugal, 2007.
- Farah, F. 2003, "*Habitação e Encostas*". Coleção Habitar/Finep. São Paulo/SP.
- Figueiredo, Enio P., Helene, P. R. L. (1994), "*Assim caminha a corrosão*". Revista Técnica, v. 2, n. 10, p. 28-33, mai. /jun. 1994.
- Georio (2014), "*Manual Técnico de Encostas*". Volumes 1,2,3 e 4, 2ª edição, Rio de Janeiro.
- Helene, P. (1983), "*La Agresividad del Medio y la Durabilidad del Hormigón*". Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, p.25 – 35.
- More, J. Z. P. (2003), "*Análise numérica do comportamento de cortinas atirantadas em solos*". Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) PUC-RIO.120f
- Tschiptschin, A. P. (2011), "*Método de Elementos Finitos Aplicado à Seleção de Materiais*", USP.