

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

Recepción: 21/06/2017 | Aceptación: 07/12/2017 | Publicación: 31/01/2018

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.

Citar como: A. X. Machado, L. C. Mendes (2018), “Verificación de carga en cortinas ancladas ubicadas en áreas de riesgo geotécnico en la ciudad de Río de Janeiro”, Revista ALCONPAT, 8 (1), pp. 64-78, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i1.200>

¹ Universidade Federal Fluminense, Brasil.

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el tercer número del año 2018, siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 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.

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

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.

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Rio de Janeiro, conocida por las tragedias provocadas por el deslizamiento de taludes y por el relieve que se dibuja por el encuentro del mar con la montaña, ejecutó en los últimos 50 años, más de 11 mil intervenciones en taludes en diferentes puntos del municipio, siendo que aproximadamente 20% de esas obras de contención fueron ejecutadas en cortina anclada.

Este tipo de obra de contención de taludes se destaca como la más importante ejecutada en la ciudad a lo largo de los años, bien sea por la concepción estructural, o por el costo de inversión y mantenimiento. Se trata de una estructura de concreto armado, con geometría peculiar, compuesta por grandes paños verticales de losa, con armadura reforzada en la región de los apoyos (tirantes) y anclada en piso a través de elementos estructurales en acero.

En los taludes de la ciudad de Rio de Janeiro, donde se localiza la mayoría de esas obras de contención, ocurre el crecimiento de comunidades carentes y la construcción de inmuebles residenciales informales, cuya principal característica es la ausencia de patrón técnico adecuado, muchas veces sin urbanismo en su entorno y sin servicios públicos importantes, como aguas negras o aseo urbano.

Las aguas negras y el líquido proveniente de la basura no recolectada penetran no solo arrimado por las cortinas ancladas y se infiltran directamente sobre sus paredes, siendo en muchos casos perceptible su presencia al escurrir por los drenajes de la estructura.

Estas estructuras de concreto armado están sujetas al ataque agresivo de agentes presentes en las cloacas de inmuebles informales y del agua de la basura no recogida que provocan manifestaciones patológicas que disminuyen la vida útil de estas estructuras.

Hay necesidad de conocer, evaluar y clasificar el grado de agresividad del ambiente y conocer el concreto y la geometría de la estructura, estableciendo entonces la correspondencia entre ambos, es decir entre la agresividad del medio versus la durabilidad de la estructura de concreto. (HELENE, 1983).

En función de los crecientes problemas de degradación precoz observados en las estructuras, de las nuevas necesidades competitivas y de las exigencias de sustentabilidad en el sector de la Construcción Civil, se observa, en las últimas décadas, una tendencia mundial en el sentido de privilegiar los aspectos de proyecto volcados a la durabilidad y a la extensión de la vida útil de las estructuras de concreto armado y pretensado. (CLIFTON, 1993).

Según lo prescrito en la EN 206-1 2007, el tiempo de vida útil de proyecto para estructuras actuales y de al menos 50 años, siendo aplicable a estructuras de concreto armado de cortinas ancladas. Este indicador se hace útil para garantizar los niveles mínimos de desempeño.

Teniendo en cuenta el fin de la vida útil mínima de proyecto de aproximadamente 25% de las obras en cortina anclada ejecutadas en los taludes de la ciudad, se realizó un programa de inspecciones de estas estructuras que constató la gran presencia de manifestaciones patológicas que indican la reducción de la vida útil de las cortinas ancladas antes incluso del mínimo de 50 años luego de su ejecución.

Además de eso, muchas de esas estructuras presentaron pérdida ó incremento de carga de trabajo sobre los tirantes, valores que muchas veces son diferentes de la carga incorporada en la época de la ejecución de la estructura.

La variación de carga a lo largo del tiempo indica cambios en la distribución de los esfuerzos a lo largo de la pared estructural de la cortina, ocasionando el aumento de la fisuración de la superficie de concreto y la abertura para la entrada de agentes agresivos presentes en el suelo contaminado.

Los ensayos de verificación de carga residual en tirantes de cortinas ancladas deben ser ejecutados periódicamente a cada cinco años para la obtención de los valores residuales de cargas. A pesar de la NBR 5629 2006 (Ensayos de tirantes anclados en el terreno) especificar los procedimientos para verificación del desempeño de un tirante a través de cuatro ensayos (básico, de cualificación de recibimiento y de fluencia), este ensayo tiene la misma naturaleza de los ensayos anteriores, que es la colocación de carga en el tirante para que esté presente desempeño compatible con el determinado en proyecto.

El ensayo de verificación de carga residual en tirantes es importante en el mantenimiento de estructuras de contención en cortina anclada y es realizado en 15% a 20% de sus tirantes. Por tanto, la distribución de este ensayo, además de ser aleatorio, puede aumentar según los resultados de los ensayos iniciales que demuestren la pérdida de carga de tirantes de una determinada región de la estructura.

Además de los ensayos prácticos para la evaluación del comportamiento de la carga de los tirantes a lo largo del tiempo, fueron realizados ensayos teóricos de los tirantes con el uso de una herramienta computacional denominada Plaxis, que permite simular a lo largo de los años el incremento de sobrecarga debido al incremento de inmuebles sobre la cortina anclada. Las estructuras de concreto armado de las obras de contención de ladera localizadas en la ciudad de Rio de Janeiro precisan de una evaluación de la previsión de las cargas a que estarán sujetos los tirantes, pues los incrementos de sobrecarga provocan deformaciones y grietas en las estructuras

de concreto, principal entrada de agentes agresivos como el ácido sulfúrico proveniente de las cloacas de los inmuebles sobre la pantalla que penetran a la estructura.

El objetivo de la investigación, relacionado al estudio de manifestaciones patológicas en consecuencia del proceso de fisuración de las estructuras, consiste en analizar si las cargas de los tirantes de obras de contención en cortina anclada se comportan como lo previsto en la simulación computacional debido al crecimiento de los inmuebles informales sobre estas estructuras.

2. OBRAS DE CONTENCIÓN DE LADERA EN CORTINA ANCLADA EN LA CIUDAD DE RIO DE JANEIRO

La ciudad de Rio de Janeiro es conocida mundialmente por sus bellezas naturales y caracterizada principalmente por su geomorfología particular compuesta por macizos montañosos, recubiertos por vegetación de la mata atlántica y cercanos al mar.

El principal de ellos es el macizo de Tijuca, que envuelve las regiones de la Zona Sur, Norte y Centro de la ciudad, presenta la mayor densidad ocupacional y ha sido ocupada desde hace más de cien años por construcciones informales, desde el surgimiento del primer barrio popular de favela de Brasil, en cerro de la Providencia, en el centro da Ciudad, em 1897.

El nombre favela se debe al hecho de los primeros habitantes de Providencia llamar el lugar de "cerro de la favela". Era una referencia a un cerro del mismo nombre que existía en Canudos, recubierto por un arbusto rastrero también llamado "favela". Con el pasar de los años, la palabra se convirtió en sinónimo de una triste realidad habitacional.

Los habitantes que no se pueden alejar del centro de la ciudad y de la mayor concentración de ofertas de trabajo, busca otras formas de mantenerse en el centro, surgiendo, entonces las primeras favelas de la ciudad. El desarrollo urbano y la falta de movilidad de las personas de bajos recursos hace que se haga fundamental permanecer cercano a las áreas centrales, independientemente de las condiciones de habitación existentes. (ABREU, 1988).

El alto índice de desempleo, el crecimiento de la informalidad, la especulación inmobiliaria, la falta de política habitacional para los habitantes de bajos recursos y un sistema de transporte colectivo precario son apenas algunos ejemplos de los motivos para el crecimiento de los barrios en el municipio de Rio de Janeiro.

Datos divulgados por el Censo IBGE del año de 2010 estiman que actualmente, 20% de la población de la ciudad viven en barrios, es decir que son 1.393.314 de personas que residen en 763 barrios del municipio, siendo aproximadamente un millón vive en taludes o laderas situadas en áreas de riesgo, con alta probabilidad de ser afectados por movimientos de masa (deslizamientos, caídas, rodamientos) envolviendo suelo, roca, vegetación basura y escombros.

Los deslizamientos en taludes de la ciudad de Rio de Janeiro son un fenómeno cíclico que trae enormes pérdidas económicas y sociales, como el bloqueo de vías y la destrucción de casas populares, que dejan a personas damnificadas y en muchos casos llevan a pérdida de vidas.

Por tanto, la cuestión de la previsión de la ocurrencia de los deslizamientos y otros accidentes geotécnicos han tomado importancia en la literatura geomorfológica y geotécnica de la historia de la ciudad. En la Figura 1 se pueden ver los mapas de susceptibilidad al deslizamiento de cuatro comunidades de la ciudad de Rio de Janeiro.

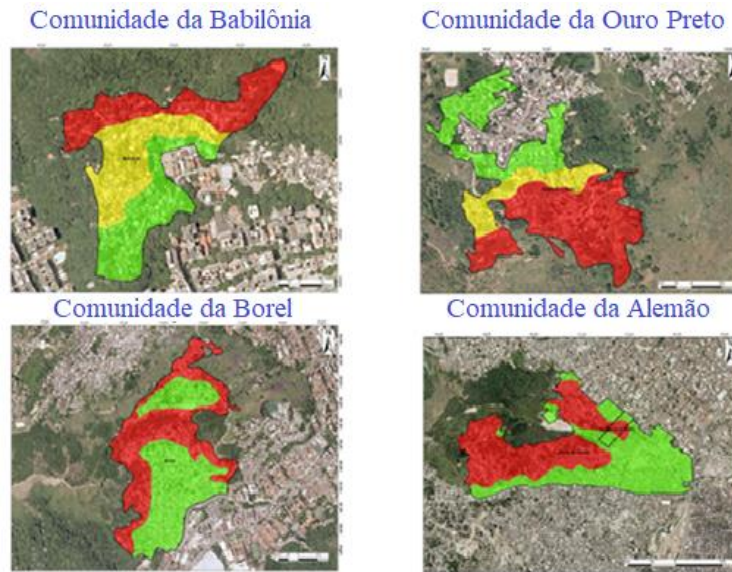


Figura 1. Susceptibilidad al deslizamiento en áreas de riesgo. Rio de Janeiro, Brasil (GEO-RIO 2014)

Hay varias concepciones para los problemas de deslizamiento y formas de investigación, y la mayor parte de las metodologías propuestas visa hacia la definición de áreas críticas a deslizamientos, es decir las áreas de mayor susceptibilidad a la ocurrencia del proceso.

El accidente se refiere al hecho ya ocurrido, donde fueron registrados consecuencias de daños sociales y/o económicas (pérdidas y daños). Ya el riesgo representa la posibilidad o probabilidad de ocurrencia de algún daño a una población (personas, estructuras físicas, sistemas productivos) o un segmento de esta. Es una condición potencial de ocurrencia de un accidente (AUGUSTO FILHO et al. 1990a). La realización de obras de contención de ladera en comunidades carentes atiende a las políticas públicas de mitigación de riesgo en taludes, urbanización y la mejora de la accesibilidad y movilidad de los habitantes. La Figura 2 presenta una vista frontal de la cortina anclada ejecutada en la Comunidad del Barro Preto del Barrio Méier, en Rio de Janeiro.



Figura 2. Vista de una cortina anclada en área de riesgo geotécnico: (Autor)

Esta solución geotécnica se constituye en la solución técnica más adecuada, cuando se procura contener los elevados esfuerzos horizontales productos de excavaciones de grandes alturas, con un mínimo de desplazamientos del macizo de suelo y de las estructuras localizadas en los alrededores. La ejecución de cortinas ancladas, a pesar de antiguo, es uno de los métodos más modernos de contención, usando tirantes pretensados y pernos para dar sustento al terreno. Su principal ventaja es la posibilidad de aplicación sin necesidad de cortar nada además de lo necesario. Por esa solución geotécnica es posible vencer cualquier altura y situación, por tanto, hay desventajas, como el alto costo de implementación debido a la demora en su ejecución.

3. APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PLAXIS AL CASO DE CORTINAS EXISTENTES

El modelaje numérico de elementos finitos se convirtió, con el desarrollo computacional, una herramienta analítica poderosa y muy utilizada en el medio geotécnico para análisis de estructuras de contención. Esta satisfacción mejora el modelaje de las estructuras de contención, pues permite analizar tanto la secuencia de construcción como su comportamiento a lo largo del tiempo, incluyendo los efectos de sobrecarga adicionales sobre la estructura y sobre los tirantes anclados al terreno, objeto de estudio de este trabajo. el análisis de una estructura por elementos finitos es un método numérico bastante utilizado, con uso indispensable de softwares, para resolver problemas de ingeniería.

Según Lopes (1995), entre los métodos numéricos utilizados en Ingeniería Civil, el Método de los Elementos Finitos es el más usado en geotecnia por la facilidad de tratar con problemas heterogéneos y no lineales (elasticidad no lineal y plasticidad) y dependientes del tiempo (viscosidad y densidad).

En el análisis de tensión-deformación del suelo, se puede obtener el FS (factor de seguridad) a través de los parámetros de resistencia del suelo o de las cargas de trabajos que están envueltas en el problema en cuestión, es decir, el FS puede ser estimado por el MEF en la simulación de la ruptura de servicio que se caracteriza por la plasticidad del suelo.

El FS es evaluado en función de la reducción de los parámetros de resistencia del suelo, dividiéndose los parámetros reales por un valor estimado y con esto, se calculan cuanto de la resistencia del suelo está siendo movilizada, siendo entonces obtenidos los valores de c^* e Φ^* conforme lo que sigue:

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

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

donde:

c- Cohesión del suelo;

c^* - Cohesión reducida por el FS a ser usada en la simulación;

Φ - Angulo de roce del suelo;

Φ^* - Angulo de roce del suelo reducido por el FS a ser usada en la simulación;

M - Valor para reducción de los parámetros de resistencia

El FS (factor de seguridad) será de estabilidad global del modelo cuando se desee que el suelo sea llevado a ruptura inminente, es decir a su plastificación. Ello ocurrirá cuando el FS sea igual a 1 o cuando se dividan las cargas de trabajo del sistema por un valor estimado, en ambos casos siempre se evalúa cuanto de la resistencia está siendo movilizada.

El modelaje por elementos finitos envuelve la definición y la manipulación de la geometría, especificación del material y sus propiedades, generación de la malla de elementos finitos y definición de las cargas y desplazamientos que serán aplicados al componente y su representación esquemática puede ser vista en la Figura 3.

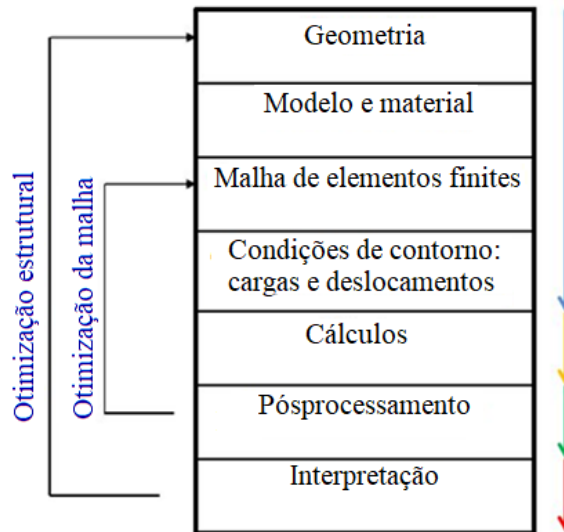


Figura 3. Representación esquemática del análisis por elementos finitos (Tschiptschin, 2011).

Son utilizados cuatro procedimientos básicos en la resolución de problemas de ingeniería geotécnica con el Método de Elementos Finitos, a saber: la discretización del medio continuo, la selección del modelo de desplazamientos, el cálculo de la matriz de rigidez y el cálculo de las incógnitas del problema. En esta primera etapa, el medio continuo o dominio del problema es dividido en subdominios denominados elementos finitos, conectados en un número finito de puntos nodales o simplemente nodos.

La discretización del medio continuo se da cuando este es dividido mediante líneas y superficies imaginarias, que resulta en el número finito de elementos bidimensionales y que, en este trabajo, se verificó suficientemente para el análisis.

Posteriormente para la selección del modelo de desplazamientos, se usa un conjunto de funciones polinomiales, es decir, aquellas funciones compuestas por un polinomio que define el campo de desplazamientos en función de los desplazamientos nodales de cada elemento.

El cálculo de la matriz de rigidez que es una función de interpolación permite relacionar el valor de la variable del problema a ser solucionado en los nodos de cada elemento con su geometría y propiedad, generando un sistema de ecuaciones de forma matricial.

Las barras de la armadura de una obra de contención de ladera deben absorber los esfuerzos de tracción y de compresión que surgen principalmente en parámetros verticales de cortinas ancladas, que son dimensionadas para resistir no solo la flexión como el esfuerzo de punzonado en la región de los tirantes.

El modelo de cálculo es un modelo geométrico bidimensional con las dimensiones de largo y altura. Líneas auxiliares son usadas para simular la excavación de la estructura. Los apoyos en la base son fijos y en las laterales móviles para permitir los desplazamientos laterales.

Se recomienda, para el buen desarrollo del modelaje de la cortina, que sean cumplidas las condiciones del estado plano de deformación. En este caso la rigidez axial (EA) y la rigidez a la flexión (EI) son determinados a través de las ecuaciones 3, 4 y 5, respectivamente, donde E_{eq} es el módulo de elasticidad y e el espesor de la cortina.

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

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

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

En el modelaje del anclaje de la cortina son observados diferentes elementos y divididos en trechos libre y anclado. Entre el tramo libre y el suelo, la tensión de cizalla movilizada es ignorada y los elementos de amortiguamiento conectan la cortina al bulbo anclado.

El tramo anclado genera tensiones en estado tridimensional en el macizo y tiene un modelaje menos satisfactorio que el de la cortina, pues ésta se aproxima de en estado plano de deformación, ya que la dimensión utilizada es bidimensional.

Por ser bidimensional el modelaje, las deformaciones del suelo que ocurren entre las líneas de anclaje, en la dirección normal al modelo presentado, son completamente ignorados y deben ser observados cuidadosamente tales como: la entrada de datos; especificación de los parámetros del suelo y de los materiales; espaciamiento de los tirantes, incluyendo la división de la fuerza aplicada sobre los tirantes en esta medida.

El tramo libre de anclaje es modelado por un elemento elasto-plástico designado en el Plaxis de “node-to-node anchor element”, una vez que la pretensión es aplicada en ese elemento.

El bulbo de anclaje es modelado por un elemento por metro teniendo apenas rigidez axial, designado en Plaxis por “geogrid”. Esos elementos están sujetos apenas a tracción, siendo así, son caracterizados por la rigidez axial EA.

Según BEIJINHA (2009), el comportamiento de la cortina puede ser aproximado de modo realista a un estado plano de deformación y los anclajes por generar un estado tridimensional de tensiones al macizo, no son representadas de manera satisfactoria en el Plaxis 2D.

Los modelajes realizados con las 20 cortinas ancladas verifican el comportamiento del suelo en relación con la resistencia al cizallamiento y su plastificación en la época de la ejecución de la estructura y en su proyección luego de 50 años de vida útil. En las Figuras 4 y 5, la cortina anclada no presenta diferencia de puntos de plastificación y resistencia al cizallamiento del suelo arrimado a lo largo de 50 años de vida útil de la estructura. Eso se debe al hecho de que la cortina posee tres líneas de tirantes que proporcionan a la estructura una menor variación de esfuerzos sobre la estructura del suelo.

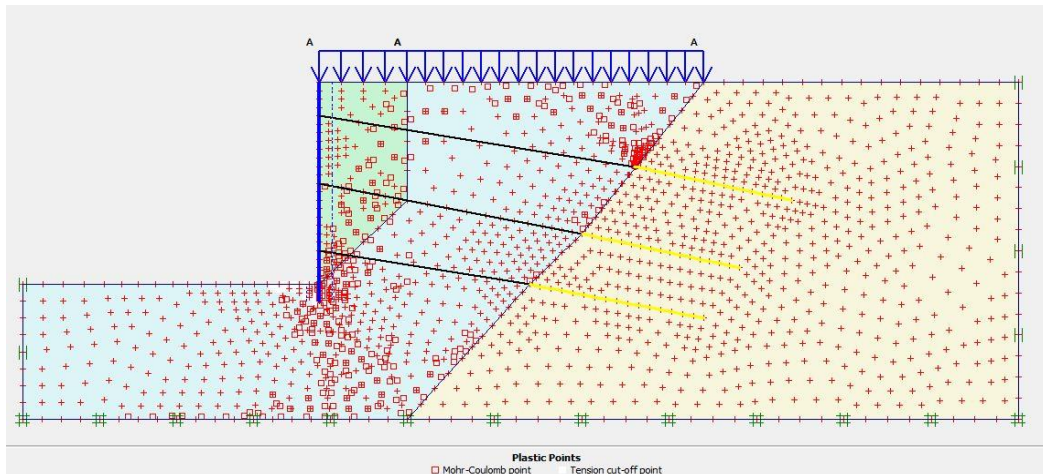


Figura 4. Plasticidad inicial del suelo (Plaxis).

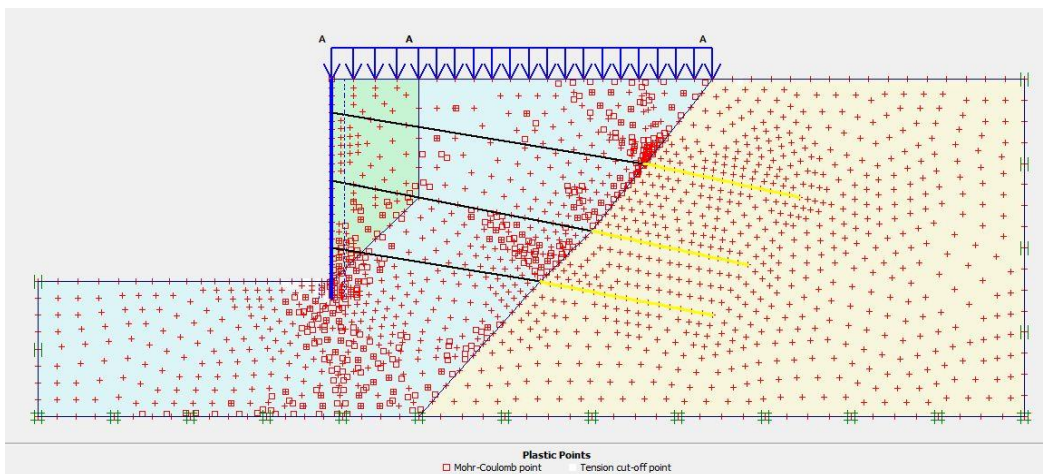


Figura 5. Plasticidad luego de 50 años del suelo.

Las deformaciones del suelo o desplazamientos (ver Figura 6), que pueden ocurrir entre las líneas de anclaje, en la dirección normal al plano del problema, son ignoradas por la situación bidimensional, por esa razón a fuerza real aplicada en los tirantes es dividida por el espaciamiento entre los tirantes en la dirección normal.

La verificación de los puntos de plastificación y resistencia al cizallamiento del suelo arrimado de la cortina anclada, a lo largo del tiempo, permite ver si existen alteraciones del comportamiento del suelo cuanto al incremento de sobrecarga adicional y los puntos de mayor vulnerabilidad próximos a la cortina donde existe la tendencia a la ruptura del suelo.

Con el incremento de la sobrecarga a lo largo del tiempo, ocurre una segunda plastificación en el trecho inferior del panel de la cortina anclada, ocurriendo pequeños cambios en las zonas de plastificación del suelo arrimado, siendo constatado que no existe plastificación del suelo en el trecho superior del panel

La región próxima al apoyo de la cortina y de la primera línea de tirantes, que coincide con el desplazamiento que la cortina sufre con el aumento de sobrecarga a lo largo del tiempo y la segunda se trata de un rango próximo a la transición entre el trecho libre y el trecho anclado del tirante, indican una zona de esfuerzos en el suelo

A pesar del modelaje por el MEF del programa computacional Plaxis 8.2 tomar en consideración algunas características particulares del suelo, como su naturaleza dilatante, la determinación del límite entre la zona de plastificación y de elasticidad del suelo pueden ser consideradas ausentes.

Para el análisis del comportamiento del suelo en problemas de geotécnica se acostumbra a adoptar de forma implícita que, para las regiones de comportamiento elástico, el suelo es analizado por un modelo elástico-lineal, como lo que permite la verificación de recalces inmediatos de una fundación, es decir la distribución de tensiones relacionada a las deformaciones que ocurren en el suelo.

Para la región plastificada del suelo, se observa el modelo rígido plástico con los parámetros de resistencia como cohesión y ángulo de roce del suelo, que son relacionados a su estabilidad y a la ruptura, es decir se evalúa cuanto el suelo está en proceso de fluencia.

Por tanto, el comportamiento elástico del suelo y el comportamiento plástico no varían con el incremento de sobrecarga a lo largo del tiempo y a pesar de no poderse determinar la zona límite entre los dos comportamientos del suelo se concluyó que esta tampoco sufre alteraciones significativas.

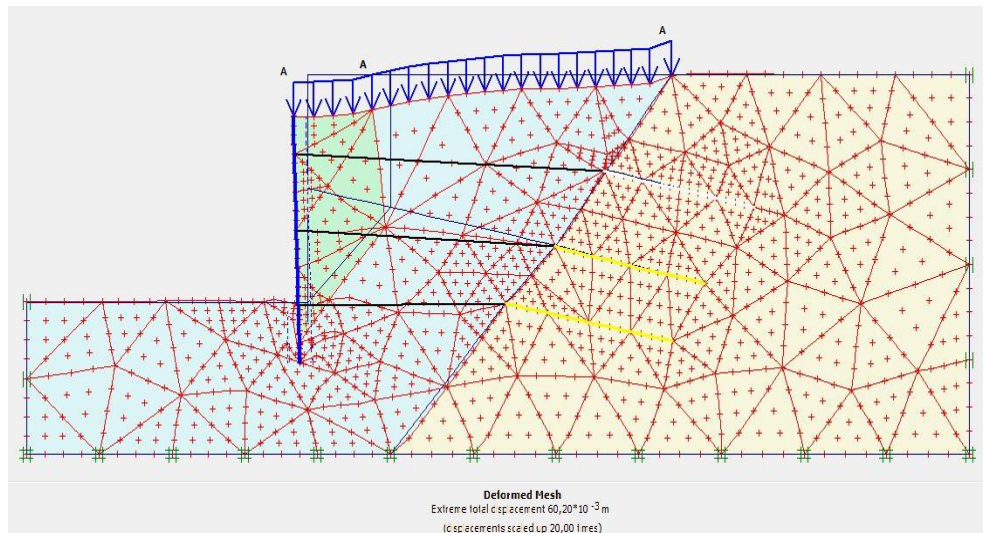


Figura 6. Desplazamiento luego de 50 años de la cortina anclada (Plaxis).

Estas observaciones son importantes para saber en qué punto el incremento de sobrecarga influye en cambios significativos en el suelo y como este puede reaccionar sobre el panel de concreto armado en cortina.

El suelo, a lo largo del tiempo, tiende a acomodarse y a reajustarse la distribución de las partículas de los granos y los vacíos ocupados por agua, volviéndose un material consolidado y aumentando su resistencia.

4. COMPARACIÓN DE DATOS TEÓRICOS CON DATOS PRÁCTICOS DE ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE CARGA

Inicialmente, fue desarrollado el análisis del comportamiento estructural de 20 cortinas ancladas, ejecutadas en Rio de Janeiro, en cuanto a los efectos de las solicitaciones de sobrecarga debido a los esfuerzos adicionales al final de la vida útil de proyecto, estimada en 50 años, según lo previsto en la EN 206-1 2007.

A lo largo del tiempo, estas estructuras de contención de ladera en cortina anclada sufren incremento de sobrecarga, no previsto en proyecto, sobre el talud arrimado, debido al crecimiento de las construcciones informales las áreas de alto riesgo geológico-geotécnico es donde se localiza la mayoría de las cortinas que forman parte del alcance de este análisis.

Se sabe que los fenómenos de alteración de cargas, originalmente previstos en proyectos, pueden comprometer el desempeño estructural y la vida útil del proyecto de la estructura, principalmente

debido al cuadro de fisuras, que una estructura de geometría plana y delgada de una cortina anclada puede presentar, se fuese comparada con otras estructuras de concreto armado, como pilares, vigas y losas más robustas.

Si son excesivamente desarrolladas a lo largo del tiempo, esas fisuras permitirán la entrada de agentes agresivos provenientes de las cloacas de construcciones informales sobre la estructura de contención, ejecutadas en comunidades carentes, atacando la armadura y la estructura de concreto. Para la realización de la simulación numérica, fueron utilizados como parámetros las dimensiones y la rigidez de la cortina, la separación vertical y horizontal, el largo y la carga de los tirantes, las características del suelo de anclaje del bulbo y la fundación, así como las demás características pertinentes, conforme a la especificación de los proyectos de las estructuras de contención de ladera utilizados por la Fundación GEO-RIO.

Por tanto, para simplificar el modelo y por la indisponibilidad de informes de sondeo para cada cortina ejecutada, fue incorporado en el modelaje el comportamiento de los suelos por el modelo Mohr-Coulomb, que se aproxima al comportamiento de suelo en general.

Las propiedades de los materiales son incorporadas para que el modelo pueda ser un parámetro más próximo de la realidad para cada caso real estudiado.

Otro parámetro importante del análisis de los casos es la dificultad de obtener el levantamiento de inmuebles informales sobre las cortinas ancladas ó registro de los habitantes, sea por la rotatividad de los mismos o por la dinámica de la construcción de viviendas, siendo establecido un patrón promedio constructivo que implica una sobrecarga de 40kN/m^2 . La Tabla 1 presenta los parámetros geotécnicos de las capas de suelo y del relleno para cada cortina anclada utilizados en el modelaje numérico.

Tabla 1. Datos geotécnicos de los suelos arrimados (GEO-RIO 2010).

Parámetro	Símbolo	Unidad	Retrorelleno	Capa 1	Capa 2
Modelo	-	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Jointed Rock
Comportamiento	-	-	Drenado	Drenado	Drenado
Trecho	-	-	Libre	Libre	Anclado
Peso específico seco	γ_d	kN/m^3	17	16	20
Peso específico natural	γ	kN/m^3	20	18	20
Permeabilidad horizontal	K_h	m/día	1	1	1
Permeabilidad vertical	K_v	m/día	1	1	1
Módulo de Young	E_{50}	k/Pa	1,300E+04	1,000E+04	1,139E+05

Los parámetros de propiedades de los materiales para modelaje de cortina de concreto armado son vistos en la Tabla 2. Estos representan los parámetros utilizados en especificaciones para modelaje de proyectos de cortinas ancladas en la Fundación GEO-RIO.

La homogeneización de los parámetros de los materiales solo fue posible por tratarse de estructuras construidas a lo largo de décadas con las mismas especificaciones técnicas y procesos de ejecución elaborados por la dirección de proyectos de la Fundación GEO-RIO. Por lo tanto, las cortinas fueron proyectadas y construidas con los mismos procedimientos en locales diferentes en taludes de la ciudad de Rio de Janeiro, cambiando solamente sus características geométricas.

Tabla 2. Propiedades de los materiales de la cortina anclada

Parámetros	Símbolo	Valor	Unidad
Comportamiento	-	Elástico	-
Resistencia normal	EA	2.10^5	kN
Espacio al plano	L_s	2,00 a 3,50	m
Carga de trabajo	CT	160 a 200	kN
Fuerza máxima	F_{max}	1.10^{15}	kN

En la Tabla 3 se presenta la carga de trabajo, espacio al plano y la fuerza máxima de los tirantes, según lo adoptado por la GEO-RIO.

Tabla 3. Carga de trabajo de los tirantes de las cortinas ancladas (GEO-RIO 2010).

Parámetros	Símbolo	Valor	Unidad
Comportamiento	-	Elástico	-
Rigidez axial	EA	12.10^6	kN/m
Rigidez a flexión	EI	$0,12.10^6$	kNm^2/m
Espesor	d	0,25	m
Peso	w	6	kN/m/m
Coefficiente de Poison	v	0,15	-

Posteriormente al realizar el modelaje del sistema computacional Plaxis 8.2 de 20 cortinas ancladas con el mismo patrón de ejecución, pero con geometrías diferentes, fue realizada la comparación de los resultados de ensayo de verificación de carga con los resultados de las modelos para la observación de carga de los tirantes posteriormente el incremento de sobrecarga a lo largo de 50 años.

En cada cortina anclada fue realizado el ensayo de verificación residual de carga, por una muestra de hasta 20% de los tirantes existentes, escogidos de forma aleatoria, pero con la premisa de tener por el menos un tirante por línea.

Fueron realizados, en los últimos cinco años, por el programa de recuperación estructural de la dirección de obras de la GEO-RIO, 229 ensayos de verificación residual de carga (EVRC) en 20 cortinas ancladas.

La ejecución del EVRC puede ser vista en la Figura 7, siendo realizado la época de la recuperación estructural de la obra de contención de ladera, ya con las sobrecargas adicionales a lo largo del tiempo posteriormente a los 50 años de ejecución.



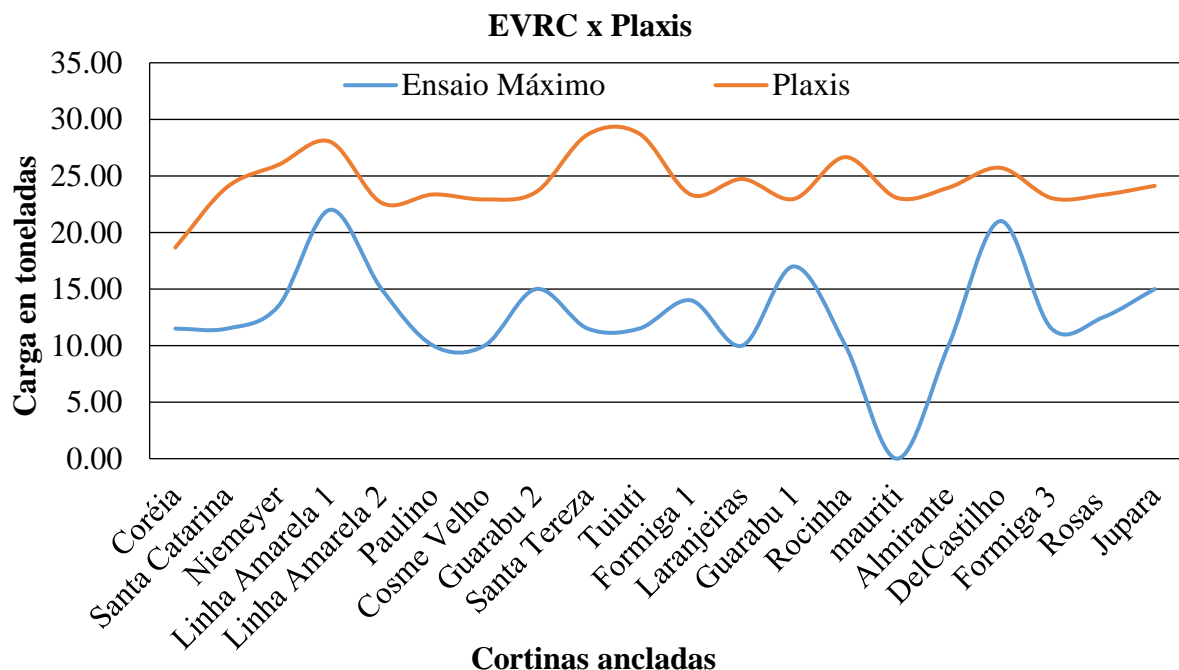
Figura 7. Ensayo de verificación residual de carga en andamento.

En el gráfico de la Figura 8 (línea en azul) están los resultados máximos de los EVRC para cada una de las 20 cortinas ancladas inspeccionadas a lo largo de un período de 5 años. Para la obtención de un valor de carga residual más conservador fue considerada la mayor carga residual en toneladas para cada cortina anclada.

El valor máximo obtenido de carga residual de los tirantes fue de 22 toneladas en la cortina localizada próxima a la Línea Amarilla, del suburbio de Rio de Janeiro, y el menor valor de Cero toneladas en la cortina de la calle Mauriti, de la Urbanización de Santa Teresa.

Los resultados de la simulación del valor de carga residual en tirantes posteriormente a 50 años de ejecución de las mismas cortinas ancladas pueden ser observados en la Figura 8 (línea azul). Los valores de carga residual a lo largo del tiempo varían de un valor máximo de 28 toneladas para dos cortinas localizadas en Santa Tereza y en la comunidad de Tuiuti a un valor mínimo de 18 toneladas para una cortina localizada en la comunidad de Coréia.

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



Se puede observar que las dos líneas que representan los ensayos simulados en el sistema computacional Plaxis (línea Azul) y la del ensayo de verificación residual de carga (línea en rojo) no se encuentran en ninguna de las 20 cortinas ancladas observadas a lo largo de un período de cinco años de esta investigación.

5. CONCLUSIONES

Las obras de contención de taludes, en cortina anclada, son estructuras de concreto armado con vida útil estimada de 50 años y que son compuestas básicamente por un panel de concreto armado con fundación en estacas, anclado al terreno por medio de tirantes de acero pretensado y que soportan las cargas verticales de esos taludes arrimados.

Utilizadas como principal solución para mitigación de riesgo geológico-geotécnico en la ciudad de Rio de Janeiro a lo largo de 50 años, desde la creación de GEO-RIO, con aproximadamente 2.200 obras ejecutadas, estas estructuras necesitan una atención especial en cuanto al mantenimiento y las intervenciones para el restablecimiento y extendido de la vida útil de proyecto. Observándose que el crecimiento descontrolado de inmuebles informales Le suma al entorno de estas obras de contención, puede decirse que surge además de sobrecargas adicionales, a la contaminación del suelo arrimado con agentes agresivos, como el ácido sulfúrico, altamente corrosivo para el acero de las armaduras.

Posteriormente al comparar los resultados de estos ensayos prácticos con los ensayos teóricos desarrollados por medio de la herramienta computacional Plaxis 8.2 2D (Figura 8), se constató que los resultados de los ensayos de verificación residual de carga no presentan aumento de carga a lo largo del tiempo.

Ya los ensayos teóricos, es decir, los resultados de carga teóricos del modelaje computacional presentan resultados superiores a los resultados de los ensayos de verificación residual de carga (EVRC) de los tirantes anclados, indicando que el programa Plaxis no consigue percibir el fenómeno de pérdida de carga de estos a lo largo del tiempo.

Se concluyó que la herramienta computacional Plaxis 8.2 2D no lleva en consideración, en su análisis, las pérdidas de carga de pretensión de los tirantes debido al fenómeno de relajación y la consolidación del terreno arrimado a lo largo del tiempo si se compara la proyección de carga residual futura a que los tirantes estarán sometidos posteriormente a la vida útil de 50 años.

Se recomienda al que desarrolle la herramienta de análisis geotécnica y estructural computacional Plaxis 2D la revisión del modelaje de estructuras de cortina anclada en cuanto al desarrollo a lo largo del tiempo de las cargas de tirantes anclados al terreno debido al incremento de sobrecarga del talud arrimado considerado en el modelo propuesto.

Se concluye que las estructuras de concreto armado de las cortinas ancladas pueden presentar, a lo largo de su vida útil, un aumento de fisuras superficiales en el concreto debido a la variación da carga residual a lo largo del tiempo.

Este aumento del cuadro de fisuras permitirá el acceso al interior de la masa de concreto armado de agentes agresivos en caso de que la estructura este sujeto a un medio ambiente agresivo, lo que puede provocar un aumento de las manifestaciones patológicas a lo largo de la vida útil.

6. REFERENCIAS

- 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 Durabilidad do Concreto*". In: ISAIA, Geraldo Cechella. (Ed) *Concreto: Ensino, Investigación e Realizações*. São Paulo: Editora Ibracon, V1. Cap. 25, p. 753-754, 761,762.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), "*Proyecto de Estructuras de Concreto – Procedimento, NBR – 6118*". ABNT, Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006), "*Ejecución de tirantes anclados no terreno – NBR 5629*". Rio de Janeiro.
- Augusto Filho, O., Cerri, L. E. S., Amenomori, C. J. (1990a), "*Riesgos Geológicos: Aspectos Conceituais*". In: Simpósio Latino-Americano Sobre Riesgo Geológico Urbano, 1, São Paulo, 1990. Anais... São Paulo: ABGE, pp. 334-341.
- Bejinha, A. M. D. (2009), "*Estructuras de Contención Ancladas Sujetas a Ação Sísmica – Análisis de Comportamiento*". 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/materiales.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 – Especificación, desempenho, produção e conformidade*". EN 206-1, Portugal, 2007.
- Farah, F. 2003, "*Habitación e Taludes*". Coleção Habitar/Finep. São Paulo/SP.
- Figueiredo, Enio P., Helene, P. R. L. (1994), "*Assí caminha a corrosão*". Revista Técnica, v. 2, n. 10, p. 28-33, mai. /jun. 1994.
- Georio (2014), "*Manual Técnico de Taludes*". 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), "*Análisis 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 a Selección de Materiales*", USP.