

# 1. Introdução

Atualmente, devido à necessidade de realizar obras de engenharia de grande envergadura e de acordo com os avanços da tecnologia, existe o desafio de resolver problemas referentes a escavações profundas, como se apresenta no projeto de escavação do poço de serviço PS-39 do projeto executivo dos coletores para tratamento de esgoto sanitário do Sistema Alegria entre a Elevatória Alegria e a ETE Alegria, localizado na Rua Boas Vindas, no Bairro de Caju, na cidade do Rio de Janeiro. As dimensões do poço circular são 16 m de profundidade e 8.60 m de diâmetro interno.

Para este tipo de escavação profunda, necessita-se a proposição de diferentes sistemas de contenção, empregando as tecnologias disponíveis mais adequadas de acordo com as condições da escavação estabelecidas pela estratigrafia do subsolo, as condições da água subterrânea, o processo de escavação e a geometria da escavação.

A escavação do poço em estudo foi realizada empregando um sistema de contenção constituído por um conjunto de colunas secantes executadas pelo método “wet mixing”, conhecido também como “rotocrete”, em todo o perímetro até uma profundidade de 19 m. O diâmetro de cada uma das colunas foi 0.80 m, com uma superposição de 0,20 m entre colunas adjacentes, colocando-se 12 ferros de 1,27 cm em colunas alternadas enquanto a calda ainda estava fluida. O segundo elemento estrutural empregado foi o “shotcrete”, conformado por um anel de concreto projetado de 0,20 m de espessura, recobrando as colunas e executado de forma progressiva à medida que a escavação evoluía em etapas com uma profundidade média de 0.9 m. O terceiro elemento estrutural empregado foi na forma de laje circular no fundo do poço construído pelo método “jet-grouting”, o qual foi chumbado com 25 tirantes passivos no terreno de fundação.

Para a análise da escavação do projeto, conta-se com informação geotécnica conformada por 05 sondagens de reconhecimento SPT identificadas como SP-30, SP-58, SP-59, SP-60A e SP-61. Referente às medições de deformações laterais,

conta-se com registros correspondentes a 03 inclinômetros, denominados como I 01, I 02 e I 03. Referente às medições de porepressão, conta-se com registros correspondentes a 03 piezômetros, denominados como PZ1, PZ2 e PZ3. Referente às medições do recalque, conta-se com registros correspondentes a 10 marcos superficiais, denominados M3, M4, M5, M14, M26, M27, M6, M7, M24 e M25. Para a validação da análise, dispõem-se dos registros de medições do inclinômetro denominado I 01 e do registro de medições piezométricas do piezômetro denominado PZ3. Deve-se indicar que a escavação está localizada numa área não urbana, portanto não se apresentam efeitos sobre edificações vizinhas. Estas medições foram registradas durante o processo de escavação. Além disso, conta-se com alguns resultados de ensaios de laboratório. As medições de campo constituem ferramentas importantes para monitorar a estabilidade e o comportamento estrutural do poço, durante o processo de construção.

É importante enfatizar a importância dos dados coletados mediante a instrumentação no campo, os quais podem ser utilizados para detectar anomalias durante a execução das obras de construção. Ademais, permitem uma melhor compreensão do desenvolvimento dos processos apresentados durante as sucessivas etapas do processo de escavação, mediante a comparação das previsões teóricas com resultados das medições determinados com os respectivos instrumentos de medição.

Os diferentes tipos de obras de grande porte, que são construídas na atualidade; como estações do metrô, edificações elevadas com vários níveis de porões, poços de sistema de esgoto, entre outros; requerem uma maior profundidade das escavações. Neste tipo de escavações, muitas vezes ocorrem falhas devido a problemas de falta de resistência ou deformações excessivas, apresentando problemas de estabilidade nas diferentes etapas da escavação, ou em alguns casos, o completo colapso, afetando edificações vizinhas. Isto tem gerado crescente interesse na avaliação dos métodos de projeto, construção e controle das escavações, e das diferentes estruturas de contenção de terras. Este interesse também se estabeleceu na modelagem e análise numérica destes problemas, porque, a partir destes modelos podem ser obtidas conclusões importantes que contribuirão para um melhor projeto da obra de acordo com sistemas de controle adequados.

A análise permitirá prever e antecipar de forma mais racional o comportamento das estruturas de contenção durante o processo de escavação de poços circulares profundos. Isto pode ser alcançado através do modelamento numérico, empregando o programa PLAXIS 3D 2012, para poder garantir a correta execução da escavação e construção do poço. A capacidade de previsão do comportamento do solo e estruturas circundantes é uma ferramenta de vital importância para a interpretação do comportamento do conjunto estrutura de contenção e solo. Uma vez que os modelos numéricos sejam compatibilizados com a informação existente, se contará com uma poderosa ferramenta para o projeto, controle e análise durante a execução de escavações profundas de características semelhantes.

O programa PLAXIS 3D emprega o método dos elementos finitos para a análise, portanto presta-se muito bem para alcançar os objetivos propostos e pode ser usado proveitosamente na previsão do comportamento do solo e das estruturas de contenção, ajudando ao entendimento de determinados comportamentos destas estruturas e permitindo ainda a adoção de decisões bem fundamentadas para projetos semelhantes.

Na presente dissertação, considera-se a aplicação do programa para a análise e interpretação da solução adotada do problema, também se considera a aplicabilidade do uso deste método para resolver problemas semelhantes, estabelecendo soluções satisfatórias empregando o método dos elementos finitos mediante o programa. Da mesma forma, espera-se contribuir ao conhecimento na área de estudo, devido a que no Brasil não foram encontrados trabalhos específicos sobre o modelamento do comportamento da estabilidade de escavações profundas deste tipo aplicando modelamento 3D.

Potts (2003) indica que num projeto deve-se garantir a estabilidade das estruturas e do sistema de contenção, estes devem ser estáveis no conjunto. As cargas e forças sob qualquer elemento estrutural devem-se estimar considerando condições adversas. Uma boa análise permite simular e compreender o comportamento real dos problemas decorrentes de escavações, portanto deve-se considerar uma identificação adequada dos parâmetros dos elementos que constituem o modelo. Em geral os métodos de análise disponíveis em geotécnica podem ser divididos em métodos de análise analíticos e métodos de análise numéricos. Numa análise numérica, a capacidade de refletir as condições de

campo depende da capacidade dos modelos constitutivos para representar o comportamento real do solo, da capacidade do engenheiro geotécnico para atribuir as condições de contorno apropriadas nas fases construtivas. Uma vantagem importante da análise numérica é que não se requer admitir um mecanismo de ruptura ou modo de comportamento do problema, já que este é resolvido pela própria análise. Apesar da designação de método aproximado, o método dos elementos finitos é uma ferramenta que permite realizar uma grande quantidade de análise em estruturas e componentes complexos, que dificilmente podem ser obtidos pelos métodos analíticos, no entanto, deve-se enfatizar a importância da comparação com soluções analíticas. As principais desvantagens são que existem incertezas nos algoritmos numéricos, limitações com os modelos constitutivos habituais, e os resultados das análises numéricas dependem do usuário. Para uma utilização adequada, necessita-se de uma boa compreensão da mecânica dos solos e da teoria por trás da análise numérica, estando também ciente das limitações dos modelos constitutivos e familiarizado com o programa utilizado para realizar a análise.

Não há informação disponível sobre o desenvolvimento do projeto, portanto, presume-se que este foi feito por métodos numéricos.

Os resultados da pesquisa serão empregados para analisar problemas decorrentes de escavações profundas, considerando uma interpretação adequada dos resultados das tensões e deslocamentos que se apresentam durante o processo de escavação. Isto vai permitir resolver antecipadamente problemas semelhantes, permitindo um planejamento econômico adequado.

O objetivo geral da dissertação é validar a análise numérica 3D da escavação do poço de forma circular, localizado na cidade do Rio de Janeiro, baseado nos dados da instrumentação de campo disponíveis, mediante a aplicação do método numérico de elementos finitos utilizando o programa PLAXIS 2D e 3D.

Os objetivos específicos são os seguintes.

Descrição das propriedades índice, físicas e mecânicas das camadas de solo que conformam o perfil estratigráfico do poço PS-39, em função dos resultados de ensaios de campo e laboratório, dados da instrumentação de campo, resultados de pesquisas realizadas com solos similares em diferentes zonas da cidade do Rio de

Janeiro e revisão bibliográfica específica considerando faixas de valores de parâmetros do solo.

Modelamento com o programa PLAXIS 2D e 3D para determinar o deslocamento do conjunto, sistema de contenção e solo, além de avaliar as tensões que se apresentam a diferentes profundidades. Também se determinar o efeito das poropressões e os excessos de poropressão nos diferentes níveis de escavação, desenvolvidos durante o processo de escavação, do lado escavado, e do lado do solo suportado pela parede de colunas secantes.

Comparação dos dados registrados a partir dos instrumentos de medição no campo, com os valores determinados pelo modelamento numérico mediante o programa PLAXIS 3D, que permitirá prever de forma mais racional o comportamento do conjunto solo estrutura de contenção durante o processo de escavação profunda.

No segundo capítulo, realiza-se uma revisão bibliográfica sobre o tema, e os fatores influentes relacionados.

No terceiro capítulo, apresentam-se os aspectos metodológicos necessários para alcançar os objetivos da pesquisa.

No quarto capítulo, apresentam-se os resultados das diferentes análises.

No quinto capítulo, apresentam-se as conclusões da pesquisa e sugestões para pesquisas futuras.