

Projeto e Monitoramento Geotécnico de Contenção Atirantada em uma Encosta em Embu das Artes, SP

Luciano Machado

MMF Engenharia, São Paulo, Brasil, luciano.machado@mmfprojetos.com.br

André Silva

Teknier Engenharia, São Paulo, Brasil, andre@teknier.com.br

Fabian Corgnier

Teknier Engenharia, São Paulo, Brasil, fabian@teknier.com.br

Igor Ferreira

MMF Engenharia, São Paulo, Brasil, igor.ferreira@mmfprojetos.com.br

Marcos Porto

IFCE, Fortaleza, Brasil, marcosporto@ifce.edu.br

Ricardo Mirisola

MMF Engenharia, São Paulo, Brasil, ricardo.mirisola@mmfprojetos.com.br

RESUMO: O presente trabalho aborda o estudo do comportamento geotécnico de uma encosta de aproximadamente 25m de altura a jusante de um condomínio residencial no qual foi verificado o surgimento de diversas patologias como trincas, fissuras ou até indícios de alteração na verticalidade de alguns pontos da estrutura. Devido às movimentações verificadas visualmente, foi solicitado em caráter emergencial o monitoramento estrutural e geotécnico do local. Após os primeiros relatórios de instrumentação coincidentes com a ocorrência de chuvas torrenciais recorrentes naquela época do ano, pôde-se concluir que o talude instrumentado se encontrava em estado de crítico e com necessidade de tomada de medidas urgentes. Desta forma foram recomendadas intervenções emergenciais de modo a reduzir as velocidades das movimentações, aumentando, provisoriamente, as condições de segurança e com isso ganhar algum tempo para elaboração de projeto executivo de contenção e execução de obra. Neste contexto, o caso de estudo concentra-se no projeto de estabilização elaborado e nos resultados obtidos no monitoramento geotécnico realizado antes, durante e depois da execução das obras de contenção de encosta com alto risco de colapso.

PALAVRAS-CHAVE: Monitoramento Geotécnico, Estrutura de Contenção, Projeto Geotécnico

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho aborda o estudo do comportamento geotécnico de uma encosta de aproximadamente 25m de altura a jusante de um condomínio residencial no qual foram verificadas diversas patologias como o surgimento de trincas, fissuras e indícios de alteração na verticalidade em pilares na área do estacionamento. Devido às movimentações

verificadas visualmente, foi solicitado em caráter emergencial o monitoramento do empreendimento.

Para iniciar a recuperação do talude sinistrado, o condomínio contratou um serviço de monitoramento geotécnico e estrutural para identificar a real gravidade da ocorrência e ter referências para continuidade do processo de recuperação do empreendimento.

Após os primeiros relatórios de

instrumentação associados à ocorrência de chuvas torrenciais recorrentes naquela época do ano, pôde-se concluir que o talude instrumentado se encontrava em estado de alerta, com possibilidade de colapso e, neste caso, afetando a integridade estrutural das edificações existentes no entorno do maciço. Desta forma foram recomendadas intervenções emergenciais de modo a reduzir as velocidades das movimentações, aumentando, provisoriamente, as condições de segurança e com isso ganhar algum tempo para elaboração do projeto e execução da obra.

Segundo DER – Manual de Geotecnia – 1991, “São comuns, todos os anos nos períodos chuvosos, principalmente nas regiões de topografia mais acidentada, os escorregamentos de taludes de cortes e aterros, colocando em risco os usuários ou pelo menos, causando-lhes transtornos, resultantes de tais ocorrências...Os problemas de instabilidade de taludes, quando identificados desde o seu estágio inicial, podem ser resolvidos, em grande número de casos, mediante soluções simples, econômicas e que contribuem para maior segurança”. O talude aqui apresentado possui topografia acidentada e as características citadas no Manual do DER.

A metodologia de trabalho definida tornou possível realizar o trabalho pretendido, uma vez que normalmente a decisão nos casos de recuperação de talude sinistrado é tomada a partir do projeto de recuperação e só após a execução da obra é realizada a instrumentação para identificar a eficiência da obra de contenção e aqui o monitoramento se fez presente em todas as etapas antes, durante e pós obra.

2 ANÁLISE DO PROBLEMA

O condomínio residencial é composto por quatro blocos de habitação em formato “H”. A testeira do lote, junto à rua de entrada, é o ponto mais alto do terreno que vai perdendo cota no sentido do fundo do lote. No fundo, há uma área reservada para estacionamento de veículos de moradores. Uma parte é descoberta e outra é coberta com estrutura de concreto onde, sobre a laje, foi implantada uma quadra poliesportiva e um salão de festas.

Entre os blocos habitacionais e o

estacionamento coberto existe um muro de arrimo de aproximadamente 3 a 5m de altura e um talude com aproximadamente 5 a 6m adicionais. No pé deste talude há outro arrimo com cerca de 7m no qual é eixo da primeira linha de pilares da estrutura de concreto de cobertura do estacionamento.

Esta estrutura é configurada por quatro linhas de pilares. Entre a terceira e quarta linha pode-se perceber que não há aterro nem escoramento embaixo da laje, configurando um descalço da estrutura (Figura 2a, 2b e 2c). Deste ponto, o terreno se desenvolve em talude com grande arborização e vegetação de cerca de 12 a 15m de desnível. No pé deste talude (ponto mais baixo) existe um posto de gasolina, entre outros estabelecimentos comerciais.

Segundo informações dos moradores e funcionários, algumas anomalias aconteceram desde a entrega da construção, cerca de 10 anos antes, apesar de algumas trincas e solapamentos serem mais recentes.

O que motivou a primeira visita técnica ao local, acabou sendo um solapamento da região da garagem, que se verificou ser uma parte de um problema maior que abrangia toda a área da implantação do condomínio.

2.1 Identificação de patologias

Durante a visita técnica foi possível identificar várias patologias ilustradas na Figura 1.



Figura 1 – Vista geral do local e evidências de solapamentos e fissuras em diferentes estruturas do condomínio

Toda a estrutura de concreto apresenta patologias estruturais nas vigas e pilares. Pode-se perceber visualmente que os engastes entre vigas e pilares estão trincados ou fissurados (Figura 1d). Tal evidência indica que há deslocamento horizontal para jusante do talude, ou seja, em direção ao ponto mais baixo do relevo onde se encontra o posto de gasolina.

Em relação ao pavimento, é notável o desnível em relação ao mesmo sentido das trincas da estrutura e onde pouco antes da visita técnica registrou-se um solapamento no pavimento e na laje em concreto (Figura 2d).

Durante a vistoria foi notado que parte da estrutura é elevada em relação ao terreno natural na crista do talude de jusante (em direção ao posto de gasolina). Devido a este desnível foram implantados ralos de drenagem que desaguam diretamente sobre o maciço, ocasionando erosão e carreamento de solo por baixo da estrutura. A ausência de um adequado encaminhamento da drenagem superficial, poderia aumentar o processo erosivo e de carreamento, agravando ainda mais as patologias da estrutura.

Além disso, a vistoria detectou novas evidências sob da laje da estrutura, ilustradas na Figura 2.



Figura 2 – Vista geral sob a estrutura de fundação e pilares com evidências de erosões, solo desconfinado, deformação das lajes e desaparecimento de pilares

Neste local, foi verificado que a laje estava deformada excessivamente e

desconfinada, provavelmente, ocasionada pela má qualidade da construção e/ou dimensionamento desta estrutura. O local não apresenta qualquer arrimo ou estrutura que evitasse a exposição do solo e o protegesse da evolução de processos erosivos.

2.1.1 Seção tipo

As patologias observadas foram interpretadas como indícios de uma movimentação de massa em andamento que poderia culminar em uma ruptura do maciço de solo podendo causar o colapso da estrutura do estacionamento e colocar em risco a integridade estrutural dos edifícios a montante e jusante na base do talude.

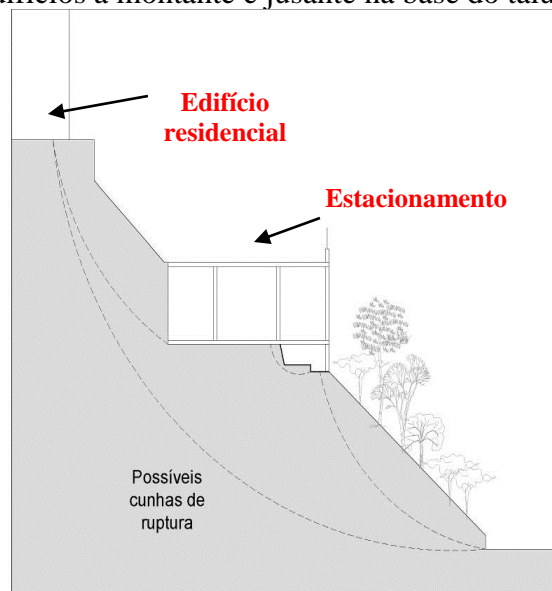


Figura 3 – Seção tipo e possíveis cunhas de ruptura

2.1.2 Plano de monitoramento geotécnico

Devido à falta de informações mais detalhadas sobre a dimensão do movimento de massa em ocorrência, tal como as características de resistência e deformabilidade do solo foi necessária a implantação de um plano de instrumentação geotécnica.

Para o sistema de instrumentação geotécnica foi realizada a instalação dos instrumentos listados abaixo, conforme croqui de implantação apresentados a seguir:

- Pinos de recalque (PR)
- Marcos superficial de recalque (MS)
- Inclínômetros (INC)
- Referencial de nível profundo (RNP)
- Indicadores de nível d'água (INAs)

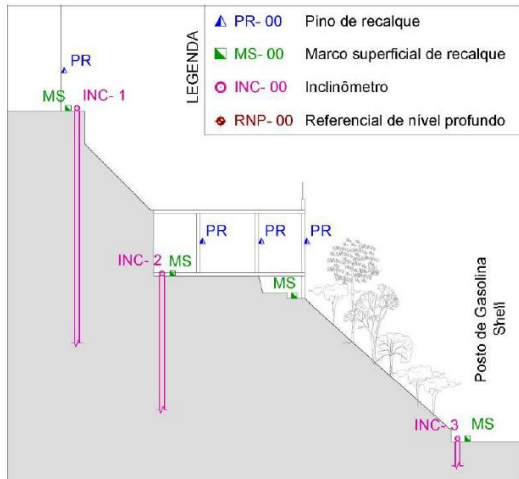


Figura 4 – Seção típica do plano de instrumentação geotécnica

As campanhas de leitura foram realizadas duas vezes por semana até a implantação do projeto de estabilização.

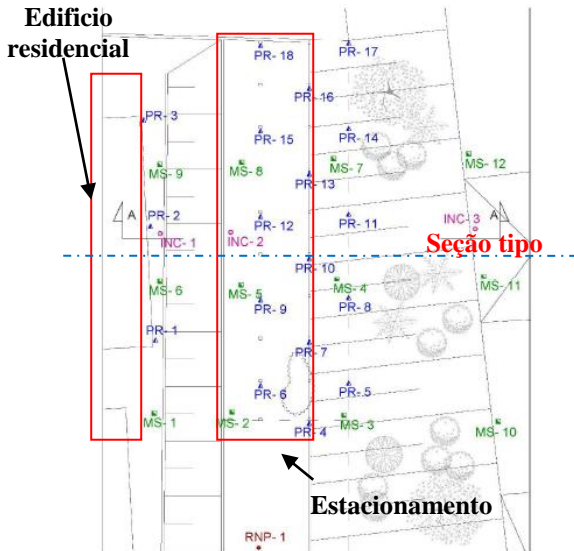


Figura 5 – Planta de locação dos instrumentos previstos pelo plano de instrumentação geotécnica. Localização do edifício residencial e da estrutura do estacionamento.

3 PROJETO GEOTÉCNICO-DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

3.1 Análise de resultados do monitoramento geotécnico antes da intervenção.

O acompanhamento da obra feito com recurso ao monitoramento geotécnico entre 14/11/2014 até 17/12/2014 permitiu identificar a formação de uma superfície de potencial ruptura profunda através dos resultados dos três inclinômetros instalados. O INC-01 apresentou 15mm de deslocamento acumulado a uma profundidade

de 20m, enquanto o INC-02 registrou 10mm a cerca de 10m de profundidade e o INC-03 apresentou deslocamento mais superficiais, a partir dos quais se pôde atestar a ocorrência de um fenômeno deslizamento global do talude, ilustrado na Figura 6 (gráficos ampliados para melhor interpretação).

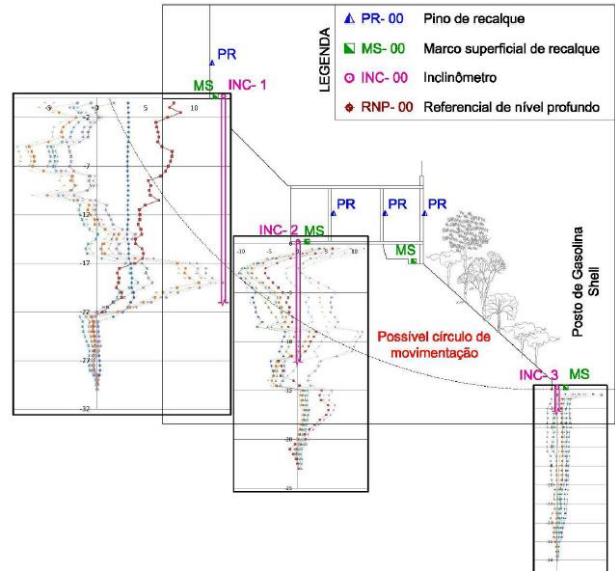


Figura 6 – Identificação de superfície potencial de ruptura através dos deslocamentos acumulados dos inclinômetros

Dadas as magnitudes das movimentações em profundidade no INC01 e INC02, no intervalo de tempo de apenas um mês é possível estimar-se a ocorrência de um processo de movimentação circular no maciço de solo. Tal círculo de movimentação apresenta grandes dimensões podendo afetar as fundações e estrutura dos edifícios mais próximos, caso as deformações evoluíssem, podendo chegar à ruptura do maciço.

Considerando as movimentações verificadas em profundidade, associado à ocorrência de chuvas torrenciais recorrentes na época concluiu-se que o talude instrumentado encontrava-se em estado de alerta, com possibilidade de colapso, e neste caso afetando a integridade estrutural dos edifícios.

Desta forma foram recomendadas intervenções emergenciais referidas no item 3.2.

As operações de instalação dos DHP's deram-se no final do mês de Dezembro de 2014 e os seus efeitos ficaram visíveis nas leituras inclinométricas, especialmente no INC-01, ilustrado na Figura 7. Com uma clara alteração do comportamento do inclinômetro após o

rebaixamento do nível de água do maciço, possivelmente associado ao recuo da frente de saturação do talude ou até eventuais fenômenos de percolação dada a cota do nível de água identificado nas sondagens.

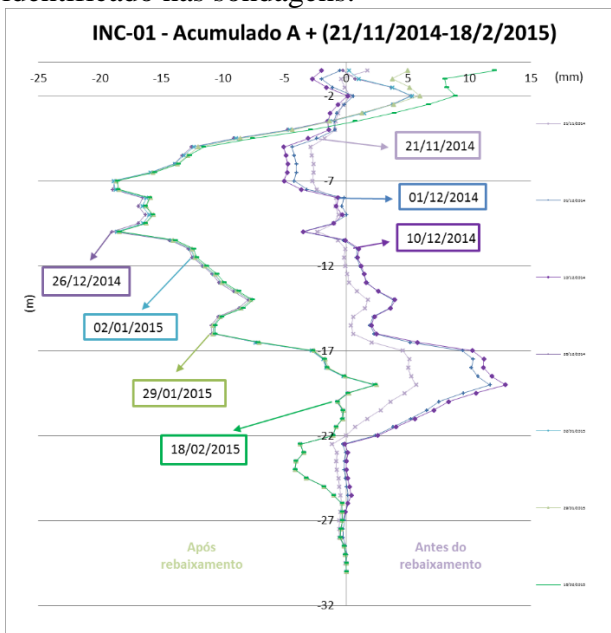


Figura 7 – Evolução dos deslocamentos horizontais acumulados no INC-01 antes e após a aplicação do rebaixamento do N.A

A eficiência dos DHP's pode ser atestada pelo escoamento constante de água e através de uma artificio feito com medição do N.A existente no interior dos tubos inclinométricos, que acabou por se revelar coerente com a cota de instalação dos DHP's.

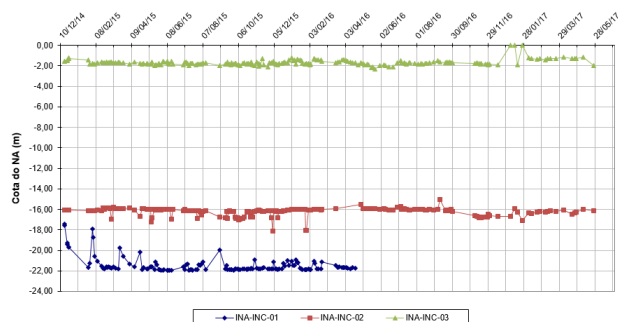


Figura 8 – Acompanhamento da variação do N.A no interior dos tubos inclinométricos desde o rebaixamento do N.A até ao final do monitoramento.

3.2 Medidas preliminares emergenciais

Dadas as movimentações verificadas em profundidade no primeiro mês de monitoramento geotécnico, pode-se concluir que o talude instrumentado encontrava-se em estado de crítico. Desta forma foram

recomendadas intervenções emergenciais de modo a reduzir-se as velocidades das movimentações para aumentar-se as condições de segurança de maneira provisória.

Foram tomadas as seguintes medidas emergenciais:

- proteção superficial do maciço com lona para diminuir efeitos erosivos e saturação do maciço por infiltração de águas pluviais;
- rebaixamento do nível do lençol freático

Para isso foram executados 12 drenos horizontais profundos (DHPs) com 30m de comprimento e espaçamento horizontal aproximado de 5m. Foram executados no pé talude, próximo à localização do INC03 e MS10, MS11 e MS12 (ver Figura 5), conforme acesso para equipamentos, interferências e pontos verificados de surgência d'água.

3.3 Campanha de investigação geotécnica

Além do plano de instrumentação foi também prevista a realização de um levantamento topográfico e uma campanha de investigações de subsolo (10 SPT's) para uma melhor avaliação do tipo de solo subjacente às estruturas, permitindo adequar avaliação do risco de ruptura e ainda subsidiar a elaboração de projeto executivo de recuperação

As sondagens identificaram o nível freático próximo à superfície e uma camada superficial de aterro com valores de NSPT entre 2 e 4 golpes/30cm a montante do talude, seguido de uma camada de silte arenoso com valores de NSPT crescentes com a profundidade.

A partir da interpretação das sondagens realizadas e do levantamento topográfico cadastral foi elaborado o perfil geológico geotécnico apresentado na Figura 9. Para efeitos de cálculo a camada de silte arenoso foi dividida em duas conforme valor de NSPT e indicado na Figura 11.

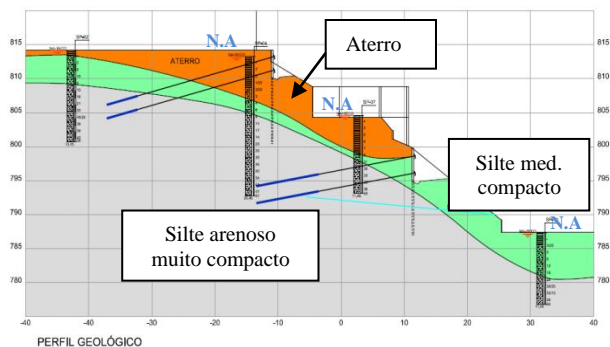


Figura 9 – Perfil geológico – geotécnico adotado e posição original do lençol freático.

A definição dos parâmetros geotécnicos utilizados no projeto tiveram como base os boletins de sondagens, a bibliografia consultada e, conforme previsto na NBR11682/2009, através de uma retroanálise apresentada na Figura 10.

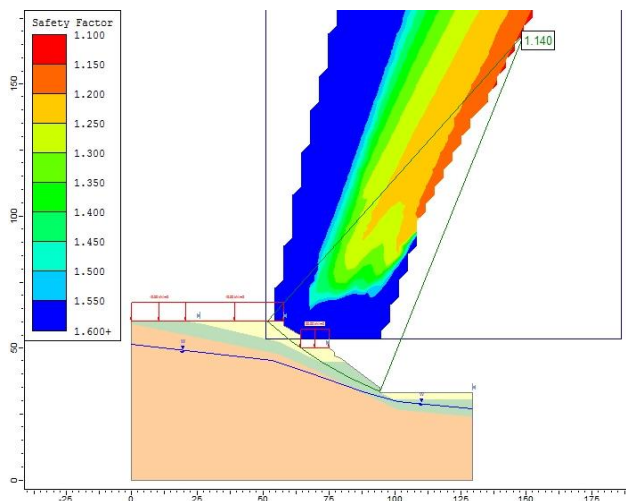


Figura 10 – Retroanálise para definição dos parâmetros (FS=1,140 - Método Bishop Simplificado)

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion (kN/m ²)	Phi
Aterro	Yellow	17	10	22
Silte Arenoso Med. Compacto	Green	19	10	30
Silte Arenoso Muito Compacto	Orange	20	15	34

Figura 11 – Parâmetros geotécnicos adotados (Referência: Solos da Cidade de São Paulo)

A análise de estabilidade da alternativa proposta foi realizada de acordo com as recomendações da Norma Brasileira de Estabilidade de Encostas, NBR 11682/2009, que recomenda a definição do fator de segurança (FS) considerando os níveis de

segurança contra perda de vidas humanas, danos materiais e ambientais e onde nesse contexto específico será adotado FS maior ou igual a 1,5.

Para a definição da melhor alternativa de solução para a estabilização do talude foram levados em conta os seguintes critérios:

- Disponibilidade de espaço para implantação de terraplenagem (cortes e aterros);
- Disponibilidade de acesso para equipamentos (de terraplenagem e de perfuração);
- Interferências com os lotes lindeiros;
- Impactos em vegetação existente;
- Mecanismos de ruptura a ser contidos

Considerando os aspectos descritos, a utilização de alternativas de solução somente em terraplenagem mostrou-se tecnicamente inviável devido à falta de acesso para equipamentos de grande porte e de espaço no pé do talude.

Desta forma foi necessária a implantação de uma estrutura de contenção que levasse em conta os mecanismos de ruptura verificados através da instrumentação geotécnica. Perante este contexto a melhor alternativa foi uma contenção atirantada.

A solução adotada para a contenção definitiva do talude em estudo foi a implantação de duas cortinas atirantadas estacadas ($\phi=310\text{mm}$) com FS superior a 1.5 (Figura 12), uma superior, de menor carga (150kN a 300kN) nos tirantes, logo a jusante da cota dos edifícios e uma segunda inferior, com maiores cargas aplicadas (600kN), a jusante da cota da garagem.

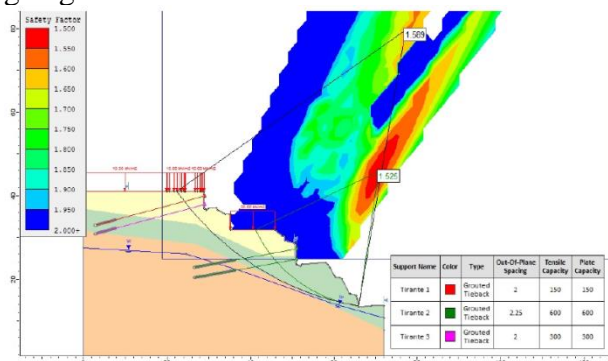


Figura 12 – Análise de estabilidade- Seção 1+0,000 (FS=1,589 - Método Bishop Simplificado)

A seção típica apresentada na figura 13 também apresenta, esquematicamente, as superfícies potenciais de ruptura que devem ser contidas pela contenção, o que justifica a necessidade da implantação das duas cortinas atirantadas em duas cotas diferentes. A implantação de somente uma das duas cortinas deixaria sem intervenção pelo menos uma das três superfícies potenciais de ruptura a serem contidas.

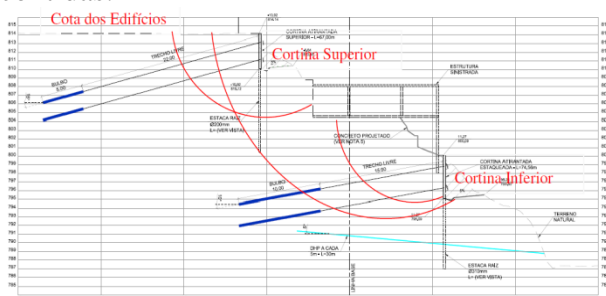


Figura 13 – Seção de implantação das cortinas superior e inferior da contenção.

3.4 Resumo da solução

Contenção superior

- Paramento: esp:30cm / Altura:4m
- Extensão total: 67m
- Carga de trabalho dos tirantes:150kN - linha superior / 300kN - linha inferior
- Inclinação: 15°
- Comp livre: 22m/ Comp. Ancorado:5m
- Espaçamento vert/horiz.: 2m/2m
- Ø Estacas de fundação: 310mm
- Espaçamento entre estacas: 2m

Contenção inferior

- Paramento: esp:30cm / Altura:5m
- Extensão total: 74,6m
- Carga de trabalho dos tirantes: 600kN
- Inclinação: 15°
- Comp livre: 15m/ Comp. Ancorado:10m
- Espaçamento vert/horiz.: 2,5m/2,25m
- Ø Estacas de fundação: 310mm
- Espaçamento entre estacas: 2,25m

4 ANÁLISE DE RESULTADOS DO MONITORAMENTO GEOTÉCNICO

4.1 Durante e após a intervenção

Após o rebaixamento do nível freático verificou-se uma redução dos deslocamentos do

talude. Durante o ano de 2015 mantiveram-se campanhas de monitoramento 2 vezes por semana, e constatou-se uma desaceleração significativa dos deslocamentos horizontais e uma variação muito reduzida dos deslocamentos até ao início das obras de contenção.

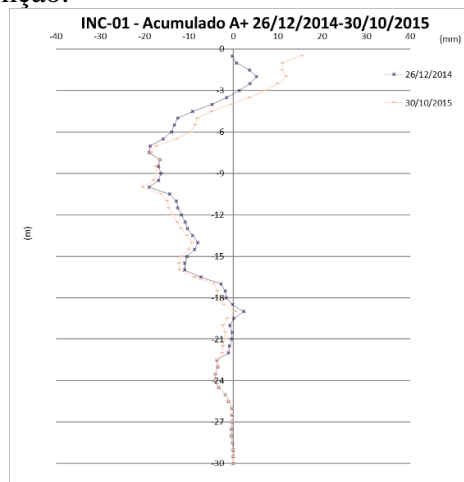


Figura 14 – Evolução dos deslocamentos horizontais acumulados no INC-01 após a aplicação do rebaixamento do N.A até ao início das obras de contenção.

Durante a execução da contenção atirantada, o INC-01 apresentou uma alteração, próxima a 10mm, entre os 16 e 20m de profundidade, certamente associado à proximidade deste com o bulbo dos tirantes da cortina inferior. Nos primeiros 10m a partir da superfície também se verificou uma movimentação no sentido do talude, no entanto numa velocidade reduzida ao longo do tempo, isto é, entre agosto de 2015 até maio de 2017, tal como ilustrado nas Figuras 15 e 16.

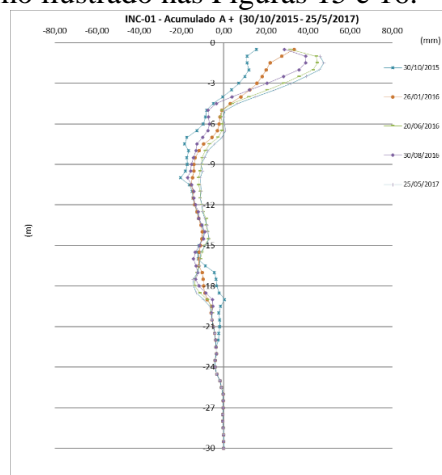


Figura 15 – Evolução dos deslocamentos horizontais acumulados no INC-01 após a aplicação do rebaixamento do N.A até ao final do monitoramento em Maio 2017.

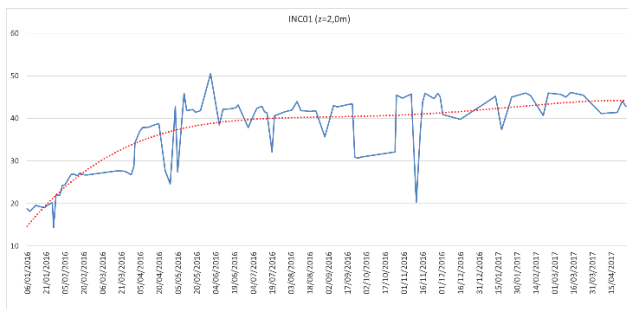


Figura 16 – Evolução dos deslocamentos horizontais acumulados no INC-01 aos 2m de profundidade entre Janeiro 2016 e Maio 2017.

Destaque para o fato de, tanto o INC-01 como o INC-02, apresentarem evidências de interferência da ação dos tirantes nas suas leituras. O INC-03 por se encontrar fora da região de intervenção não apresentou quaisquer indícios de interferências externas. Porém, a sua reduzida variação durante o período de monitoramento comprova que a superfície global de ruptura equacionada inicialmente, deixou de se mobilizar ou encontra-se estabilizada, devido à implantação da estrutura de contenção.

Por outro lado, os marcos superficiais instalados no topo do talude apresentaram recalques acumulados na ordem dos 10 a 20 mm em MS-06 e MS-09. Restantes pontos de monitoramento de recalque existentes na garagem e na base do talude não apresentaram valores tão significativos, ou com uma tendência tão evidente quanto MS-06 e MS-09.

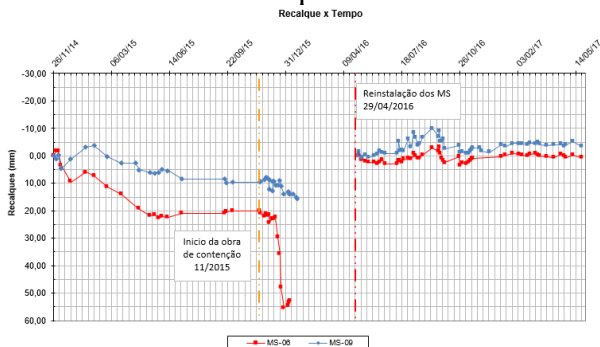


Figura 17 – Evolução dos recalques nos marcos superficiais MS-06 e MS-09 desde o rebaixamento do N.A. até ao final do monitoramento.

A execução das obras de contenção aconteceu entre Novembro de 2015 e Agosto de 2016 e, tal como ilustrado na Figura 17, levou a um incremento dos recalques, possivelmente associado aos trabalhos de perfuração e movimentação de terra nas proximidades dos pontos, o que inclusive levou ao dano dos

mesmos. Porém, após a sua reinstalação estes permaneceram estáveis até ao final da obra e do período de monitoramento.

5 CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido durante aproximadamente 3 anos permitiu a análise e correlação de diferentes aspectos desde as premissas teóricas iniciais até à tomada de medidas corretivas devidamente monitoradas. O cruzamento de informações de projeto, sondagens, obra e monitoramento demonstraram-se preponderantes no sucesso da obra.

No entanto, também se pode constatar que o projeto inicial da construção do empreendimento apresentava carência de estudos geotécnicos mais aprofundados, nomeadamente na caracterização do subsolo e da presença de água no aterro. Essas deficiências acabaram por se repercutir num dimensionamento inadequado das estruturas e na ausência de um sistema de drenagem superficial e profundo apropriado. Com isso teria se evitado a colocação de vidas em risco e as intervenções emergenciais que acabaram sendo tomadas.

Um investimento em um programa de investigações geotécnicas e monitoramento geotécnico, numa fase inicial da obra, teria evitado uma série de ocorrências ressaltadas neste trabalho, além dos custos desnecessários.

A instrumentação geotécnica foi fulcral porque foi capaz de identificar os locais mais críticos, e através disso, direcionar as medidas corretivas no foco dos problemas. As informações resultantes dos deslocamentos verticais e horizontais e da posição do N.A. permitiram a realização de um projeto otimizado e validado pelas campanhas de leitura após o final da obra de contenção.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Geologia e de Engenharia Ambiental (2002), *Solos da Cidade de São Paulo*, SP, Brasil.
- Departamento de Estradas e Rodovias de São Paulo (1991). *Taludes de Rodovias – Orientação para diagnósticos e soluções de seus problemas, Manual de Geotecnia*, São Paulo, SP, Brasil.