

Influência da subpressão nas fundações de aterro rodoviário

Caso da ruptura no km 164 da Rodovia dos Bandeirantes – Limeira-Cordeirópolis (SP)

LETÍCIA LEONARDI JARDIM*
WILSON SHOJI IYOMASA**

Estudos específicos de subpressão em fundações de aterros de barragens são muito comuns, porém na construção de aterros de rodovias, sobretudo em área com topografia elevada, esse tipo de avaliação não é sistemático. A ruptura do aterro da Rodovia dos Bandeirantes (Limeira-Cordeirópolis), durante a fase construtiva, foi estudada sob o aspecto geológico-geotécnico que revelou o mecanismo dessa ruptura. A influência de falhas geológicas associadas a uma camada de baixa resistência mecânica da Formação Irati, composta por camada fissil de folhelho carbonático, e a presença de água nas estruturas geológicas, permitiram que parte do maciço de fundação e o aterro se movimentassem em decorrência das subpressões atuantes na região das fundações do aterro. O mapeamento realizado no local, os testemunhos de sondagens, os ensaios laboratoriais e as instrumentações geotécnicas comprovaram não apenas esse movimento, mas também o sentido do deslocamento ocorrido

M INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Muitos dos acidentes relacionados a obras de engenharia civil são atribuídos a causas de ordem geotécnica. Portanto, o estudo geológico-geotécnico é indispensável para o êxito técnico dos empreendimentos. E nesse sentido, é indispensável que os parâmetros do subsolo sejam determinados e associados ao comportamento do maciço terroso e solicitações empregadas. Porém nem sempre é viável prever o real comportamento do terreno, dado a sua complexidade e heterogeneidade. A partir do aprendizado extraído das adversidades ocorridas em obras anteriores, podem-se estabelecer maneiras de se prevenir futuros eventos geotécnicos indesejáveis a partir de conhecimentos já adquiridos.

O presente relato tem por objetivo descrever e discutir o caso da ruptura do aterro e do maciço de fundações, ainda no período de construção, no km 164 da Rodovia dos Bandeirantes – Limeira-Cordeirópolis, onde um trecho de aproximadamente 360m de comprimento e 20m de altura de aterro apresentou fenda [Fissura: fenda de largura capilar e perceptível a uma distância inferior a 1,50 m; e Trinca: fenda facilmente visível com abertura superior à da fissura (DNIT, 2010, p.2)], e deslocamentos devido à subpressão elevada decorrente das características particulares da geologia e geotecnia local.

A realização de estudos e investigações de supressões é comum nas fundações e nos aterros de barragens de terra, porém em aterros de obras rodoviárias o assunto, em geral, não é analisado detalhadamente, já

que, não se prevê barramento de água – ao contrário procura-se drenar e direcionar as águas para evitar que se acumule no interior do aterro, bem como, na bacia de montante.

DESCRIÇÃO GERAL DA GEOLOGIA LOCAL

A obra em foco é o prolongamento da Rodovia dos Bandeirantes, de Limeira a Cordeirópolis, onde ocorreu ruptura do aterro em solo e do maciço de fundações junto ao km 164, na época da construção (janeiro/2002), na pista do sentido interior/capital. A extensão total do aterro em solo era de 720m e altura variável de 12m a 20m. No maciço das fundações dessa obra verificam-se a ocorrência de sedimentos e rochas vulcânicas da Bacia do Paraná, além do solo de cobertura.

De acordo com Pastore e Fontes (1998), a geologia predominante onde o aterro estava

sendo construído ocorre solo de alteração do sill de diabásio (SAD), também denominado por solo saprolítico de diabásio do tipo III (termo utilizado no contexto das obras), constituído por camadas de argila siltosa pouco arenosa, de consistência mole a média, com passagem de camadas de areia argilosa e siltosa, em geral, de cor amarelada. O solo de alteração de diabásio (SAD) por vezes apresentava “descontinuidades (juntas) localmente preservadas e cobertas por filmes de óxidos de manganês” (IPT, 2002). Ressalta-se que esse óxido na presença de água pode comportar-se como um verdadeiro lubrificante. E sob esse SAD ocorre uma camada delgada de solo de alteração da Formação Irati (SAI), constituída por argila pouco arenosa, como foi observado nos testemunhos de sondagens, exceto em um trecho onde o SAD estava sobre as rochas alteradas da For-

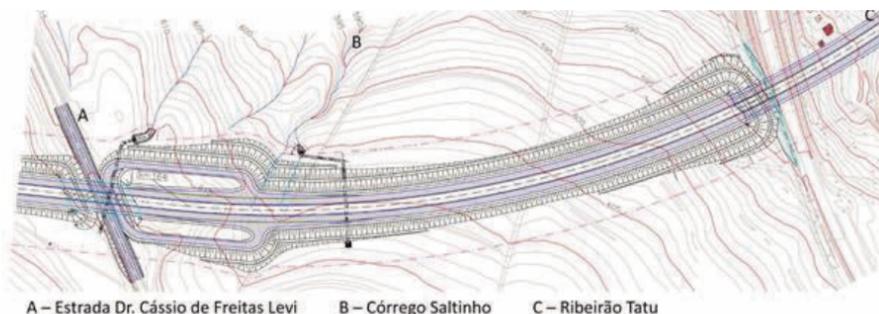


Figura 1 - Planta do local da ruptura do aterro e maciço terroso [Planta geral da área do aterro do projeto original, em solo, que sofreu ruptura. As três drenagens naturais e subparalelas entre si que aparecem na parte superior e à esquerda da figura, formam as nascentes do Córrego Saltinho, afluente do Ribeirão do Tatu que se localiza no canto superior direito. Fonte: Modificado de ARTESP (2001)]



Figura 2 - Imagem geral da área afetada pela ruptura do aterro e do maciço de fundações no sentido interior para a capital [Ao fundo pode-se notar o corte no diabásio, em caixão (seta vermelha), da rodovia em construção. Em primeiro plano e à esquerda da imagem pode-se observar parte do núcleo do aterro, constituído por fragmentos de rochas sedimentares do Membro Terezina (seta preta). Fonte: IPT (2002)]

mação Irati (folhelho carbonático).

O aterro foi executado utilizando-se argila pouco arenosa, extraída da camada denominada de “terra roxa”, que envolveu o núcleo composto por fragmentos de rochas sedimentares do Membro Terezina (argilitos, siltitos e arenitos de cor chocolate), provenientes de cortes próximos à rodovia, em construção.

As rochas brandas da Formação Irati são compostas por camadas sub-horizontais de folhelhos negros e calcários laminados. Na região imediatamente abaixo do contato com o SAD ou do solo de alteração da Formação Irati (SAI), essas rochas brandas apresentavam-se alteradas “gerando delgadas camadas de folhelho carbonático alterado e extremamente fissil, que proporcionavam níveis de baixa resistência mecânica” (IPT, 2002).

Essas camadas de folhelho formavam placas isoladas do maciço rochoso devido ao processo de alteração diferenciado da camada sub-horizonta de calcário, que ocorre alternadamente com o folhelho.

Nas proximidades do Ribeirão do Tatu, sob o aterro da estrada, ocorria o solo coluvionar argiloso vermelho que é sustentado por argilas e siltes da alteração do siltito do Membro Serra Alta da Formação Corumbataí. O contato brusco entre os sedimentos dessa formação geológica e os sedimentos da Formação Irati foi atribuído à falha geológica (N30W com mergulho subvertical), conforme indicado nos estudos realizados pelo consultor das obras, e localizada nas proximidades do viaduto sobre a estrada municipal Dr. Cássio de Freitas Levy.

Ainda nessa área, outra falha geológica foi reconhecida devido à diferença de cotas entre sondagens que mostravam o desnível da posição do topo rochoso da Formação Irati. Esta foi mapeada com direção N-S e mergulho subvertical.

A terceira falha geológica (N50W), traçada por meio de fotografias aéreas, ocorre quase que paralelamente à estrada de Cordeirópolis, na região de ruptura do aterro, onde há também estruturas geológicas de

direção aproximadamente Norte-Sul.

As associações das três falhas geológicas formam blocos triangulares de maciço rochoso, visto em planta, no quadrante NW. Adicionalmente, é importante ressaltar que as direções dessas estruturas geológicas são, praticamente, paralelas às trincas principais mapeadas no terreno, após a ruptura do aterro.

Na figura 1, pode-se observar parte do projeto da Rodovia dos Bandeirantes (SP-348) na altura do km 164, no ponto do rompimento do aterro, entre a estrada municipal Dr. Cássio de Freitas Levy e o Ribeirão do Tatu.

RUPTURA DO ATERRAMENTO E DO MACIÇO DE FUNDAÇÕES

O evento da movimentação e abertura de fendas no aterro ocorreu no dia 14 de janeiro de 2002. No entanto, os primeiros sinais de instabilidade já haviam sido identificados em 24 de dezembro 2001. As primeiras medidas adotadas na obra foram de instrumentar o aterro, bem como, realizar estudo no local para identificação das causas técnicas do movimento do aterro compactado. A inspeção técnica de campo, realizada pelo IPT, ocorreu em 3 de maio de 2002.

Há relatos de outros estudos por meio de ensaios de campo com uso de equipamentos de eletrorresistividade e de mapeamentos efetuados por consultores e da Unesp de Rio Claro.

O crescimento da vegetação local, no período chuvoso, trouxe dificuldades no levantamento de campo do IPT e na visualização completa da área afetada. No entanto, ainda foi possível identificar parte das fendas desenvolvidas pela movimentação do maciço de fundação do aterro. Na figura 2 é apresentada a vista geral do local da ruptura, no sentido capital.

Na época dos estudos do IPT, realizavam-se as escavações e remoções do aterro rompido, como mostra a figura 2, restando apenas parte do núcleo e um segmento de algumas dezenas de metros, no trecho junto à ponte sobre o Ribeirão do Tatu, como pode ser vista na figura 3.

O trecho do aterro, bem como do maciço

terroso das fundações que sofreu movimentação está localizado junto à obra de arte especial sobre a estrada municipal Dr. Cássio de Freitas Levy e esta obra se estende até a ponte sobre o Ribeirão do Tatu (figura 3). Na área utilizada para plantio de pasto e canavia, a jusante da rodovia e à esquerda da rodovia no sentido interior, encontravam-se fendas e trincas na superfície do terreno, conforme está indicado na figura 3.

Foram encontradas trincas e fendas em direções variadas (transversais, paralelas e inclinadas) em relação ao eixo do aterro, cuja área instabilizada, abrange cerca de 24 000 metros quadrados.

Nas figuras 1 e 3, pode-se notar que o terreno tem caimento geral, do eixo da rodovia em direção ao Córrego Saltinho, portanto, no rumo NW (quadrante noroeste). As trincas mapeadas possuíam direção geral norte – sul com movimento no sentido noroeste, e o traçado da ruptura do terreno acompanhava praticamente a linha topográfica do terreno. As aberturas medidas nessas fendas e trincas possuíam cerca de 10cm, como mostra a figura 4. Essa fenda localizava-se na encosta direita da rodovia no sentido da capital, e nas proximidades da cabeceira do córrego Saltinho, na sua margem esquerda, entre os pontos 1 e 2 identificados na figura 3.

Embora a plantação de cana já estivesse bem desenvolvida na época dos estudos, nos caminhamentos efetuados nessa área (entre a ponte sobre o Ribeirão do Tatu e a seta 2 da figura 3), localizada na margem direita da rodovia no sentido da capital, a área foi afetada, já que, o monitoramento indicou recalques no aterro de encontro com a ponte sobre o Ribeirão do Tatu.

Além das movimentações ocorridas no aterro e no maciço de fundações, as instrumentações executadas nas obras indicaram, ainda, desaprumo de alguns pilares do viaduto da rodovia, em construção, sobre a estrada municipal Dr. Cássio de Freitas Levy. Essa movimentação ocorreu junto às nascentes do Córrego Saltinho, ou seja, junto ao aterro construído que sofreu a ruptura.

ÁGUA DE SUBSUPERFÍCIE E AS MEDIDAS ADOTADAS NA OBRA

A necessidade de se conhecer o nível piezométrico nos perfis de maciços é fundamental, pois a presença da água, sobretudo nas juntas abertas de rochas, influencia diretamente na estabilidade do maciço, já que diminui a tensão efetiva e, portanto, a resistência ao cisalhamento das superfícies de estruturas geológicas, como falhas, de acordo com Chowdhury (1978). Esse autor, afirmou, ainda, que a flutuação da pressão



Figura 3 - Imagem da área afetada pela ruptura do aterro e das fundações, no sentido da capital para o interior
[Ao fundo (setas amarelas) dois segmentos de aterro ainda preservados, junto à ponte sobre o Ribeirão do Tatu. Observar o solo argiloso (terra roxa) utilizado na construção do aterro com reflexo da luz solar, indicando superfície úmida. As setas vermelhas numeradas (1 e 2) mostram o trecho, praticamente, paralelo à rodovia onde foram encontradas as trincas, ainda preservadas, relacionadas à movimentação do maciço de fundação do aterro. Fonte: IPT (2002)]

da água em um sistema de estruturas geológicas causa a abertura cumulativa durante os períodos de alta pressão, após a precipitação pluviométrica. Portanto, é fundamental realizar estudos piezométricos para prever futuros problemas geotécnicos. Para Chowdhury, Flentje e Bhattacharya (2009), o aumento da subpressão é um fator que facilita graves deslocamentos do maciço.

Em função da ocorrência de nascentes de água que formam o Córrego Saltinho, junto ao aterro da nova rodovia, nessa área havia sido executado sistema de drenagem (brita envolta em geotêxtil) em fundo de cava, após a remoção do solo brejoso. E sobre esse sistema foi executado o aterro argiloso compactado.

Após a construção do aterro, no espaço entre o talude da pista sul e o limite da faixa de domínio, houve o lançamento de um bota-fora de materiais diversos, inclusive enrocamento de diabásio.



Figura 4 - Vista da dimensão de uma das trincas localizada na parte intermediária da encosta
[Fenda encontrada na encosta do terreno, na margem direita da encosta da rodovia em construção, no sentido da capital. Notar a abertura com cerca de 10 cm. A direção do traçado da trinca é aproximadamente norte-sul e o movimento foi para noroeste (deslocamento para a esquerda da foto). Fonte: IPT (2002)]

Em setembro de 2001, ainda com a rodovia não pavimentada, surgiram as primeiras trincas na borda do talude da pista Sul (sentido capital-interior). Nesta época, verificou-se que o bueiro, assentado sobre berço de concreto simples, com espessura de 0,8m, encontrava-se deformado com recalque máximo de até 0,8m.

Consta que durante as chuvas de 2000-2001, o topo do sistema de drenagem estava descoberto e ocorreu infiltração de água no núcleo do aterro compactado, que foi drenada por uma abertura situada a jusante na região de um bueiro de 1,5m de diâmetro e executada no solo argiloso de envelopamento do enrocamento de drenagem. Esta abertura foi fechada e no seu lugar foram deixados dois drenos sub-horizontais profundos (DHPs).

Como medida para estabilizar a área, o bota-fora lançado entre o limite da faixa de desapropriação e o talude do aterro da rodovia na pista Sul foi parcialmente removido para alívio de carga. Adicionalmente, realizou-se uma campanha de monitoramento com controle de recalques, e constatou-se que o maciço se encontrava estável. Cessados os recalques e avaliadas as condições hidráulicas do bueiro, a sua declividade foi corrigida com encamisamento interno empregando-se anéis metálicos. E após seis meses dessa execução, novas trincas e fendas foram verificadas no pavimento da pista sul e foram observados afloramentos d'água subterrânea no trecho da encosta acima da rodovia que não haviam sido detectadas anteriormente, onde se pôde constatar pelas novas sondagens e instrumentações que ainda havia água no maciço, mesmo com os tratamentos executados. Concluiu-se que o sistema de drenagem construído foi insuficiente e resultou em subpressão elevada sob o aterro em solo, bem como, na estrutura sub-horizonta do maciço rochoso (Formação Irati).

INSTRUMENTAÇÕES EXECUTADAS

A figura 5 apresenta todas as instrumentações de auscultação geotécnica em-

pregadas nas obras (medidores de nível d'água, inclinômetros, piezômetros, pinos de recalques e marcos de recalques superficiais) destacando-se, principalmente, os instrumentos instalados desde o início das primeiras trincas observadas em setembro de 2001, no aterro em solo da pista sul.

No presente estudo são realçados os perfis de sondagens e os instrumentos da região da ruptura, próximo à OAE sobre a estrada Dr. Cássio de Freitas Levy, onde foram executadas 38 sondagens a percussão e instalados 6 piezômetros, 7 inclinômetros, 7 indicadores de nível de água, 23 marcos superficiais.

ANÁLISES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a ruptura do talude da rodovia foi realizada, além das instrumentações geotécnicas, uma campanha intensa de investigações geológico-geotécnicas por meio de sondagens a percussão, sondagens rotativas verticais e inclinadas, poços de inspeção e ensaios de amostras de solos e de rochas em laboratório – e a instrumentação de auscultação geotécnica instalada foi constituída por piezômetros, medidores de nível d'água, marcos de recalques superficiais, pinos de recalques e inclinômetros.

Os testemunhos das sondagens, localizadas na região do aterro da pista sul, indicaram que parte do aterro foi construída sobre solo coluvionar, apresentando-se saturado e mole (descrito na obra como solo brejoso).

As medidas efetuadas da posição do nível d'água nos furos de sondagens, bem como os medidores instalados indicaram que a superfície da água subterrânea acompanhava o contato entre o aterro e o solo de alteração de diabásio (SAD); e na região do aterro propriamente dito o nível encontra-se ligeiramente abaixo dessa superfície.

Já os piezômetros instalados indicaram cargas que correspondem ao contato entre o solo de alteração de diabásio (SAD) e o solo de alteração da Formação Irati (SAI), constituída por camada delgada de folhelho carbonoso alterado e com areia, caracterizando uma superfície extremamente fissil e de baixa resistência mecânica, como já foi descrito anteriormente. Sobre essa camada de SAI, encontra-se localmente uma camada de silte arenoso, como mostra a figura 6.

Adicionalmente, pode-se afirmar que essa camada de folhelho (Formação Irati) formava placas isoladas do maciço rochoso devido ao processo de alteração diferenciada da faixa sub-horizonta de calcário, que ocorre no folhelho.

Os resultados das instrumentações ge-

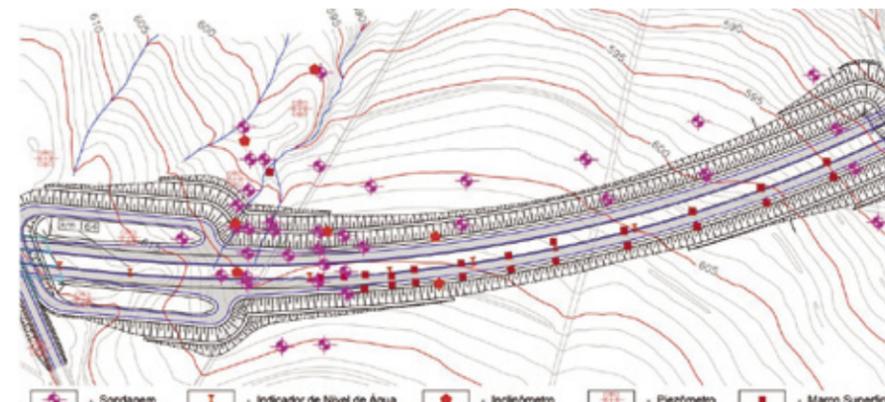


Figura 5 - Planta de localização da instrumentação de auscultação geotécnica
[Planta geral das áreas das instrumentações geotécnicas. (ARTESP, 2001)]

otécnicas que justificam a indicação da superfície de ruptura indicadas na figura 6, sobretudo das leituras dos inclinômetros, são apresentados na tabela 1. No total são sete inclinômetros destacados e seis deles permitiram indicar a superfície de movimentação.

As informações básicas para compreender os resultados apontados na tabela são:

- As orientações dos eixos de medição dos deslocamentos foram transversais (eixo A) e

paralelos (eixo B) ao eixo da rodovia.

- O sinal positivo ou negativo dos deslocamentos têm o significado a seguir. Eixo A: positivo indica deslocamento em direção ao Córrego Saltinho, e negativo na direção oposta; eixo B: positivo indica deslocamento em direção ao interior; e negativo na direção São Paulo.

- A partir das orientações dos eixos dos instrumentos, obtiveram-se o sentido aproxima-

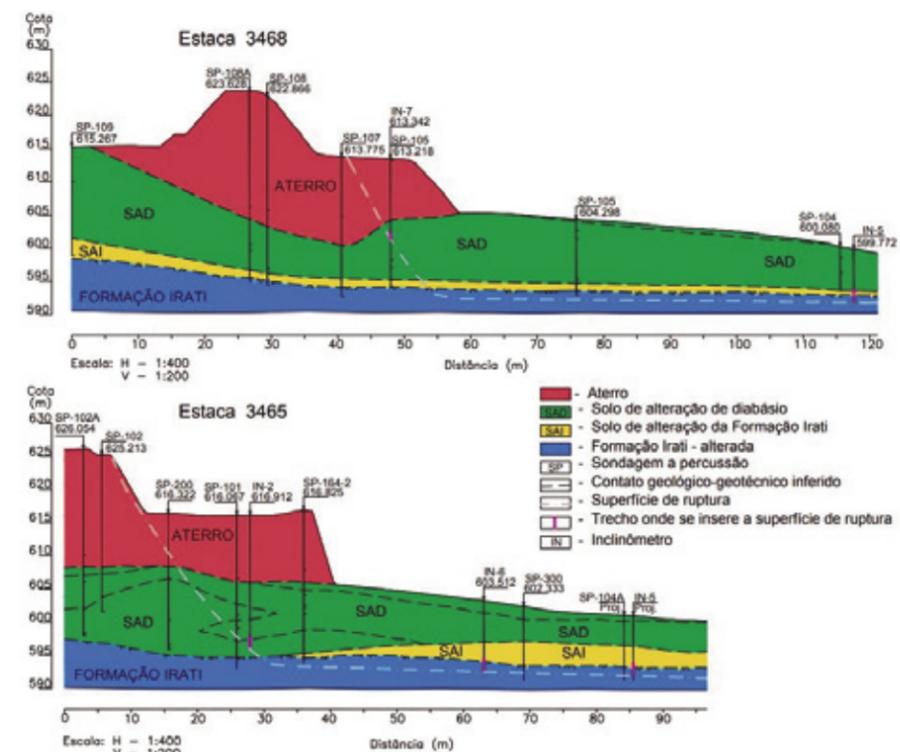


Figura 6 - Seção geológico-geotécnica transversal ao aterro e indicação da superfície de ruptura
[Notar a linha pontilhada indicando a superfície de ruptura indicada pelos instrumentos de auscultação geotécnica. A camada de baixa resistência mecânica da formação Irati, composto por folhelho carbonoso e com areia, ocorre sob as camadas de SAI e SAD. Fonte: IPT (2002)]

mado da resultante dos deslocamentos.

Analisando-se os resultados apontados na tabela 1, verificou-se que:

- As leituras dos inclinômetros foram iniciadas após cerca de um mês da ruptura do aterro que ocorreu em 14 de janeiro de 2002, portanto os deslocamentos da superfície de ruptura são muito superiores aos deslocamentos medidos nestes inclinômetros; os deslocamentos máximos medidos foram da ordem de 37 cm.

- O sentido predominante do movimento do aterro e parte das fundações indicado pelos inclinômetros foi para o quadrante noroeste, o mesmo observado no mapeamento das trincas e em concordância com as estruturas geológicas, exceto os instrumentos IN-4 e IN-8.

- Os inclinômetros IN-2, IN-6, IN-4 e IN-5 indicaram que os deslocamentos maiores ocorreram na região da cota onde ocorre a camada de folhelho carbonático alterado da Formação Irati.

- As leituras apresentadas na tabela 1 estavam praticamente estabilizadas na data de sua realização e as leituras realizadas e que as sucederam, não acusaram acréscimos significativos. Vale lembrar que o período de chuvas já havia terminado e, portanto, a solicitação representada pelas subpressões nas fundações e as pressões neutras no aterro não estavam atuando em níveis idênticos aos que desencadearam a ruptura.

Durante o desenvolvimento dos trabalhos de campo e à medida que os resultados foram alcançados, realizou-se estudo da estabilidade do talude, de cortes e do aterro na fase de projeto executivo, onde o aterro atingia 20m de altura e as camadas de solos de fundações foram discretizadas a partir de dados coletados nas sondagens, tendo sido consideradas como horizontais na seção transversal de análise.

A partir de dados de campo e de laboratório, atribuíram-se os parâmetros geomecânicos das diversas camadas geotécnicas da seção transversal do aterro. O nível d'água observado nas sondagens, correspondente à cota 606,19m (abaixo da cota verificada na investigação) e os resultados das análises conduzidas na fase de projeto executivo direcionam a um coeficiente de segurança equivalente a 1,409.

Para verificar a possibilidade em antecipar a vulnerabilidade do maciço e a execução do aterro utilizou-se a hipótese da linha piezométrica pelos instrumentos de medição, e por meio do software IPT-ESTABI/PC, desenvolvido pelo atual Centro de Obras de Infraestrutura – CT-Obras, com algoritmo de cálculo baseado no método de Bishop Simplificado,

Tabela 1 - Resultados destacados de sete inclinômetros geotécnicos instalados na região da ruptura do aterro

Inclinômetros	IN-2	IN-6	IN-3	IN-4	IN-5	IN-7	IN-8
Deslocamento Eixo A (cm)	15,4	36,8	1,0	-4,4	33,6	16,0	-5,3
Deslocamento Eixo B (cm)	8,9	1,5	-0,5	0,0	10,9	2,0	13,8
Resultante (cm)	18,3	36,8	1,1	4,4	35,3	16,1	14,8
Sentido aproximado	N2W	N30W	N38W	S37E	N17W	N27W	S106E
Cotas do topo do tubo (m)	616,91	603,51	612,28	610,78	599,77	613,34	617,06
Intervalo, em cotas, da localização da superfície de ruptura	595,9/597,9	592,5/594,5	Não identificada	591,8/592,8	591,8/593,8	601,3/602,3	613,1
Estaca	3465 + 9m	3464 + 17m	3473	3473	3468 + 2m	3468 + 9m	3470
Afastamentos: Esq. (E) e Dir. (D)	40 m (E)	112 m (E)	20 m (D)	20 m (E)	170 m (E)	33 m (E)	40 m (D)
Data da leitura analisada e Data da leitura inicial	23/04/2002 e 16/02/2002	23/04/2002 e 19/02/2002	04/03/2002 e 16/02/2002	28/03/2002 e 16/02/2002	23/04/2002 e 16/02/2002	28/03/2002 e 26/02/2002	23/04/2002 e 03/2002
Período de leituras	66	63	16	30	66	30	53

promoveu-se nova análise de estabilidade.

Nessa nova análise de estabilidade foram considerados os parâmetros geomecânicos determinados nos ensaios realizados, e promoveu-se, ainda, a inserção de inclinação nas camadas geotécnicas de forma paralela à superfície do terreno.

Os dados processados pelo software indicaram um coeficiente de segurança para o talude de 1,29, aquém do solicitado nas normas vigentes. Na análise efetuada verificou-se, ainda, que a linha piezométrica que conduziria a ruptura do aterro deveria situar-se apenas a 1m acima da superfície do terreno no pé do talude, condição encontrada no talude natural do Córrego Saltinho em duas sondagens a percussão (SP-06-S e SM-07-S).

CONCLUSÕES

No momento da vistoria para realização do diagnóstico, o projeto já havia sofrido alteração, e realizavam-se as fundações de um viaduto (obra de arte especial - OAE), que substituiria o aterro rompido naquele trecho, bem como, a instalação de instrumentos de auscultação na região a jusante da rodovia e suas proximidades.

Para diagnóstico do processo de ruptura do aterro foram solicitadas novas sondagens e coleta de amostras indeformadas para ensaios em laboratório. Em paralelo a essas atividades desenvolviam-se ações que visaram a estabilização da área acidentada, como obras de terraplenagem para abrandamento do talude e a perfuração de poços profundos para rebaixamento do lençol freático.

A infiltração no terreno de águas das chuvas da estação, destacadamente na faixa de rocha alterada da Formação Irati (folhelho carbonático alterado), provocou o aumento das pressões de água no maciço de fundações do aterro. As trincas se instalaram, inicialmente, na borda do aterro sul, e com o acúmulo das fortes chuvas a instabilidade foi geral.

A inspeção de campo e o mapeamento das trincas na superfície do terreno mostraram que elas se estenderam do eixo da rodovia até as margens do Córrego Saltinho, distante cerca de 300m do aterro. As trincas principais, com profundidade observável de até 1m, se desenvolveram paralelamente às estruturas geológicas de direção Norte-Sul. Os resultados dos deslocamentos maiores ao longo de uma superfície em profundidade apontados pelos inclinômetros permitiram verificar que essa superfície de ruptura estava contida na camada de rocha alterada da Formação Irati. No trecho próximo do topo rochoso, a Formação Irati é constituída por sequência de camadas alteradas de folhelho e de calcário, que no estado alterado, o calcário se decompõe em argila de baixa resistência formando planos de fraqueza entre camadas mais resistentes.

Em resumo, a construção do aterro compactado e o acúmulo de material de bota-fora aumentaram as tensões verticais nas fundações – e mesmo assim permaneceu temporariamente estável. A ruptura ocorreu após as fortes e contínuas chuvas que geraram um aumento significativo das subpressões no plano de fraqueza da rocha alterada da fundação. A conjugação desses fatores associa-

dos às estruturas geológicas de direção N-S, permitiram que o deslocamento de uma placa de rocha do maciço se movimentasse no sentido NW (quadrante noroeste), deslizando-se pela encosta do córrego Saltinho.

Concluiu-se que o movimento do conjunto aterro e maciço de fundação foi provocado pelo deslocamento de uma “prancha” de rocha do maciço rochoso alterado.

* *Letícia Leonard Jardim é engenheira civil, pós-graduanda do curso de Investigação do Subsolo – geotecnia e meio ambiente do IPT*
E-mail: lehljardim@gmail.com

** *Dr. Wilson Shoji Iyomasa é geólogo, pesquisador e professor do curso de pós-graduação do IPT*
E-mail: wsi@ipt.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT – IPR 154/2010: Pavimentação asfáltica – Recuperação de defeitos em pavimentos asfálticos – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.
[2] PASTORE, E.L.; FONTES, R.M. Caracterização e classificação de solos. In: OLIVEIRA, A.M.S., BRITO, S.N.A. (Eds). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE.1998.cap.12. p.197-210.
[3] IYOMASA, W.S.; SILVA, A.R.; ROCHA, R; GOMES, C.L.R. Análise da ruptura de aterro no km 164 da Rodovia dos Bandeirantes, trecho entre Limeira e Cordeirópolis. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas; 2002 set. Relatório técnico N° 60 752.
[4] AGÊNCIA DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO – ARTESP. BA-164-OAE-ES-DE-E-100-REVO.Dwg. São Paulo, 2001.
[5] CHOWDHURY, R. N. 1978. Slope Analysis. Amsterdam: Elsevier, 1978. 423 p.
[6] CHOWDHURY, ROBIN; FLENTJE, PHIL; BHATTACHARYA, GAUTAM. Geotechnical Slope Analysis. Boca Raton: Crc Press, 2009. 738 p.



NESTOR SOARES TUPINAMBÁ
é engenheiro, mestre em urbanismo e consultor de transporte
E-mail: nstupinamba@uol.com.br

Namastê, meu amigo!

Não tenho a mínima ideia de quantos leitores seguem minhas crônicas ou sequer se os tenho. Eu mesmo não sei se as leria até o fim. Mas volto a contar histórias destas que, ao fim, pretendem lembrar a necessidade de se manter o processo civilizatório em marcha. Ou, do ponto de vista cristão, que se cumpram os 10 mandamentos. Acho até que cumpridos os dois ou três primeiros nossas vidas mudariam.

São histórias que valorizam o ser humano. Valores materiais, vícios culturais, crenças baseadas no senso comum que são postas de lado.

Lembrei-me delas ao responder a um amigo que gostara do budismo, mas não queria “afastar-se de sua religião”.

Diz o budismo que você não se converte a ele, mas você “se descobre budista”. Não é uma religião...

Um ótimo exemplo é dado pelo japonês que convive, ao mesmo tempo, com o budismo e o xintoísmo. Este último valoriza os fenômenos naturais como o vento, montanhas, rios, florestas etc. Quando alguém quer ter mais mobilidade (talvez por ter artrite etc.) vai a um templo xintoísta e pede ao vento e/ou aos rios que “flua” melhor. Se outro está, indeciso, com dúvidas existenciais e não sabe que rumo dar à sua vida, vai a um templo budista e “filosofa” segundo os critérios da impermanência da vida.

As duas correntes juntas proporcionam ao povo japonês uma harmonia e uma soma assertiva. Eu sempre admirei esse modo de pensar e agir. Esforcei-me para chegar ao Zen Budismo. Ao cabo uns 20 anos percebo-me apenas um Zé Bun...! Mas, ao menos, aliviou-me a ansiedade.

Teria muitas histórias para ilustrar o que afirmo, mas por razões de espaço, contarei três. Mas com força exemplar. A elas!

Dois jovens fizeram seu aprendizado num monastério budista por anos a fio. Um, terminando, voltou às aldeias da região, situadas num vale no sopé das montanhas. O outro se submeteu a um conhecido teste ou também aprendizado levado em plena natureza. Para poucos... O “treinando”, com alta capacidade de concentração, entra em pose de lótus em plena natureza, ao ar livre. Como conseguem baixar o ritmo metabólico e com pressão sanguínea quase zero (essas condições já foram aferidas por universidades inglesas e indianas), não comem por um longo período – de meses, alguns por até um ano inteiro. Cabelos e unhas crescem. Também raízes e plantas envolvem o meditador. Já vi um filme onde monges vão retirar, dessa hibernação, o discípulo. Com cuidado e vagorosamente cortam suas unhas e cabelos. Depois começam a estirar membro por membro muito lentamente. E levam-no para um banho no lago e/ou numa cachoeira. As feras, como tigres e ursos, passam e deitam ao lado do discípulo sem molestá-lo. Algo fora do comum, mas já registrado.

Mas, retornando, o jovem que hibernara vai até as vilas procurar seu companheiro de iniciação. Até que o encontra, mas estupefato, não consegue acreditar no que vê!

Seu amigo com um avental e com as mãos sujas de sangue de algum animal (na Índia o boi é sagrado). Ele trabalhava num açougue! Mas eis que, nessa hora, ele teve um insight ao perceber a tremenda superação de seu amigo ao enfrentar algo tido como proibido. Em compensação estava em um local onde poderia orientar as pessoas que, achava, mais poderiam precisar do ideário budista! Vamos à outra história...

Uma noite de forte nevasca num mosteiro do Himalaia os monges tiritavam encolhidos e abraçados pelo frio intenso e pela fogueira que se extinguiu.

Chega o velho monge cheio de neve e quando vê a fogueira só com poucas brasas surpreende-se e avisa: “a noite mal começou! Vocês irão morrer de frio na madrugada!”

Ao que os monges respondem que acabara a lenha e lá fora havia mais de um metro de neve. Como fazer?

O sábio monge já abraçara, então, uma enorme estátua de madeira do Buda carregando-a em direção à fogueira. Para a perplexidade dos monges atirou-a ao fogo. E sentou-se em posição de lótus esfregando as mãos perto das primeiras labaredas. Antes de aquietar-se apenas murmurou: “se vocês estavam dispostos a morrer achando que o Buda está nesta estátua, vocês não entenderam nada!”

De outra feita o monge e seu discípulo iam por um campo quando chegaram a um regato estreito, mas de águas revoltas devido às pedras. Ao lado uma jovem grávida pedindo ajuda para atravessar, por medo de cair e molestar o feto. O discípulo desculpou-se, mas lembrou dos votos de castidade e de que não poderia tocá-la. E atravessou a corrente. Quando olha para trás surpreende-se com o velho monge carregando-a.

Três dias depois, no monastério, o discípulo pergunta ao mestre como rompera os votos? O monge responde: “eu a carreguei por três minutos e você a está carregando por três dias!”.

O entendimento, elegante, curto e direto, foi rápido e didático.

Estas são as histórias que talvez leve alguém, como eu, a se identificar com uma filosofia, ou um estilo de vida, que mostra que deve-se pensar mais no lado importante da vida, no lado humano. Superar o tabu do animal morto para a nossa alimentação para poder ajudar as pessoas. Nem morrer de frio devido a imagens, nem deixar de ajudar uma pessoa necessitada por crenças que, naquele momento, não tinham a menor importância.

Penso que esse conjunto de histórias nos faz lembrar que é preciso pensar em fatos mais importantes e focados em valores humanos do que em ondas passageiras por um ou outro fato momentâneo. Superando ídolos que, na maioria das vezes, são falsos. Superando também a ansiedade do “TER” para a paz do “SER”. E conservarmos, sempre e cada vez mais, os laços afetivos que tivermos, a ligação com as pessoas que gostamos e com as quais convivemos. Afinal existe algo mais importante do que isso em nossas vidas? ☺