

INTEGRAÇÃO DE MODELOS GEOLÓGICO- -GEOTÉCNICOS E DADOS DE INSTRUMENTAÇÃO: UM CASO DESAFIADOR DE REFORÇO DE MACIÇO NA SERRA DO MAR BRASILEIRA

Integration of geological-geotechnical models and instrumentation data:
A challenging case of a reinforced slope in a Brazilian coastal hillside

Alessander C. Morales Kormann*

Liamara Paglia Sestrem**

Thaís Perez Lazarim***

Larissa de Brum Passini****

Sergio Setsuo Asakawa*****

RESUMO – Este artigo apresenta a análise integrada de modelos geológico e geotécnicos, juntamente com dados de instrumentação, de um caso desafiador de monitoramento de estabilidade de talude, após a implantação de um sistema de contenção. O maciço conhecido como Morro do Boi, pertencente à Serra do Mar, encontra-se na pista sul da BR-101 no município de Balneário Camboriú/SC, Brasil. Historicamente, essa encosta apresenta a ocorrência de processos de movimentação, estando estes associados a eventos de precipitações pluviométricas. A investigação geológico-geotécnica contemplou ensaios geofísicos, SPT, sondagens mistas e permeabilidade, como também ensaios de laboratório de caracterização e cisalhamento direto. O monitoramento do talude, iniciado em maio de 2012 e ainda em curso, compreende os seguintes instrumentos: inclinômetros, tensiômetros, piezômetros elétricos e um pluviógrafo. As análises do monitoramento juntamente com as observações de visitas e ensaios de campo mostram a interrelação entre os dados providos dos diferentes instrumentos e apontam para a estabilidade do talude.

SYNOPSIS – This paper presents the integrated analysis of geological and geotechnical models, along with instrumentation data, of a challenging case of slope stability monitoring, after implementation of a reinforcement system. The slope known as Morro do Boi, belonging to the Serra do Mar, is located on the south lane of BR-101 in the city of Balneário Camboriú/SC, Brazil. Historically, this slope shows the occurrence of movement processes, these being associated with rainfall events. The geological and geotechnical research included geophysical tests, SPT, rotary drillings and permeability tests, as well as characterization and direct shear tests. The monitoring of the slope, started in May 2012 and still in progress, encompasses the following instruments: inclinometers, tensiometers, piezometers and one rain gauge. The analysis of monitoring data along with field observations and investigations show the interrelation between the data acquired with different instruments and suggests the stability of the slope.

PALAVRAS CHAVE – Modelo geológico-geotécnico, instrumentação geotécnica, maciço reforçado, estabilidade de taludes.

KEYWORDS – Geological and Geotechnical model, geotechnical monitoring, reinforced soil mass, slope stability.

* Doutor, Eng. Civil, Professor, Universidade Federal do Paraná, PR, Brasil. E-mail: alessander@ufpr.br

** Mestre, Eng. Civil, Doutoranda, Universidade Federal do Paraná, PR, Brasil.

E-mail: liamarasestrem@gmail.com

*** Mestre, Eng. Civil, Universidade Federal do Paraná, PR, Brasil. E-mail: thais.lazarim@gmail.com

**** Doutora, Eng. Civil, Pós-doutoranda, Universidade Federal do Paraná, PR, Brasil.

E-mail: larissapassini@hotmail.com

***** Eng. Civil, Arteris, SP, Brasil. E-mail: sergio.asakawa@arteris.com.br

1 – INTRODUÇÃO

Um dos aspectos importantes da malha viária brasileira que interliga os principais centros urbanos e industriais se refere ao fato do seu traçado frequentemente se dar através de encostas naturais da Serra do Mar. Esses maciços constituem-se em regiões de grande instabilidade geotécnica, com a ocorrência de escorregamentos associados a agentes ambientais como a precipitação pluviométrica. A pesquisa descrita no presente trabalho tem como objetivo aumentar o nível de segurança da operação de rodovias situadas em áreas sujeitas a movimentações de terra, investigando-se os fenômenos naturais envolvidos e a adequação de soluções tecnológicas para a estabilização das encostas. Em particular, um caso desafiador encontra-se na pista sul da BR-101 no município de Balneário Camboriú/SC, em um maciço conhecido como Morro do Boi. Historicamente, essa encosta apresenta a ocorrência de processos de movimentação, com o consequente acúmulo de detritos sobre a rodovia e interrupção de tráfego. Um deslizamento de grandes proporções ocorreu na área em novembro de 2008, quando foram registradas rupturas em inúmeras encostas, decorrentes das precipitações pluviométricas de extrema intensidade que ocorreram no estado de Santa Catarina (CIRAM, 2016), principalmente entre os dias 20 e 25, com valores acumulados para os dias 21, 22 e 23 em Brusque/SC de 339 mm e em Blumenau/SC de 533 mm (ANA, 2016). O talude em estudo foi estabilizado, a fim de se minimizar transtornos futuros aos usuários da rodovia. A necessidade de melhor compreender os mecanismos que podem deflagrar acidentes motivou a investigação e instrumentação do talude para o acompanhamento da solução de estabilização adotada. No decorrer deste artigo são apresentados e discutidos os resultados da investigação geológico-geotécnica e do monitoramento ao longo de aproximadamente quatro anos de acompanhamento do talude instrumentado, com uma série histórica iniciada em maio de 2012.

2 – DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

Nas regiões litorâneas brasileiras situadas ao longo da Serra do Mar são identificados três grandes compartimentos geomorfológicos: Compartimento das Serras e Morros, Compartimento das Planícies e Compartimento dos Mangues. O Compartimento das Serras e Morros mostra-se como uma área de grande instabilidade natural ao apresentar um conjunto de características que contribuem para o desenvolvimento de processos erosivos, tais como: altas precipitações, taludes com declividades acentuadas, presença de afloramentos rochosos e redes de drenagem densas que se mostram susceptíveis a impactos de natureza antrópica, como: cortes (mudança de geometria) e alteração ou retirada da vegetação natural, entre outros.

No Compartimento das Serras e Morros encontra-se o Morro do Boi (Fig. 1), sendo esse inserido na porção sudeste do município de Balneário Camboriú/SC, entre as coordenadas S 27°05'00" / S 26°58'00" e O 48°37'00" / O 48°34'00", compreendendo praias como as de Laranjeiras, Taquarinhas, Taquaras, Pinho, Estaleiro e Estaleirinho, e os bairros Barra e Nova Esperança. Essa região delimita-se a leste pelo Oceano Atlântico, a noroeste pela presença de escarpas e morros do Complexo Cristalino, a nordeste pela BR-101 e ao sul pelo município de Itapema/SC.

Ao longo da extensão da BR-101, a qual intercepta o Morro do Boi, o maciço alcança cerca de 160 m de altitude. Entre os quilômetros 140+700 e 140+950 m (pista sul), onde foram desenvolvidos os trabalhos aqui descritos, o terreno apresenta desníveis de até 40 m, sendo a declividade média de estrutura de corte executada por ocasião da construção da rodovia entre 1V:1,5H e 1V:2,0H.

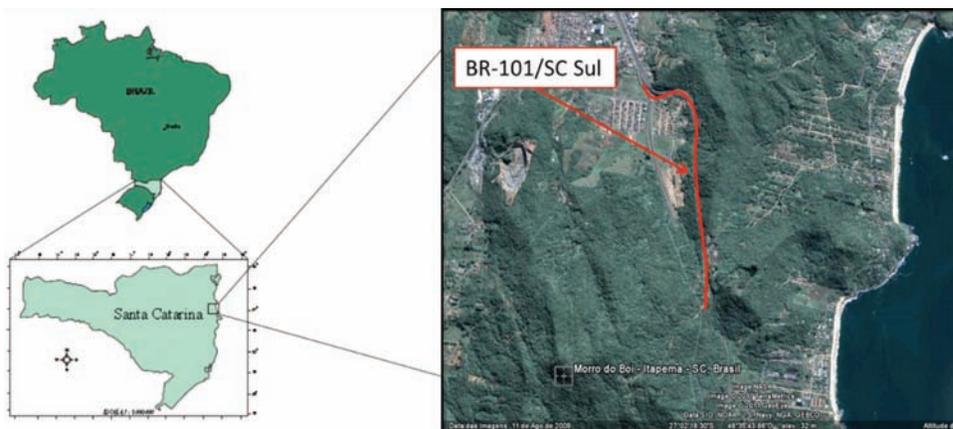


Fig. 1 – Mapa de localização do Morro do Boi.

As soluções de contenção adotadas nos quilômetros 140+700 e 140+950 m contemplaram um sistema combinado de ancoragens passivas (grampos) com tela metálica (Fig. 2). O uso de uma malha de aço, posicionada sobre o material instável, teve por objetivo controlar deformações do terreno, redistribuindo esforços para os grampos, que por sua vez foram chumbados no embasamento rochoso. A montante desse sistema de contenção, a solução de estabilização conta com uma viga de coroamento fixada no maciço rochoso com um reticulado de estacas raiz que visam confinar, através de uma estrutura mais rígida, a porção de solo do maciço que não sofreu grandes deformações nos escorregamentos de 2008.

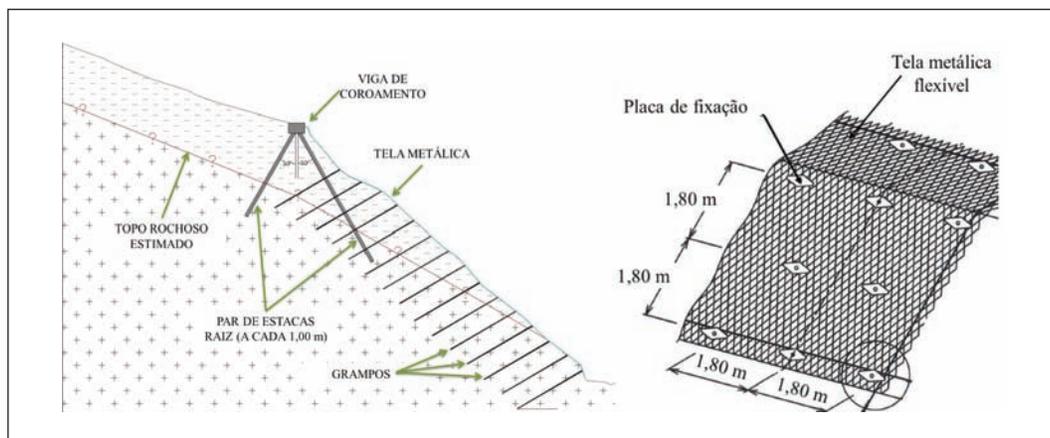


Fig. 2 – Seção esquemática da solução de estabilização adotada
(Fonte: Adaptado de G4U Engenharia, 2010; Geobrug, 2016).

A encosta, além do sistema de contenção, recebeu um sistema de instrumentação (Fig. 3) composto por inclinômetros, tensiômetros, piezômetros elétricos, pluviógrafo, dentre outros equipamentos que não compreendem o escopo do presente artigo (e.g. crackmeters, strain gages e células de carga). O sistema de monitoramento dos aspectos geológico-geotécnicos, hidrológicos e ambientais visou o entendimento, acompanhamento e alerta de riscos da encosta, com medições que identificam precipitações pluviométricas, variações de porpressões e deslocamentos da massa de solo.

2.1 – Aspectos litológicos e geológicos

Uma descrição dos aspectos litológicos e geológicos do Morro do Boi pode ser encontrada em Acevedo (2013). A região do Morro do Boi caracteriza-se pela ocorrência de dois tipos principais de rochas: Migmatitos Morro do Boi (rocha metamórfica) e granitos da Suíte Intrusiva Nova Trento (rocha ígnea). O Migmatito Morro do Boi estende-se por uma faixa de direção nordeste-sudoeste (NE-SW), variando de 1 a 1,5 km de largura, com idade de cerca 2000 Ma, situada a sul e a leste da cidade de Camboriú/SC. O granito da Suíte Intrusiva Nova Trento apresenta-se como um corpo intrusivo no migmatito, estendendo-se desde as proximidades do rio Pequeno, ao sul de Camboriú, e apresentado a mesma direção nordeste-sudoeste (NE-SW), com cerca de 500 m de largura e cerca de 595 Ma.

Os migmatitos apresentam um predomínio de estrutura estromática, frequentemente dobrada (Lopes, 2008), onde são comuns xenólitos de rochas metabásicas. Conforme o mapa geológico do estado de Santa Catarina (CPRM, 2016), os migmatitos Morro do Boi apresentam mesossoma (parte intermediária) cinza escuro, de composição tonalito-granodiorítica com anfibólio, biotita, plagioclásio e quartzo. Variam desde homogêneos de aspecto maciço a finamente bandados, com alternância entre níveis milimétricos máficos e bandas quartzo-feldspáticas leucocráticas. Os

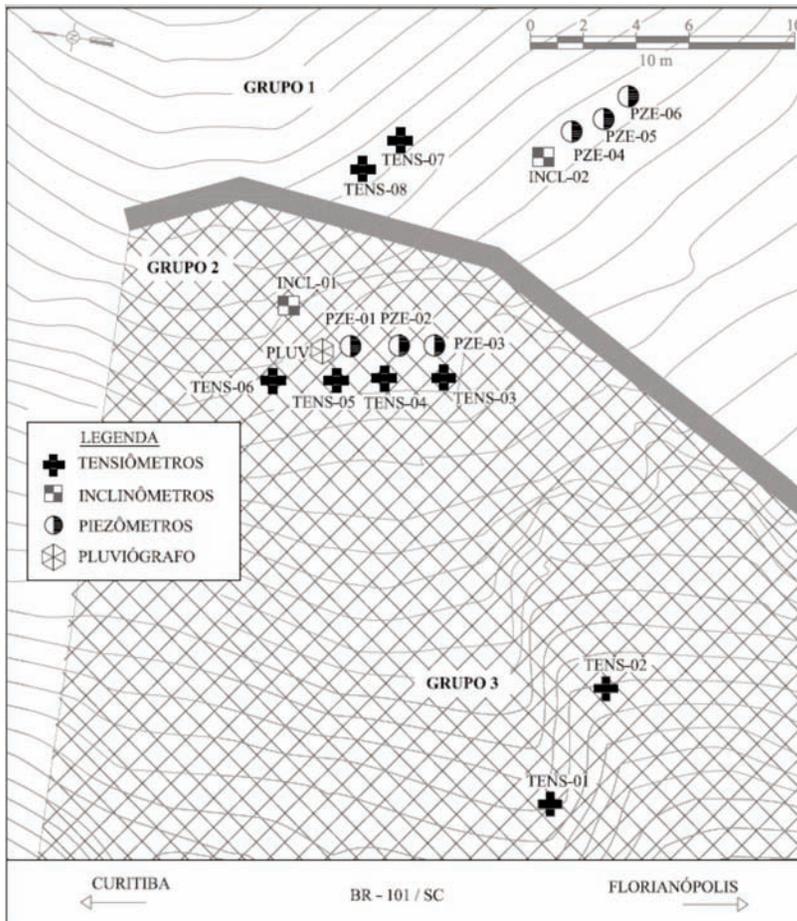


Fig. 3 – Sistema de contenção e instrumentação geotécnica do talude (vista em planta).

leucossomas são constituídos essencialmente por plagioclásio, quartzo e feldspato potássico, sendo que as proporções entre estes minerais varia localmente, principalmente quanto ao feldspato potássico. São frequentes diversas gerações de leucossomas quartzo-feldspáticos cinza esbranquiçados, com ou sem desenvolvimento de melanossomas biotíticos.

A Suíte Intrusiva Nova Trento é caracterizada por biotita monzogranitos (Lopes, 2008) a quartzo-sienitos de coloração cinza clara, com índice de cor entre 5 e 7, estrutura maciça e textura fanerítica equi a inequigranular. A granulação da rocha é média, com cristais maiores de feldspato alcalino branco (1 a 3 cm), em geral rodeados por biotita. Acessórios primários incluem muscovita, apatita, zircão e minerais opacos. É constituída por inúmeros corpos circunscritos, alinhados em uma direção preferencial NE-SW, de acordo com o mapa geológico do estado de Santa Catarina (CPRM, 2016).

Ambas as formações rochosas, quando frescas, apresentam-se pouco fraturadas e mecanicamente muito resistentes, sendo igualmente afetadas por pelo menos uma zona de cisalhamento bem evidenciada, reconhecida em diversos pontos mapeados em campo.

Quatro sistemas de fraturas foram identificados na região de estudo, sendo dois de alto ângulo de inclinação e dois de baixo ângulo de inclinação. O mais importante deles, dada sua maior frequência de ocorrência, é o Sistema NE-SW, caracterizado por fraturas de cisalhamento verticais ou subverticais, direcionadas para NE-SW. O segundo sistema em importância é o Sistema NW-SE, caracterizado por fraturas verticais ou subverticais de direção noroeste. Os outros dois sistemas de fraturas caracterizam-se por baixos ângulos de inclinação, um deles direcionado para NNW e mergulhos medianos para oeste-noroeste (Sistema NNW) e o outro, por fraturas de alívio de pressão, ou de deslocamento, dispostas subhorizontalmente.

Os dois sistemas de alto ângulo de inclinação são mais bem desenvolvidos e mostram continuidade ao longo do afloramento. Suas superfícies apresentam-se planas ou ligeiramente onduladas, o que lhes garante um coeficiente de rugosidade JRC estimado visualmente entre 0 e 4. Os dois sistemas de baixo ângulo de inclinação apresentam-se com superfícies irregulares, frequentemente onduladas. O mais antigo é representado por planos de cisalhamento preenchidos por solo. O mais recente caracteriza-se pela presença de fraturas abertas, não preenchidas, muito irregulares em perfil e com coeficientes de rugosidade JRC estimados visualmente entre 8 e 12.

2.2 – Caracterização geotécnica

O solo verificado no Morro do Boi é principalmente do tipo colúvio/tálus, tendo em vista a presença de blocos de dimensões e formatos diferentes, verificados em praticamente todos os afloramentos das encostas dos morros. Solos coluvionares apresentam-se em contato abrupto com rochas frescas ou alteradas, sendo provenientes da acomodação de antigos escorregamentos em áreas de baixadas, selas topográficas ou qualquer depressão no terreno. Em locais mais restritos, geralmente nos sopés dos morros e em áreas mais planas, ocorrem solos mais evoluídos (residuais), do tipo cambissolo, originados da alteração do migmatito, situados abaixo dos colúvios.

Através de ensaios de campo realizados no talude, tais como eletrorresistividade, três furos de SPT (*Standard Penetration Test*) e cinco SM (Sondagem Mista), observou-se a ocorrência de uma camada superficial de solo areno-siltoso com espessura em torno de 3,0 m, composto em algumas regiões pela presença de blocos de rocha. Tem-se ainda uma camada de rocha muito alterada com espessura em torno de 3,0 m, sobre uma camada de rocha moderadamente alterada encontrada a partir de 6,0 m de profundidade e com espessura em torno de 3,0 m, que se sobrepõe ao maciço de migmatito bandado, encontrado a partir de aproximadamente 9,0 m de profundidade. O nível d'água foi identificado em todas as sondagens, variando entre 3,5 m e 6,7 m de profundidade por ocasião da realização dos ensaios (Sestrem, 2012).

O método geofísico de resistividade elétrica foi empregado para complementar a exploração do subsolo. Foram realizadas seis seções de caminhamentos, sendo uma paralela à rodovia, situada próximo ao pé do talude, com extensão de 120 m e cinco transversais, tendo início no topo do maciço e fim na pista da BR-101/SC (pista sul), com extensão média de 280 m. Com base nas informações obtidas foram mapeadas três camadas geoeletricas, estando a primeira relacionada com os materiais de cobertura e as demais com o material rochoso alterado e são. Foi possível ainda caracterizar a presença de blocos e matacões na primeira camada de maneira expressiva, assim como inferir a presença de estruturas geológicas (provavelmente fraturas) na segunda e terceira camada.

O solo superficial coluvionar apresentou índices de N_{SPT} variando entre aproximadamente 9 a 40 golpes, crescentes com a profundidade ao longo do furo de sondagem, características de um material mediamente compacto a compacto. Abaixo dessa camada, as sondagens atingiram o impenetrável, sendo esses resultados provavelmente falseados devido à presença de blocos de rocha em alguns pontos. Através das sondagens mistas, obtiveram-se altas porcentagens de RQD (*Rock Quality Designation*) providas dos testemunhos de sondagens realizadas com recuperação contínua de amostra, caracterizando a excelente qualidade do maciço rochoso encontrado ao atingir-se a rocha sã (RQD de 90% a 100%). Quanto à camada de rocha moderadamente alterada, os valores médios de RQD obtidos foram de 60%, considerados de qualidade razoável (Lazarim, 2012; Sestrem, 2012). Um perfil geológico-geotécnico do talude é apresentado na Fig. 4.

Os ensaios de condutividade hidráulica *in situ*, para o solo superficial coluvionar, apresentaram valores compreendidos entre $4,47 \times 10^{-7}$ e $1,71 \times 10^{-6}$ m/s, conforme Pretto (2014). A campanha de campo foi combinada com ensaios laboratoriais de caracterização e resistência ao cisalhamento direto para amostras de solo superficial/coluvionar inundadas, coletadas nas profundidades de 0,25 m até 1,27 m, apresentando ângulo de atrito médio de 34° e intercepto coesivo médio de 2 kPa. De acordo com Lazarim (2012), todas as amostras ensaiadas foram classificadas como SM (areias siltosas) segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos – SUCS (DNIT, 2006), apresentando baixíssima plasticidade, com valores médios de Limite de

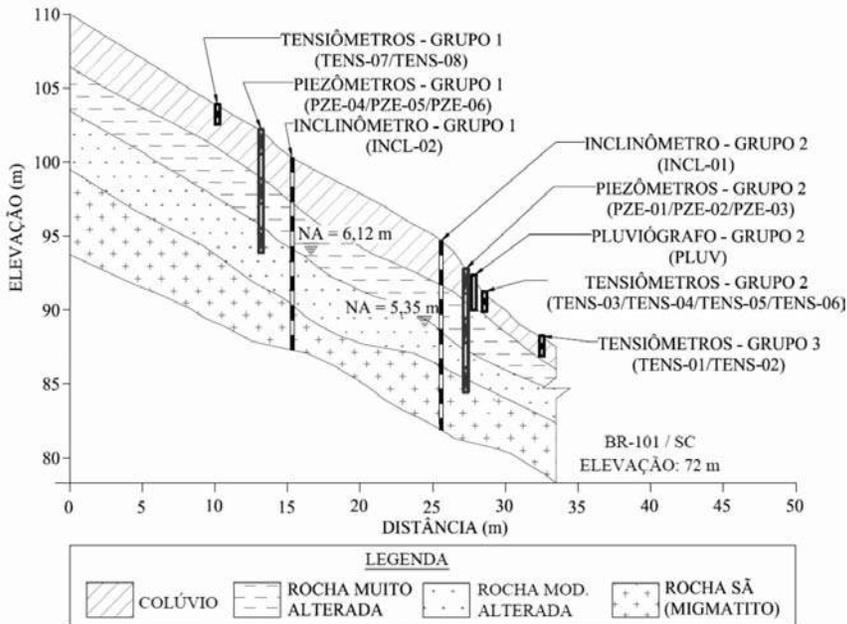


Fig. 4 – Perfil geológico-geotécnico do talude.

Plasticidade (LP) de 26,9%, Limite de Liquidez (LL) de 31,9% e Índice de Plasticidade (IP) de 5%. Através das curvas granulométricas constata-se que as amostras apresentam baixo teor de argila, em média 5%, com fração silte em torno de 25%, teor de areia preponderante, em média 60%, e com pedregulho correspondendo à fração média de 10%. Os valores de umidade natural de campo variaram entre 12% e 28%. A massa específica real dos grãos média foi de 2,66 g/cm³ e o peso específico natural médio foi igual a 16,20 kN/m³ (Pretto, 2014).

Levantamentos topográficos anteriores e posteriores à ruptura ocorrida em 2008 permitiram identificar a massa rompida com base nas diferenças altimétricas dos perfis, bem como conduzir uma retroanálise do movimento de massa. Para tal, fixaram-se valores de coesão e variou-se o ângulo de atrito, de modo a se encontrar o fator de segurança unitário para a superfície de ruptura previamente definida. Diferentes cenários de poropressão foram considerados, obtidos modificando-se a posição do nível d'água. Com base nessas análises, interpretou-se um ângulo de atrito efetivo médio (operacional) do material entre 26° e 30° e um intercepto coesivo efetivo inferior a 2 kPa.

Complementando o estudo, análises tensão x deformação bidimensionais com elementos finitos permitiram incluir os grampos, a tela metálica e as estacas raiz. O estudo individual desses elementos buscou avaliar sua sensibilidade/influência na segurança da encosta. Para tal, foi utilizado o método da Redução da Resistência ao Cisalhamento (*SSR – Shear Strength Reduction*) do software *Phase2* da Rocscience. O procedimento consiste em cálculos iterativos: reduz-se a resistência ao cisalhamento (coesão e ângulo de atrito) dos materiais modelados com um determinado fator e procede-se a uma análise tensão x deformação. O processo foi repetido para diferentes fatores de redução, até que o modelo se tornasse instável, ou seja, que a solução não apresente mais convergência. Tal fator de redução (SRF) representa um índice de segurança, indicando a razão entre a resistência ao cisalhamento dos materiais e a resistência mínima para manter o modelo estável (em equilíbrio).

Os parâmetros geotécnicos (caracterização e resistência ao cisalhamento) foram definidos com base nos ensaios de laboratório e de campo realizados previamente e nas retroanálises. As propriedades de deformabilidade foram obtidas na literatura. As variações do nível de água se basearam nos dados de monitoramento disponíveis, sendo avaliados ainda dois cenários de poropressão, de modo a se testar condições favoráveis e desfavoráveis extremas. Para os materiais que compõem o sistema de estabilização (tela metálica, grampos), foram utilizados dados fornecidos pelos fabricantes. Devido a limitações do software, considerou-se ainda uma condição de equilíbrio inicial (carregamentos devidos somente ao peso próprio) e o comportamento da tela como de um material plástico com resistência residual idêntica à de pico (160 kN/m).

Inicialmente, fez-se uma análise considerando todas as seções dos caminhamentos geofísicos transversais realizados no km 140+700 m, sem a implantação do sistema de estabilização. Os resultados (valores de SRF) obtidos foram bastante reduzidos, variando entre 0,76 e 1,06, o que evidenciou a necessidade das obras de estabilização. Cabe ressaltar que, por se tratar de uma etapa preliminar, tais análises não consideraram os diferentes níveis de lençol freático, o que tenderia a reduzir ainda mais o SRF. Na sequência, os elementos do sistema de estabilização foram adicionados ao modelo. Para essas análises, foi utilizado o caminhamento elétrico CE-02, que forneceu o menor resultado de SRF na análise anterior apesar de não representar a seção de maior declividade. Tal característica pode ser atribuída à influência das estruturas geológicas e à espessura das camadas no comportamento do maciço. Os resultados foram divididos em SRF¹, representando o fator de redução para a toda a seção (desde o nível da rodovia até o ponto de maior elevação do maciço) e SRF², contemplando apenas a região da obra de contenção. Incertezas nos parâmetros adotados foram avaliadas através de um estudo paramétrico, onde se observou que os parâmetros de resistência (coesão e ângulo de atrito) têm uma importância/sensibilidade preponderante nos resultados em comparação com as propriedades elásticas dos materiais (módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson).

Os resultados das análises com variação do lençol freático mostraram que uma diferença relativamente pequena em sua posição (e.g. 80 cm) traz um impacto significativo nos fatores de redução de resistência. Para todo o maciço, os valores de SRF¹ variaram de 0,88 (condição mais desfavorável) a 1,25 (sem ocorrência de lençol freático), enquanto que para a área do sistema grampos/tela/estacas raiz os valores de SRF² situaram-se entre 1,98 e 2,49.

Com o objetivo de estudar o provável comportamento da encosta caso fossem introduzidas variações na geometria dos grampos, foram também avaliadas outras áreas de influência (definidas pelo produto do espaçamento transversal pelo longitudinal entre grampos) e seções transversais das barras. As áreas de influência consideradas foram: 1,80, 3,24, 5,4, 9,0 e 18,0 m². Como referência para essas análises, foi considerado um fator de segurança (FS) de 1,5, com base nas prescrições da NBR 11682 (ABNT, 2009). Ressalta-se que no método tensão x deformação o resultado é dado em valores de Fator de Redução de Resistência (FRS), sendo utilizado o FS prescrito em norma apenas para efeitos de comparação e análise.

Com base na análise SRF¹, que representa o comportamento de toda a encosta, foi possível observar que as diferentes áreas de influência dos grampos utilizados na obra de contenção são relevantes em termos de estabilidade até valores próximos a 5,4 m² (1,8 m x 3,0 m). Além disso, áreas de influência acima de 9,0 m² (1,8 m x 5,0 m) não afetam de modo expressivo a segurança global da encosta. Quanto à seção dos grampos, concluiu-se que áreas acima de 500 mm² (grampos com seção a partir de 1 1/8") não geram aumentos significativos na segurança.

2.3 – Instrumentação geotécnica

O plano de instrumentação geotécnica, concebido e implantado na encosta, dividiu-se em 3 (três) grupos (Fig. 3), sendo uma localizada acima da viga de concreto armado (Grupo 1) e duas dentro da área reforçada com grampos e tela metálica (Grupos 2 e 3).

As profundidades adotadas para instalação dos equipamentos foram estabelecidas com base nos modelos geológico-geotécnicos obtidos através da investigação e análise do local de interesse com visitas de campo, conforme apresentado na Fig. 5, Fig. 6 e no Quadro 1.

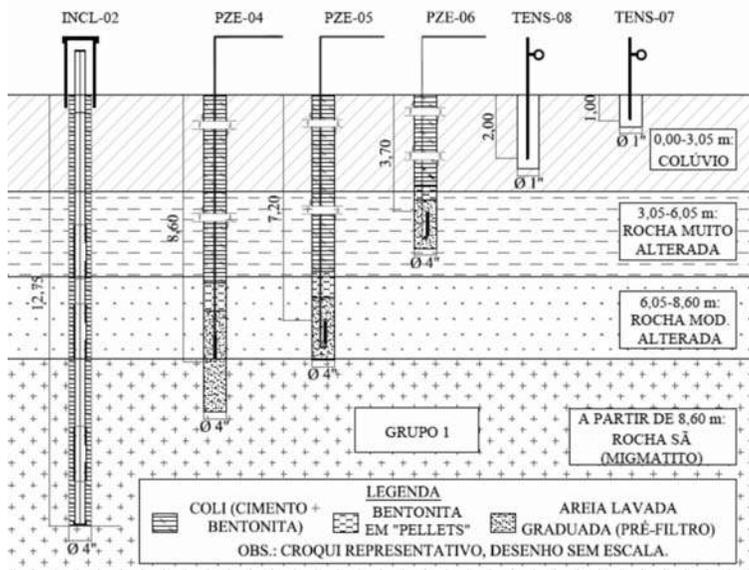


Fig. 5 – Perfis de instalação dos equipamentos de instrumentação do talude (Grupo 1).

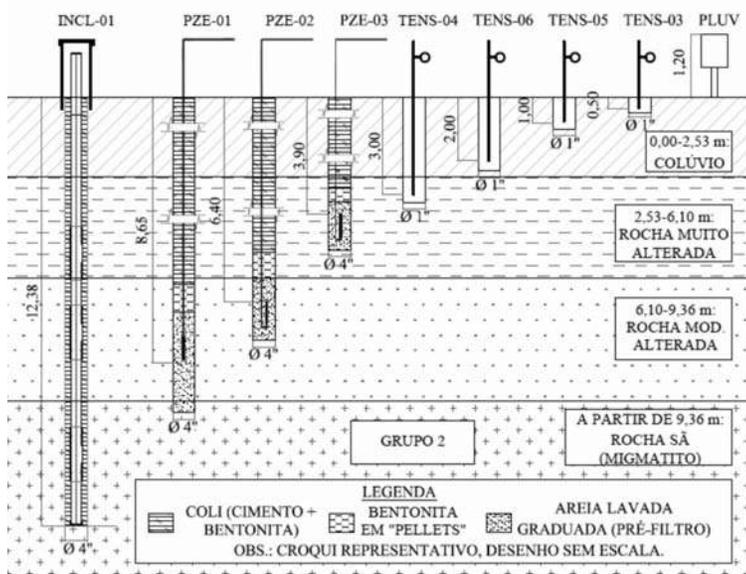


Fig. 6 – Perfis de instalação dos equipamentos de instrumentação do talude (Grupo 2).

Quadro 1 – Instalação dos equipamentos de instrumentação geotécnica.

Grupos	Instrumento	Cota (m)	Profundidade (m)	Material
1 (superior)	PZE-04	101,5	8,60	Rocha alterada/sã
	PZE-05	101,5	7,20	Rocha alterada
	PZE-06	101,5	3,70	Colúvio/Rocha muito alterada
	INCL-02	101,5	12,75	Rocha sã
	TENS-07	103,7	1,00	Colúvio
	TENS-08	103,9	2,00	Colúvio
2 (central)	PZE-01	92,4	8,65	Rocha alterada/sã
	PZE-02	92,4	6,40	Rocha alterada
	PZE-03	92,4	3,90	Colúvio/Rocha muito alterada
	INCL-01	92,4	12,38	Rocha sã
	TENS-03	92,4	0,50	Colúvio
	TENS-04	92,4	3,00	Colúvio
	TENS-05	92,4	1,00	Colúvio
	TENS-06	92,4	2,00	Colúvio
	PLUV-01	92,4	1,20 (Acima do solo)	-
3 (inferior)	TENS-01	86,0	1,00	Colúvio
	TENS-02	88,0	2,00	Colúvio

Os equipamentos selecionados foram baseados principalmente em suas aplicações e histórico de utilização no meio acadêmico/científico e da prática geotécnica de monitoramento de taludes (Dunnicliff, 1988; Silveira, 2006; Dixon e Spriggs, 2007; Eberhardt, 2008), sendo eles: inclinômetros, piezômetros, tensiômetros e pluviógrafos (Lim *et al.*, 1996; Li *et al.*, 2005; Marinho, 2005; Cerqueira, 2006; Zhan *et al.*, 2007; Bonzanigo *et al.*, 2007; Simeoni e Mongiovi, 2007; Leung *et al.*, 2011; Tommasi *et al.*, 2013).

O plano de monitoramento pode ser classificado de acordo com as seguintes premissas: (i) medição do comportamento geotécnico da encosta através de piezômetros de corda vibrante com leituras das poropressões positivas, tensiômetros com acompanhamento das poropressões negativas e inclinômetros com monitoramento dos deslocamentos horizontais; e (ii) medição de precipitação pluviométrica através de um pluviógrafo. Existe ainda uma terceira componente no plano de instrumentação, não abordada no presente artigo, que envolve *strain gages* e células de carga nos grampos e *crackmeters* (extensômetros) na tela metálica.

Para a determinação de poropressões positivas foram utilizados seis piezômetros elétricos de corda vibrante (PZE-01, PZE-02, PZE-03, PZE-04, PZE-05 e PZE-06), tendo a escolha sido fundamentada em seu desempenho para medições em longo prazo, tempo de resposta rápido e possibilidade de automação.

Para as camadas superficiais, propôs-se ainda o monitoramento das poropressões negativas com a utilização de oito tensiômetros convencionais (TENS-01, TENS-02, TENS-03, TENS-04, TENS-05, TENS-06, TENS-07 e TENS-08). Esses sensores apresentam uma faixa de leituras suficiente para determinação da sucção dos solos coluvionares.

Para o monitoramento de deslocamentos horizontais no talude, foram instalados dois inclinômetros convencionais (INCL-01 e INCL-02). A escolha desse instrumento teve como premissa a utilização de um método que obtivesse leituras sub-superficiais, descartando-se assim os métodos que obtêm apenas deslocamentos horizontais superficiais. De maneira a garantir a ancoragem dos inclinômetros, definiu-se como critério de paralisação das perfurações para sua instalação um embutimento de 3,0 m no horizonte de rocha sã (recuperação acima de 95%).

Para as leituras dos sensores relacionados com o comportamento geotécnico, utilizou-se um sistema de aquisição de dados automático (*datalogger*), com armazenamento de leituras a cada 8 horas. Tal sistema coleta e armazena as medições de todos os instrumentos, com exceção dos inclinômetros (que possuem leituras manuais) e do pluviógrafo (que possui aquisição de dados independente). Para que todos os sensores fossem lidos foi necessário utilizar multiplexadores, os quais são instrumentos capazes de expandir o número de canais de leitura do *datalogger*. De maneira a proteger os instrumentos contra descargas elétricas foi implantando um sistema de aterramento apropriado. Já para a proteção contra intempéries e vandalismo, o *datalogger* e os multiplexadores foram abrigados dentro de uma casa de leitura de alvenaria.

Por fim, para o monitoramento das precipitações pluviométricas, previu-se a utilização de um sistema com leituras automatizadas, registrando-se as precipitações de maneira detalhada, tendo em vista a importância que tais dados representam em relação ao plano de monitoramento como um todo. Com isso, selecionou-se um pluviógrafo (PLUV-01) que registra leituras ao longo do tempo, ou seja, os dados obtidos fornecem não apenas o volume precipitado em milímetros por dia ou por chuva, mas sim a evolução da intensidade de determinada precipitação.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item, os dados monitorados na área estudada são apresentados e discutidos. O foco principal da análise consiste em se correlacionar as leituras de poropressão (positivas e negativas) com precipitação pluviométrica e deslocamentos horizontais dos materiais que compõem o talude,

incorporando-se as características geométricas, geológicas e geotécnicas do maciço. Os resultados da instrumentação estendem-se por aproximadamente quatro anos de monitoramento, iniciado em maio de 2012, com dados aqui avaliados até dezembro de 2015.

3.1 – Precipitação pluviométrica

A precipitação mensal acumulada durante o período de monitoramento (Fig. 7) apresenta um padrão de comportamento bastante variável. A partir da Fig. 7 observa-se que o registro dos dados foi interrompido durante alguns períodos (novembro de 2012, junho de 2013 e maio a agosto de 2015) ao longo dos quatro anos de monitoramento, devido a obstruções do sistema de captação de chuva causadas por matéria vegetal e proliferação de fungos e insetos ou problemas com a aquisição de dados.

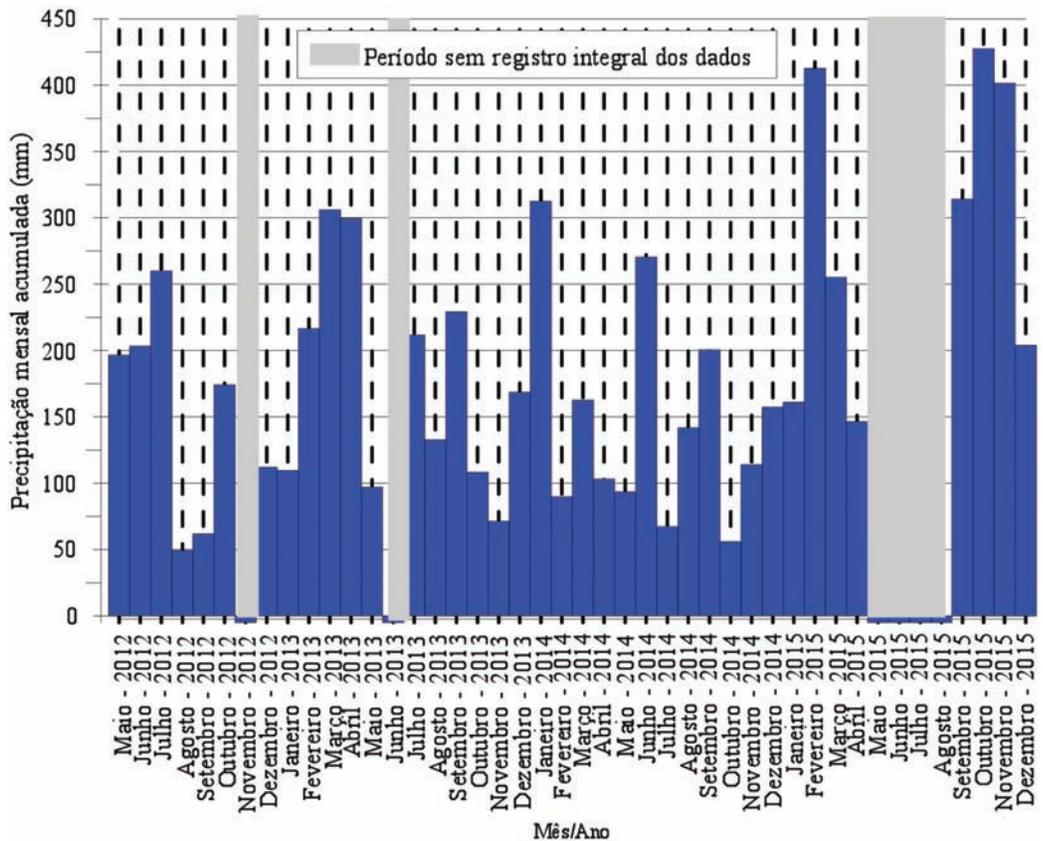


Fig. 7 – Precipitação mensal acumulada.

Para enfatizar a grande variabilidade observada, a Fig. 8 apresenta uma comparação entre as precipitações mensais acumuladas sempre para os mesmos meses do ano ao longo dos quatro anos de monitoramento, constatando-se que:

- Os três primeiros meses do ano (verão) apresentaram precipitações máximas acumuladas de 312,40 mm em janeiro 2014; 412,60 mm em fevereiro de 2015 e 306,00 mm em março de 2013.

- Os meses de outono, nos quatro anos de monitoramento, apresentaram maiores precipitações acumuladas em abril de 2013 com 299,60 mm, seguida de maio de 2012 com 196,60 mm e junho de 2014 com 270,40 mm.
- O mês de agosto (inverno) foi o menos chuvoso ao longo dos quatro anos monitorados, com 49,20 mm de mínima para o ano de 2012 e 141,80 mm de máxima para o ano de 2014.
- O ano de 2015 apresentou as maiores precipitações acumuladas para os meses de setembro a dezembro (primavera), quando comparado com os outros três anos monitorados, com valores máximos de 427,60 mm em outubro e mínimos de 204,00 mm em dezembro.

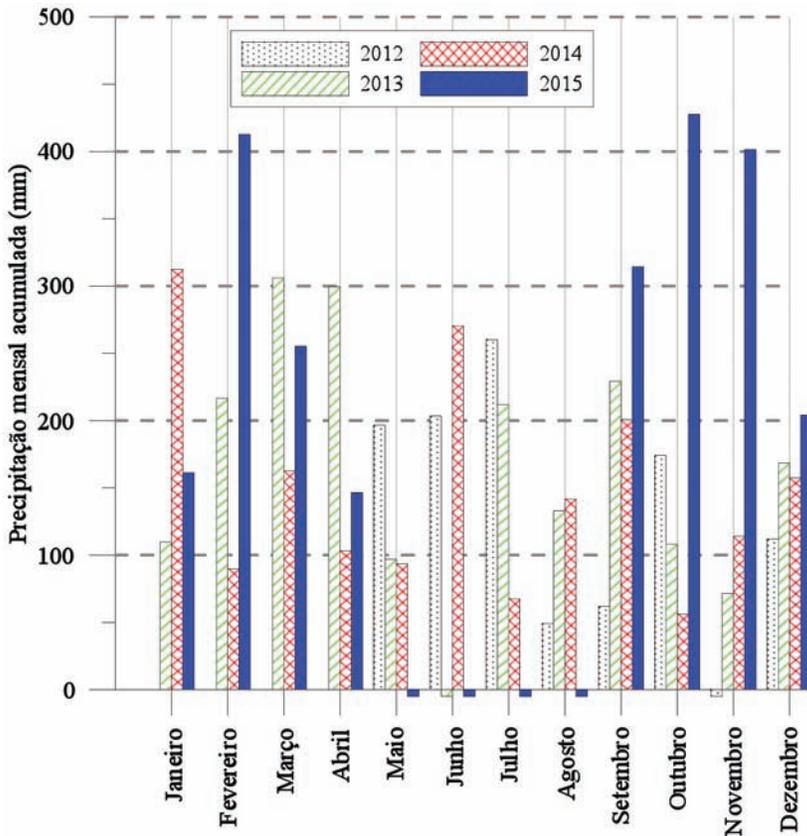


Fig. 8 – Precipitação mensal acumulada: comparação entre períodos similares.

Com base na série histórica disponível até o momento, observa-se que os volumes mensais acumulados ao longo do período podem ser considerados baixos ao se compará-los com a quantidade registrada no mês de novembro de 2008, quando houve grande ocorrência de deslizamentos de terra na região da sub-bacia do Vale do Rio Itajaí-Açu em Santa Catarina (por sua vez, pertencente à bacia do Atlântico – Trecho Sudeste). Nesse episódio, pluviógrafos das estações dos municípios de Timbó, Brusque e Blumenau registraram 738, 852 e 982 mm/mês respectivamente (ANA, 2016). Um pluviógrafo de estação do município de Indaial registrou 581 mm/mês (INMET, 2016).

Acevedo (2013) efetuou uma comparação dos dados locais de precipitação pluviométrica, através de dados fornecidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), com outro equipamento localizado na cidade de Itajaí/SC, a 19 km de distância. O autor verificou que o pluviógrafo do Morro do Boi tende a registrar volumes de chuva superiores. Desta forma, salienta-se a importância de monitorar as precipitações pluviométricas em pontos específicos de interesse. Tais informações são de grande valia para a determinação de critérios de alerta com base em dados de instrumentação, bem como para a delimitação dos níveis de suscetibilidade a escorregamentos de encostas rodoviárias.

A utilização de dados de precipitação, para fins de engenharia geotécnica, requer uma análise detalhada. Assim, a Fig. 9 apresenta um resumo de algumas características dos eventos de chuva registrados pelo pluviógrafo: dados de precipitação máxima diária, intensidade horária máxima, intensidade média diária, dias com registros de precipitação e precipitação total. A partir desses resultados, observa-se que:

- A maior precipitação diária foi registrada em abril de 2013 com 155,20 mm/dia, seguida de 121,40 mm/dia em janeiro de 2014, 95 e 96 mm/dia para fevereiro e novembro de 2015, respectivamente.
- A maior intensidade horária foi registrada em fevereiro de 2015 com 56,80 mm/h, seguida de 46,20 mm/h para janeiro do mesmo ano, 44,60 e 43,40 mm/h para janeiro de 2014 e abril de 2013, respectivamente.
- A maior intensidade média diária foi registrada em abril de 2013 com 27,2 mm/dia, seguida de 19,5 mm/dia para janeiro de 2014 e 18,8 mm/dia em fevereiro de 2015.
- Os meses com maior número de dias com registro de precipitação foram: outubro de 2015 com 29 dias, seguido de novembro e dezembro do mesmo ano, ambos com 25 dias.
- Alguns meses destacam-se quanto às diferentes características pluviométricas máximas, sendo eles abril de 2013, janeiro de 2014 e fevereiro de 2015.

Conforme CIRAM (2016), os totais de chuvas horárias podem ser classificados em: (i) chuva extrema para valores acima de 50 mm/h, (ii) chuva muito forte para valores compreendidos entre 16 e 50 mm/h, (iii) chuva forte entre 4 e 16 mm/h, (iv) chuva moderada entre 1 e 4 mm/h e (v) chuva fraca entre 0,25 e 1 mm/h. Assim, a maior intensidade horária registrada para o mês de fevereiro de 2015 é caracterizada como chuva extrema. Os demais valores registrados ao longo do período monitorado são classificados como chuva forte, em 19 meses, a muito forte, em 18 meses. Chuvas intensas fazem parte da característica do clima da região.

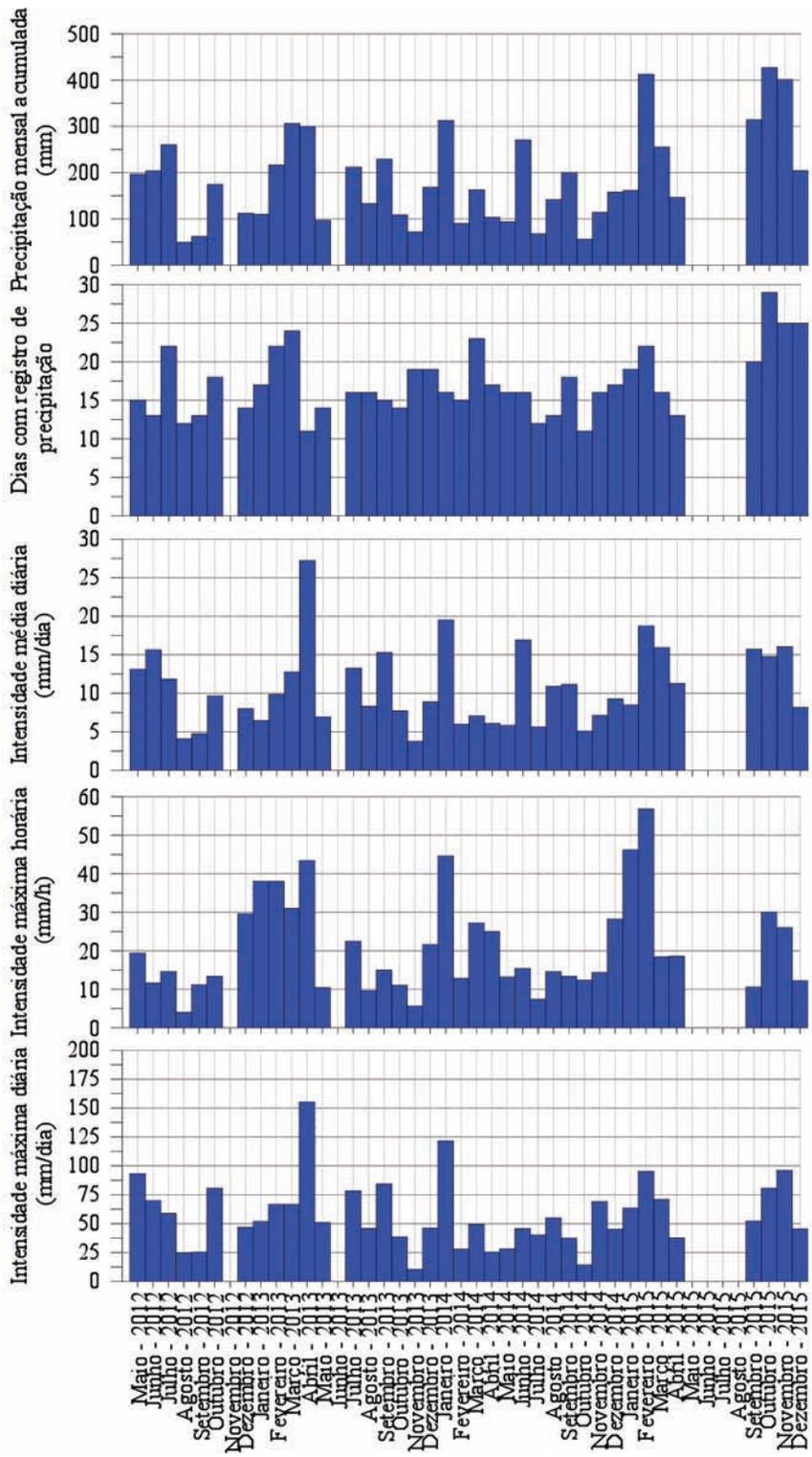


Fig. 9 – Resumo das características dos eventos de chuva registrados.

3.2 – Poropressões negativas – sucção

Com base na série histórica obtida com os tensiômetros é possível avaliar a variação de sucção dentro da camada de solo coluvionar ao longo do tempo e associá-la aos eventos pluviométricos. Existe uma tendência contínua de aumento dos níveis de sucção nos períodos menos chuvosos, assim como reduções nos valores de sucção principalmente após precipitações de volumes superiores a 50 mm/dia. Verifica-se ainda um atraso sistemático nas respostas dos sensores tanto em termos de aumentos quanto de reduções de sucção. Conforme Sestrem *et al.* (2015), um dos fatores de retardo no tempo para a resposta dos sensores pode ser associado à cobertura vegetal, pois houve o crescimento da vegetação no local após a instalação dos sensores, o que contribuiu não só para o aumento de evaporação, mas também para uma redução na taxa de infiltração da água da chuva (Fig. 10).



Fig. 10 – Mudança da vegetação no talude: (a) maio de 2012 e (b) dezembro de 2015.

Os sensores foram agrupados por critério de proximidade de acordo com seu posicionamento em relação à encosta em regiões denominadas de “Grupos”. Verifica-se que os sensores apresentaram comportamentos bastante semelhantes, com valores de sucção chegando a aproximadamente 80 kPa, para os mesmos períodos de chuva com pouca precipitação diária acumulada registrada e intenso calor. O clima da região é considerado ameno e, na classificação de Köppen-Geiger, é do Tipo Cfa (subtropical úmido com verões quentes).

A partir dos resultados é possível verificar que os valores de sucção (TENS-07 e TENS-08) do Grupo 1 (Fig. 11) apresentaram uma tendência mais constante ao longo do tempo monitorado, com valores inferiores a 10 kPa, apresentando apenas dois picos de sucção com valores não superiores à 80 kPa, sendo por volta de (i) fevereiro a março de 2014 e (ii) novembro de 2014 a fevereiro de 2015. Tal comportamento pode ser atribuído à diferença de vegetação na área de instalação destes instrumentos. Trata-se de uma região fora da área estabilizada e cuja vegetação é composta principalmente por grama, favorecendo assim a infiltração de água, mantendo a umidade do solo, além de apresentar declividade menor quando comparada àquela encontrada entre os Grupos 2 e 3.

Os sensores instalados no Grupo 2 (Fig. 12), nas profundidades de 1, 2 e 3 m (TENS-05, TENS-06 e TENS-04) apresentaram níveis de sucção semelhantes entre si e aos medidos no Grupo 1 (TENS-07 e TENS-08) instalados nas mesmas profundidades (1 e 2 m) durante grande parte do tempo, com valores médios inferiores a 10 kPa, apresentando apenas dois picos de sucção com valores não superiores a 55 kPa, nos períodos de (i) fevereiro a março de 2014 e (ii) de novembro a dezembro de 2014.

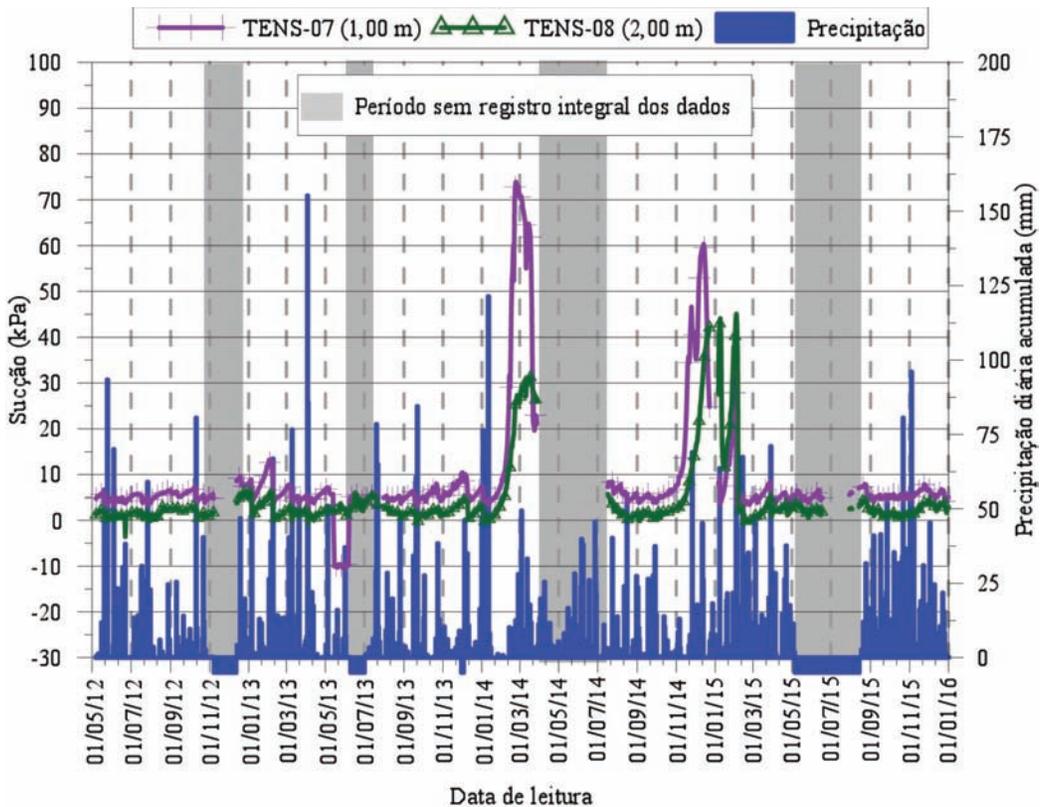


Fig. 11 – Precipitação versus sucção para grupo de instrumentação 1 (superior).

O instrumento mais superficial (TENS-03), localizado no Grupo 2 e instalado na profundidade de 0,50 m, entretanto, apresentou maior sensibilidade aos eventos pluviométricos e a intensidade solar, com níveis de sucção elevados ao longo de todo o monitoramento, grandes oscilações e amplitude de leituras, desde -15 kPa a +90 kPa, com picos de leitura mais salientes em três momentos específicos, sendo por volta do mês janeiro dos anos de 2013, 2014 e 2015. Para os meses que antecedem estes períodos, observa-se que a intensidade da precipitação média diária foi inferior a 10 mm/dia, a intensidade horária máxima foi inferior a 40 mm/h e a precipitação máxima diária foi inferior a 60 mm/dia, conforme Fig. 9.

Os sensores do Grupo 3 (TENS-01 e TENS-02), instalados a 1 e 2 m de profundidade (Fig. 13), também apresentaram-se mais sensíveis aos eventos pluviométricos, diferentemente dos sensores posicionados na mesma profundidade nos Grupos 1 e 2. Esse comportamento pode ser associado à maior declividade do terreno na região do Grupo 3, refletindo um maior escoamento superficial de água. Os tensiômetros TENS-01 e TENS-02 apresentaram amplitude de leituras desde -20 kPa a +80 kPa ao longo do monitoramento, com mesmos picos de leitura apresentados para o TENS-03, e com leituras médias no restante do período monitorado não superiores a 10 kPa.

Nos dados apresentados (Fig. 11, 12 e 13) pode-se observar que os registros foram interrompidos durante alguns períodos ao longo dos quatro anos de monitoramento, havendo especificamente três intervalos sem registro das leituras dos tensiômetros (o primeiro deles em de 2012, o segundo em 2014 e o último em 2015), em geral decorrentes de problemas com o sistema de aquisição/datalogger.

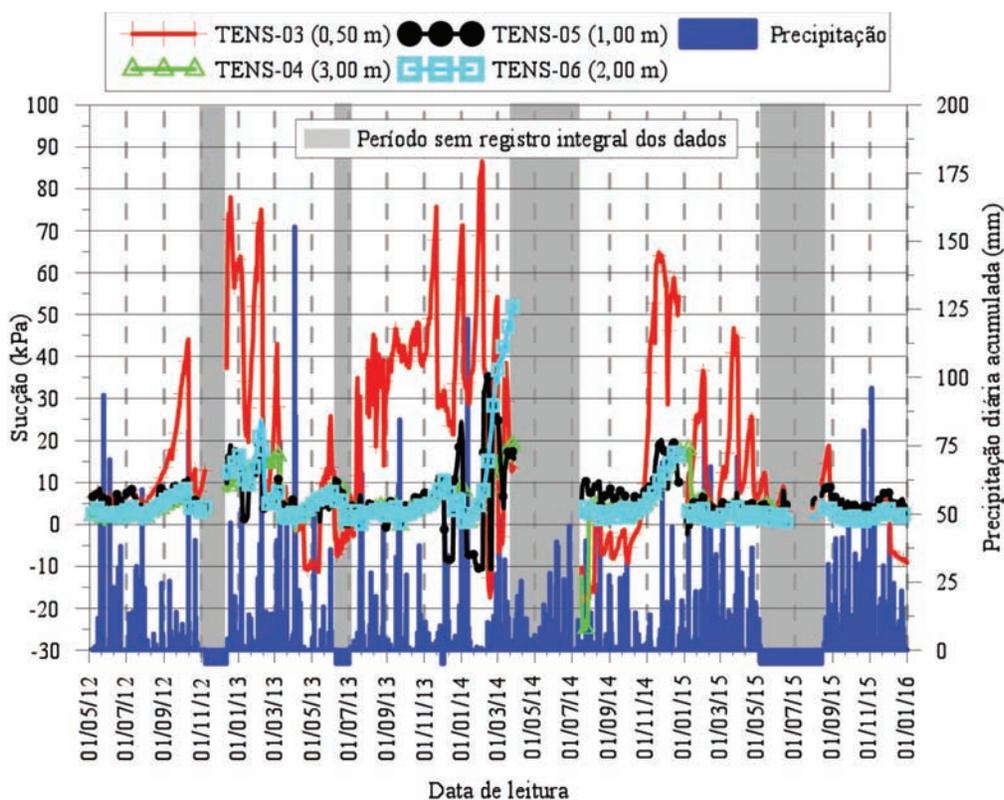


Fig. 12 – Precipitação *versus* sucção para grupo de instrumentação 2 (central).

Investigando-se a precipitação acumulada durante 3, 5 e 7 dias, verificou-se que a melhor correlação entre precipitação pluviométrica e variação dos níveis de sucção está associada com a precipitação acumulada ao longo de 3 dias. Eventos acima de 80 mm de precipitação em 3 dias mantêm os níveis de sucção abaixo de 10 kPa e eventos com menos de 80 mm de precipitação em 3 dias mantêm os níveis de sucção acima de 20 kPa.

3.3 – Poropressões positivas – nível d’água

A série histórica dos dados monitorados nos piezômetros é apresentada na Fig. 14. Pode-se inferir que o nível d’água no talude variou em torno de 8,0 m de profundidade com relação ao nível do terreno, o que se verifica através das leituras dos piezômetros mais profundos, PZE-01 e PZE-04, instalados a cerca de 8,6 m de profundidade. Os mesmos foram posicionados na transição entre a rocha moderadamente alterada e a rocha sã, identificadas durante a investigação geotécnica.

O piezômetro PZE-04 (8,60 m), instalado no Grupo 1, mostrou registros de poropressão na faixa de -4 a +6 kPa. O piezômetro PZE-01 (8,65 m), instalado no Grupo 2, apresentou-se mais sensível, tendo alcançado até +9 kPa de poropressão. As mudanças mais significativas nos níveis piezométricos estão associadas a eventos pluviométricos com volumes a partir de 50 mm de precipitação diária acumulada. É digno de nota que não são observadas variações representativas do nível d’água subterrâneo com a ocorrência de chuvas mais intensas: a elevada permeabilidade da rocha conferida pelos sistemas de fraturamento do local contribui favoravelmente para a drenagem do maciço.

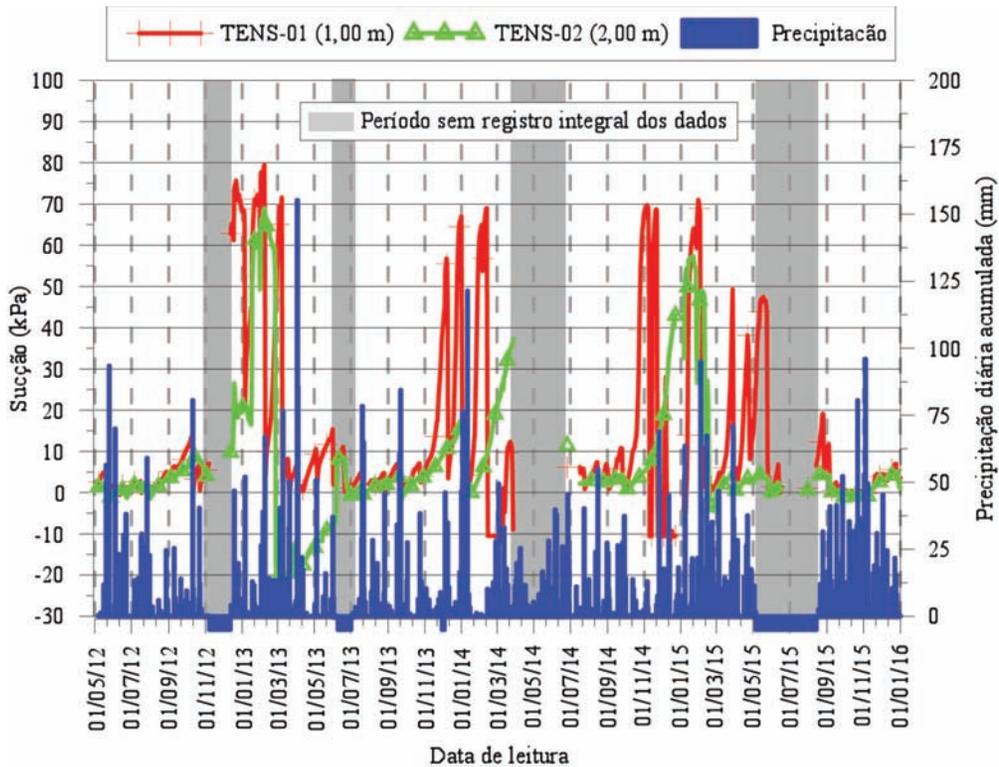


Fig. 13 – Precipitação versus sucção para grupo de instrumentação 3 (inferior).

Os demais sensores apresentaram uma tendência de oscilações de leituras muito similares ao longo de todo período monitorado, não havendo correlação clara com a precipitação pluviométrica. Os valores medidos de poropressão, provindos dos piezômetros, apontam para pequenas amplitudes de variação, consequência do fato de se situarem em níveis não-saturados do maciço. Deve-se notar que o tipo de piezômetro de corda vibrante utilizado permite a leitura de sucções de até 100 kPa.

A partir dos resultados apresentados (Fig. 14), observa-se que o registro dos dados dos piezômetros foi interrompido durante alguns períodos ao longo dos quatro anos de monitoramento, sendo que esse fato aconteceu em três períodos especificamente, o primeiro deles em de 2012, o segundo em 2014 e o último em 2015, assim como observado no caso dos tensiômetros.

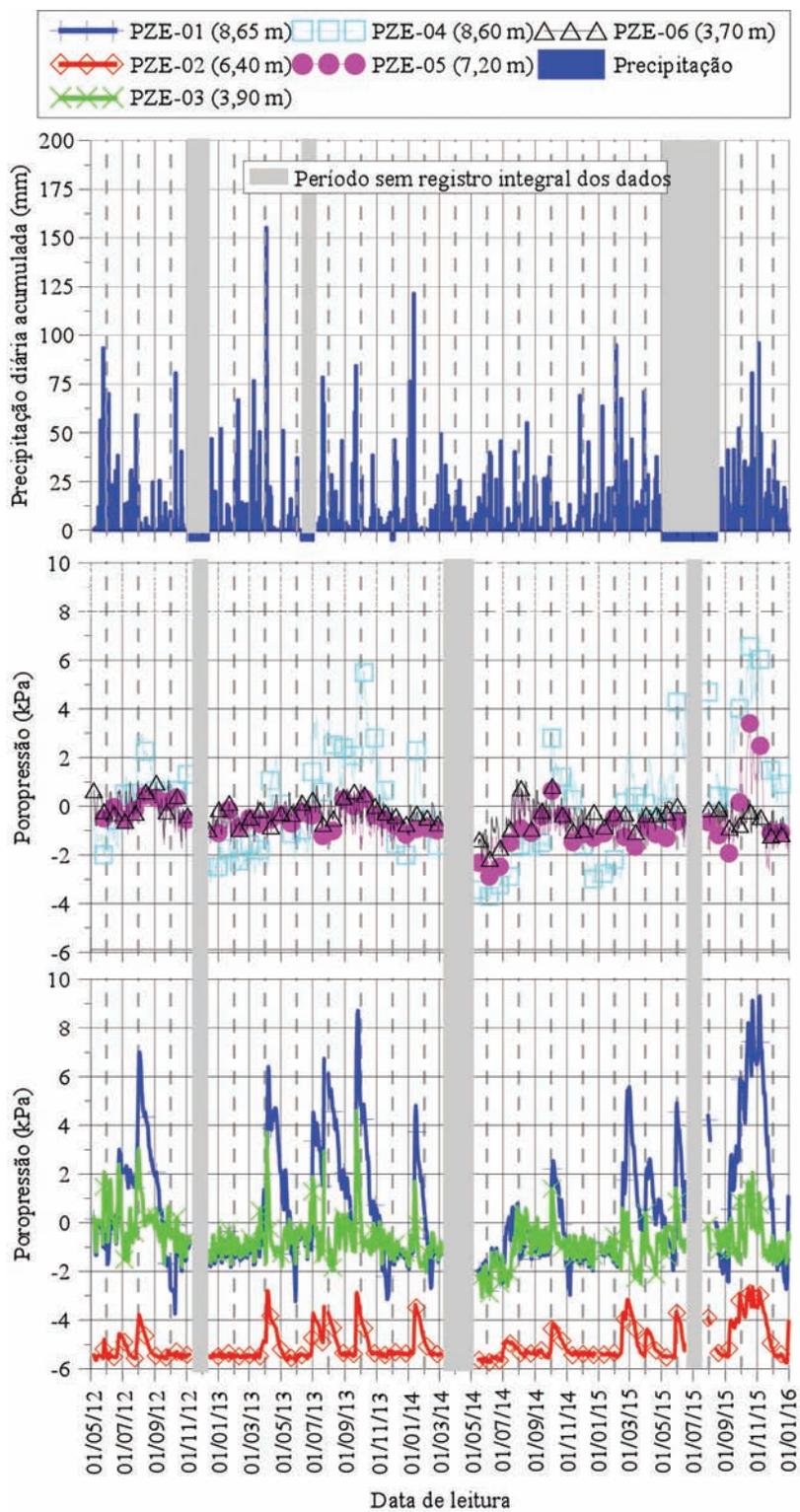


Fig. 14 – Precipitação versus poropressão positiva para os grupos de instrumentação 1 e 2.

3.4 – Deslocamentos horizontais

Os resultados de uma série de campanhas de leitura dos inclinômetros são apresentados na Fig. 15 e na Fig. 16. O eixo A-A dos dados representa os deslocamentos no sentido da declividade do talude e o eixo B-B no sentido perpendicular à mesma. Com base nos resultados, verifica-se que não ocorreram movimentos significativos.

No INCL-02 (Fig. 15) pertencente ao Grupo 1 (superior) de instrumentação, as leituras dos deslocamentos horizontais variaram de -4 a +5 mm para o eixo A-A e de -4 a +2 mm para o eixo B-B. Da mesma forma, o INCL-01 (Fig. 16), instalado no Grupo 2 (central), apresentou leituras dos deslocamentos horizontais de -2 a +6 mm para o eixo A-A e de -3 a +2 mm para o eixo B-B.

Ressalta-se que a ordem de grandeza dos deslocamentos medidos é baixa e não reflete um sentido específico/preferencial de movimentação. Tais variações podem ser creditadas às próprias imprecisões dos instrumentos, usualmente associadas à geometria dos sulcos dos tubos utilizados para a passagem do torpedo de leitura de deslocamento horizontal. Os dados apontam para a estabilidade do talude monitorado, atestando a adequação da estrutura de estabilização implantada no local.

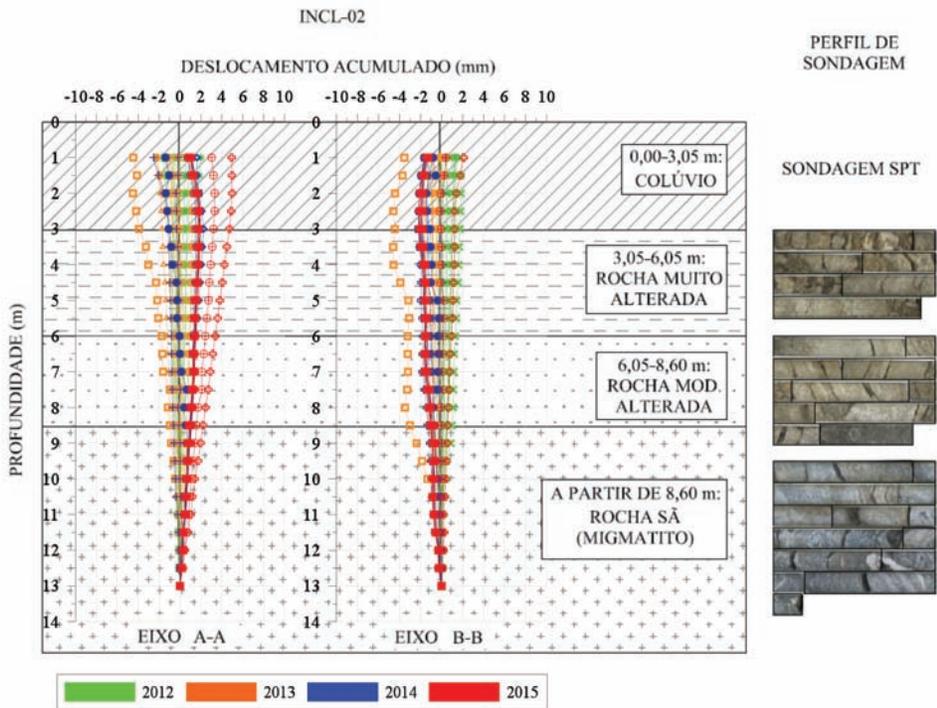


Fig. 15 – Leitura dos deslocamentos acumulados no Grupo 1 - superior (INCL-02).

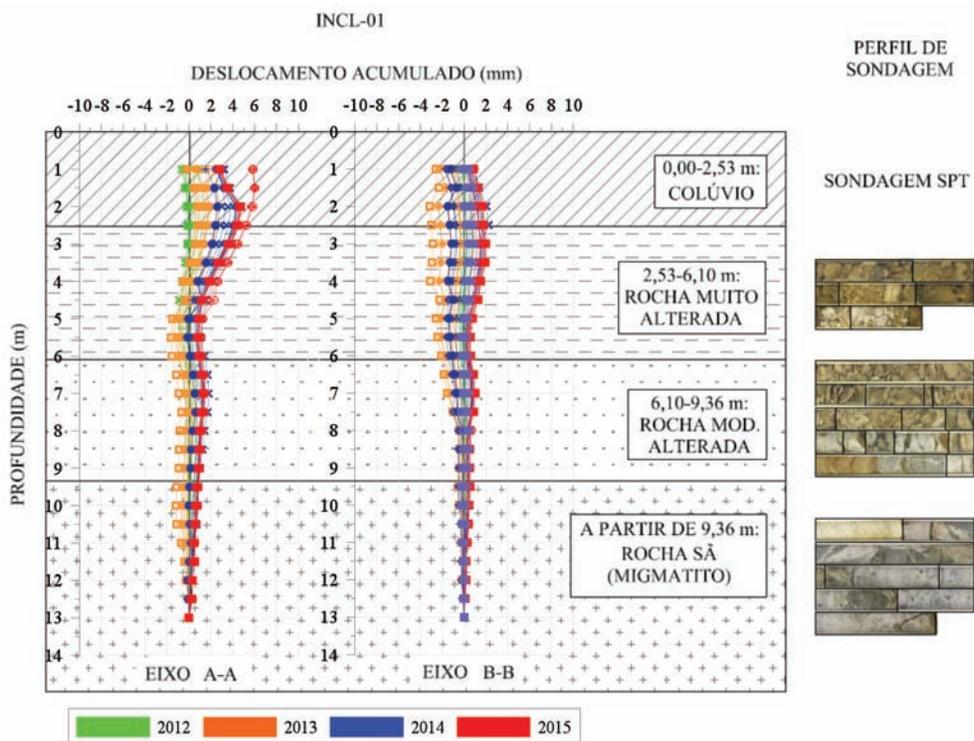


Fig. 16 – Leitura dos deslocamentos acumulados no Grupo 2 - central (INCL-01).

4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da campanha de investigação geológico-geotécnica, englobando visitas e ensaios de campo (geofísica, SPT, sondagem mista e permeabilidade), coletas de amostras e ensaios de laboratório (caracterização e cisalhamento direto) e de resultados obtidos em retroanálises e modelos do tipo tensão x deformação, os seguintes aspectos podem ser destacados:

- O solo coluvionar presente nas camadas superficiais da encosta foi classificado como arenossiltoso de baixíssima plasticidade, com valores médios de $LP = 26,9\%$, $LL = 31,9\%$ e $IP = 5\%$. A condutividade hidráulica in situ apresentou valores entre $4,5 \times 10^{-7}$ e $1,7 \times 10^{-6}$ m/s;
- Com base nos ensaios de laboratório obteve-se para o solo coluvionar um ângulo de atrito médio de 34° e intercepto coesivo médio de 2 kPa, provindo de ensaios de cisalhamento direto em amostras inundadas. Tais resultados mostraram-se condizentes com os obtidos por meio de retroanálises, onde se convergiu para um ângulo de atrito efetivo médio entre 26° e 30° e um intercepto coesivo efetivo inferior a 2 kPa;
- O uso combinado de sondagens mistas e ensaios geofísicos (eletrorresistividade) permitiu definir a estratigrafia local de forma detalhada ao longo da encosta, incluindo não apenas o mapeamento das camadas como a delimitação do topo rochoso;
- Quanto à litologia, tem-se um maciço de migmatito que se estende por uma faixa de direção nordeste-sudoeste (NE-SW) e apresenta quatro sistemas de fraturas na região de estudo, sendo dois de alto ângulo de inclinação e dois de baixo ângulo de inclinação;

- Análises do tipo tensão x deformação permitiram concluir que, de modo geral, a implantação do sistema de estabilização foi efetiva para a estabilização do maciço, atendendo-se o fator de segurança estabelecido em norma. As análises da encosta como um todo (SRF¹) apresentaram resultados satisfatórios para as áreas de terreno natural, sendo possível observar ainda que o sistema de estabilização contribuiu para o aumento significativo do fator de segurança no pé da encosta, adjacente à rodovia (análises SRF²). Com base nos resultados obtidos, foi possível verificar também que as áreas de influência dos grampos são relevantes em termos de estabilidade até valores próximos a 5,4 m² (1,8 m x 3,0 m). Com relação à seção dos grampos, verificou-se que um aumento da seção dos mesmos não traria diferenças significativas nas condições de estabilidade.

Ao longo dos 4 anos de monitoramento, os instrumentos forneceram informações importantes sobre o comportamento das chuvas no local de interesse, da presença de água no interior do maciço e dos deslocamentos horizontais do mesmo. A interpretação de leituras de tensiômetros e piezômetros associada com registros do pluviógrafo trouxe uma melhor compreensão das distribuições de poropressão ao longo do perfil do talude. As seguintes conclusões podem ser extraídas do presente estudo:

- As precipitações pluviométricas registradas durante o período de monitoramento do Morro do Boi representam volumes de baixa intensidade quando comparadas com as chuvas intensas de novembro de 2008. Enquanto o maior volume mensal acumulado indicado pelo pluviógrafo local foi de 427,60 mm (outubro de 2015), dados históricos apontam para um volume de 982 mm/mês na cidade de Blumenau/SC durante o episódio de 2008;
- Chuvas acima de 80 mm em 3 dias mantém os níveis de sucção das camadas superficiais (colúvio) abaixo de 10 kPa e eventos com menos de 80 mm de precipitação em 3 dias mantém os níveis de sucção acima de 20 kPa;
- O nível d'água no talude variou em torno de 8,0 m de profundidade com relação ao nível do terreno, inferido através das leituras dos piezômetros mais profundos. A ausência de variações significativas nos níveis de poropressão medidos pode ser associada ao nível de fraturamento do maciço, que facilita a drenagem e dificulta elevações mais significativas do nível d'água;
- Os registros de deslocamentos horizontais não superiores a 6 mm acumulados durante todo o monitoramento, obtidos através das leituras dos inclinômetros, apontam para a estabilidade do talude monitorado, validando o sistema de estabilização adotado e implantado no local.

5 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres e à Autopista Litoral Sul – Grupo Arteris, pelo apoio à pesquisa e viabilização do estudo apresentado no presente trabalho.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2009) *NBR 11682 - Estabilidade de taludes*, Rio de Janeiro, Brasil.
- ACEVEDO, A. M. G. (2013). *Estudo de séries de leituras obtidas através do monitoramento da instrumentação geotécnica implantada em uma encosta litorânea – Estudo de caso*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil, 187p.

- ANA (2016). Agência Nacional de Águas. Sistema de Monitoramento Hidrológico. Disponível em: <http://mapas-hidro.ana.gov.br/Usuario/Exportar.aspx?bac=8&sub=83> Data e hora da consulta: 7 de junho de 2016 às 23:25.
- BONZANIGO, L.; EBERHARDT, E.; LOEW, S. (2007). *Long-term investigation of a deep-seated creeping landslide in crystalline rock. Part I. Geological and hydromechanical factors controlling the Campo Vallemaggia landslide*. Canadian Geotechnical Journal, v. 44(10), p.1157-1180. ISSN: 0008-3674. DOI: 10.1139/T07-034.
- CERQUEIRA, J. L. R. P (2006). *Estudo radiometeorológico da região Amazônica*. Tese (Doutorado). Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 261p.
- CIRAM (2016). *As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina: um estudo de caso visando à melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos*. (Nota Técnica). Centro de Informações de Recursos Ambientais e de hidrometeorologia de Santa Catarina. Disponível em: http://www.ciram.com.br/ciram_arquivos/arquivos/gtc/downloads/NotaTecnica_SC.pdf Data e hora da consulta: 7 de junho de 2016 às 22:30.
- CPRM (2016). *Mapa geológico do estado de Santa Catarina*. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Serviço Geológico do Brasil, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Ministério de Minas e Energia. Disponível em: http://geobank.cprm.gov.br/pls/publico/geobank.download.downloadlayouts?p_webmap=N&p_usuario=1 Data e hora da consulta: 10 de junho de 2016 às 10:40.
- DNIT (2006). *Manual de pavimentação*. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES – 3ª ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 274p.
- DIXON, N.; SPRIGGS, M. (2007). *Quantification of slope displacement rates using acoustic emission monitoring*. Canadian Geotechnical Journal, Vol.44(8), pp.966-976. ISSN: 0008-3674; E-ISSN: 1208-6010 ; DOI: 10.1139/T07-046.
- DUNNICLIFF, J. (1988). *Geotechnical instrumentation for monitoring field performance*. Assistance of G. E. Green. John Wiley and Sons, Inc. New York, USA, 577p.
- EBERHARDT, E. (2008). *Twenty-ninth Canadian Geotechnical Colloquium: The role of advanced numerical methods and geotechnical field measurements in understanding complex deep-seated rock slope failure mechanisms*. Canadian Geotechnical Journal v. 45(4), pp.484-510. ISSN: 0008-3674. E-ISSN: 1208-6010. DOI: 10.1139/T07-116.
- GEOBRUGG (2016). TECCO System: Desenhos do sistema. Disponível em: <https://www.geobrugg.com/pt/TECCO-SYSTEM3-21889.html> . Acesso em Junho/2016.
- G4U ENGENHARIA (2010). MC-07-101-SC-140-7-C05-001 - Projeto de CONTENÇÃO – Memória de Cálculo da CONTENÇÃO de Estrutura de Corte no km 140+700 da Rodovia BR-101/SC.
- INMET (2016). Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> Data e hora da consulta: 7 de junho de 2016 às 23:35.
- LAZARIM, T. P. (2012). *Caracterização geotécnica e retroanálise da ruptura de um talude rodoviário – BR-101, Santa Catarina*. Trabalho Final de Curso. Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil, 79p.

- LEUNG, A. K.; SUN, H. W.; MILLIS, S. W.; PAPPIN, J. W.; NG, C. W. W.; WONG, H. N. (2011). *Field monitoring of an unsaturated saprolitic hillslope*. Canadian Geotechnical Journal, v. 48, (3), p. 339-353 ISSN: 0008-3674 DOI:10.1139/T10-069.
- LI, A. G.; G YUE, Z. Q; THAM, L G. ; LEE, C. F.; LAW, K. T. (2005). *Field-monitored variations of soil moisture and matric suction in a saprolite slope*. Canadian Geotechnical Journal, v. 42 n. 1, p. 13-26. ISSN: 0008-3674 DOI: 10.1139/T04-069.
- LIM, T. T; RAHARDJO, H. ; CHANG, M. F. ; FREDLUND, D. G. (1996). *Effect of rainfall on matric suctions in a residual soil slope*. Canadian Geotechnical Journal, Vol.33(4), pp. 618-628. ISSN: 0008-3674; E-ISSN: 1208-6010 ; DOI: 10.1139/T96-087.
- LOPES, A. P. (2008). *Geologia do Complexo Camboriú - Santa Catarina*. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências. São Paulo, SP, Brasil, 119p.
- MARINHO, F. A. M. (2005). *Os solos não saturados: Aspectos teóricos, experimentais e aplicados*. Texto (Livre-Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 201p.
- PRETTO J. H. F. (2014). *Análise de tensão × deformação de uma encosta natural. Estudo de caso: Morro do Boi - Balneário Camboriú/SC*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 129p.
- SESTREM, L. P. (2012). *Concepção e implantação de um plano de instrumentação para avaliação das condicionantes geotécnicas de uma encosta litorânea*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil, 195p.
- SESTREM, L. P.; KORMANN A. C. M.; PRETTO J. H. F.; MARINHO F. A. M. (2015). *Precipitation influence on the distribution of pore Pressure and suction on a coastal hillside*. Soils and Rocks, São Paulo, SP, Brasil, 38(1): 81-92.
- SILVEIRA, J. F. A. (2006). *Instrumentação e segurança de barragens de terra e enrocamento*. Oficina de Textos, 1ª ed. São Paulo, SP, Brasil, 416p.
- SIMEONI, L.; MONGIOVÌ, L. (2007). *Inclinometer monitoring of the Castelrotto Landslide in Italy*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 133(6):653-666. ISSN: 1090-0241. DOI: 10.1061/ASCE1090-02412007133:6653.
- TOMMASI, P.; BOLDINI, D.; CALDARINI, G.; COLI, N. (2013). *Influence of infiltration on the periodic re-activation of slow movements in an overconsolidated clay slope*. Canadian Geotechnical Journal, v. 50(1), p.54-67. ISSN: 0008-3674. DOI: 10.1139/cgj-2012-0121.
- ZHAN, T. L. T. ; NG, C. W. W. ; FREDLUND, D. G. (2007). *Field study of rainfall infiltration into a grassed unsaturated expansive soil slope*. Canadian Geotechnical Journal, v. 44, (4), 2007, APR, p. 392-408. ISSN: 0008-3674. DOI: 10.1139/T07-001.