

Do diagnóstico a intervenções emergenciais para estabilização de uma área urbana de 17 ha em Gramado/RS

Eduardo Bonow Simões, Me
Engenheiro Civil, BSE Engenharia Geotécnica e Ambiental, Porto Alegre, Brasil,
eduardo@bseengenharia.com

Luiz Antonio Bressani, PhD
Engenheiro Civil, BSE Engenharia Geotécnica e Ambiental, Porto Alegre, Brasil,
luiz.bressani@bseengenharia.com

RESUMO: Este artigo apresenta os resultados de uma ampla investigação de subsolo (sondagens mecânicas e elétricas), monitoramento dos movimentos superficiais e do subsolo e as poropressões de um loteamento localizado na Rua Augusto Orlandi no município de Gramado/RS. O processo de diagnóstico e monitoramento iniciado em janeiro de 2024, permitiu a proposição de ações emergenciais de intervenção, em resposta aos movimentos de massa ocorridos após o evento climático extremo de maio/2024 ocorrido no estado do Rio Grande do Sul. Foram implantadas diversas tipologias de drenagem (valas de drenagem profundas, poços de bombeamento e drenos horizontais profundos), tanto no próprio loteamento, como em áreas laterais não ocupadas. A implantação das obras de drenagem, ajustadas a partir dos dados de monitoramento (utilizando metodologia do Método Observacional) obteve bons resultados na mitigação e controle dos danos causados pelo movimento de massa. O monitoramento também identificou movimentos cíclicos do terreno, de magnitudes variáveis ao longo da encosta (em geral centimétricos), e com movimentos correlacionáveis ao regime pluviométrico da região.

PALAVRAS-CHAVE: Investigação Geotécnica, Monitoramento, Instrumentação, Drenagem, Método Observacional.

ABSTRACT: This article presents the results of a comprehensive subsoil investigation (mechanical and electrical surveys), monitoring of surface and subsoil displacements and pore pressures of an area located on Rua Augusto Orlandi, Gramado/RS. The diagnosis and monitoring process, which began in January 2024, allowed the proposal of emergency actions in response to the mass movements that occurred after the extreme weather event of May/2024 in the state of Rio Grande do Sul. Several drainage typologies were implemented (deep drainage ditches, pumping wells and long horizontal drains) both inside the area itself and on unoccupied lateral areas. The implementation of the drainage works was adjusted based on monitoring data (Observational Method methodology). The drainage works obtained good results in mitigating and controlling the damage caused by the mass movement. The monitoring also identified cyclical movements of the terrain, of varying magnitudes along the slope (generally centimetric), and with displacements correlated to the region's rainfall regime.

KEYWORDS: Geotechnical Investigation, Monitoring, Instrumentation, Drainage, Observational Method, Landslide.

1 INTRODUÇÃO

Os eventos climáticos extremos com volumes de precipitação históricas que aconteceram no ano de 2023 no Rio Grande do Sul, especialmente as chuvas concentradas nos dias 18 a 23 de novembro/23, resultaram em movimentos de massa de diversas magnitudes em várias localidades do Município de Gramado/RS, tanto na área urbana como na área rural. A região da Rua Augusto Orlandi, no Bairro Várzea Grande, foi diretamente afetada com o aparecimento de trincas em diversas edificações, rupturas das tubulações de água/esgoto, desalinhamentos de meio-fios e algumas grandes deformações (degraus e ressaltos) no relevo, especialmente ao sul do eixo principal. Entre novembro de 2023 e maio de 2024, diversas atividades

de investigação e monitoramento do maciço da área foram realizadas, de forma a compreender as condições de contorno relacionadas ao problema geotécnico, tais como, geometria, estratigrafia, resistência dos materiais e condicionantes de poropressão. Em maio de 2024, após um novo evento histórico climático de magnitude ainda maior que as ocorridas em Nov/23 (138mm/24h), com volumes de chuva que somaram ~690mm em 12 dias, o Loteamento teve seus movimentos reativados. Tendo em vista o conhecimento que já havia sido obtido do problema, e as investigações que estavam em andamento, foi proposta ao Poder Público Municipal e moradores a implantação de uma sequência de ações emergenciais utilizando o chamado Método Observacional. Esse método conforme descrito por Terzaghi e Peck (1948) e Peck (1969) decorre das incertezas existentes nos projetos geotécnicos, e fornece condições de trabalhar com segurança e economia apoiadas no monitoramento das obras, de forma a observar o comportamento das estruturas (ou taludes naturais) e adaptar as intervenções às respostas do problema. Nesse caso, o método foi aplicado em uma situação emergencial, na qual se avaliava as reduções de poropressão e desaceleração dos deslocamentos do terreno, enquanto eram executadas obras de drenagens profundas através de trincheiras drenantes, poços de bombeamento e drenos horizontais profundos (DHPs).

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de encosta da Rua Augusto Orlandi e o entorno encontram-se no sopé Sudeste de uma grande escarpa, tendo uma inclinação média de 9-11 graus. A região de estudo é caracterizada por um relevo ondulado típico de depósitos coluvionares superficiais, formados por materiais das cotas mais altas transportados por gravidade. O limite Oeste da rua encontra-se próximo da cota 695m, enquanto a parte baixa, próximo da Rua Miguel Tissot, está na cota 590m (105m de desnível). A figura 1 apresenta a ortofoto da área de estudo e as curvas de nível (5 em 5m).

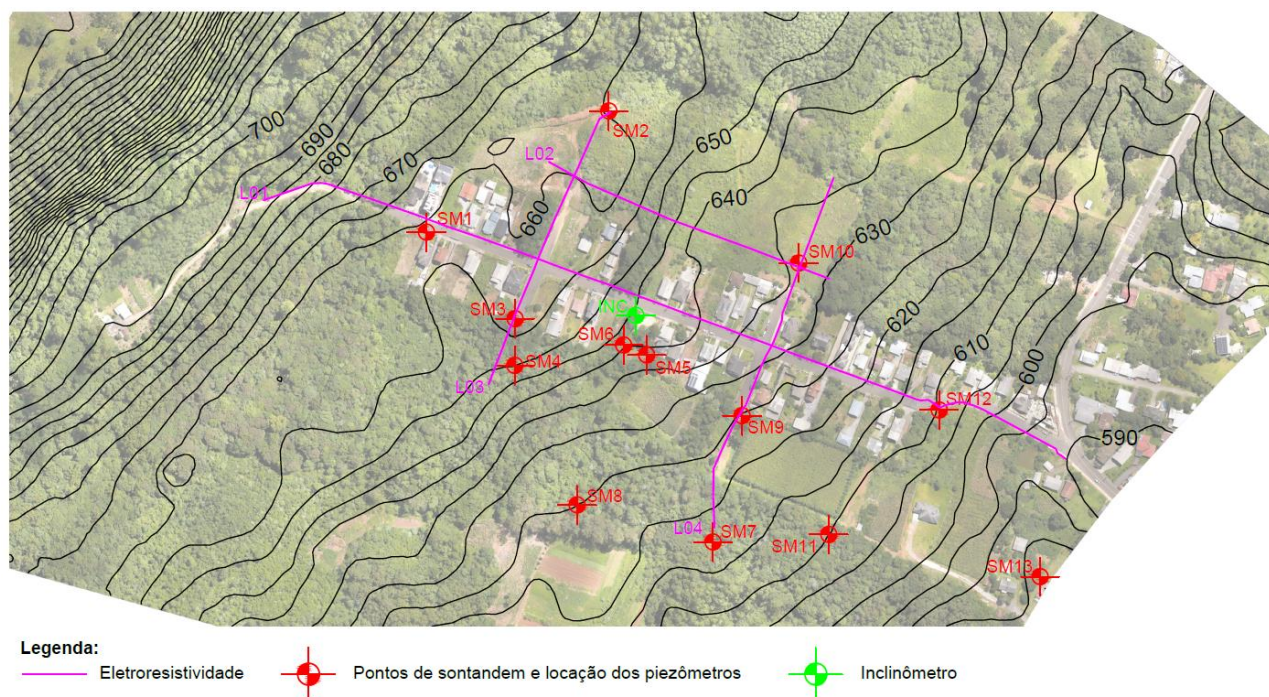


Figura 1. Ortofoto, curvas de nível e localização das investigações

Os movimentos de terra observados no Loteamento Orlandi apresentam uma cinemática relativamente complexa, apresentando movimentos parciais transitórios e multidirecionais. A partir do mapeamento de trincas e deformações destacados na figura 2, esses movimentos podem ser divididos em pelo menos dois conjuntos / direções diferentes (L-Oeste e N-Sul). Após o grande evento de chuva da semana 29/04 a 05/05/24, foi constatada uma aceleração de movimentos já existentes com trincas e deformações acentuadas, e o surgimento de diversos indícios novos. O movimento mais evidente, inicialmente ao longo do eixo da Rua Augusto Orlandi, deslocou vários centímetros, com abertura de trincas na parte superior do loteamento e movimentos

de compressão no pé da ruptura, com levantamento do pavimento entre a primeira transversal e a curva existente na rua principal (entre as cotas 612 e 620m). O segundo grande movimento, com direção N-S, apresentou deslocamentos laterais e verticais de grande magnitude, com abertura de trincas junto da borda sul do loteamento (a esquerda de quem sobe a Rua A. Orlandi), com até 1,5m de rejeito. Na figura 2 estão marcadas diversas trincas mapeadas as quais apresentam um formato côncavo clássico, atravessando a praça de recreação infantil e pelo menos 3 outros lotes. Um compilado de registros fotográficos dos danos na área são apresentados na figura 3.



Figura 2. Mapeamento de trincas e patologia em edificações



Figura 3. Registros fotográficos dos danos (trincas do terreno com rejeito, rachaduras em paredes e desalinhamento de pilares)

3 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

Durante os trabalhos foi realizada uma extensa campanha de investigação geotécnica utilizando: (i) sondagens mistas (SPT e rotativa); (ii) trincheiras rasas; (iii) caminhamento elétrico – eletroresistividade; (iv) monitoramento de deslocamentos superficiais e subsuperficiais; (v) monitoramento das poropressões. Importante destacar que o monitoramento geotécnico também foi utilizado como ferramenta investigativa complementar, ajudando a compreender e relacionar os deslocamentos com a estratigrafia e condições de poropressão.

Foram realizados 14 furos de sondagem e 4 caminhamentos elétricos, conforme planta da figura 1, sendo que em 12 furos de sondagem foram instalados piezômetros de câmara simples, e 01 tubo de inclinômetro com 20,5m de comprimento. Sobre estas investigações, destacam-se:

a) as sondagens acima da segunda transversal, isto é, na parte superior do loteamento e próximo da escarpa rochosa a Oeste do bairro, indicaram a presença de uma pequena camada de solo coluvionar (2-3m) seguida de uma camada de argila marrom, pouco siltosa, com baixa resistência à penetração (N_{spt} inferior a 07 golpes na SM03, mas com valores de apenas 01 golpe em SM02). Este mesmo material foi encontrado em outras sondagens, definindo uma camada argilosa que se estende subparalela à superfície em grande parte do loteamento, predominando na área centro-sul do loteamento.

b) Abaixo dessas camadas de materiais moles, há uma transição para materiais mais resistentes (camadas finas de solos residuais e rochas alteradas), até serem encontradas camadas de rocha menos alterada. Entretanto, os furos SM01 e SM02, foram executados com até 24m passando por diversas lentes de rocha alterada, fragmentada e de baixa recuperação. Esta informação foi condizente com o caminhamento elétrico CE01 (figura 4) realizado ao longo do eixo da rua, no qual foi identificado na porção mais alta, a Oeste, a presença de um grande falhamento.

c) Na parte intermediária do loteamento (entre a segunda transversal e a curva localizada na cota 613m), foram encontrados materiais argilosos moles com espessuras entre 5,0 e 8,0m (furos SM05 e SM09), em cotas mais profundas, o que tem grande importância na estabilidade. Nesta área, a abrangência da camada alcança porções mais ao Norte, conforme dados da sondagem SM10. Além disto, é importante destacar que esta camada é mergulhante no sentido NO para SE. A figura 5 apresenta essa camada ao longo do eixo da rua, bem como, o aspecto visual obtido do testemunho direto do amostrador. Sondagens executadas abaixo da cota 617m encontraram perfis de solos mais resistentes, com valores de N_{spt} crescentes com a profundidade ao longo do perfil, e com uma camada de rocha alterada impenetrável a percussão em profundidades menores (7,0 – 7,5m).

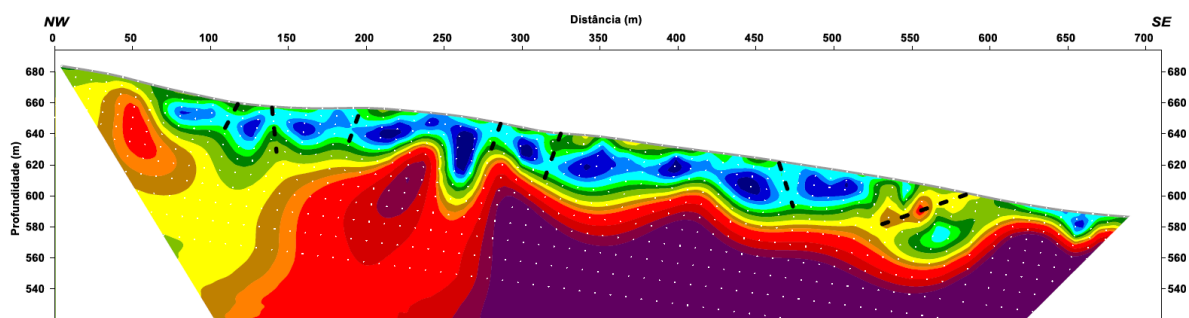


Figura 4. Caminhamento elétrico CE01

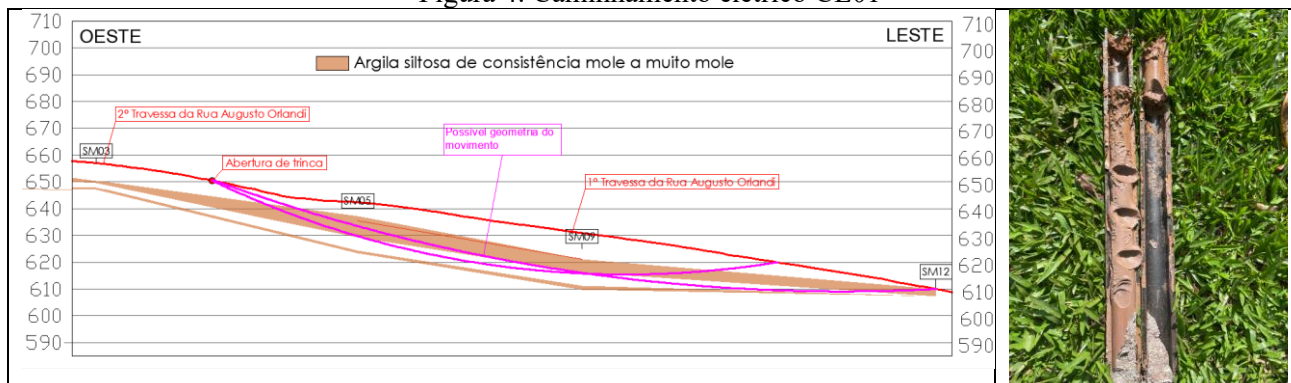


Figura 5. Camadas de baixa resistência e consistência ao longo da rua principal.

Em relação às condicionantes de poropressão, toda a região do entorno da Rua Augusto Orlandi é caracterizada pela presença de zonas úmidas e linhas de drenagens naturais próximas às edificações. Estas drenagens proveem de uma grande área de contribuição a NO do loteamento. Este condicionante geohidromorfológico origina fluxos d'água superficiais e subsuperficiais de sentido NO-SE. As camadas superficiais, caracterizadas por depósitos de alta porosidade e permeabilidade (talús e colúvios) tem influência direta na formação de níveis d'água transitórios mais superficiais, identificados visualmente em campo. Parecem ter influência também no aumento das poropressões em camadas mais profundas, o que é crítico na estabilidade da área, conforme observado na instrumentação (piezômetros). Ademais, as camadas de solos argilosos de consistência mole, levam à formação de um segundo nível d'água, suspenso, como pode ser observado através do piezômetro PZ06, instalado na camada de argila siltosa marrom mole a 10,0m de profundidade. E por último, há um terceiro nível d'água sobre materiais menos permeáveis. Dessa forma, foi identificado no loteamento a presença de pelo menos 03 níveis d'água (i) um superficial transitório; (ii) um intermediário, sustentado sobre a camada de argila siltosa de consistência mole e (iii) um profundo, acima do topo rochoso.

4 MONITORAMENTO GEOTÉCNICO

Conforme destacado anteriormente, a instrumentação foi instalada a partir de fev/24, após o evento de Nov/23. Assim, foi possível monitorar os deslocamentos superficiais, sub-superficiais e poropressões, num período anterior e posterior ao evento climático extremo de Maio/24. Os deslocamentos superficiais foram medidos por topografia, através de uma rede de mais de 50 pontos de controle (marcos, piquetes e alvos topográficos espalhados pelo bairro). Na figura 6 é apresentada a vetorização em planta dos deslocamentos da primeira medição após evento de Maio/24, na qual foram registrados deslocamentos horizontais de até 60 cm e recalques de até 30cm. Em relação às poropressões, observa-se de forma geral um aumento das poropressões em uma faixa de 1,0 a 3,0 m.c.a. Chama-se a atenção para o instrumentos PZ06, cuja câmara está localizada na camada de argila de consistência mole, no qual houve um acréscimo de 4,20 m.c.a de pressão. A figura 7 apresenta os registros do monitoramento dos piezômetros ao longo do tempo, com a marcação dos eventos e períodos de chuva acima dos níveis normais.

É digno de nota que, durante os dias 29/04 e 05/05/24, estava sendo executada a perfuração para instalação de um tubo de inclinômetro na área central do loteamento. Em face dos movimentos daquele período e por decorrências tais como ausência de acessos e risco de operação, a instalação do instrumento foi concluída somente em 20/05, com 20,5m de profundidade. E logo nas primeiras medidas deste instrumento já foi possível observar o acúmulo de deformações na camada mole existente entre 10 e 15m de profundidade. A figura 8 (gráficos da esquerda) apresentam as medidas no período de 21/05 a 07/06/2024.

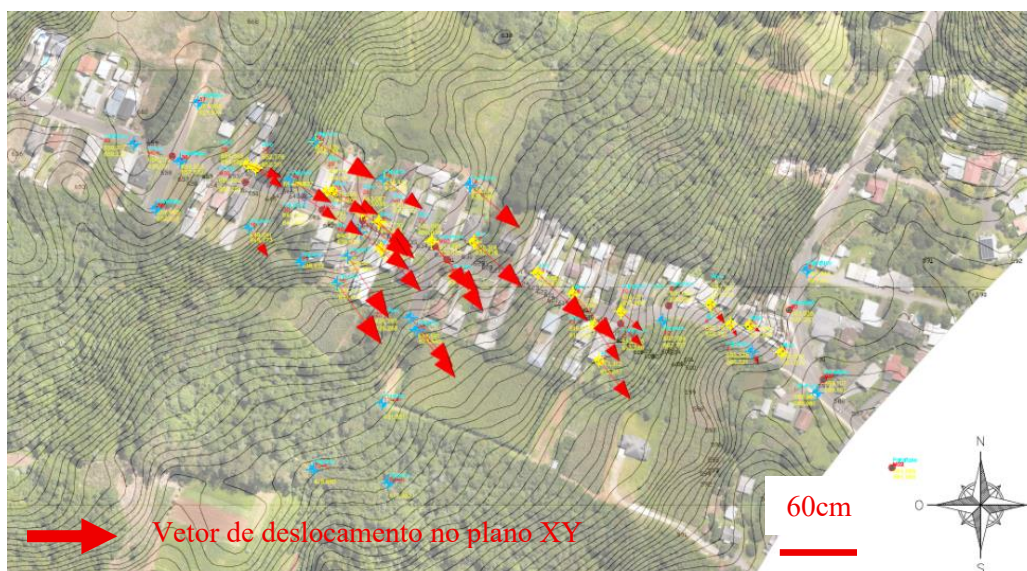


Figura 6. Vetorização dos deslocamentos após evento de Maio/24.

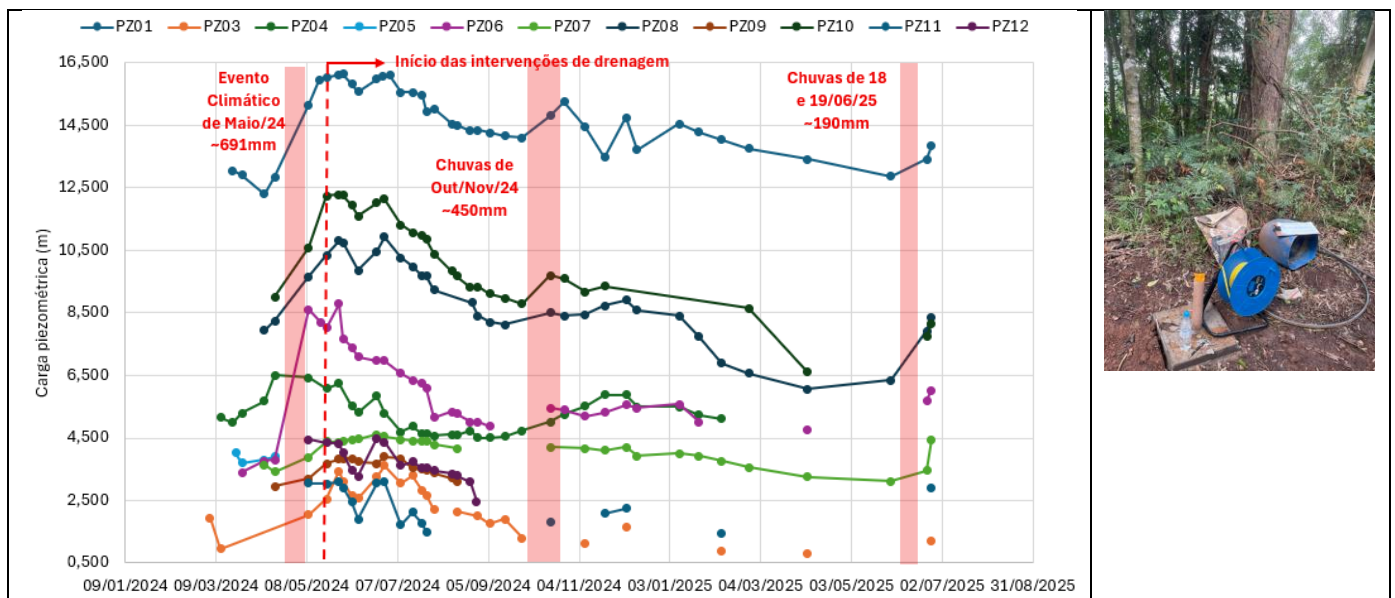


Figura 7. Piezometria (dados de Fev/24 a 20/05/24)

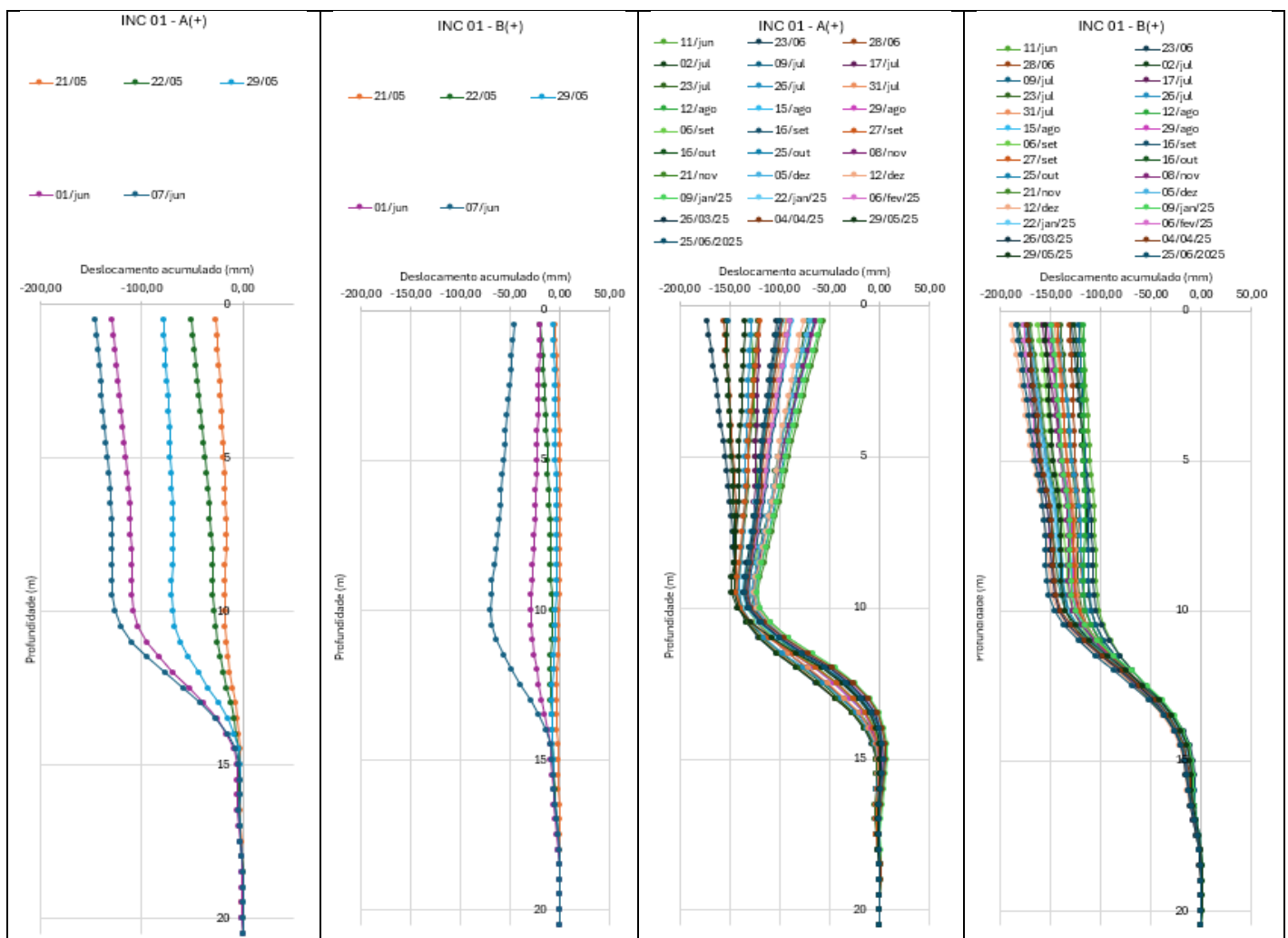


Figura 8. Inclínômetro INC-01 – medidas de 21/05 a 07/06/24 (gráficos a esquerda) e após 11/06/24 a partir das intervenções emergenciais (gráficos da direita)

5 MEDIDAS EMERGENCIAIS – MÉTODO OBSERVACIONAL

Considerando a situação crítica do loteamento em virtude dos elevados deslocamentos que ocorreram nos primeiros dias de maio/24, foi proposto pelos autores que fossem implantadas uma série de medidas emergenciais com base no Método Observacional. Esta decisão foi discutida em reuniões com a prefeitura de Gramado e com a comunidade dos moradores, em junho/25, sendo aprovada a implantação de soluções emergenciais de drenagens. Tendo em vista o entendimento já existente do mecanismo geotécnico e a existência de uma ampla rede de monitoramento de poropressões e deslocamentos, as obras tiveram um plano inicial que foi sendo ajustado conforme a resposta da instrumentação (piezômetros e deslocamentos).

Dentro desta linha de trabalho, foram implantadas drenagens subsuperficiais profundas no entorno do loteamento, com até 10m de profundidade. Na fase inicial foram escavadas valas abertas, poços de bombeamento com até 14 m de profundidade e, numa segunda fase, drenos horizontais profundos com até 50 m de comprimento. Em abril de 2025, as valas foram transformadas em trincheiras drenantes (preenchidas com material drenante -areia, brita e rachão, e tubos perfurados de 0,20m de diâmetro). Com isto foi possível drenar as camadas de interesse, reduzindo as poropressões e obtendo uma visível desaceleração dos movimentos. A figura 9 apresenta em planta baixa a locação das estruturas e dois dos três tipos de drenagem em operação. A instrumentação apontou uma redução nas poropressões de forma imediata e cumulativa ao longo do processo de instalação das drenagens, associada a uma redução nas velocidades de deslocamento.

A figura 10 apresenta um gráfico-resumo das medidas do monitoramento topográfico ao longo dos meses, na qual se observa estabilização dos deslocamentos em grande parte da área. O inclinômetro localizado no centro do loteamento também apresentou redução de velocidade, e estabilização em longo prazo, conforme gráficos apresentados na figura 8 (lado direito). Por outro lado, embora os piezômetros tenham registrado tendência de redução de poropressão com a implantação das drenagens, cabe destacar a elevação de poropressões em duas ocasiões. No período de Out-Nov/24, quando no município de Gramado houve o registro de aproximadamente 450mm de chuva em 30 dias (valores de duas a três vezes acima da média mensal), e no período de 18 e 19/06/25, quando ocorreu novamente uma chuva de grande intensidade (com 189mm em 24h). Por outro lado, embora esse último evento tenha tido maior magnitude do que o evento de Nov/23, com grandes danos iniciais, desta vez não houve registros de movimentação no loteamento. A indicação dos períodos e eventos críticos de chuva ocorridos após a implantação da drenagem e a série histórica das cargas hidráulicas medidas ao longo do tempo pode ser vista na figura 7.



Figura 9. Locação das estruturas de drenagem dentro do loteamento (poços e DHPs), e trincheiras no entorno

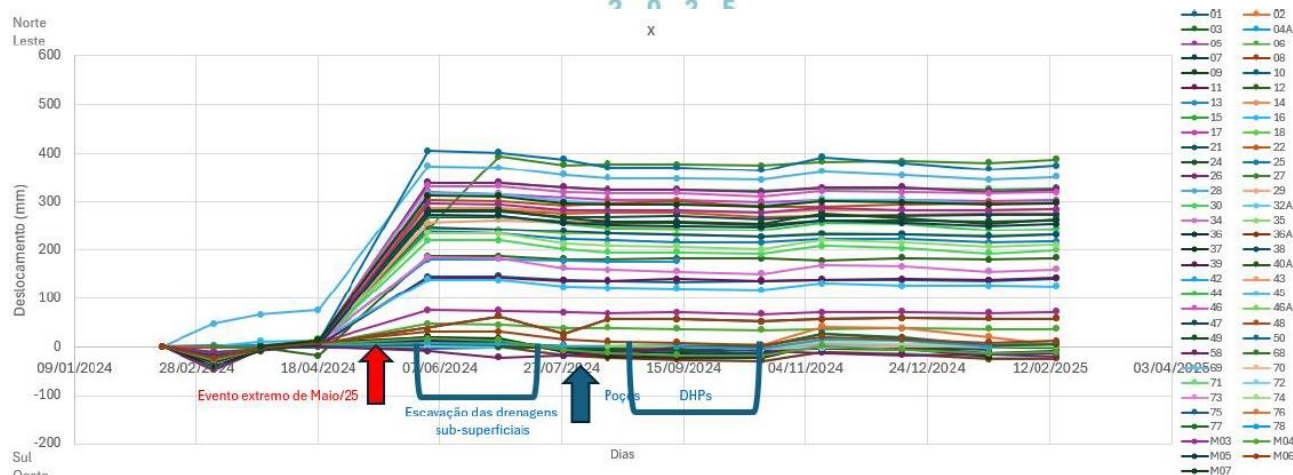


Figura 10 – Série histórica para deslocamentos sentido N-S de diversos marcos de controle.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O evento climático extremo de Maio/24 impôs à comunidade geotécnica o desafio de propor soluções a diversos e grandes problemas, envolvendo populações, residências e infraestruturas, em tempo muito exíguo e, em muitas regiões, simultaneamente. A estabilização do Loteamento Orlandi, com 6,5ha de área ocupada (17ha total) e cerca de 90 famílias atingidas, foi obtida através da implantação de obras drenagem emergenciais, evitando danos de maiores proporções e perdas econômicas relevantes para a comunidade local. O Método Observacional se mostrou uma ferramenta eficaz nesse caso atípico, pela rapidez da intervenção e obtenção de bons resultados, num curto período de funcionamento, sendo que a resposta adequada perante grandes chuvas já tem sido testada. Neste caso, o uso do método foi possível pela existência de uma ampla rede de monitoramento topográfico e piezométrico (trabalho iniciado em fev/24), bem como a compreensão prévia do problema geotécnico. A validação das soluções de estabilização a longo prazo dependerá do monitoramento continuado por, ao menos, mais um ciclo hidrológico de grande intensidade.

AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos a toda equipe da Secretaria do Meio Ambiente e Secretaria de Obras do Município de Gramado/RS e demais técnicos do Município que ofereceram todo apoio técnico e institucional que permitiu a execução das obras emergenciais com celeridade e assertividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Peck, R. (1969). Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics. Géotechnique 19, The Institution of Civil Engineers, London. No. 2, pp. 171-187.
- Terzaghi, K., Peck, R. (1948). Soil mechanics in engineering practice. Wiley, New York.