XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.4/41

Avaliação Preliminar de Estabilidade e Definição de Soluções Provisórias para Escavações em Faixa de Dutos Sujeita à Movimentação de Rastejo

Brunella Casagrande
Engenheira Geotécnica Jr. III, ALTA Geotecnia Ambiental, Cachoeiro de Itapemirim, Brasil, brunella.casagrande@altageotecnia.com

Caio Duque Estrada Amendola
Líder da Célula de Infraestrutura Civil e Energia, ALTA Geotecnia Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil, caio.amendola@altageotecnia.com

Alvaro Viana
Diretor-Executivo, ALTA Geotecnia Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil, alvaro.viana@altageotecnia.com

Tácio Mauro Pereira de Campos
Líder Técnico, ALTA Geotecnia Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil, tacio.campos@altageotecnia.com

Luis Guilherme Faria Alves
Engenheiro Civil, ALTA Geotecnia Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil, luis.farias@altageotecnia.com

RESUMO: O presente artigo apresenta um caso de movimentação lenta do tipo rastejo afetando uma faixa de dutos enterrados. As análises foram fundamentadas em levantamento planialtimétrico detalhado, inspeções de campo, sondagens de simples reconhecimento com SPT, interpretação de dados de deformação do duto e modelagem numérica. O maciço é caracterizado por horizonte superficial de baixa resistência sobre camadas mais competentes, configurando condição suscetível a deformações progressivas. As análises de estabilidade e de contenção mostraram que a execução da vala de acesso ao duto exige controle rigoroso de deslocamentos laterais para que não haja agravamento no quadro de movimentação. Para isso, foi concebido um sistema de escoramento provisório constituído por cortina de estacas-prancha metálicas, escoradas por estroncas e longarinas, dimensionado para diferentes cenários de escavação e assimetria de carregamentos. Foram também avaliados os riscos de ruptura de fundo e ruptura hidráulica, recomendando-se o rebaixamento do nível d'água por sistema de ponteiras a vácuo e a implantação de drenagem superficial para redirecionamento de escoamentos concentrados. Definiu-se, ainda, um plano de monitoramento com inclinômetros, piezômetros, marcos superficiais e marcos de referência, destinado a acompanhar a evolução das deformações e a verificar a efetividade da medida de estabilização da contenção adotada.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade geotécnica, Movimento de massa, Rastejo, Escavação provisória.

ABSTRACT: This paper documents a case of slow, creep-driven slope deformation inducing bending strains in a buried pipeline corridor. The analyses were based on detailed topographic surveys, field inspections, standard penetration tests (SPT), interpretation of pipeline deformation data, and numerical modeling. The soil mass is characterized by a low-strength superficial stratum overlying more competent layers, resulting in a geotechnical setting prone to progressive deformations. Stability and retaining analyses indicated that excavation works for pipeline access require strict control of lateral displacements to prevent aggravation of the ongoing ground movement. Accordingly, a temporary support system was designed, consisting of a steel sheet-pile wall braced with struts and wales, designed for different excavation stages and asymmetric loading conditions. The potential for basal heave and hydraulic instability was also evaluated, leading to the recommendation of groundwater drawdown using a vacuum wellpoint system and the implementation of surface drainage. In addition, a monitoring plan was established, including inclinometers, piezometers, surface

markers, and reference benchmarks, aimed at tracking deformation development and verifying the performance of the adopted temporary stabilization measure.

KEYWORDS: Geotechnical Stability; Mass movement; Bending Strain; Temporary excavation.

1 INTRODUÇÃO

Faixas de dutos enterrados podem atravessar áreas com condicionantes geológico-geotécnicos desfavoráveis, onde processos de instabilidade podem evoluir de forma lenta e contínua (Cruden; Varnes, 1996; Hungr; Leroueil; Picarelli, 2014). O rastejo caracteriza-se por deslocamentos progressivos de pequena magnitude, porém cumulativos, capazes de induzir deformações significativas em estruturas enterradas ao longo do tempo (Varnes, 1978; Leroueil, 2001). Em termos de classificação e terminologia de movimentos de massa, o enquadramento do rastejo como processo de baixa velocidade e evolução prolongada é amplamente consolidado na literatura de referência (Cruden; Varnes, 1996; Hungr; Leroueil; Picarelli, 2014), inclusive em sínteses técnicas institucionais (USGS, 2004).

Intervenções necessárias para inspeção, reparo ou instrumentação dos dutos envolvem escavações que promovem alívio de tensões no maciço e alterações nas condições de contorno, podendo intensificar processos de instabilidade existentes e induzir deslocamentos adicionais (Clough; O'Rourke, 1990; Moormann, 2004). Nesse contexto, torna-se essencial a realização de avaliações preliminares de estabilidade e a definição de soluções provisórias de contenção que garantam a segurança operacional durante a execução das obras.

O artigo apresenta um estudo conceitual para abertura de uma vala provisória destinada à manutenção em faixa de dutos, com extensão aproximada de 160 m e profundidade máxima da ordem de 4 m, inserida em maciço com nível d'água elevado. O trecho encontra-se sujeito à movimentação lenta do tipo rastejo, o que demanda controle de deformações durante a intervenção (Varnes, 1978; Leroueil, 2001). Assim, este trabalho descreve a metodologia adotada para avaliação da estabilidade geotécnica e para a definição de soluções provisórias de contenção utilizando-se estacas-prancha, incluindo análises de estabilidade para distintos cenários de escavação e a consideração do rebaixamento do nível d'água como condição essencial para viabilizar a execução e a operação segura da vala (Cashman; Preene, 2001; Preene et al., 2000), além de consolidar os principais resultados e diretrizes técnicas associadas.

2 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO

O contexto regional indica a ocorrência de rochas ígneas intrusivas com preservação de texturas e mineralogia característica, em geral associadas a materiais de elevada coesão e resistência, baixa porosidade e boa durabilidade frente ao intemperismo.

O trecho em estudo apresentou deformação acumulada no duto da ordem de 2,1 m, identificada a partir de inspeções realizadas em setembro de 2021 e outubro de 2024, indicando que o deslocamento ocorreu no intervalo entre essas campanhas. A análise dos vetores de deslocamento evidenciou que, no plano horizontal, a deformação se desenvolveu no mesmo sentido da movimentação observada em uma cicatriz localizada a montante da faixa, enquanto, no plano vertical, as deformações se manifestaram predominantemente como elevação do gasoduto.

A proximidade espacial entre a cicatriz de movimento de massa e o segmento do duto onde se concentram as maiores deformações, aliada à tipologia da movimentação identificada, sugere relação direta entre os fenômenos, apontando para a influência de processo de instabilidade do terreno sobre o comportamento do duto (Figura *1*). Adicionalmente, observou-se que o trecho deformado recebe aportes hídricos relevantes provenientes do entorno, condicionados pela topografia local, o que pode contribuir para a redução da resistência do maciço e para a evolução de deformações progressivas ao longo do tempo. A Figura *1* evidencia as declividades, distâncias e a configuração geométrica do evento.

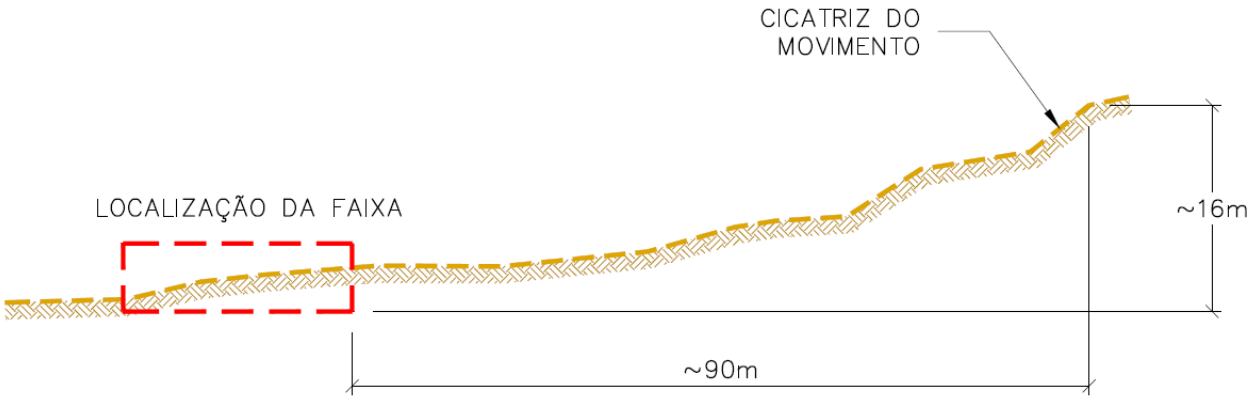


Figura 1 – Seção esquemática do terreno entre a cicatriz de movimento e a faixa de dutos.

3 DADOS GEOTÉCNICOS

Considerando o caráter conceitual do estudo e a necessidade de reconhecimento das características do solo, foi realizada campanha de investigações de campo, contemplando sondagens à percussão com SPT, com o objetivo de subsidiar a interpretação estratigráfica, a estimativa de parâmetros geotécnicos e a avaliação preliminar dos condicionantes hidrogeológicos do trecho. Os dados geotécnicos também se fundamentaram em inspeção de campo e em informações disponíveis sobre a deformação do duto, as quais permitiram identificar deslocamentos acumulados, avaliar sua evolução temporal e delimitar o trecho crítico a ser restaurado.

A caracterização geométrica do terreno foi apoiada em levantamento planialtimétrico previamente disponibilizado, utilizado para representar o relevo, estimar declividades e avaliar a relação espacial entre a faixa de dutos e feições geomorfológicas relevantes. Essas informações subsidiaram a definição dos cenários de escavação e contribuíram para a interpretação das condições de drenagem superficial e dos aportes hídricos incidentes no trecho.

De forma geral, os resultados da investigação geotécnica indicaram a presença de um horizonte superficial constituído por solos argilosos e siltosos de baixa resistência, com valores de NSPT reduzidos, sobrejacente a camadas progressivamente mais competentes em profundidade, formadas por solos de consistência rija a dura e materiais arenosos muito compactos, interpretados como transição para material residual ou alteração de rocha. Observou-se, ainda, nível d'água com profundidade típica em torno de 2 a 3 m.

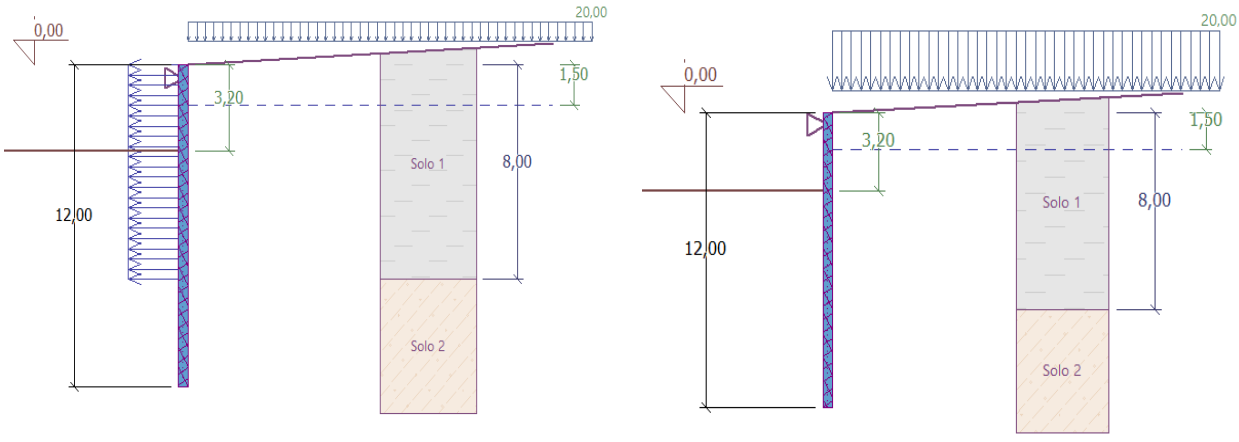
Os parâmetros geotécnicos utilizados nas análises foram estimados por meio de correlações com os valores de NSPT, adotando-se critérios conservadores, conforme prática consagrada para estimativas preliminares (Schnaid; Odebrecht, 2012). A partir dessas informações, foram definidos diferentes cenários de escavação para acesso ao duto, considerando variações de largura de vala, profundidade e assimetria de carregamentos induzida pelo processo de rastejo.

4 MODELAGEM GEOTÉCNICA E VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE

A modelagem geotécnica da contenção provisória da vala foi desenvolvida com base nas condições locais de estratigrafia, nível d'água e restrições operacionais do entorno. A interpretação das sondagens permitiu subdividir o maciço em dois horizontes geotécnicos, sendo o primeiro correspondente aos 8 m iniciais de menor capacidade de suporte e o segundo às camadas subjacentes mais competentes, além da definição do nível d'água representativo para as análises.

A estabilidade da escavação foi avaliada a partir da determinação dos empuxos atuantes e do equilíbrio global da parede da vala, com definição do comprimento de ficha necessário e de deslocamentos compatíveis com as condições de serviço.

Foram modelados cenários de escavação contemplando carregamentos assimétricos entre as faces da vala. Nos modelos foram consideradas sobrecargas de tráfego de equipamentos na borda e uma ação adicional representativa dos efeitos de rastejo no lado mais solicitado (Figura *2*).



a) b)

Figura 2 – Modelagem da solução no software Geo5. a) Lado com incidência do rastejo; b)Lado sem a incidência do rastejo.

As análises foram conduzidas no software GEO5, com etapa de pré-dimensionamento para estimativa de empuxos, equilíbrio, comprimento de ficha, forças internas e esforços nos apoios, seguida de etapa de verificação com abordagem elasto-plástica não linear para avaliação de deformações, tensões atuantes e compatibilidade dos deslocamentos com os limites operacionais e com interferências adjacentes.

Complementarmente, foram realizadas verificações específicas de estabilidade do fundo da escavação. Avaliou-se a ruptura de fundo por assimetria de carregamentos laterais com base no critério de Terzaghi (1943), evidenciando a importância do comprimento de ficha para deslocar potenciais superfícies de ruptura para camadas mais profundas e melhorar o desempenho da contenção provisória. Também foi verificado o risco de ruptura hidráulica, associado à possibilidade de condição artesiana em camadas permeáveis subjacentes quando o nível d'água externo se mantém elevado; como mitigação, previu-se rebaixamento do nível d'água no entorno e esgotamento controlado no interior da cava, reduzindo gradientes hidráulicos e aumentando a segurança durante a execução.

5 RESULTADOS DAS ANÁLISES E SOLUÇÃO

As análises conduzidas indicaram que uma alternativa adequada para o escoramento provisório das valas de acesso destinada a reparos da tubulação, é o uso de estacas-pranchas metálicas provisórias, por serem modulares, de rápida instalação e remoção, com elevada capacidade resistente e por proporcionarem melhor controle da estabilidade das paredes da escavação durante a execução (USACE, 1994; CIRIA, 2017). Foram analisadas alternativas com emprego exclusivo de estaca-prancha; contudo, devido à presença de uma camada inicial significativa de solo de baixa capacidade de suporte, esse arranjo demandaria perfis muito robustos e ficha excessivamente profunda para garantir estabilidade, ainda assim podendo resultar em deformações incompatíveis com a segurança operacional e com a preservação de estruturas e interferências adjacentes.

Como forma de reduzir deslocamentos, viabilizar perfis mais leves, diminuir comprimentos e custos e evitar energias elevadas de cravação, minimizando vibrações no entorno, recomendou-se a adoção de estroncas de apoio e longarinas na região superior da cava, aumentando a rigidez global do sistema e restringindo deformações excessivas. As soluções foram concebidas com comprimento padrão de 12 m para as estacas-pranchas, considerando empuxos assimétricos, limites de deslocamento e compatibilidade com interferências adjacentes.

As estroncas foram dimensionadas para uma mesma solicitação axial de projeto, ajustando-se diâmetro e vão em função da largura útil da vala e dos requisitos de rigidez global do conjunto (Figura *3*).

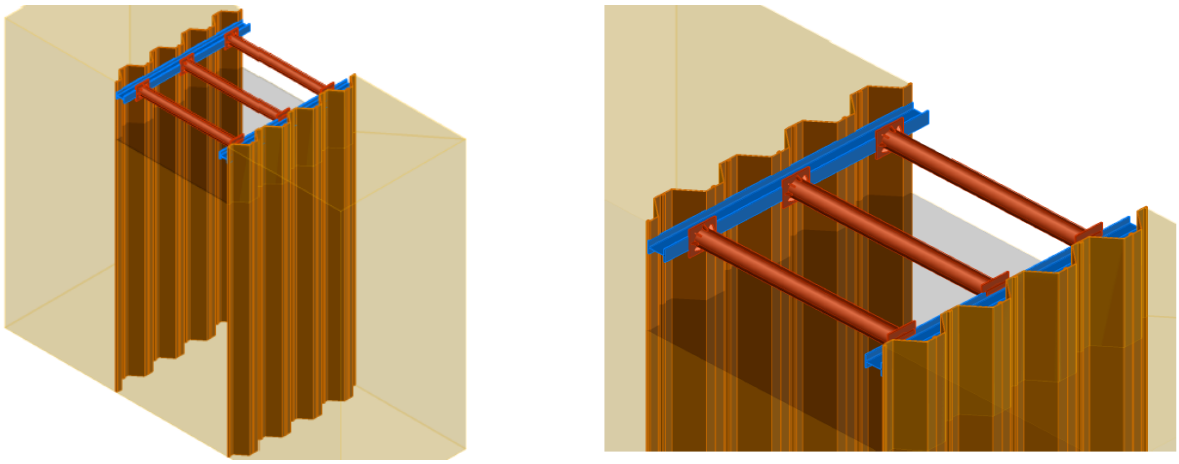


Figura 3 – Pespectiva isométrica da solução.

A estabilidade da escavação foi analisada a partir da estimativa dos empuxos mobilizados e o dimensionamento estrutural baseou-se na identificação do momento fletor máximo, associado à seção em que o esforço cortante é nulo, adotando-se o perfil de estaca-prancha de modo a atender a esse estado crítico e aos limites de resistência e deformabilidade (Figuras 4 e 5).

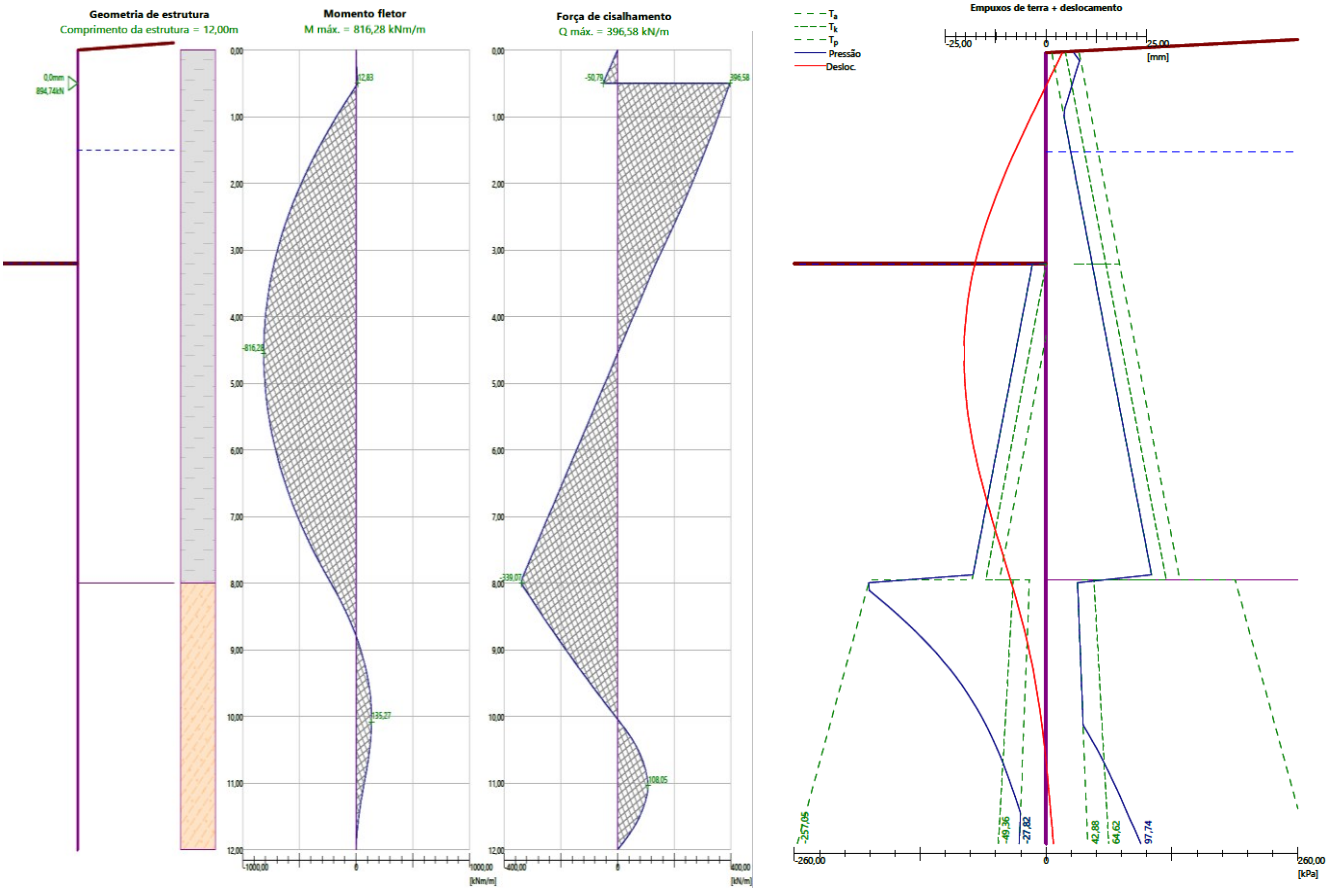


Figura 4 – Resultado das análises contemplando a incidência do rastejo.

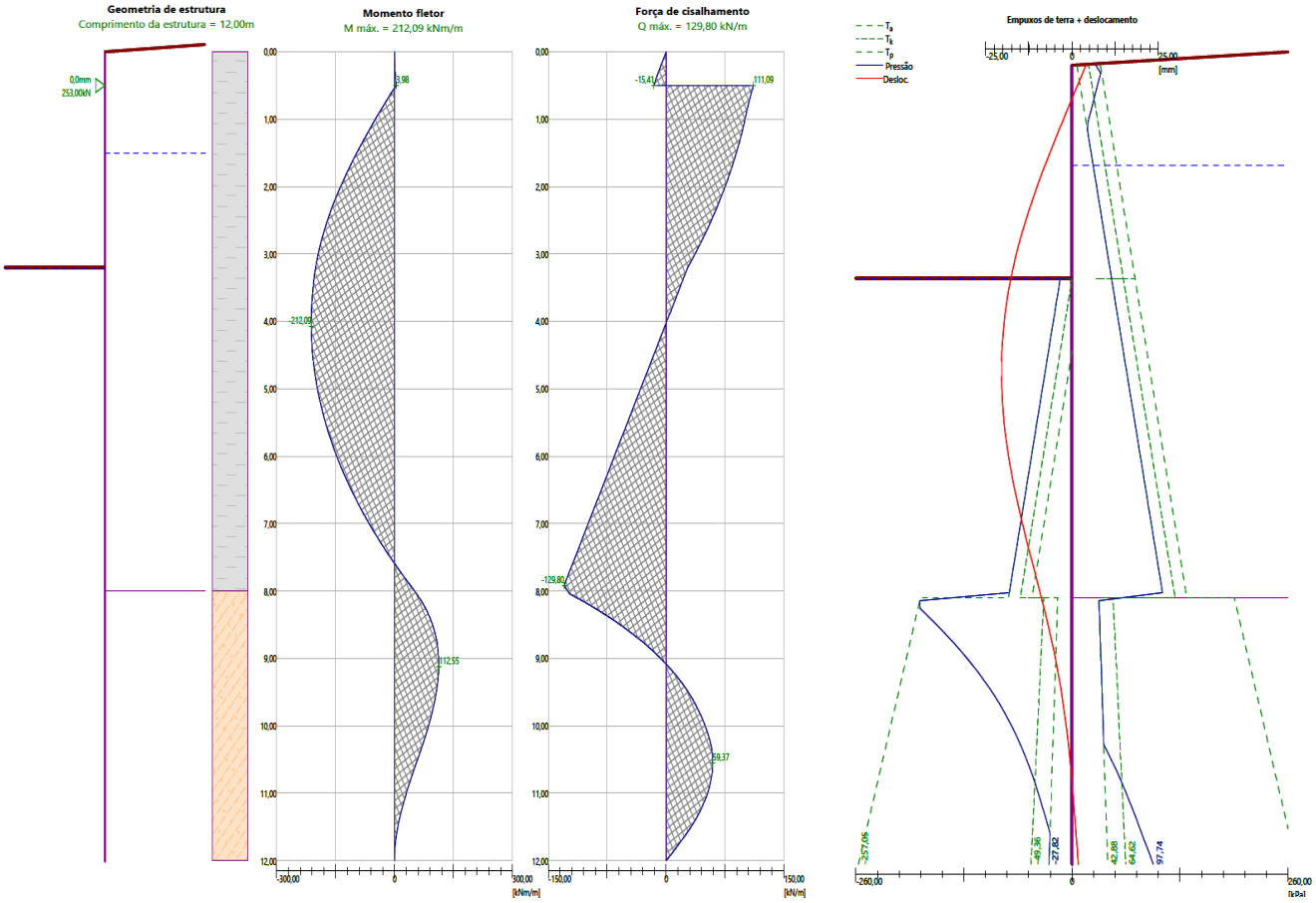


Figura 5 – Resultado das análises sem a incidência do rastejo.

A configuração final da solução, definida a partir das análises, é apresentada na Figura 6. Com base nos resultados obtidos no software GEO5, apresentados nas Figuras 4 e 5, adotou-se, para o trecho com incidência de rastejo, estaca-prancha com módulo de resistência elástico ≥ 2600 cm³/m e, para o trecho sem incidência de rastejo, estaca-prancha com módulo de resistência elástico ≥ 1730 cm³/m. As estroncas, por sua vez, foram dimensionadas para carga axial ≥ 90 tf. A configuração final adotada é apresentada abaixo.

Adotou-se ainda o rebaixamento do lençol freático por ponteiras a vácuo, a fim de manter a vala em condições de trabalho adequada. O bombeamento para esgotamento e manutenção de áreas ensecadas para permitir a correta execução dos trabalhos será constituído por ponteiras filtrantes conectadas a uma linha coletora acoplada a bomba de vácuo. A aplicação de pressão negativa induz o fluxo ascendente da água intersticial, permitindo sua captação e condução para descarte controlado. As ponteiras, executadas em PVC fendado com elemento filtrante, serão instaladas ao longo da escavação com espaçamento de 1,0 m e interligadas por mangueiras ao coletor principal. A água bombeada é transportada por linha de recalque até reservatório ou ponto de lançamento, assegurando o rebaixamento contínuo na zona escavada.

Adicionalmente, foram previstros instrumentos para monitoramento geotécnico no pós-obra, objetivando registrar a cinemática do maciço associada ao rastejo e avaliar seus impactos na integridade e estabilidade operacional dos dutos. Em função da sensibilidade do fenômeno a variações do regime de umidade e do nível d'água, prevê-se a instalação de inclinômetros para obtenção de perfis de deslocamento horizontal em profundidade, marcos superficiais e marcos de referência (benchmarks) para controle topográfico de deslocamentos, bem como piezômetros e medidores de nível d'água para acompanhamento de pressões neutras e flutuações do lençol freático. A interpretação integrada dessas séries permite identificar mudanças de tendência, estimar taxas de deformação e subsidiar a definição de medidas preventivas e corretivas.

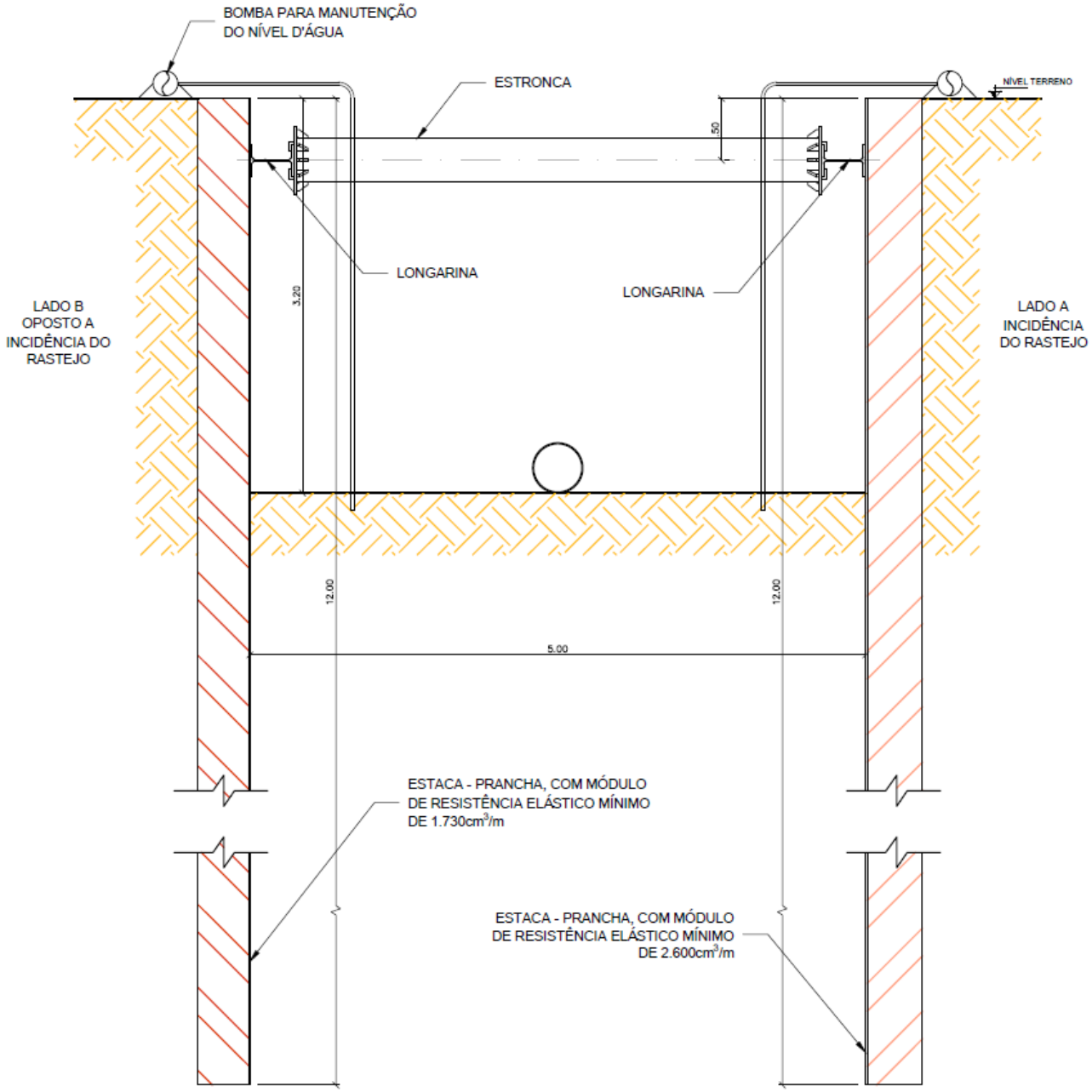


Figura 6 – Esquema de solução provisória final proposta.

6 CONCLUSÕES

As análises realizadas indicaram que o uso de estacas-pranchas metálicas provisórias constitui alternativa tecnicamente adequada para o escoramento temporário de valas de acesso destinadas a reparos em tubulações. Essa solução se mostrou vantajosa por seu caráter modular, pela rapidez de instalação e remoção, pela elevada capacidade resistente e por permitir maior controle da estabilidade das paredes de escavação ao longo da execução.

Adicionalmente, em situações com nível d'água elevado, o rebaixamento do lençol freático torna-se necessário. Nesse contexto, a utilização de ponteiras a vácuo configura alternativa adequada para manter a vala em condições satisfatórias de trabalho. O sistema de bombeamento para esgotamento e manutenção de áreas ensecadas, viabilizando a correta execução dos serviços, pode ser constituído por ponteiras filtrantes conectadas a uma linha coletora, acoplada a uma bomba de vácuo.

Por fim, a instrumentação e o monitoramento no pós-obra são fundamentais para o acompanhamento da

cinemática do maciço associada ao rastejo e de seus efeitos na integridade e estabilidade operacional dos dutos, integrando medições de deslocamentos e de pressões neutras para identificação de tendências, estimativa de taxas de deformação e suporte à definição de medidas preventivas e corretivas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ALTA Geotecnia Ambiental pela confiança depositada e pela disponibilização dos recursos necessários para a elaboração deste artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cashman, P. M.; Preene, M. J. Groundwater lowering in construction: a practical guide to dewatering. London: Spon Press, 2001.

Ciria. *C760: Guidance on embedded retaining wall design*. London: Construction Industry Research and Information Association, 2017.

Clough, G. W.; O'rourke, T. D. Construction Induced Movements in Situ Walls. in: Design and Performance of Earth Retaining Structures. New York: ASCE, 1990.

Cruden, D. M.; Varnes, D. J. Landslide types and processes. In: Turner, A. K.; Schuster, R. L. (ed.). *Landslides:* investigation and mitigation. Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council, 1996. (Special Report 247).

Hungr, O.; Leroueil, S.; Picarelli, L. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, v. 11, p. 167–194, 2014.

Leroueil, S. Natural slopes and cuts: movement and failure mechanisms. *Géotechnique*, v. 51, n. 3, p. 197–243, 2001.

Moormann, C. Analysis of wall and ground movements due to deep excavations in soft soil based on a new worldwide database. *Soils and Foundations*, v. 44, n. 1, p. 87–98, 2004.

Preene, M.; Roberts, T. O. L.; Powrie, W.; Dyer, M. R. *Groundwater control: design and practice*. London: Ciria, 2000. (Ciria C515).

Schnaid, F.; Odebrecht, E. *Ensaios de campo e suas aplicações à engenharia de fundações*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

USACE. *EM 1110-2-2504: Engineering and Design. Design of Sheet Pile Walls*. Washington, DC: U.S. Army Corps of Engineers, 1994.

USGS. *Landslide types and processes*. U.S. Geological Survey, 2004. (Fact Sheet 2004 3072).

Varnes, D. J. Slope movement types and processes. In: Schuster, R. L.; Krizek, R. J. (ed.). *Landslides: analysis and control*. Washington, DC: Transportation Research Board, 1978. (Special Report 176).