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/COBRAMSEG2026.5/95

Reforço estrutural em estação de captação de água em Lages/SC com proposta de monitoramento geológico – estudo de caso

Diogo Felipe Steinheuser, Eng. Civil
Pós-Graduado na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: eng.diogofelipe@gmail.com

Gracieli Dienstmann, Ph.D.
Docente na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: g.dienstmann@ufsc.br

RESUMO: Este artigo apresenta uma abordagem aplicada para reforço das fundações profundas de uma estrutura operacional vital, na estação da SEMASA, em Lages/SC. A intervenção envolve a execução de estacas de hélice contínua, associados a dois novos blocos de coroamento e reforços de outros dois blocos, projetados em conformidade com as diretrizes das normas ABNT NBR 6118:2024 e NBR 6122:2019. Complementarmente à solução convencional, propõe-se a integração de sistemas inteligentes de instrumentação geotécnica/geológica, gerando dados de campo provenientes de sensores como piezômetros, níveis de água, inclinômetros e pontos de monitoramento físicos. A integração entre o modelo estrutural, desenvolvido em plataforma BIM e os dados colhidos pelos sensores geológicos/geotécnicos, poderá permitir a criação de um ecossistema de dados que viabiliza simulações diagnósticas e operacionais, para as tomadas de decisões técnicas de Engenharia, elevando os padrões de controle operacional, confiabilidade do sistema e durabilidade estrutural. Este trabalho contribui para consolidar o uso de monitoramento técnico como ferramenta estratégica, fortalecendo a transição do setor geotécnico/geológico rumo à digitalização inteligente e gestão de ativos.

PALAVRAS-CHAVE: Reforço estrutural; Interação solo-estrutura; Colapso; Captação de água.

ABSTRACT: This article presents an applied approach to strengthening the deep foundations of a vital operational structure, at the SEMASA station in Lages, Santa Catarina. The intervention involves the construction of continuous helix piles, associated with two new capping blocks and reinforcement of two other blocks, designed in accordance with the guidelines of ABNT NBR 6118:2024 and NBR 6122:2019 standards. In addition to the conventional solution, the proposed solution integrates intelligent geotechnical/geological instrumentation systems, generating field data from sensors such as piezometers, water levels, inclinometers, and physical monitoring points. The integration between the structural model developed on a BIM platform and the data collected by geological/geotechnical sensors could enable the creation of a data ecosystem that enables diagnostic and operational simulations for technical engineering decision-making, raising the standards of operational control, system reliability, and structural durability. This work contributes to consolidating the use of technical monitoring as a strategic tool, strengthening the geotechnical/geological sector's transition toward intelligent digitalization and asset management.

KEYWORDS: Structural reinforcement; Soil-structure interaction; Collapse; Water catchment.

1 INTRODUÇÃO

A segurança estrutural de estações de captação de água é uma condição primária para o funcionamento adequado dos sistemas de abastecimento público. Essas construções são geralmente localizadas em áreas sujeitas a instabilidade geotécnica e variações hidrológicas, estando expostas a um conjunto de fatores que, com o tempo, podem provocar diferentes manifestações patológicas, como fissuras, recalques e até colapsos. Tais ocorrências comprometem o desempenho estrutural e reduzem a vida útil das edificações (Jessel e Jacobs, 2005; Sobral et al., 2008).

As intercorrências associadas a instabilidade da estação ERAB-03, situada no município de Lages, no estado de Santa Catarina, motivaram a elaboração do presente estudo. Na referida estação, após o colapso parcial de um muro de gabião, ocorrido em junho de 2023, houve a desestabilização de um talude lateral e recalques diferenciais no terreno. Esse movimento inesperado gerou sobrecargas nas fundações da estação, afetando pilares, vigas e lajes e provocando manifestações estruturais severas. A falha do sistema de contenção evidenciou fragilidades na interação solo-estrutura, exigindo escoramento emergencial e intervenções corretivas. Para estabilização, foram executadas estacas escavadas do tipo hélice contínua, blocos de fundação, novos arranques de pilares, além do reforço de pilares existentes e vigas, por meio do método de encamisamento em concreto armado, conforme as diretrizes das normas ABNT NBR 6118:2024 e NBR 6122:2019.

Apesar de resolverem a emergência do colapso estrutural parcial, as intervenções corretivas costumeiramente adotadas não envolvem uma análise mais abrangente da estrutura e o comportamento do solo ao longo do tempo. Em situações como essa, torna-se cada vez mais relevante adotar sistemas de acompanhamento estrutural contínuo, capazes de avaliar o desempenho em tempo real de forma mais precisa. Técnicas geofísicas, como a eletrorresistividade e a sísmica de refração, têm demonstrado eficiência no monitoramento de fundações e encostas, principalmente em áreas com risco geotécnico significativo (Canatto, 2021; Guireli Netto, 2024). Quando associadas a sistemas computacionais de modelagem estrutural, contribuem para a gestão preventiva e para a tomada de decisões técnicas com maior grau de confiabilidade.

Com base nesse contexto, este artigo apresenta o estudo de caso da estação ERAB-03, a partir da análise das patologias estruturais que motivaram a intervenção e da solução técnica adotada para sua estabilização. Além disso, discute-se a viabilidade de implantação de um sistema de monitoramento geológico/geotécnico complementar, com o objetivo de garantir a durabilidade da estrutura e prevenir novas ocorrências. A proposta inclui diretrizes para instrumentação do solo ao redor das fundações e aponta caminhos para integrar esse monitoramento a tecnologias digitais emergentes, como os gêmeos digitais, ampliando as ferramentas disponíveis para a engenharia aplicada a obras hidráulicas de médio porte, transformando intervenções estruturais convencionais em soluções preditivas e inteligentes.

2 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA, DIAGNÓSTICO E ESCORAMENTO DA ESTRUTURA

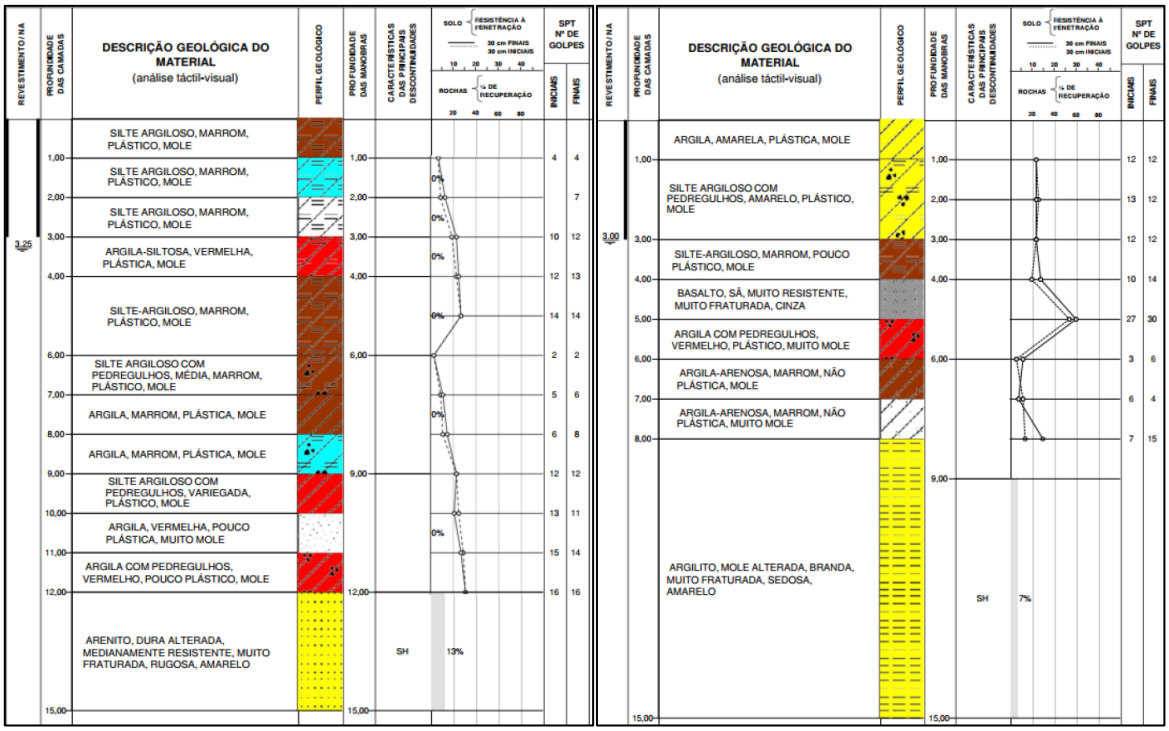
2.1 Caracterização geotécnica do local

A estação ERAB-03 está implantada em área ribeirinha com declividade acentuada, às margens do Rio Caveiras, em Lages/SC. O subsolo local é caracterizado por solos residuais heterogêneos, predominantemente argilo-arenosos, sobrejacentes a rochas sedimentares e vulcânicas altamente fraturadas, com baixos valores de RQD, indicando reduzida qualidade geomecânica. Essa condição geotécnica, associada à variação do regime de umidade, contribui para a instabilidade de taludes e justifica a adoção de soluções de fundação profunda.

As coordenadas geográficas do local são -27,8331° de latitude e -50,2686° de longitude. As fundações existentes foram constituídas de estacas armadas com 25 cm de diâmetro e 600 cm de comprimento e blocos de fundação.

2.2 Sondagem mista

Foram executadas sondagens mistas com profundidade de até 15 m, conforme NBR 6484:2020, combinando ensaios SPT (*Standard Penetration Test*) e sondagem rotativa. Ambas as sondagens demostraram a presença de solos moles nos primeiros metros, seguidos por materiais rochosos alterados com baixa resistência e elevada fraturação (Figura 1). Na sondagem SM-01 (figura 1 a) foram observadas camadas de silte-argiloso, com Nspt de 4 a 14 intercaladas com camadas de argila-siltosa e argila com Nspt de 6 a 16. Arenito com índice de recuperação de 12% foi observado na profundidade de 12m, nesta amostra tivemos o nível de água em 3,25 m. Comportamento similar de intercalação de camadas foi observado também na SM-02 (figura 1 b), com presença de argilito apontada a partir de 8m e nível de água em 3,0 metros.



(a) (b)

Figura 1. Sondagens Mistas (a) SM 01; (b) SM02

A heterogeneidade do perfil geotécnico justificou a adoção de fundações profundas para transferência de cargas a camadas mais competentes.

2.3 Ensaios de esclerometria

Foram realizados ensaios de esclerometria com esclerômetro tipo Schmidt, conforme a ABNT NBR 7584:2012, visando a avaliação da dureza superficial do concreto. Os resultados indicaram resistência média de 39,67 MPa, conforme apresentado na Tabela 1.

Para fins de análise estrutural, foi adotado valor de resistência de 25 MPa, considerando as condições reais de conservação da estrutura e critérios de segurança estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2024. Esse valor resulta em fator de segurança (FS) de 1,58, superior ao mínimo de 1,4 para verificações em estado limite último (ELU).

Tabela 1. Resultados da esclerometria

Parâmetro	Pilar antigo	Cortina	Pilar novo
Primeira soma	605	580	609
Primeira média	37,8	36,2	38,0
Limite inferior (-10%)	34,0	32,6	34,2
Limite superior (+10%)	41,6	39,8	41,8
Segunda soma	382,8	460,0	491
Segunda média	38,3	35,4	37,7
Fator de correção	0,07	0,07	0,07
Índice corrigido	40,8	37,7	40,2
Resistência obtida (MPa)	41	38	40

2.4 Projeto de escoramento

Após a inspeção e realização da perícia técnica, foi constatada a necessidade de implantação de escoramento emergencial da estrutura, com o objetivo de evitar a progressão de danos e eventual colapso global. O escoramento foi direcionado principalmente às vigas e lajes superiores, promovendo o alívio das solicitações atuantes por meio da redistribuição dos carregamentos estruturais.

Na sequência, procedeu-se ao dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais necessários à recomposição da capacidade resistente da edificação. As intervenções contemplaram a execução de estacas profundas, blocos de coroamento, pilares de arranque, além da amarração entre elementos novos e existentes, garantindo a adequada transferência de esforços. Adicionalmente, foram previstos reforços nas vigas de baldrame e nos elementos estruturais do primeiro pavimento, visando restabelecer a integridade e o desempenho global da estrutura.

O escoramento (figura 2 a) fez o uso de escoras de eucalipto com diâmetro de 10 cm, comprimento de 280 cm, calçadas sob tábuas de 1x6”, usando ripas de travamento (figura 2 b) com 1x3” a meia altura. Foram usadas guias de madeira, evitando o choque com as instalações elétricas de infraestrutura existentes.



(a) (b)

Figura 2. Imagens da execução das escoras de madeira

3 ANÁLISE, MODELAGEM ESTRUTURAL E PROJETO DE REFORÇO

A metodologia adotada de trabalho no projeto de recuperação foi dividida em duas partes principais: (1) a análise técnico-estrutural da edificação com base no diagnóstico pericial e no projeto de reforço elaborado, e (2) a proposição de um sistema de monitoramento geológico complementar, com foco na gestão preventiva da estrutura ao longo do tempo.

A primeira etapa teve início com o levantamento documental e a análise dos projetos existentes da estação ERAB-03, somada às informações obtidas em laudo técnico elaborado por equipe especializada, após a queda do muro de contenção em junho de 2023. A avaliação incluiu inspeções visuais, registo fotográfico das manifestações patológicas, mapeamento de trincas, ensaios não destrutivos com esclerômetro e modelagem estrutural com o uso do software Eberick, conforme os preceitos da ABNT NBR 6118:2024. O modelo estrutural foi comparado em dois cenários distintos: a configuração original e a condição após o colapso.

Conforme a perícia técnica, alguns pontos de falha (figura 3 a e b) foram encontrados, mostrando que a estrutura não suportou a redistribuição dos esforços oriundos da queda do muro de contenção. Essa inspeção gerou os dados para iniciar a modelagem estrutural. A Figura 4 apresentam um comparativo entre modelo e estrutura após evento (a) e a modelagem (b).



(a) (b)

Figura 3. Pontos de falha da estrutura encontrados na perícia



(a) (b)

Figura 4. Foto da obra a esquerda e modelagem estrutural a direita

Conforme a figura 5, podemos ver a tração nos pilares e vigas dessa região gerando a uma registribuição dos esforços e os colapsos mostrados na figura 3.

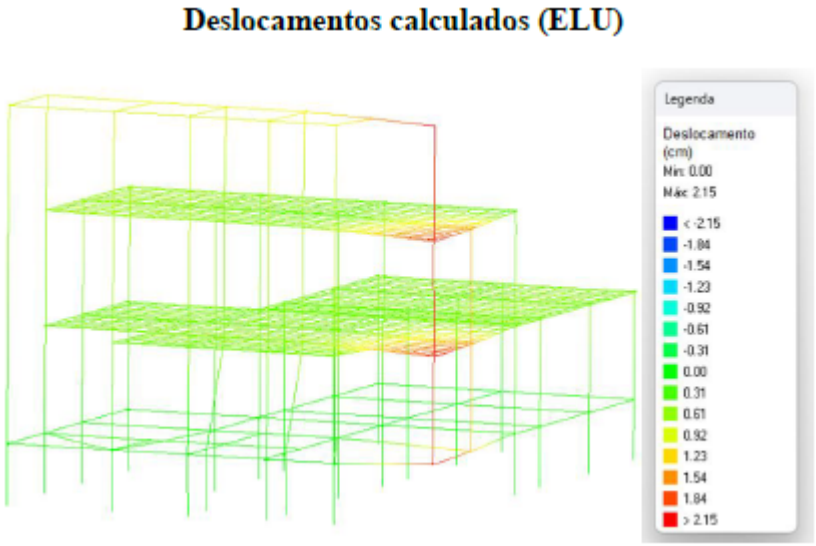


Figura 5. Deformação do modelo estrutural pós colapso

Durante a elaboração dos modelos finais, foram usados os dados de classe de agressividade ambiental do tipo II (moderada), incluindo todos os cobrimentos presentes na ABNT NBR 6118:2024, adequados a localização da área de estudo, levando em consideração que o reforço estrutural terá previsto a vida útil de 50 anos, bem como o período mínimo de carregamento dos elementos estruturais para decimbramento completo da estrutura.

Para os cálculos das fundações, foram usados os valores listados na tabela 2, analisando os valores para cálculo dos blocos de coroamento e para a carga a ser distribuída nas estacas.

Tabela 2. Valores dos pilares utilizados para cálculo

Nome	Seção (cm)	Mbd topo (kgf.m)	Mbd base (kgf.m)	Mhd topo (kgf.m)	Mhd base (kgf.m)	Carga máxima vertical (tf)
P8	21x25	271,00	238,69	866,30	1.085,88	20,07
P10	21x25	137,92	274,73	802,55	1.072,65	12,21
P11	21x25	315,00	366,55	389,71	442,12	19,99
P12	21x25	315,89	361,33	1.062,73	1.204,72	23,82

Como houve uma grande redistribuição dos esforços e alguns elementos estruturais não suportaram, foi adotado um reforço estrutural nestes elementos a fim de manter a capacidade estrutural da edificação.

3.1 Projeto de reforço da fundação

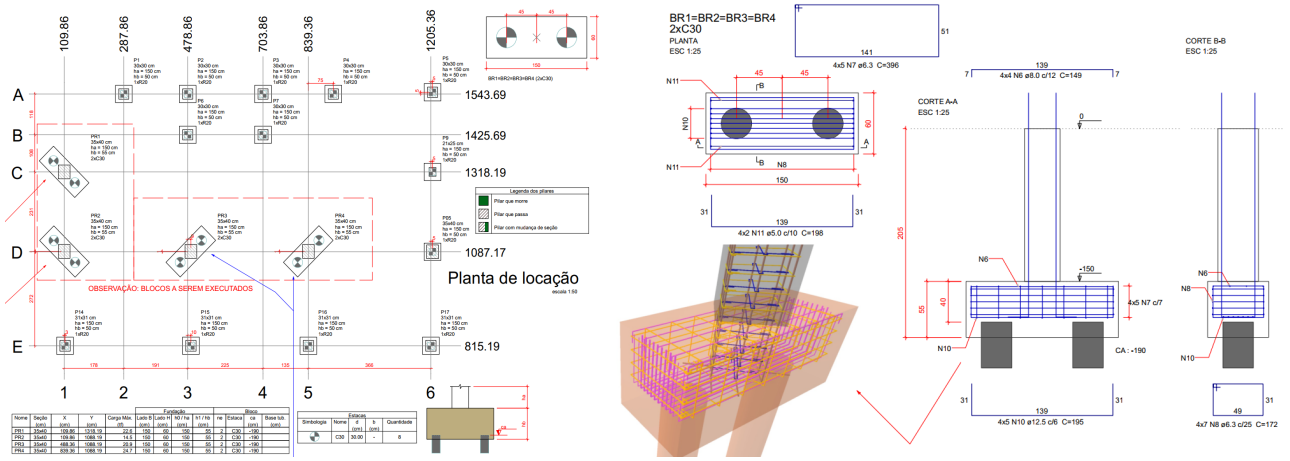
A fundação proposta para o reforço estrutural da edificação foi projetada utilizando-se estacas escavadas do tipo hélice contínua com diâmetro de 30 cm e comprimento previsto de 12 metros, visando atingir camada resistente de solo conforme investigações geotécnicas anteriores.

Foi produzido um projeto estrutural conforme a figura 2 com detalhamento das posições e arranjo das estacas e blocos de coroamento em relação aos eixos estruturais existentes da edificação, permitindo uma visualização precisa da integração com os elementos estruturais novos e já existentes. Destaca-se na legenda gráfica o posicionamento dos pilares existentes, pilares novos e pilares que sofreram alteração de seção, sendo que os pilares reforçados ganharam a nomenclatura de pilares PR1 – PR2 – PR3 – PR4. A supraestrutura não será detalhada neste artigo.

Ao todo, serão executadas 08 estacas, distribuídas em 04 blocos de coroamento (BR1 a BR4), conforme ilustrado no detalhamento técnico apresentado.

A infraestrutura foi calculada e projetada para uso de estacas hélice contínua. O cálculo das estacas foi feito com base nos valores obtidos na sondagem mista 01, com Nspt inciado em 4 e finalizando em 16, calculados camada por camada pelo método de Aoki Velloso – Padm = 26 tf para cada uma das estacas e fator de segurança de 2. As estacas devem penetrar 12 metros, conforme detalhamento da estaca. Seu diâmetro é de 30 cm, tendo com armadura longitudinal 8 barras de 8 mm e estribos transversais de 6,3 mm a cada 15 cm entre um e outro, devendo ser produzidas preferencialmente de forma helicoidal. São ao todo 8 estacas, duas para cada um dos blocos.

Os 04 blocos (BR1 – BR2 – BR3 e BR4) e devem ser executados com as dimensões de 150x60 cm, contendo 2 estacas de 30 cm cada. As estacas estão a 90 cm um da outra e deve ser travada a armadura na base do pilar novo ou existente. Para tal fim, as armaduras devem estar no nível abaixo da viga baldrame executada (para pilares existentes), fixando completamente os pilares existentes no reforço estrutural calculado. As armaduras devem ser cortadas e dobradas conforme mostrado na figura 6 b.



(a) (b)

Figura 6. Planta de locação da estrutura e detalhamento dos blocos

4. PROPOSTA DE MONITORAMENTO GEOTÉCNICO

Como medida preventiva complementar às ações de reforço estrutural, propõe-se a implementação de um sistema contínuo de monitoramento geológico/geotécnico na área da captação ERAB-03. Essa proposta contempla o acompanhamento detalhado do comportamento do maciço rochoso e dos solos adjacentes, especialmente nas regiões próximas aos antigos muros de contenção e aos novos blocos de fundação. A preocupação consiste em especificar medidores capazes de indicar a eminência de novos movimentos de instabilização do local que possam sobrecarregar a área de captação.

Os sistemas sugeridos devem ser compostos por:

- Instalação de marcos topográficos de recalque, utilizando equipamentos específicos para monitoramento preciso de deslocamentos verticais. Esses marcos devem ser superficiais de deslocamento, mantendo continuamente os pontos de referência de deslocamento para a estrutura de reforço e para o entorno. A sugestão é de que pelo menos 5 pontos sejam instalados;
- Implantação de inclinômetros digitais para a verificação contínua dos deslocamentos horizontais das camadas do solo, indicando que os medidores devem ser facilmente verificados em painel de comando pela equipe técnica da SEMASA;
- Uso de piezômetros e medidores de nível de água para acompanhamento das variações no terreno da captação, próximo ao rio e na lagoa artificial da AMBEV. Esses equipamentos também devem estar em painel visível para acompanhamento.

Esses equipamentos devem realizar medições periódicas, inicialmente com frequência semanal nos primeiros doze meses após a conclusão das obras de reforço estrutural, permitindo uma avaliação minuciosa e antecipada das condições estruturais e geotécnicas. As especificações técnicas e modelos destes equipamentos devem ser implementados avaliando a manutenção e uso destes equipamentos, levando em consideração o investimento e seu benefício versus custo de implantação para a cidade de Lages. Sugere-se também implementar a leitura desses equipamentos a toda a informação produzida no projeto em BIM, unificando um banco de dados para monitoramento. Dessa forma, todas as decisões sobre técnicas de engenharia e condições hidrogeológicas futuras, podem fazer uso desse banco de dados e serem mais assertivas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação entre os modelos estruturais evidenciou alterações significativas na distribuição de esforços após o colapso do sistema de contenção, observados que houve uma concentração muito grande de esforços nos pilares P8, P10, P11 e P12 e suas fundações, vinculados também ao comportamento de perda de rigidez do solo e um quase colapso global da estrutura. Com este contexto, a solução de reforço adotada

baseada na execução de estacas profundas associadas a blocos de coroamento, mostrou-se adequada para restabelecer a capacidade resistente da estrutura.

O estudo de caso da estação de captação ERAB-03, em Lages/SC, não apenas evidenciou a necessidade de intervenções emergenciais diante de falhas estruturais, mas também revelou um panorama mais amplo: a urgência de uma transformação cultural e tecnológica na forma como infraestruturas críticas são projetadas, monitoradas e mantidas no Brasil.

A abordagem integrada adotada combinando diagnóstico técnico aprofundado, modelagem computacional, reforço estrutural preciso e proposta de monitoramento geotécnico inteligente, representa mais do que uma solução pontual: constitui um novo paradigma para a gestão da infraestrutura pública.

Propõe-se, portanto, que metodologias semelhantes sejam incorporadas a programas de manutenção preditiva em órgãos municipais e estaduais, com incentivo à digitalização de ativos e à criação de bancos de dados estruturais e geotécnicos integrados. Além disso, deve-se incentivar a inserção obrigatória de planos de instrumentação e monitoramento em projetos financiados com recursos públicos, especialmente em estruturas de operação contínua.

Por fim, este trabalho evidencia que a confiabilidade e durabilidade de uma estrutura não dependem apenas da resistência de seus materiais ou do rigor de seus cálculos, mas também da capacidade da engenharia em olhar o invisível, antecipar riscos e construir soluções inteligentes. A replicabilidade desta metodologia em outras regiões e setores pode representar um divisor de águas na busca por cidades mais seguras, resilientes e tecnicamente sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2024). NBR 6118:2024 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122:2019 – Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 6484:2020 – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). NBR 7584:2012 – Concreto endurecido – Determinação da dureza superficial pelo esclerômetro. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). NBR 14931:2004 – Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR ISO 19650-1:2020 – Organização e digitalização de informações sobre obras de construção civil com uso de BIM. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

Canatto, L. C. Geofísica aplicada ao monitoramento de encostas urbanas. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2021.

Eastman, C. et al. BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. 2. ed. Hoboken: Wiley, 2011.

Jessel, J.; JACOBS, M. Patologia das estruturas. São Paulo: PINI, 2005.

Sobral, L. et al. Avaliação e reforço de fundações. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

Souza, T. A. Avaliação geotécnica de taludes urbanos em regiões de alta umidade. Florianópolis: UDESC, 2024. Relatório técnico.

Succar, B. Building Information Modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction, v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003.

Thomaz, E. Manual de inspeção predial. 6. ed. São Paulo: PINI, 2020.