

# Concepção de Projeto e Execução do Subsolo de um Edifício com Cortinas de Estacas Escavadas em Erechim/RS

Pedro Eugênio Gomes Boehl

Professor/Pesquisador e Líder do Grupo de Pesquisas de Geologia de Engenharia e Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Erechim, Erechim/RS, Brasil, pedro.boehl@uffs.edu.br

Mauro Leandro Menegotto

Professor/Pesquisador, Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Chapecó, Chapecó/SC, Brasil, mauro.menegotto@uffs.edu.br

Giovani Galli Camerini

Engenheiro Civil Projetista de Estruturas, Vertical Engenharia e Arquitetura Ltda., Erechim/RS, Brasil, giovanicamerini@msn.com

Taciano Leandro Serraglio

Engenheiro Civil Projetista de Fundações e Contenção, PAVIBRAS Engenharia de Infraestrutura, Erechim/RS, Brasil, pavibras@pavibras.eng.br

**RESUMO:** Este trabalho aborda de forma descritiva o projeto e a execução de uma estrutura de contenção com cortina de estacas escavadas para a execução do subsolo de um edifício em Erechim/RS. Deste modo, são apresentados os detalhes da escolha da solução, da concepção do projeto e da execução do sistema de contenção para a construção de um edifício residencial, com dois subsolos e 17 pavimentos. O local é constituído por solos argilo-siltosos residuais e alterações de rochas de basalto e riolito da Formação Serra Geral. O controle tecnológico das deformações, durante e após a construção, confirma a potencialidade do sistema empregado e a interferência mínima deste tipo de escavações nas edificações, estruturas e infraestruturas em seus entornos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Escavação do subsolo. Investigação geotécnica. Estruturas de contenção. Solo residual de basalto.

**ABSTRACT:** This paper describes the design and execution of the bored pile retaining walls for the execution of the subsoil of a building in Erechim/RS. Thus, details of the solution choice, project conception and execution of containment system for the construction of a residential building, with two subsoil levels and 17 floors, are presented. The construction site is composed of clay-silty residual soils of basalt and rhyolite rocks from the Serra Geral Formation. The technological control of the deformations, during and after construction, confirms the potential of the system employed and the minimal interference of this excavations type in the surrounding buildings, structures and infrastructures.

**KEYWORDS:** Subsoil excavation. Geotechnical investigation. Retaining structures. Basalt residual soil.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a construção de edificações com subsolos são comuns em municípios de médio a grande porte. O crescimento das cidades e a redução de áreas para a construção no espaço urbano contribui para o aumento do número de obras subterrâneas. Porém, a execução de obras com essa característica apresenta alguns fatores restritivos e que devem ser considerados na concepção do projeto, tais como a presença de lençol freático, o tipo de solo, a proximidade de construções vizinhas e o cronograma executivo.

A escolha do método de execução das contenções e da escavação de forma convencional ou invertida (*Top-down*) depende, entre outros, da possibilidade do uso de tirantes nos terrenos vizinhos, da sensibilidade

das estruturas e serviços vizinhos à deformação, da altura da escavação, da geometria da estrutura a implantar, dos equipamentos disponíveis e da experiência anterior com sistemas (MILITITSKY, 2016).

No entanto, infelizmente, na região do Alto Uruguai/RS existem muitos casos de rupturas em escavações e contenções, apesar dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos da região serem elevados e a formação geológica proporcionar rochas com boa qualidade aflorando. Muitos desses casos, foram provocados por falta de um método eficiente e seguro para as escavações.

O presente estudo de caso descreve os detalhes da escolha da solução, da concepção do projeto, do projeto e da execução do sistema de contenção bem-sucedido, em termos das boas práticas de engenharia, para a construção de um edifício residencial, com dois subsolos e 17 pavimentos, localizado na região central do Município de Erechim/RS.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Caracterização do local de estudo

O perfil geológico encontrado no Município de Erechim/RS refere-se a materiais da Formação de Serra Geral (FSG), do grupo São Bento, Fácies Paranapanema (JKsg - K1βpr). Esta formação geológica é caracterizada pela presença de basaltos, basalto andesitos, riolitos e riolitos, de filiação tholeiítica, com arenitos intertrápicos Botucatu na base e litarenitos e sedimentos vulcanogênicos da porção mediana ao topo da sequência (CPRM, 2023). A mudança de solo à rocha não é repentina. Nesta fronteira há uma fina camada de alteração de rocha (A.R.), em que geralmente ocorre a impenetrabilidade da percussão da sondagem SPT, e a partir deste ponto, geralmente, verifica-se a presença do lençol freático, bem como a necessidade de execução de sondagem rotativa. Neste local o maciço rochoso apresenta um comportamento heterogêneo desde o topo até o limite da perfuração. O perfil rochoso do segmento constituído por alteração de rocha basáltica apresenta um intervalo de recuperação na faixa de 25 a 100%, em uma profundidade média de 1,5 a 5,0 m abaixo do topo rochoso. A partir dessa profundidade ocorre o basalto com textura afanítica e coloração cinza, perfazendo uma faixa de recuperação de 75 a 100% iniciando em 5,0 até 7,5 metros. De uma forma geral, a rocha apresenta-se muito alterada, pouco coerente e extremamente fraturada.

Na Figura 1 pode ser observada uma síntese dos resultados das investigações geológico-geotécnicas realizados no local de execução da obra em estudo. O local da obra é caracterizado geotecnicamente por um manto residual que cobre a formação rochosa. Este material residual é caracterizado como um solo argilo-siltoso (CH) a silto-argiloso, com média plasticidade e espessura variando de 3 a 5 metros (BIAVATI, 2017). Ensaio de cisalhamento direto apresentaram os seguintes resultados: teor de umidade natural de 35%; peso específico natural de 13,5 kN/m<sup>3</sup>; índice de vazios de 1,73; grau de saturação de 87%; intercepto de coesão de 25 kPa; e ângulo de atrito interno de 22°. Os parâmetros de resistência ao cisalhamento se elevam com o aumento da profundidade, podendo a coesão chegar a 50 kPa e o ângulo de atrito a 32°, ao se aproximar da alteração de rocha.

### 2.2 Caracterização da obra

A estrutura da edificação em análise é composta por elementos de concreto armado convencional, lajes nervuradas e um elemento enrijecedor tipo U, ao redor do vão do elevador. Para fins de análise estática, as vigas e pilares foram discretizados como elementos de barra e as lajes como grelha. As fundações foram em tubulões a céu aberto com base alargada com diâmetro de 3,20 m e altura de 1,50 m, com exceção das fundações do entorno da caixa do elevador que foram utilizadas sapatas, devido ao poço do elevador.

A sistematização aplicada nas escavações da obra, sinteticamente, baseia-se nas recomendações de Milititsky (2016). As contenções foram executadas com estacas escavadas espaçadas, de grande rigidez e ficha engastada em solo com boa capacidade de suporte ou em alterações de rocha. As escavações foram parciais tipo cachimbo, pois foram deixadas, estrategicamente, bermas sobre as estacas. A execução parcial da estrutura na periferia serviu de suporte a escavação até que fossem concretadas as lajes inferior e do piso do térreo, que definitivamente, serviram de apoio as estacas, formando um sistema perimetralmente fechado tipo diafragma.

As fundações foram discretizadas como tubulões e apoios rotulados, a cortina de estacas como parede cortina monolítica a estrutura em toda a sua extensão.

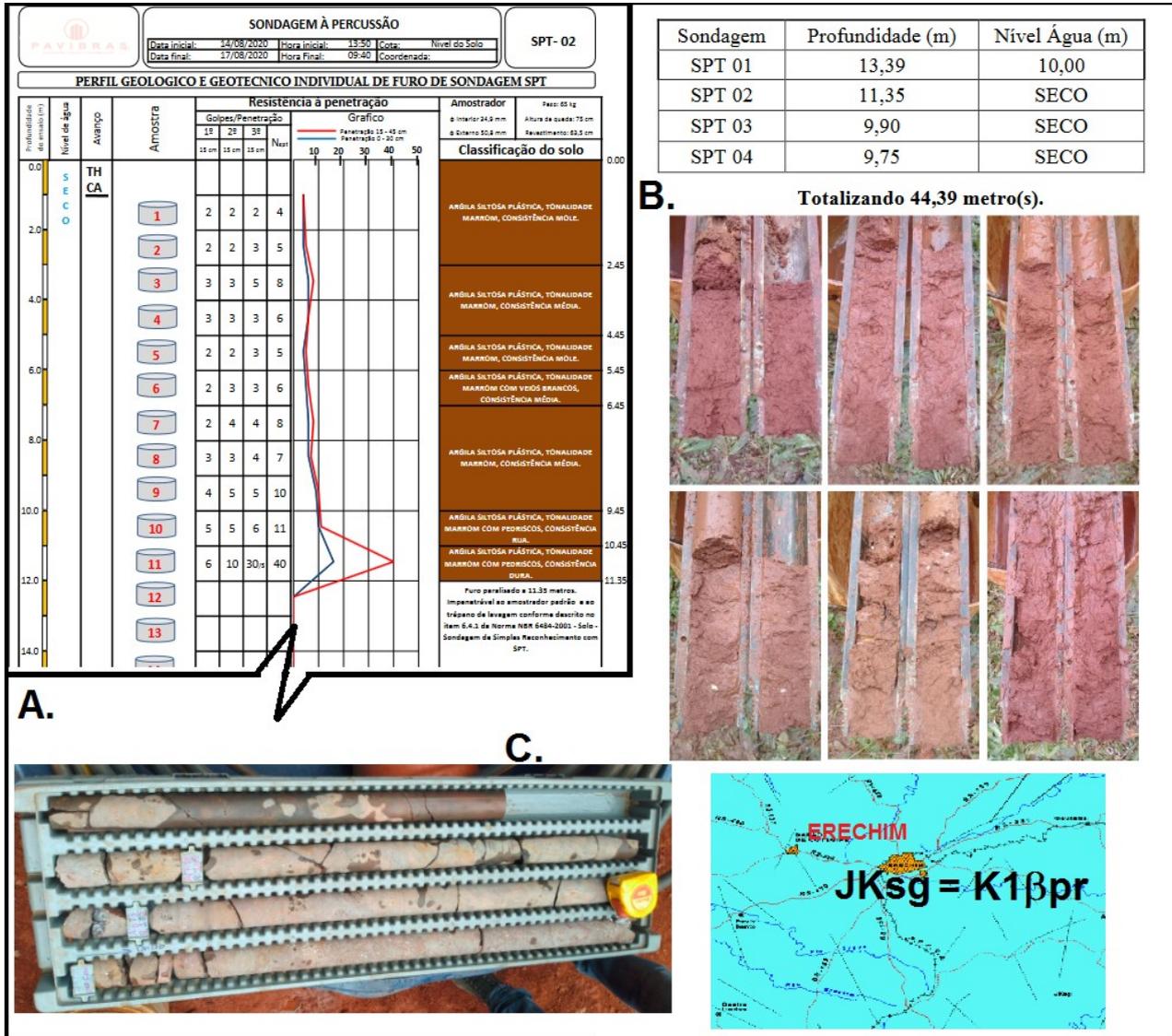


Figura 1. Visualização da prospecção geotécnica do local: A) Boletim de sondagem rotativa; B) e C) Visualização dos testemunhos e sigla de Classificação da Rocha. Fonte: Camerini e Serraglio (2022).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante as escavações, encontrou-se materiais não rochosos até a profundidade de 9 metros (NA), o que possibilitou uma escavação mais econômica, por outro lado, abaixo de 9 metros, o material rochoso encontrado ainda não era de boa qualidade. A presença do lençol freático nesta cota piorava as condições desfavoráveis. Isto implicaria, inevitavelmente, para a escavação a adoção de um sistema de bombeamento e na necessidade de estruturas de contenção mais robustas, o que também implicaria em aumento dos custos para esta etapa da obra. Uma das exigências do projeto era que a cortina ocupasse o menor espaço possível. Encontrou-se a presença de solos com boa capacidade de carga e estáveis desde a superfície até 10 m. Nesta profundidade os solos tornam-se duros, formando uma camada que avança até 12 m, onde inicia-se o afloramento rochoso.

Considerando os materiais disponíveis, a mão de obra da empreiteira e a possibilidade de execução de estacas escavadas na região, a solução com melhor custo-benefício seria contenções por cortinas de estacas

escavadas, em todo o perímetro da obra. Esta solução foi adotada no projeto. Devido a alta coesão apresentada pelo solo local, as estacas foram espaçadas no máximo com 50 cm entre faces e 1,0 m entre eixos, com trechos menores, por razões construtivas. Ao todo foram executadas 124 estacas nos 136 m de perímetro da escavação, com diâmetros máximos de 70 cm e profundidade variando entre 11-27 m. As estacas executadas possuíam comprimento livre variando entre 6 e 4 m, com ficha variando entre 5 e 13 m. O empuxo ativo considerado foi entre 120 e 150 kN/m e o passivo de 400 kN/m. A maioria das estacas utilizadas possuíam diâmetro de 50 cm, com capacidade de carga vertical média de 800 kN e horizontal de 300 kN, com 14 barras longitudinais de 16 mm e armadura horizontal de 6,3 mm a cada 10 cm. Em alguns trechos, onde nasciam pilares acima das estacas da cortina, foram adotados diâmetros de 60 cm, com 16 barras de 16 mm, e de 70 cm, com 18 barras de 16 mm, ambas com estribos de 6,3 mm cada 10 cm, onde estas últimas proporcionaram uma capacidade de carga vertical de 750 kN e horizontal de 100 kN. Na Figura 2 pode-se observar a planta de locação do estaqueamento utilizado como contenção.

Na Figura 3 observa-se a viga de coroamento sobre o estaqueamento executado. Essa viga possuía dimensões de 50 x 60 cm, com 10 barras de 16 mm superiores e inferiores, além de 3 barras de 16 mm na alma. O concreto utilizado para as contenções e fundações era usinado, com resistência à compressão característica de 30 MPa e aditivo impermeabilizante.

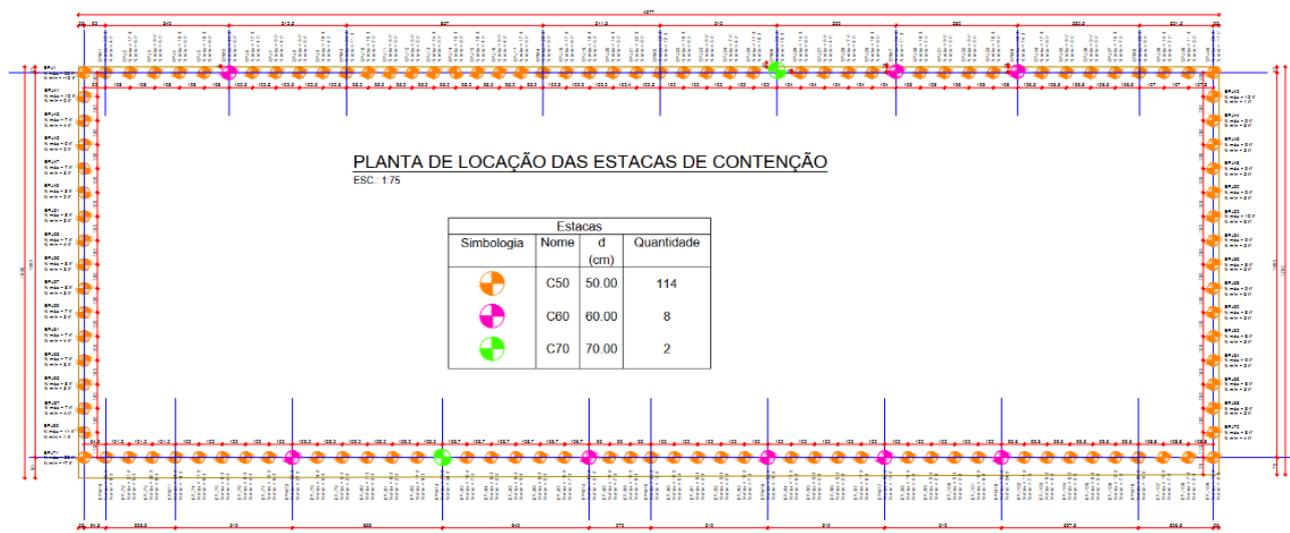


Figura 2 – Planta de locação das estacas que comporão a estrutura de contenção tipo cortina de estacas escavadas. Fonte: Camerini e Serraglio (2022).



Figura 3. Detalhe da viga de coroamento da cortina e esperas superiores antes das escavações. Fonte: Camerini e Serraglio (2022).

Para a construção das cortinas, primeiramente procedeu-se a execução de todas as estacas escavadas e a viga de coroamento. Em seguida foram realizadas as escavações no meio do terreno, para execução das fundações nessa região. Esta escavação central avançou perimetralmente, visando o avanço dos serviços de construção, deixando bermas tipo cachimbos laterais temporários sobre a contenção. Desta forma, neste momento, algumas estacas foram liberadas para combater os esforços horizontais. A partir desta etapa, realizaram-se vistorias periódicas semanais.

As inspeções foram realizadas através do método observacional, procedendo-se um monitoramento das deformações com anotações em relatórios e no diário de obras, tanto da estrutura de contenção, quanto nas edificações adjacentes e lindeiras. Previamente, foram estabelecidos limites aceitáveis de deformações, de 1/180 do vão livre, e um plano de contingência caso estas deformações extrapolassem o admissível. Este plano basicamente era composto por escoramentos extras temporários, drenagem e retirada de solos para alívio ou empilhamento tipo berma para contenção. Os equipamentos, materiais e mão de obra para a execução deste plano, permaneceram a disposição na obra até a conclusão da etapa construtiva das contenções.

O monitoramento foi complementado com placas finas de vidro sobre juntas, trincas e rachaduras, além da instalação de pinos com leitura de cota topográfica planialtimétrica. Produziu-se uma planta baixa (croqui) com a posição destes pontos, onde as anotações eram realizadas. Simultaneamente, foram monitorados pisos adjacentes, dentro de duas edificações vizinhas, da mesma forma, através de inspeção e medidas topográficas. Na próxima etapa, após a cura do concreto das estacas, procedeu-se as escavações dos cachimbos, culminando na escavação total das estacas até a profundidade prevista, que corresponde ao topo da ficha (Figuras 4 e 5). Neste momento, ocorreu a transferência total dos esforços de empuxos e sobrecargas sobre as estacas liberadas, que se comportam neste momento como balanços sobre apoio engastado.



Figura 4. Detalhe das escavações das estacas e seus espaçamentos. Fonte: Camerini e Serraglio (2022).



Figura 5. Detalhes da escavação dos cachimbos, avanço das escavações e liberação total do comprimento livre das estacas sobre esforços. Fonte: Camerini e Serraglio (2022).

Também foram realizados procedimentos de proteção com lonas, contra águas pluviais e erosão, drenagem de pé e bombeamento forçado em poço coletor. Seguiu-se o preenchimento dos nichos entre as estacas, simultaneamente a execução das fundações tipo tubulão, e levantamento da mesoestrutura de concreto armado. Nesta etapa, devido ao apoio das lajes sobre as cortinas, os esforços se redistribuem novamente, migrando parte importante destes esforços para a mesoestrutura. Ressalta-se que esta redistribuição ocorreu por etapas planejadas. Por estas razões as estacas foram dimensionadas com armadura a flexão, cisalhamento e com rigidez suficientes para absorver estes esforços horizontais e deformações, conforme detalhe na Figura 6. O dimensionamento pautava-se por quatro (4) principais hipóteses ( $H_i$ ,  $i=1$  a 4), a seguir: Duas dessas ( $H_1$  e a  $H_2$ ), como um balanço sobre engaste bem na interface entre a ficha eu comprimento livre, nas seguintes formas:  $H_1$  trabalhando sozinha com cachimbos adjacentes; e  $H_2$  totalmente livre. A terceira hipótese de cálculo,  $H_3$ , é quando elas passam a ter um apoio intermediário, bem no centro, com a extremidades superior livre, e a base engastada, fato que ocorre no final da construção da laje de piso da garagem superior; e a quarta (4),  $H_4$ , última hipótese, as estacas passam a ser biapoiadas e engastadas na base, com a concretagem da laje de piso do pavimento térreo, condição esta final e permanente. Estas hipóteses contemplavam a exigência de deslocamentos desprezíveis, para qualquer etapa da construção, o que por sua vez, exigiu diâmetros mínimos de 50 cm, respeitando os estados limites de utilização, como preconiza a NBR 6118 (ABNT, 2023), e afetando o mínimo os entornos da escavação.

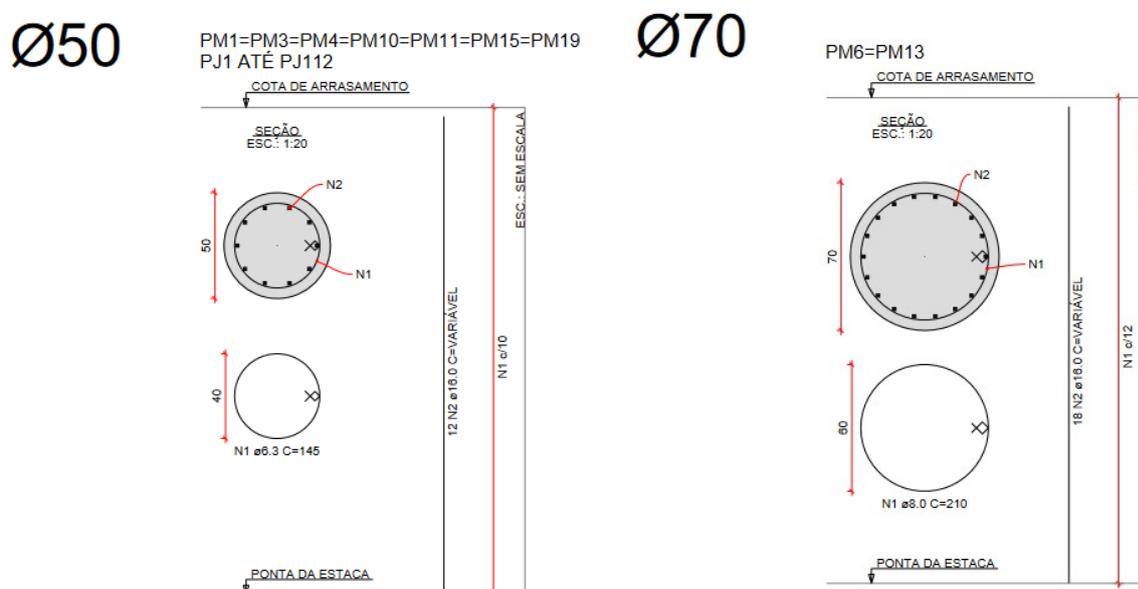


Figura 6. Detalhe estrutural das estacas para dimensionamento a esforços verticais e horizontais. Fonte: Camerini e Serraglio (2022).

Por conseguinte, a mesoestrutura foi se elevando e, por sua vez, apoiando a estrutura de contenção. Destaque para o sistema de lajes que teve esta função em dois pontos especiais. Na sequência construtiva, o primeiro ponto, a laje de piso da garagem inferior, onde o piso armado, apoiou e engastou a interface de transição entre o comprimento livre da cortina e sua ficha (Figura 7). O segundo, ponto de apoio, é a laje de piso da garagem superior, aproximadamente, apoiando no meio do comprimento livre das estacas das cortinas, como ilustrado na Figura 8. Neste momento a cortina passa a ter um comportamento estrutural biapoiado, com a extremidade livre. A terceira etapa é a concretagem da laje de piso do pavimento térreo, apoiando no topo das estacas da cortina (Figura 9). Estas etapas contemplam as 4 hipóteses e foram simuladas nesta sequência, ocorrendo a redistribuição de esforços finais previstos na interação da contenção com a estrutura. Esta interação foi verificada e controlada, por etapas de elevação, em software de dimensionamento de edificações em concreto armado, devido a interação estrutural entre as lajes e a cortina e, conseqüentemente, ocorrendo o alívio da solicitação nas estacas de contenção e a transferência de uma grande parte dos esforços horizontais às lajes supracitadas.

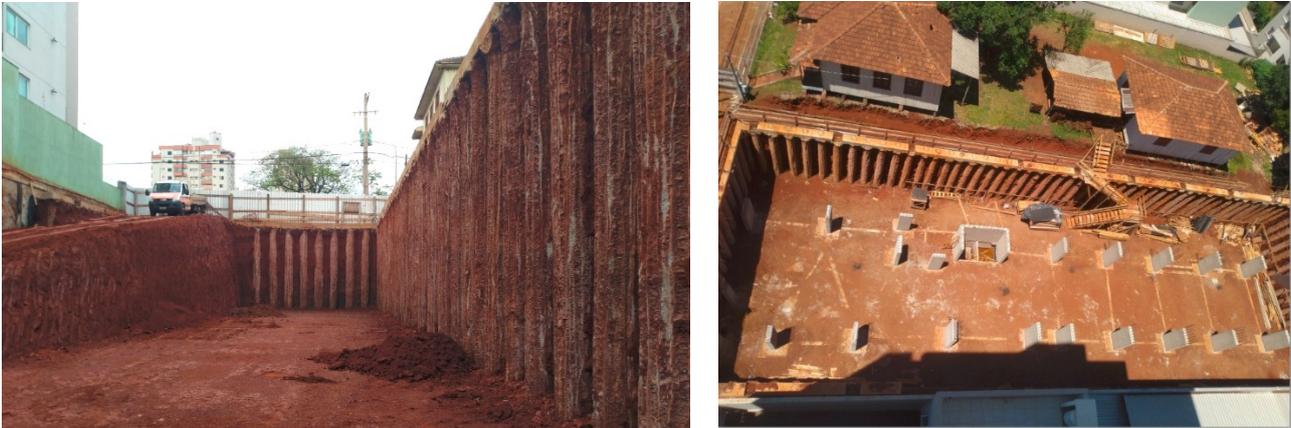


Figura 7. À esquerda a escavação do terreno, permanecendo as estacas enterradas apenas comprimento de ficha de projeto, e à direita o início dos pilares da mesoestrutura sobre os tubulões. Fonte: Camerini e Serraglio (2022).



Figura 8. À esquerda de piso da garagem inferior: primeiro apoio das cortinas, onde acaba a fixa e inicia o comprimento livre. À direita preparação para concretagem do apoio intermediário: laje de piso da garagem 1. Fonte: Camerini e Serraglio (2022).

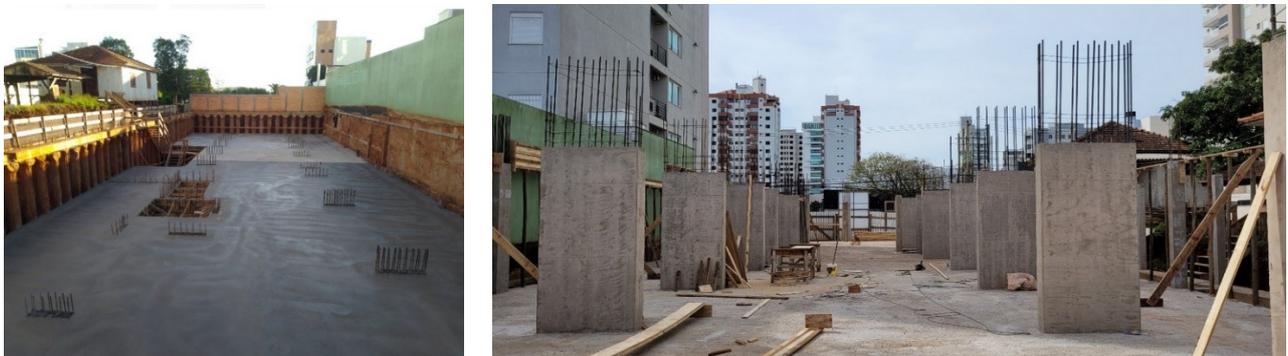


Figura 9. À esquerda laje de apoio intermediário do piso da garagem 1, intermediária, e à direita, piso da Garagem 2, superior, apoiando a parte superior final da cortina. Fonte: Camerini e Serraglio (2022).

O monitoramento dos deslocamentos foi ampliado e, devido a estabilização das deformações, continua sendo realizado semestralmente na obra. Até o momento, tendo sido transcorrido dois anos, não foram constatadas deformações ou deslocamentos importantes.

Ressalta-se ainda a importância da elaboração de um laudo das condições das construções vizinhas com a presença de profissional geotécnico, assim como o acompanhamento dessas condições durante a execução das escavações e construção das cortinas. Isto possibilita que decisões imediatas sejam tomadas,

conjuntamente com o projetista estrutural, quando constatados comportamentos não esperados. Esta rapidez é imprescindível para manter a estabilidade das escavações e evitar acidentes.

## 5 CONCLUSÕES

O presente estudo de caso demonstrou que, para a edificação residencial com subsolos, com construções adjacentes sensíveis à deformação e executada em solos residuais de basalto e riolito da Formação Serra Geral, os procedimentos, tanto de segurança quanto estruturais, aplicados foram satisfatórios para manter a segurança das escavações e o posterior desempenho estrutural do sistema de contenção.

A rigidez do sistema de contenção foi suficiente para manter um nível de deformações desprezíveis. A vista disso, este sistema de contenção é especificado como: cortina em estacas escavadas, espaçadas, executadas por todo o perímetro escavado, com travamento posterior da mesoestrutura, mais especificamente por lajes da própria edificação no topo, meio e base da cortina. Do método top-down de Milititski (2016), aproveita-se a ideia de escavar após conter os solos, assim obtendo deformações desprezíveis, e um grau de segurança elevado durante as escavações. Da mesma forma o aproveitamento da mesoestrutura como apoio perimetral. Da mesma forma a concepção do projeto, planejamento da execução da obra, e os conceitos estruturais aplicados, também foram bem-sucedidos.

O controle tecnológico das deformações, durante e após a construção, confirma a potencialidade na prática dos sistemas que utilizam escavação com estacas escavadas e a mínima interferência deste tipo de escavações nas edificações, estruturas e infraestruturas adjacentes e seus entornos. O laudo de vizinhança e o plano de contingência, assim como, o acompanhamento permanente de engenheiro geotécnico conjuntamente aos projetistas estruturais são de suma importância.

Todavia, recomenda-se como melhoria ao controle de desempenho do sistema, em construções semelhantes, a execução de pinos de referência (*benchmark*) tanto no sistema de contenção quanto em estruturas adjacentes para medida das deformações. Por conseguinte, as observações na obra em estudo demonstram que o preenchimento dos nichos entre estacas deve ser realizado o mais rápido possível e que o sistema de proteção e drenagem contra erosão hídrica devem ser mantidos permanentemente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2023) *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto armado – procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- Biavati, F. (2017) *Determinação e análise dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de um solo residual de basalto do Campus Erechim-RS em condições naturais e inundadas*. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, 70 f.
- Camerini, G. G.; Serraglio, T. L. (2022). *Projetos: fundações, contenções e estrutural do prédio localizado em Erechim-RS*. Erechim: Brusqui Engenharia e Pavibras Engenharia, Fundações e Sondagens (Publicação interna). 50 p.
- Milititsky, J. (2016) *Grandes escavações em perímetro urbano*. São Paulo: Oficina de Textos. 144 p.
- Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2004). *Unidades litoestratigráficas - 1:1.000.000*. Belo Horizonte: CPRM. Disponível em: <<https://geosgb.sgb.gov.br/>>. Acesso em: 3 jul. 2023.