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/COBRAMSEG2026.4/22

Análise Geotécnica de Escavações Urbanas com Escoramento Temporário e Rebaixamento do Lençol Freático

Katia Botelho Torres Galindo de Souza
Engenheira Geotécnica, TPF Engenharia, Recife-PE, Brasil, katia.galindo@tpfe.com.br

Alison de Souza Norberto
Engenheiro Geotécnico, TPF Engenharia, Caruaru-PE, Brasil, alison.norberto@tpfe.com.br

Pedro Daniel Uchôa Dantas
Coordenador Corporativo, TPF Engenharia/PUC Minas, Brasilia, Brasil, pedro.dantas@tpfe.com.br

RESUMO: Escavações em meio urbano exigem atenção especial devido a restrições de espaço, presença de edificações vizinhas e condições hidrogeológicas, o que torna indispensável o uso de sistemas de contenção adequados (Caputo, 1983; Massad, 2003). Entre os métodos de escoramento, destacam-se estroncas, perfis metálicos e ancoragens, além de alternativas consolidadas como estacas prancha e solo grampeado, cuja seleção depende das propriedades geotécnicas e do nível do aquífero (Terzaghi & Peck, 1967; Hachich *et a*l., 1998). Este trabalho apresenta o projeto geotécnico de escavação, escoramento, terraplenagem e rebaixamento do lençol freático para caixas de registro de um Sistema de Recuperação de Água de Lavagem e Lododuto. Foram utilizados dados de sondagens SP-87, SP-88 e SP-89, com análises de estabilidade global, empuxo de terra e tensão-deformação realizadas no *software* Sigma/W. O arranjo adotado demonstrou viabilidade técnica, elevando os fatores de segurança para valores superiores aos mínimos normativos e garantindo a estabilidade da escavação. Os resultados evidenciam a influência da poropressão no comportamento do solo e no desempenho estrutural do sistema de contenção, destacando a importância do controle do nível freático em escavações urbanas.

PALAVRAS-CHAVE: Contenção de solos, Poropressão, Empuxo de terra, Análise numérica.

ABSTRACT: Urban excavations require special attention due to space restrictions, the presence of adjacent buildings, and hydrogeological conditions, which makes the use of adequate retaining systems indispensable (Caputo, 1983; Massad, 2003). Among the shoring methods, struts, steel profiles, and anchors are commonly employed, while sheet piles and soil nailing are consolidated alternatives, whose selection depends on geotechnical properties and groundwater level (Terzaghi & Peck, 1967; Hachich *et al*., 1998). This study presents the geotechnical design of excavation, shoring, earthworks, and groundwater lowering for inspection chambers of a Water Wash Recovery and Slurry Pipeline System. Borehole data from SP-87, SP-88, and SP-89 were used, with global stability, earth pressure, and stress–strain analyses performed in the Sigma/W software. The adopted arrangement demonstrated technical feasibility, raising the safety factors to values higher than the normative minimums and ensuring the stability of the excavation. The results show the influence of pore pressure on soil behavior and on the structural performance of the containment system, highlighting the importance of controlling the water table in urban excavations.

KEYWORDS: Soil retention, Pore water pressure, Earth pressure, Numerical analysis.

1 INTRODUÇÃO

As escavações em meio urbano apresentam desafios particulares relacionados às restrições de espaço, à presença de edificações vizinhas e às condições hidrogeológicas locais. Nessas situações, a adoção de sistemas de contenção e escoramento temporário torna-se imprescindível para garantir a segurança estrutural, a estabilidade do maciço e a viabilidade executiva do empreendimento (Caputo, 1983; Massad, 2003).

Dentre os métodos disponíveis, destacam-se os sistemas de escoramento temporário, amplamente empregados em obras de infraestrutura, especialmente em escavações profundas. Os recursos mais utilizados

incluem o emprego de estroncas, responsáveis pelo travamento horizontal entre perfis verticais, os perfis metálicos, que atuam como elementos estruturais de suporte em conjunto com painéis de contenção, e as ancoragens, que permitem a transferência de esforços para camadas mais resistentes do solo, aumentando a estabilidade global e reduzindo deslocamentos (Terzaghi & Peck, 1967; Massad, 2003).

Além desses sistemas, técnicas como estaca prancha e solo grampeado são alternativas consolidadas, cada qual apresentando vantagens e limitações que dependem diretamente das condições geotécnicas, do nível do lençol freático e das características executivas do projeto. A seleção do método mais adequado deve, portanto, considerar de forma integrada aspectos geotécnicos, estruturais e construtivos, assegurando o equilíbrio entre desempenho, segurança e conformidade normativa (Hachich *et al*., 1998).

Apesar do amplo uso de sistemas de contenção em escavações urbanas, ainda há incertezas quanto à influência combinada da poropressão e do sequenciamento construtivo no desempenho estrutural de sistemas escorados. Nesse contexto, este trabalho contribui ao avaliar, de forma integrada, a estabilidade global e o comportamento tensão-deformação de uma escavação em solo mole submetida a rebaixamento do nível freático. Para tanto, foram realizadas análises de estabilidade global e de esforços estruturais nos elementos de contenção, considerando-se as condições de carregamento previstas e os critérios estabelecidos pelas normas técnicas nacionais e internacionais.

2 METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido com base em dados provenientes de investigações geotécnicas executadas na área de implantação da obra, complementados por visita técnica para reconhecimento das condições locais. A caracterização geotécnica foi realizada a partir dos resultados das sondagens de simples reconhecimento com ensaio de penetração padrão (SPT), correspondentes aos furos SP-87, SP-88 e SP-89, empregando correlações geotécnicas consagradas para a estimativa dos parâmetros de resistência e deformabilidade dos materiais.

O sistema de contenção analisado foi constituído por estacas-prancha metálicas, longarinas e estroncas, considerando uma sequência executiva composta por etapas sucessivas de escavação associadas ao rebaixamento do nível freático. Foram avaliados os principais mecanismos potenciais de ruptura, incluindo ruptura localizada, ruptura global, ruptura de fundo e ruptura hidráulica, além das verificações de tombamento, deslizamento e capacidade de carga da fundação.

As análises foram conduzidas conforme os critérios estabelecidos pelas normas ABNT NBR 9061, ABNT NBR 12266, ABNT NBR 6118, ABNT NBR 6502, ABNT NBR 11682, ASTM A36 e EN 10248.

Os empuxos de terra foram determinados com base nos princípios clássicos da Mecânica dos Solos, enquanto o comportamento tensão-deformação do conjunto solo-estrutura foi avaliado por meio de modelagem numérica no *software* Sigma/W (GeoStudio), utilizando os parâmetros geotécnicos obtidos a partir das sondagens e das correlações adotadas.

2.1 Determinação das Seções Geológicas-Geotécnicas

A caracterização geológico-geotécnica da área foi realizada com base no mapeamento de superfície e nas investigações geotécnicas executadas no local da obra. Para a elaboração das seções geológico-geotécnicas foram utilizados os resultados das sondagens à percussão (SPT) SP-87, SP-88 e SP-89. A classificação dos materiais seguiu os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6502:1995, sendo utilizadas correlações entre os valores de NSPT, consistência, compacidade e peso específico para estimativa dos parâmetros geotécnicos.

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os critérios de classificação adotados e as principais correlações utilizadas na definição dos parâmetros geotécnicos empregados nas análises.

Tabela 1: Classificação solos argilosos.

Solos Argilosos		
N_{SPT}(Golpes)	Consistência	Peso Específico (kN/m³)
<2	Muito Mole	13
3 a 5	Mole	15
6 a 10	Média	17
11 a 19	Rija	19
≥20	Dura	21

Fonte: (Godoy, 1972, como citado em Cintra & Aoki, 2010).

Tabela 2: Classificação solos arenoso.

Solos Arenosos				
NS_{PT} (Golpes)	Consistência	Peso Específico (kN/m³)		
		Seca	Úmida	Saturada
<2 3 a 5	Fofa Pouco Compacta	16	18	19
6 a 10	Medianamente Compacta	17	19	20
11 a 19 ≥20	Compacta Muito Compacta	18	20	21

Fonte: (Godoy, 1972, como citado em Cintra & Aoki, 2010).

A área de estudo apresenta relevo predominantemente plano e é caracterizada por uma sequência de materiais de baixa resistência, identificados a partir das investigações geotécnicas e representados nas seções geológico-geotécnicas A–A', B–B' e C–C' (Figura 1). As seções foram elaboradas com base nas sondagens SPT, espaçadas entre aproximadamente 42 m e 70 m, permitindo a interpretação da distribuição espacial das unidades geotécnicas ao longo da área investigada. Os perfis geotécnicos evidenciam a predominância de solos argilosos a silto-argilosos, com variações locais para materiais silto-arenosos e arenosos. Nos primeiros metros de profundidade predominam solos de consistência muito mole a mole, caracterizados por baixos valores de N_{SPT}. Em profundidade, observa-se aumento gradual da resistência à penetração, com ocorrência de materiais de consistência mole a média, enquanto, localmente, são identificados horizontes silto-arenosos pouco argilosos, apresentando estado de compacidade variando de fofo a pouco compacto.

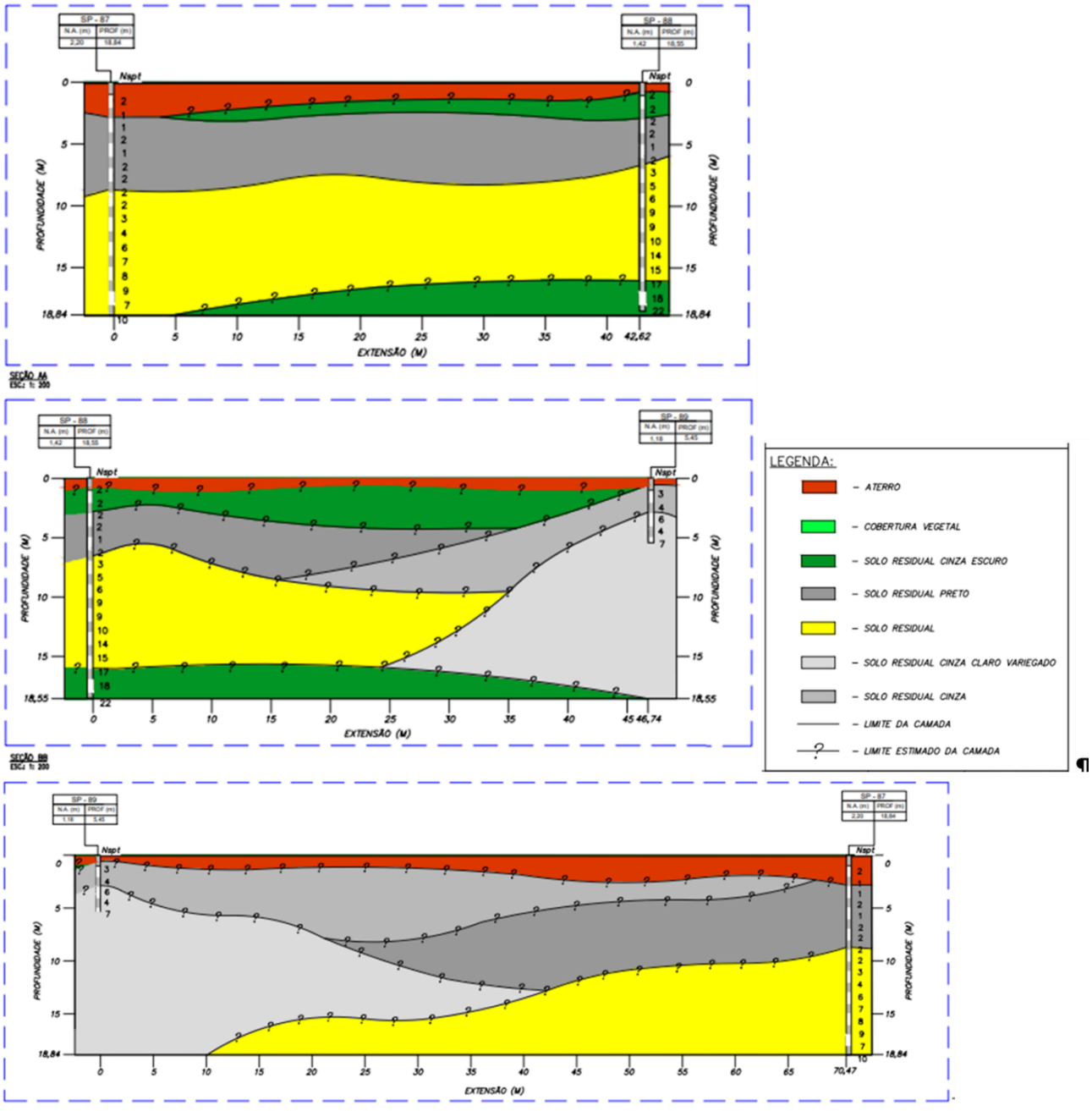


Figura 1: Seções geológico-geotécnicas dos materiais identificados nos SPT realizados. (a) Seção AA', (b) seção BB' e (c) seção CC'.

Os parâmetros geotécnicos adotados nas análises foram estimados por correlações consagradas na literatura a partir dos valores de NSPT, compreendendo peso específico, resistência ao cisalhamento, ângulo de atrito, módulo de deformabilidade e parâmetros constitutivos necessários às análises numéricas em elementos finitos. Entretanto, reconhece-se que essas correlações apresentam limitações quando aplicadas a solos muito moles e saturados, podendo resultar em incertezas na estimativa dos parâmetros de deformabilidade e resistência, conforme discutido por Schmertmann (1975).

2.2 Método de Escavação

Com base nas condições geológico-geotécnicas identificadas nas seções de investigação, caracterizadas pela predominância de solos de baixa resistência, adotou-se como solução de contenção um sistema de estacas-prancha metálicas escoradas. O comprimento das estacas foi definido em função da profundidade das escavações, das condições estratigráficas e das propriedades geotécnicas dos materiais de fundação, de forma a garantir a estabilidade global do sistema e o adequado embutimento da contenção. A utilização de estacas-prancha metálicas foi selecionada em razão de sua elevada rapidez de execução, estanqueidade, reduzida interferência no entorno e bom desempenho em solos moles, características que tornam esse sistema particularmente adequado para escavações em áreas urbanas com restrições de espaço e presença de infraestrutura adjacente (Hachich *et al*., 1998; FHWA, 1999). O dimensionamento da contenção foi realizado considerando o comportamento de uma estrutura escorada, composta por estacas-prancha, longarinas e estroncas metálicas. Os elementos estruturais foram especificados em aço ASTM A572 Grau 50, material com módulo de elasticidade de aproximadamente 207 GPa, limite mínimo de escoamento de 345 MPa e resistência mínima à tração de 450 MPa, propriedades compatíveis com as solicitações estruturais previstas durante as diferentes etapas executivas da escavação.

A Figura 2 apresenta a geometria adotada para as análises numéricas da escavação. A estratigrafia utilizada no modelo foi baseada na sondagem SP-87, selecionada por estar localizada nas proximidades do trecho analisado e por representar adequadamente as condições geotécnicas da área de estudo. A escolha desse perfil é justificada pela reduzida variabilidade estratigráfica observada entre as sondagens SP-87, SP-88 e SP-89, indicando comportamento geológico-geotécnico semelhante ao longo do segmento investigado.

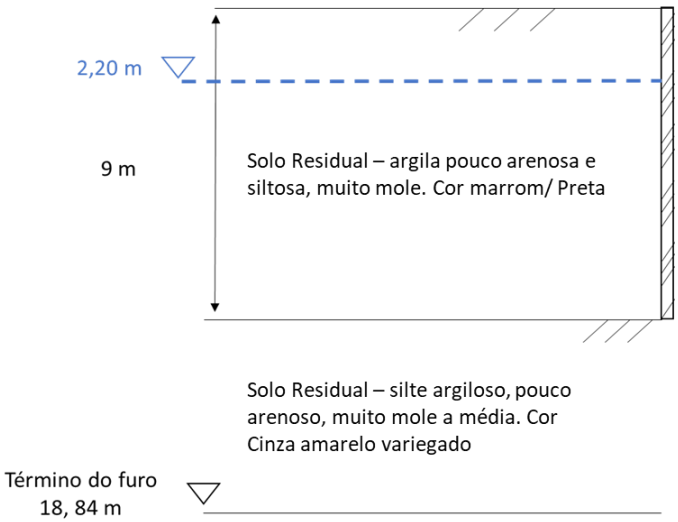


Figura 2: Perfil do terreno que será executada a escavação.

Para a execução da vala, foram consideradas as dimensões da estrutura a ser enterrada, em conformidade com as diretrizes estabelecidas pelas normas ABNT NBR 9061 (Segurança de escavação a céu aberto) e ABNT NBR 12266 (Projeto e execução de valas para assentamento de tubulações de água, esgoto ou drenagem urbana). Considerando que a parede de contenção deve resistir aos esforços horizontais do maciço e ser dimensionada para suportar momentos fletores associados às condições de escavação, recomenda-se a utilização de sistema de escoramento estrutural. O escoramento pode ser realizado por meio de estroncas, que atuam como elementos de travamento horizontal entre as paredes da escavação. Essas estroncas podem ser executadas em diferentes materiais, como madeira, aço ou concreto, sendo a escolha dependente das condições executivas, cargas atuantes e requisitos de desempenho estrutural.

Nesse contexto, a Figura 3 apresenta o esquema proposto para a escavação. No modelo adotado, considera-se uma profundidade total de 4,0 m, com a instalação de três níveis de estroncas, espaçados verticalmente a cada 1,0 m. Após a cravação das estacas-prancha, a escavação deve ser executada de forma faseada, em etapas sucessivas de aproximadamente 1,0 m, com a instalação progressiva das longarinas e estroncas, garantindo a estabilidade do sistema durante todo o processo construtivo.

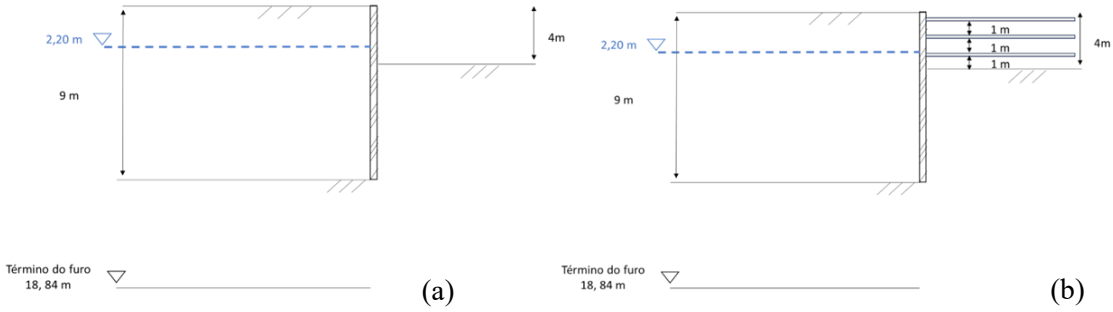


Figura 3: Perfil do terreno e (a) esquema de contenção e (b) implantação das estroncas.

A partir do exposto, foram realizadas estimativas iniciais de dimensionamento das estroncas com base nos esforços obtidos por meio do *software* FTOOL. Adicionalmente, serão conduzidas análises mais refinadas de deformações e interação solo-estrutura ao longo do sequenciamento construtivo, utilizando modelagem numérica em tensões e deformações no *software* Sigma/W (GeoStudio).

2.3 Método de Rebaixamento do Lençol Freático

Para a execução das escavações, recomenda-se o controle do lençol freático, uma vez que a presença de água subterrânea pode comprometer a estabilidade dos solos e elevar significativamente os custos e riscos construtivos. O rebaixamento do nível d'água deverá ser realizado de forma progressiva, acompanhando o avanço da escavação e respeitando as condições geotécnicas do terreno. As investigações de campo indicaram níveis d'água rasos, variando entre aproximadamente 1,18 m e 2,20 m de profundidade, com registros de 2,20 m na sondagem SP-87, 1,42 m na SP-88 e 1,18 m na SP-89. Diante dessas condições, observa-se a necessidade de rebaixamento do lençol freático principalmente nas regiões das sondagens SP-87 e SP-89, de modo a reduzir o fluxo de água para o interior da vala e garantir condições adequadas de estabilidade e execução.

Ressalta-se que o rebaixamento do lençol freático pode induzir recalques nas áreas adjacentes e gerar riscos de instabilidade hidromecânica, tais como piping e levantamento de fundo, devendo, portanto, ser monitorado continuamente durante a execução (Terzaghi *et al*., 1996).

Considerando a presença de solos de baixa consistência na área de influência, o método adotado em projeto consiste no sistema de ponteiras filtrantes (well points), amplamente utilizado em escavações de profundidade média em solos moles, em razão de sua eficiência no controle do nível freático e na manutenção das condições de estabilidade durante a obra.

2.4 Sequenciamento Construtivo

O sequenciamento recomendado da escavação para instalação das caixas de registro, foi elaborado de acordo com os cálculos necessários para a estabilidade da estrutura queo qual foi embasado nas normas ABNT NBR 9061 e ABNT NBR 1226. O método construtivo se dá pelo sistema de parede de contenção mais o escoramento (estroncas). A parede de contenção será contínua (estaca prancha metálica) e a execução do escoramento será descontínua (estroncas), fazendo necessário o rebaixamento do nível freático antes da execução da etapa de escoramento, de forma a evitar o carreamento do solo para o interior da vala, devido ao fluxo de água.

O sequenciamento construtivo adotado influencia diretamente a redistribuição de tensões e o desenvolvimento de deslocamentos, sendo um dos principais fatores de controle da estabilidade em escavações escoradas (Peck, 1969).

2.5 Análise de Estabilidade

A análise de estabilidade da contenção de vala consiste na verificação dos esforços atuantes e da resistência do solo e da estrutura, considerando os principais mecanismos clássicos de ruptura: deslizamento, tombamento, falha por capacidade de carga da fundação e ruptura global. O dimensionamento baseia-se na

avaliação dos empuxos de terra ativo e passivo, das sobrecargas e da pressão da água, adotando o método do equilíbrio limite, com coeficientes de empuxo definidos pelas formulações de Coulomb e Rankine. A segurança ao tombamento é avaliada pela razão entre os momentos resistentes e atuantes, enquanto a segurança ao deslizamento resulta da comparação entre forças resistentes, incluindo atrito na base e empuxo passivo e, forças mobilizadoras. Adicionalmente, a estabilidade é verificada quanto à capacidade de carga da fundação, usualmente pelo critério de Terzaghi, incorporando os fatores de capacidade de carga dependentes do ângulo de atrito do solo, garantindo assim o desempenho seguro da estrutura de contenção.

2.5.1 Análise da Ruptura Global

A análise da ruptura global avalia a possibilidade de instabilidade do maciço ao longo de uma superfície de escorregamento, considerando a estrutura de contenção como parte integrante do solo e sujeita ao deslocamento rígido de uma massa que pode rotacionar sobre uma superfície cilíndrica. A verificação do fator de segurança (FS) é realizada por métodos bidimensionais de equilíbrio limite, como Morgenstern–Price, Spencer e Sarma. Embora amplamente utilizado, o método do equilíbrio limite não considera explicitamente deformações, podendo superestimar a estabilidade em solos moles. Por isso, sua associação com análises numéricas tensão-deformação torna-se fundamental (Duncan & Wright, 2005).

Complementarmente, a análise tensão–deformação adota o modelo constitutivo Cam-Clay Modificado para representar o comportamento de solos argilosos, permitindo a avaliação numérica dos deslocamentos das paredes de escoramento da escavação por meio de Métodos dos Elementos Finitos (MEF).

Os parâmetros constitutivos do modelo Cam Clay Modificado foram estimados a partir das características geotécnicas obtidas por correlações com os resultados dos ensaios SPT e por valores de referência encontrados na literatura técnica para solos com comportamento semelhante. Considerando a ausência de ensaios laboratoriais específicos para calibração do modelo, os resultados da análise numérica devem ser interpretados como uma avaliação representativa do comportamento do maciço, adequada para a fase de projeto, porém sujeita às limitações inerentes às correlações empíricas utilizadas.

3 RESULTADOS

3.1 Análise de Estabilidade dos FS

Considerando os dados de investigações existentes e seguindo as premissas deste projeto básico, neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nas análises de estabilidade com base nas informações da sondagem SP-87 e seção geotécnica.

3.1.1 FS ao Deslizamento e Tombamento

A análise inicial indicou fatores de segurança inferiores aos valores admissíveis, adotando-se como referência FS ≥ 1,50 para deslizamento e FS ≥ 2,00 para tombamento. Foram obtidos valores de 0,58 e 0,95, respectivamente, o que inviabiliza a solução sem reforços. Para atender aos critérios de estabilidade, foi adotada a introdução de estroncas na estrutura de contenção, destinadas a resistir aos esforços internos. Os resultados indicaram força cortante máxima da ordem de 395 kN e momento fletor máximo de aproximadamente 460 kN·m, utilizados no dimensionamento das estacas. Com a inclusão das estroncas, cada uma dimensionada para resistir a aproximadamente 432 kN/m, os fatores de segurança foram elevados para 4,44 no deslizamento e 3,68 no tombamento, atendendo plenamente aos requisitos de projeto e garantindo a estabilidade da obra. O resumo desses resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Síntese dos resultados obtidos nas análises de FS ao tombamento e deslizamento.

Análise	Sem estroncas	Com estroncas	FS Admissível
FS ao Tombamento	0,95	3,68	≥ 2,0
FS ao Deslizamento	0,58	4,44	≥ 1,50

Observa-se que a adoção das estroncas promoveu um aumento expressivo dos fatores de segurança ao tombamento e ao deslizamento, elevando-os para valores superiores aos mínimos recomendados pela ABNT NBR 9061. Esse comportamento evidencia a importância do escoramento na redistribuição dos esforços horizontais atuantes sobre a contenção, reduzindo os momentos fletores nas estacas-prancha e aumentando a estabilidade do conjunto estrutural.

3.1.2 Análise das Rupturas Globais

As análises de estabilidade global foram conduzidas com base nos dados da sondagem SP-87 e na seção A–A', considerando as premissas do projeto geotécnico.

A estabilidade global foi avaliada por meio do Método do Equilíbrio Limite, adotando o critério de resistência de Mohr-Coulomb, considerando solo homogêneo classificado como argila pouco arenosa-siltosa. O modelo numérico contemplou uma escavação de 13 m de largura e 4 m de profundidade, executada em etapas após o rebaixamento do nível freático. Em todas as fases analisadas, os fatores de segurança globais permaneceram superiores aos valores mínimos recomendados pela ABNT NBR 9061/2005, com FS mínimo igual a 1,6 na fase final de escavação, conforme síntese apresentada na Tabela 4.

Tabela 4: Síntese dos resultados obtidos nas análises de estabilidade da Seção analisada.

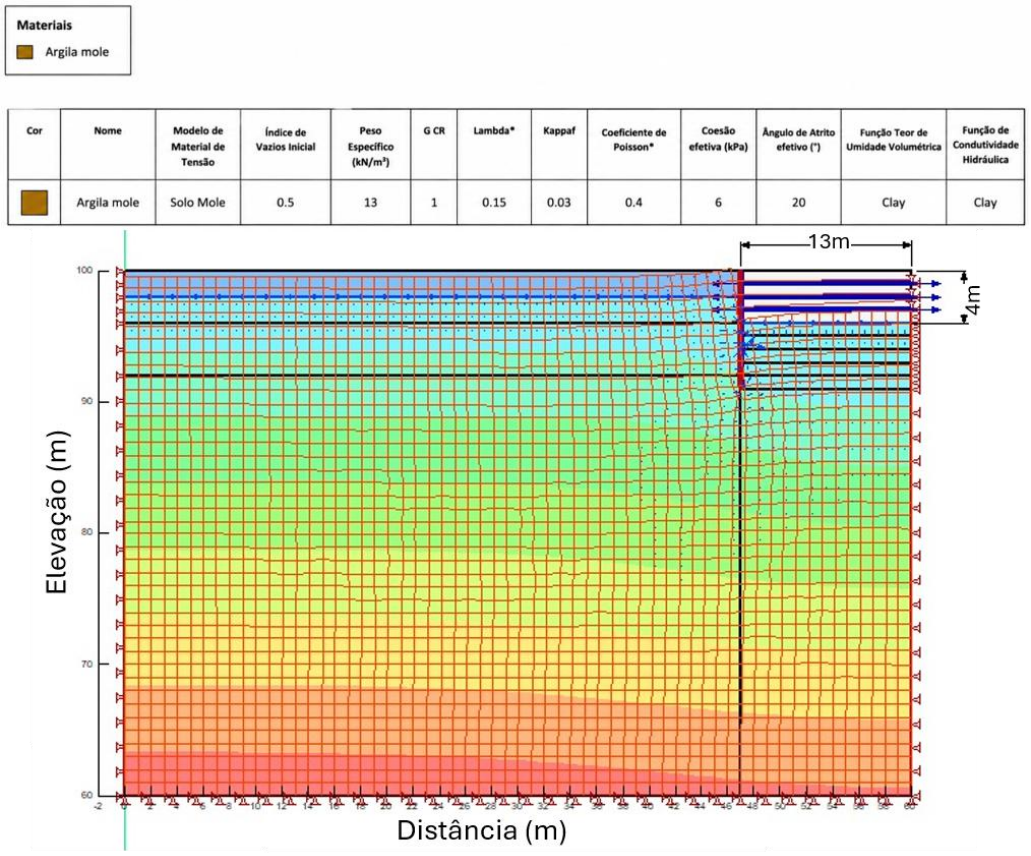
Tipo de Análise	Passo da Escavação	FS (Mohr-Coulomb)	FS mínimo admissível (ABNT NBR 9061)
Global	1	4,4	1,5
	2	2,2	
	3 (Final)	1,6	

Os resultados da estabilidade global demonstram que o sequenciamento executivo associado ao rebaixamento controlado do lençol freático foi suficiente para manter os fatores de segurança acima do limite mínimo recomendado pela ABNT NBR 9061. Observa-se redução gradual do FS à medida que a profundidade da escavação aumenta, comportamento esperado em escavações profundas e compatível com o descrito por Peck (1969). O estágio final corresponde à condição mais crítica, reforçando a importância do controle executivo durante toda a obra.

3.1.3 Análise tensão- deformação utilizando cam clay modificado

O modelo constitutivo de Cam Clay modificado foi utilizado em todo o material definido na analise. O nível freático foi inserido com base na investigação de campo. A força de cada uma das estroncas apresentaram força axial de 390 kN, sendo estas forças positivas atuando contra a parede. O espaçamento entre as estroncas foi de 1 m, de acordo com as premissas de projeto.

Na Figura 4 é apresentado o regime de fluxo das águas subterrâneas e contornos das cargas após o final da escavação. O fluxo da água subterrânea ocorre no sentido para baixo no lado esquerdo da parede, por baixo da parede e depois para cima em direção à escavação. O descarregamento da argila produz uma tendência de expansão volumétrica, devido à pressão que a água exerce na escavação (força de baixo para cima), reforçando a importância do rebaixamento do nível freático, pois a deformação do solo pode ocasionar instabilidade na estrutura.



Cor	Nome	Modelo de Material de Tensão	Índice de Vazios Inicial	Peso Específico (kN/m³)	G CR	Lambda*	Kappaf	Coeficiente de Poisson*	Coesão efetiva (kPa)	Ângulo de Atrito efetivo (°)	Função Teor de Umidade Volumétrica	Função de Condutividade Hidráulica
	Argila mole	Solo Mole	0.5	13	1	0.15	0.03	0.4	6	20	Clay	Clay

Figura 4:Fluxo de água e deformação volumétrica (Final da escavação).

Vale ainda destacar que os deslocamentos obtidos apresentaram-se abaixo dos valores limites usuais de projeto, tipicamente da ordem de 0,5% a 1% da altura da escavação para paredes escoradas (Clough & O'Rourke, 1990).

Os resultados de todas as analises comprovam que a evolução dos fatores de segurança ao longo das etapas construtivas evidencia a importância do controle do sequenciamento, sendo o estágio final o mais crítico, conforme observado também por Peck (1969).

5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a análise geotécnica de uma escavação urbana escorada em solo predominantemente mole, considerando de forma integrada a estabilidade global, os esforços estruturais e o comportamento tensão-deformação associado ao rebaixamento do lençol freático.

Os resultados demonstraram que a adoção de estacas-prancha metálicas associadas a estroncas proporcionou incremento significativo na estabilidade da escavação, elevando os fatores de segurança ao tombamento e ao deslizamento para valores superiores aos mínimos estabelecidos pela ABNT NBR 9061. As análises de estabilidade global também indicaram fatores de segurança satisfatórios em todas as etapas do sequenciamento executivo, sendo a fase final da escavação a condição mais crítica.

As simulações numéricas evidenciaram ainda a influência da poropressão no comportamento do maciço, reforçando que o rebaixamento controlado do lençol freático constitui uma medida fundamental para reduzir deslocamentos, controlar deformações e garantir a estabilidade da escavação durante a execução.

Como principal contribuição, o estudo demonstra que a combinação entre análises de equilíbrio limite e modelagem numérica em elementos finitos fornece uma abordagem mais robusta para o dimensionamento e a verificação de escavações escoradas em ambientes urbanos, permitindo avaliar simultaneamente a estabilidade global e o comportamento deformacional do sistema.

Ressalta-se que os parâmetros geotécnicos empregados foram obtidos por correlações com ensaios SPT, adequadas para a fase de projeto, porém sujeitas às limitações inerentes aos métodos empíricos. Dessa forma,

recomenda-se, em estudos futuros, a utilização de ensaios laboratoriais específicos e de instrumentação de campo para calibração e validação dos modelos numéricos empregados.

AGRADECIMENTOS

À TPF Engenharia, pelo apoio financeiro e o incentivo a pesquisa no ambiente de trabalho, sem os quais este trabalho não teria sido possível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). *NBR 12266: Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação*. ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1995). *NBR 6502: Rochas e solos*. ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). *NBR 9061: Segurança de escavação a céu aberto*. ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009). *NBR 11682: Estabilidade de encostas*. ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto*. ABNT.

ASTM International. (2013). *ASTM A36/A36M: Standard specification for carbon structural steel*. ASTM.

Caputo, H. P. (1983). *Mecânica dos solos e suas aplicações* (Vols. 1–2). LTC.

Cintra, J. C. A., & Aoki, N. (2010). *Fundações por estacas: Projeto geotécnico*. Oficina de Textos.

Clough, G. W., & O'Rourke, T. D. (1990). Construction induced movements of in situ walls. In *Proceedings of the Design and Performance of Earth Retaining Structures Conference* (pp. 439–470). American Society of Civil Engineers (ASCE).

Duncan, J. M., & Wright, S. G. (2005). *Soil strength and slope stability*. John Wiley & Sons.

European Committee for Standardization. (2009). *EN 10248: Hot rolled sheet piling of non alloy steels*. CEN.

Federal Highway Administration. (1999). *Earth retaining structures* (Publication No. FHWA-NHI-99-025). U.S. Department of Transportation.

Godoy, N. S. (1972). Classificação de solos para fundações. In *Anais do Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos*. (referenciado por Cintra & Aoki, 2010).

Hachich, W., Falconi, F. F., Saes, J. L., Frota, R. G. Q., Carvalho, C. S., & Niyama, S. (1998). *Fundações: Teoria e prática*. Pini.

Massad, F. (2003). *Obras de terra: Curso básico de geotecnia*. Oficina de Textos.

Peck, R. B. (1969). Deep excavations and tunneling in soft ground. In *Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering* (Vol. 3, pp. 225–290).

Schmertmann, J. H. (1975). Measurement of in situ shear strength. In *Proceedings of the ASCE Specialty Conference on In Situ Measurement of Soil Properties* (Vol. 2, pp. 57–138). American Society of Civil Engineers (ASCE).

Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1967). *Soil mechanics in engineering practice* (2nd ed.). Wiley.

Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice* (3rd ed.). John Wiley & Sons.