19.º Congresso Nacional Geotecnia

11-14 MAIO 2026

UTAD, VILA REAL

Título	Autores
Sessão plenária	
A IMPORTÂNCIA DAS SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO NO COMPORTAMENTO DAS CONTENÇÕES PERIFÉRICAS	Alexandre Pinto
SJF - Sessão José Folque / Jovens Geotécnicos	
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA - CASO DO EDEN HOTEL ESTORIL	Ricardo Justiniano; Alexandre Pinto
STABILIZATION OF A GABION WALL AT AN ELETRICAL SUBSTATION IN COIMBRA: DESIGN SOLUTIONS AND MONITORING RESULTS	André Henriques; Ricardo Braga; Rui Carvalho; Rui Tomásio
Sessão 1T4B - Fundações e obras subterrâneas	
NOVA LINHA CIRCULAR DO METROPOLITANO DE LISBOA: RECALÇAMENTO DE EDIFÍCIOS CENTENÁRIOS	André Henriques; Alexandre Pinto; Carlos de Oliveira Martins; Catarina Fartaria; Rui Tomásio
LINHA RUBI DO METRO DO PORTO: ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA DA ESTAÇÃO DE CAMPO ALEGRE	André Henriques; António Pereira; Filipa Duarte; Rui Tomásio
NOVA LINHA CIRCULAR DO METROPOLITANO DE LISBOA: LIGAÇÃO ENTRE O NOVO TÚNEL E O TERMINAL EXISTENTE NO CAIS SODRÉ	Pedro Marques; Alexandre Pinto; Carlos de Oliveira Martins; Catarina Fartaria; Rui Tomásio
Sessão 1T8D - Geotecnia urbana e reabilitação	
DESAFIOS E SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTEÇÃO PERIFÉRICA DA PARCELA A E DO LOTE B1 DE ENTRECAMPOS (ANTIGA FEIRA POPULAR)	Carlos de Oliveira Martins; Alexandre Pinto; Rui Tomásio
NOVA LINHA CIRCULAR DO METROPOLITANO DE LISBOA: RECALÇAMENTO DE EDIFICIOS DE MEDIO PORTE	Carlos de Oliveira Martins; Alexandre Pinto; Catarina Fartaria; Rui Tomásio
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFERICA NAS ANTIGAS INSTALAÇÕES DO QUARTEL DA GNR CABEÇO DA BOLA, LISBOA	Rui Tomásio; Adriana Azevedo; Carlos de Oliveira Martins; Diogo Cordeiro
Sessão 2T9D - Engenharia sísmica e riscos naturais	
SOLUÇÃO DE ESTABILIZAÇÃO PARA O ESCORREGAMENTO DO TALUDE: CASO DE TORRES VEDRAS	Cleberson Matos; Ricardo Justiniano

Título	Autores
Sessão 3T7B - Taludes naturais, de escavação e de aterro	
SOLUÇÕES DE REPERFILAMENTO DE TALUDES NUM EMPREENDIMENTO LOGÍSTICO SITUADO NA MALVEIRA	Adriana Azevedo; Miriam Lopes; Nuno Silva
Sessão 3T8C - Geotecnia urbana e reabilitação	
SOLUÇÕES DE RECALÇAMENTO, ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA PARA REABILITAÇÃO DE UM EDIFÍCIO CENTENÁRIO NA ESTRELA, LISBOA	Pedro Marques; Rui Tomásio
SOLUÇÃO DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA DO EDIFÍCIO MIMA NA PARCELA 3.21 DO PARQUE DAS NAÇÕES - LISBOA	Carla Pereira; Carlos de Oliveira Martins; Rui Tomásio
ESCAVAÇÃO, CONTENÇÃO PERIFÉRICA E RECALÇAMENTO DE FACHADA DE UM EDIFÍCIO NO ESTORIL - CASCAIS	Joana Silva; Alexandre Pinto; Carlos de Oliveira Martins
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA PARA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIO NA AVENIDA DE BERNA, LISBOA	Anderson Guimarães; Carlos de Oliveira Martins; Pedro Marques; Rui Tomásio
ESTABILIZAÇÃO DE UMA CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM CONTEXTO URBANO, LISBOA	Diogo Cordeiro; Alexandre Pinto; André Henriques
Sessão 4T4C - Fundações e obras subterrâneas	
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO, CONTENÇÃO PERIFÉRICA E FUNDAÇÕES NO PARQUE DE ESTACIONAMENTO DA TRAVESSA DO BAHUTO, LISBOA	Francisco Castilho Neves; Alexandre Pinto; Pedro Marques
DESAFIOS DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM EDIFÍFICO MULTIFAMILIAR – LISBOA, AV.24 DE JULHO	Manuel Domingues; Ricardo Justiniano
DESEMPENHO DE MICROESTACA À TRAÇÃO POR MEIO DE PROVA DE CARGA ESTÁTICA INSTRUMENTADA E SIMULAÇÃO NUMÉRICA	Thaís Maria Leite Paludeto; André Henriques
Sessão 4T2D - Geomateriais: rochas, solos e geossintéticos	
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM EDIFÍCIO RESIDENCIAL, RUA DAS QUINTAS, ALMADA	Ana Maria Pauseiro; Ricardo Justiniano
Sessão 5T7A - Taludes naturais, de escavação e de aterro	
SOLUÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO DE PLATAFORMA NO TOPO DA ENCOSTA DE SANTA CATARINA, EM SANTARÉM	Alexandre Pinto; Inês Braz
Sessão 5T5B - Geotecnia em vias de comunicação	
SOLUÇÕES DE ATERROS DE AGREGADOS LEVES SOBRE SOLOS MOLES	Inês Braz; Alexandre Pinto; Ana Fernandes
Sessão 5T8D - Geotecnia urbana e reabilitação	
NOVA LINHA RUBI DO METRO DO PORTO: SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA PARA A CONSTRUÇÃO DA ESTAÇÃO DE DEVESAS	Thaís Maria Leite Paludeto; Rui Tomásio; Filipa Duarte; António Pereira; André Henriques
Sessão 6T8A - Geotecnia urbana e reabilitação	
DESAFIOS DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM EDIFÍCIO MULTIFAMILIAR – LISBOA, BENFICA	Pedro Tigre; Ricardo Justiniano
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA COM RECALÇAMENTO DE FACHADA DE UM EDIFÍCIO HISTÓRICO, EM LISBOA	Alexandre Pinto; Eduardo Freitas; Inês Braz; Rogério Santos

Título	Autores
Sessão 7T8B - Geotecnia urbana e reabilitação	
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA PARA EXECUÇÃO DA NOVA SUPERFÍCIE COMERCIAL DA MERCADONA EM EIRES, COIMBRA	Lourenco Fernandes; Carlos de Oliveira Martins
PROJETO DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA COM 3 PISOS ENTERREADOS, NUMA ZONA URBANA DENSA, EM VILA NOVA DE GAIA	André Sousa; Carlos de Oliveira Martins
Sessão 8T5A (CPGT) - Geotecnia em vias de comunicação	
NOVA LINHA CIRCULAR DO METROPOLITANO DE LISBOA: SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO DO TROÇO DE TÚNEL REALIZADO A CÉU ABERTO	Catarina Fartaria; Carlos de Oliveira Martins; Pedro Marques; Rui Tomásio; Alexandre Pinto
Sessão 8D (CPMT) - Comissão Portuguesa de Melhoramento de Terrenos	
ATERROS DE COMPENSAÇÃO SOBRE SOLOS MOLES ALUVIONARES: SOLUÇÃO PARA LIMITAÇÃO GEOMÉTRICA DE PRÉ-CARGA NA PLATAFORMA LOGÍSTICA LISBOA NORTE	Miriam Lopes; Alexandre Pinto

utad

19.º Congresso Nacional

Geotecnia

11-14 Maio 2026

A importância das soluções de travamento no comportamento das contenções periféricas

Alexandre Pinto / JETsj Geotecnia, IST-UL

JET SJ

TÉCNICO UNIVERSIDADE DE LISBOA

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

12 de Maio 2026, 15:45-16:30, Aula Magna

ÍNDICE

- **Introdução**
- Soluções de travamento – escoramentos
- Soluções de travamento – ancoragens
- Soluções de travamento – bandas de laje
- Soluções de travamento - contrafortes
- Análise comparativa
- Reflexões

INTRODUÇÃO

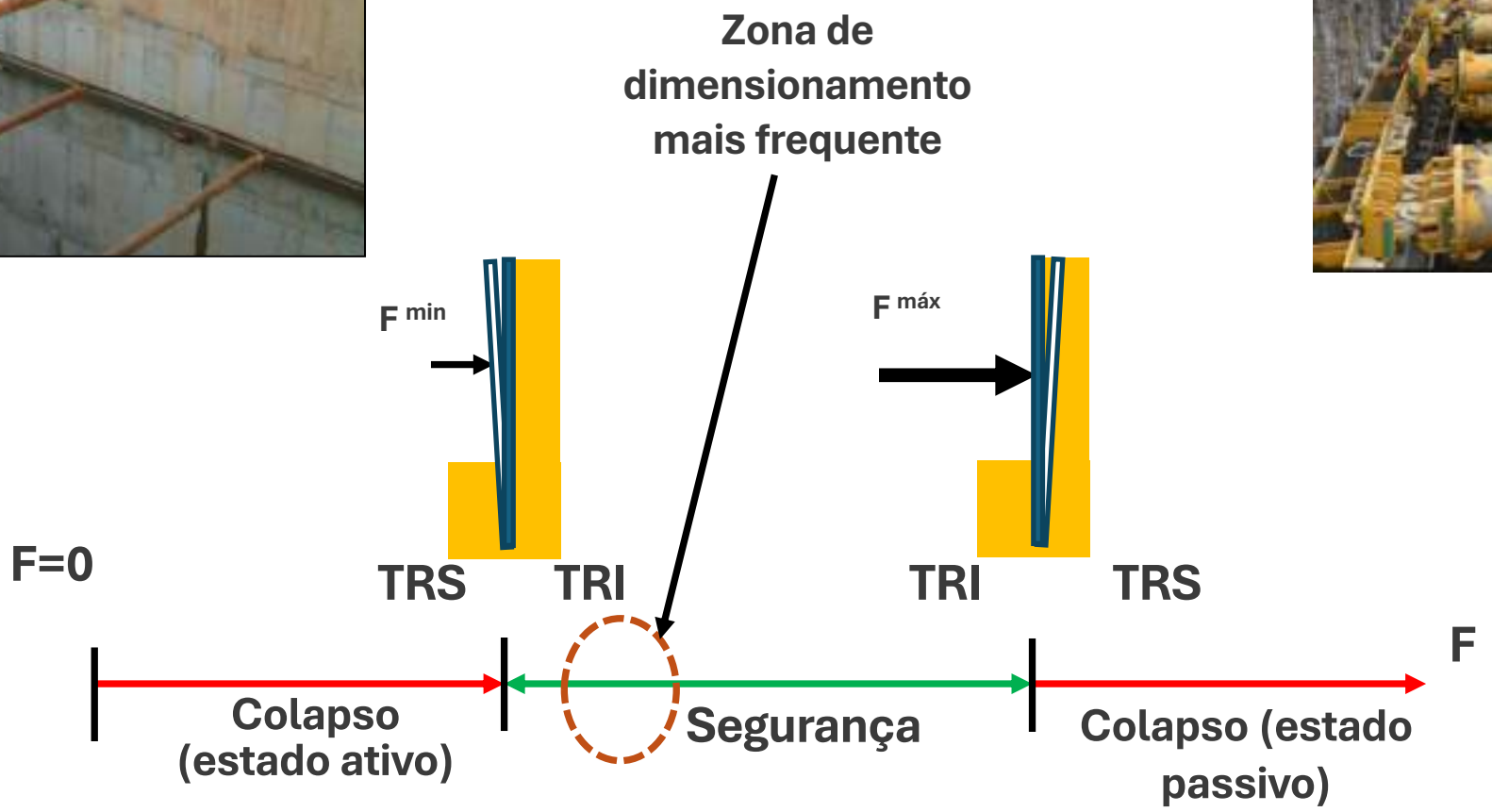
- A importância do desempenho eficaz dos travamentos (ancoragens, escoras, bandas de laje) no comportamento das contenções periféricas, manifestado pelo controlo de deformações, das soluções de contenção periférica em meio urbano

INTRODUÇÃO

- A importância do desempenho eficaz dos travamentos (ancoragens, escoras, bandas de laje) no comportamento das contenções periféricas, manifestado pelo controlo de deformações, das soluções de contenção periférica em meio urbano

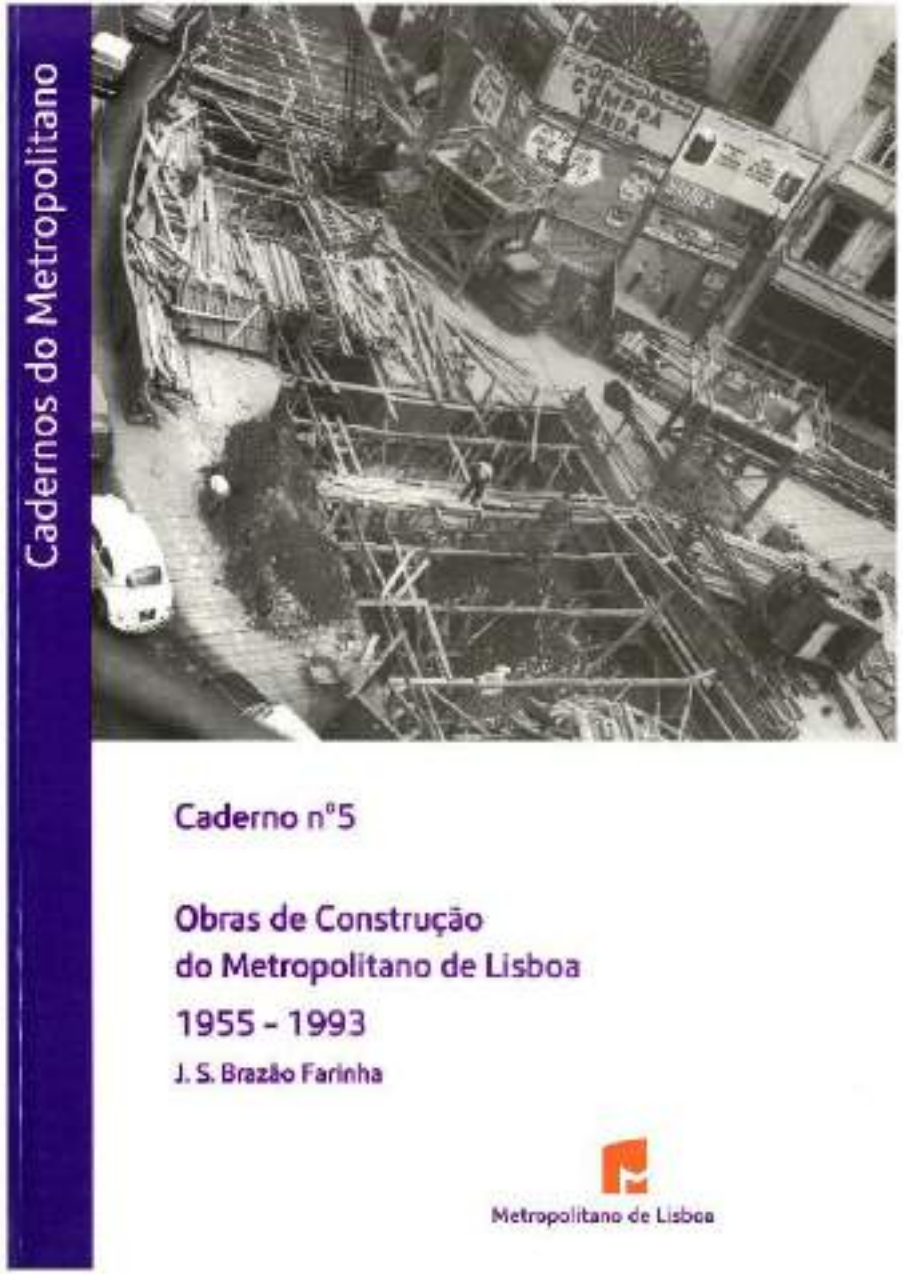
- Relevância do tema: face às dificuldades que têm vindo a ser observadas em algumas obras de escavação e contenção periférica, em particular quando os respetivos travamentos são materializados através de ancoragens provisórias

CONCEITO DE INTERVALO DE SEGURANÇA



SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO

- Grande evolução tecnológica, sobretudo ao nível das soluções de escoramento e de ancoragens



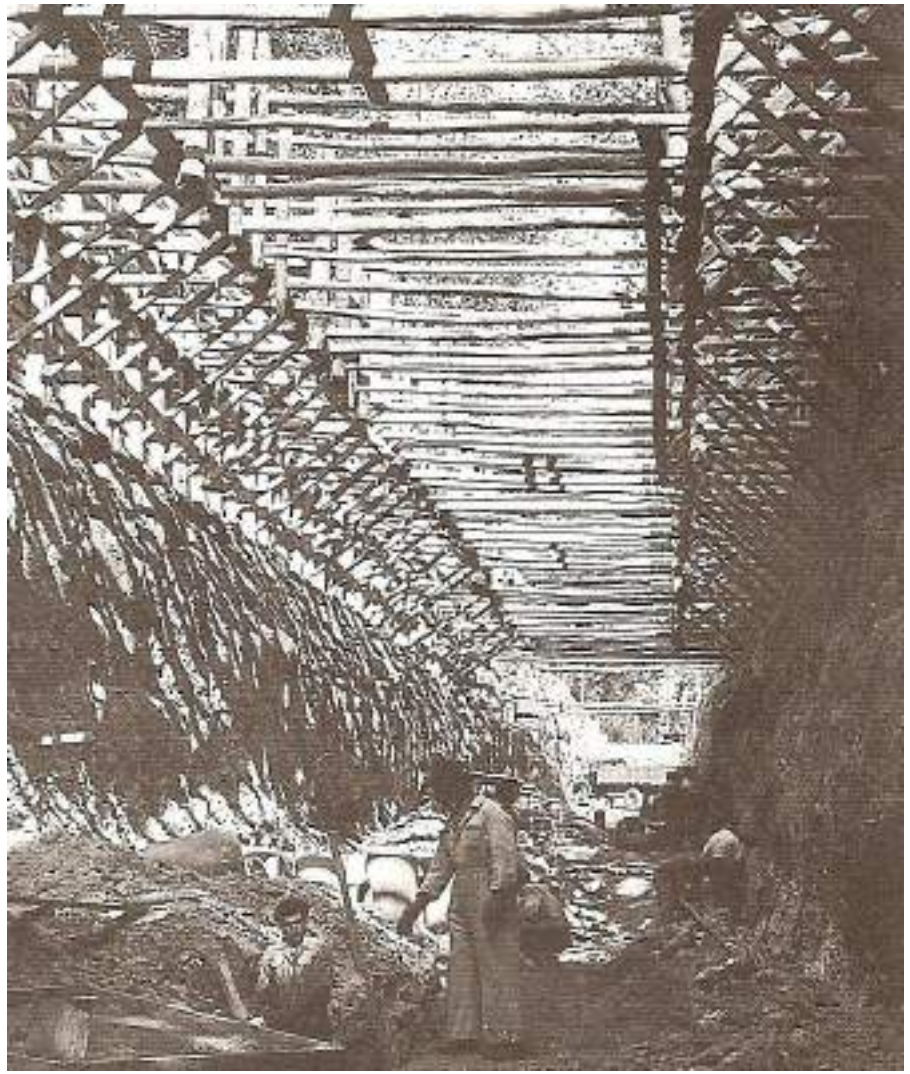
Caderno nº5, ML, J. S. Brazão Farinha

ÍNDICE

- Introdução
- **Soluções de travamento – escoramentos**
- Soluções de travamento – ancoragens
- Soluções de travamento – bandas de laje
- Soluções de travamento - contrafortes
- Análise comparativa
- Reflexões

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO - ESCORAMENTOS

- Grande evolução tecnológica, ao nível das soluções metálicas, incluindo possibilidade de aplicação de pré esforço



Av. Liberdade. Fonte Maria Rollo, Anos 60

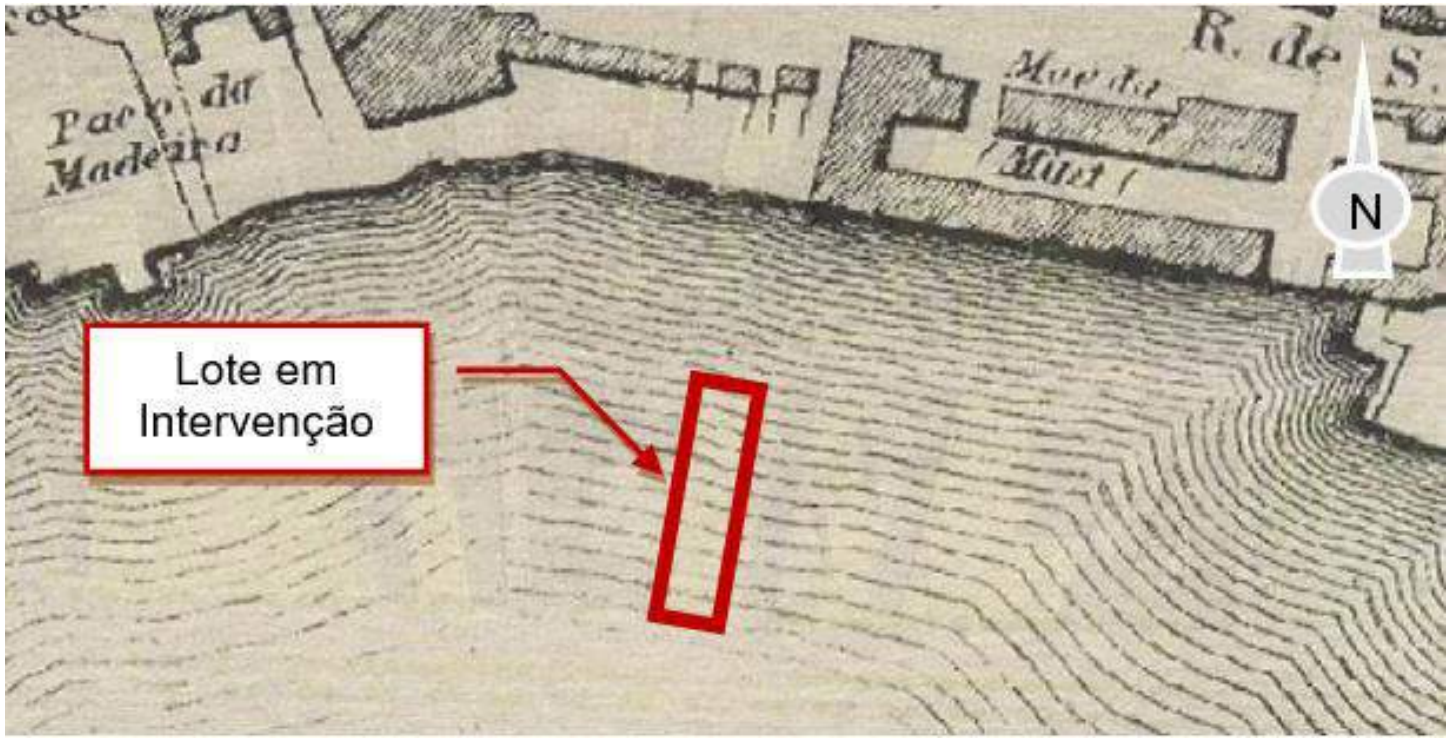
SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO - ESCORAMENTOS

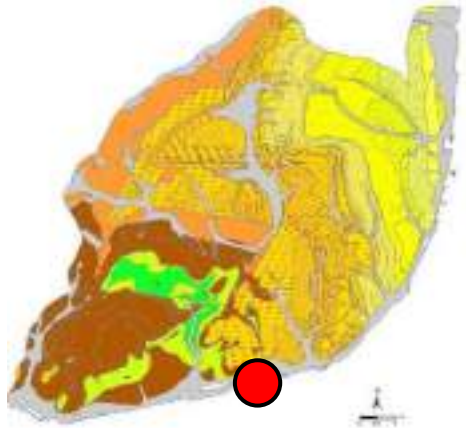
- Soluções tradicionais de escoramento inclinado, destacando-se a importância das condições de fundação!

Hospital da Luz, Clínica Vila Franca de Xira, 2020

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO - ESCORAMENTOS

- Soluções tradicionais, adotadas com maior frequência em zonas geologicamente desfavoráveis



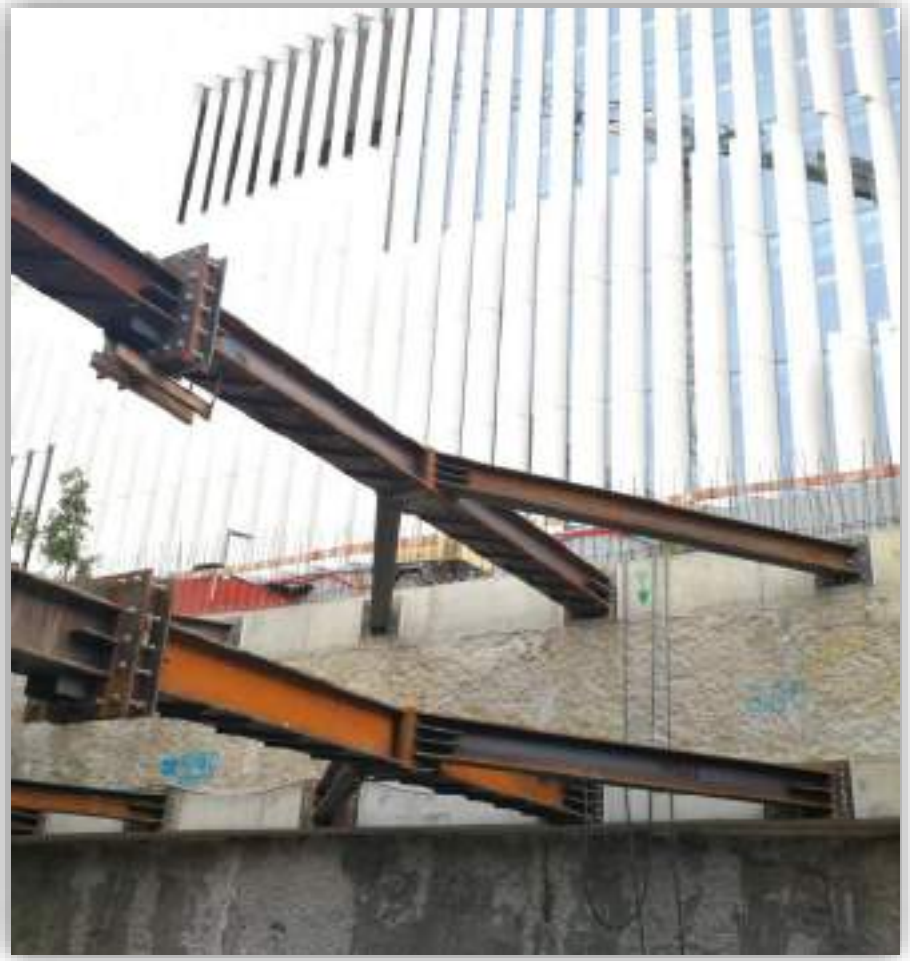


Obra situada sobre o Aterro da Boavista (‘O Grande Aterro’)
Uma das maiores obras públicas do século XIX em Lisboa

Edifício na Av. 24 de Julho, Lisboa, 2021

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO - ESCORAMENTOS

- Soluções tradicionais, adotadas em zonas geologicamente desfavoráveis



Edifício na Av. 24 de Julho, Lisboa, 2021

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO - ESCORAMENTOS

P

ARQUEOLOGIA

Obras na Av. 24 de Julho, em Lisboa, revelam grande e bem preservado navio do final do século XVII

Embarcação destinava-se à navegação atlântica e terá sido descoberta no final do ano passado. Tem cerca de 27 metros de comprimento e o seu estudo será importante para entender mais sobre a construção naval na segunda metade do século XVII, em Portugal.

Lusa

26 de Janeiro de 2021, 10:57

Read in english | Receber alertas

Edifício na Av. 24 de Julho, Lisboa, 2021

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO - ESCORAMENTOS

- Soluções tradicionais, adotadas com maior frequência em zonas geologicamente desfavoráveis e/ou em mercados onde existe tradição

Edifício em Macau, 2020

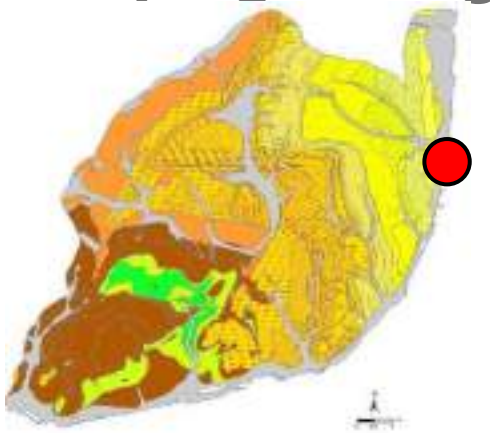
SOLUÇÕES DE ESCORAMENTO– BANDAS DE LAJE

- Soluções estruturais, sempre que possível, a integrar na estrutura definitiva dos pisos enterrados, exigindo apoios provisórios

Edifício Av. Républica, Lisboa, 2012

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO - ESCORAMENTOS

- Solução de escoramento duplo:
- 1º nível: tirantes / escoras;
- 2º nível colunas de jet grouting

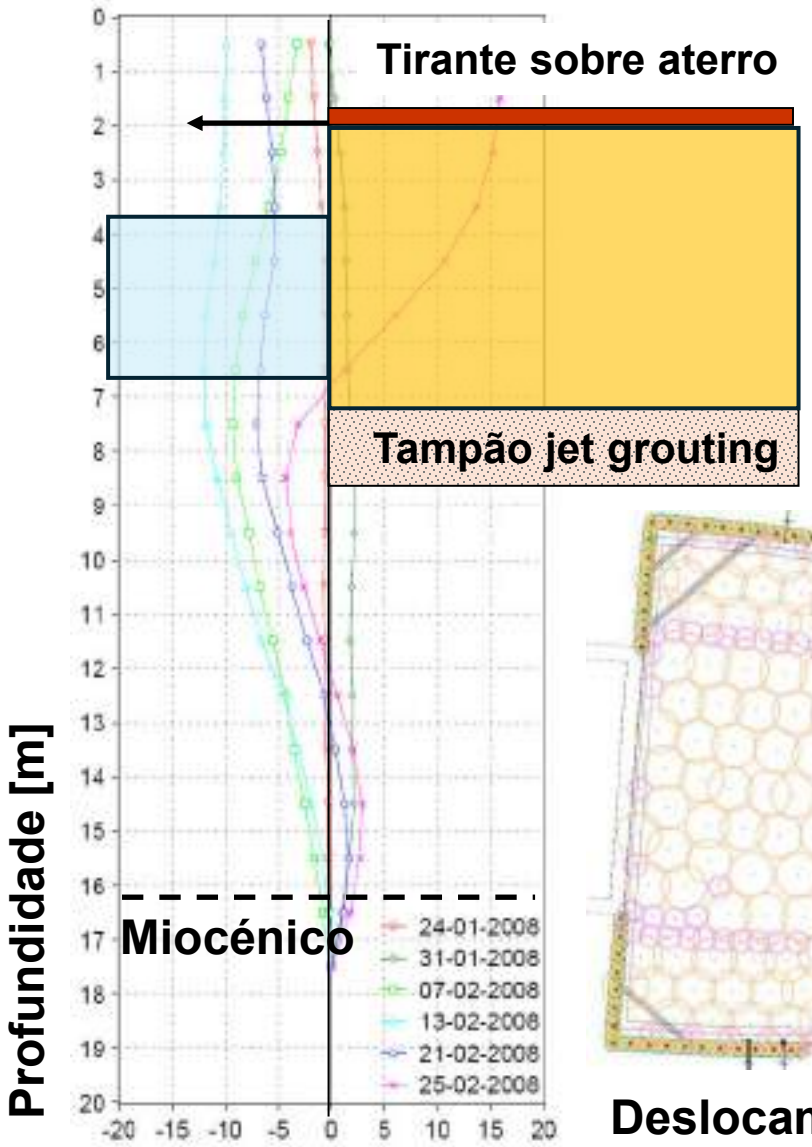


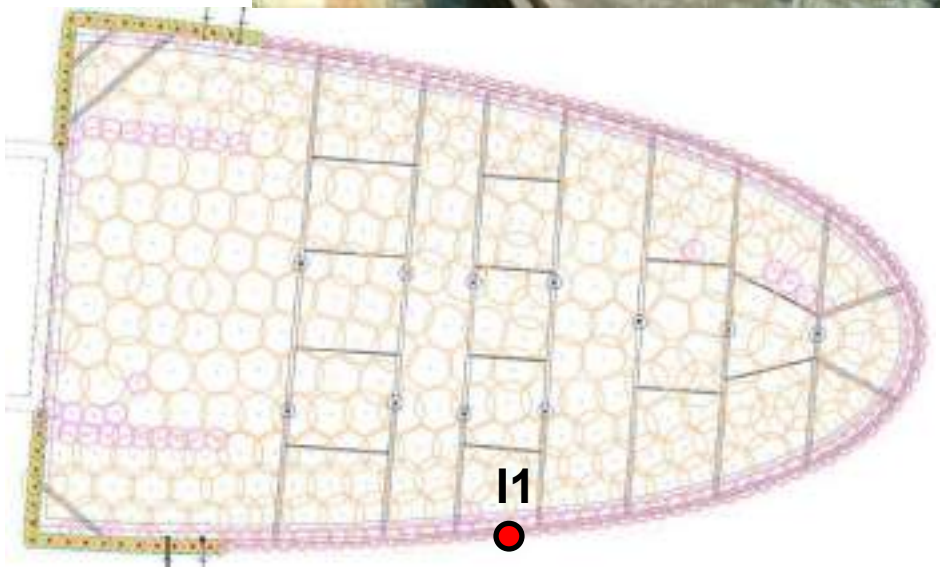
Myriad by Sana Hotel, Lisboa, 2008

JET SJ

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO - ESCORAMENTOS

- Eficácia da escora / tampão de fundo

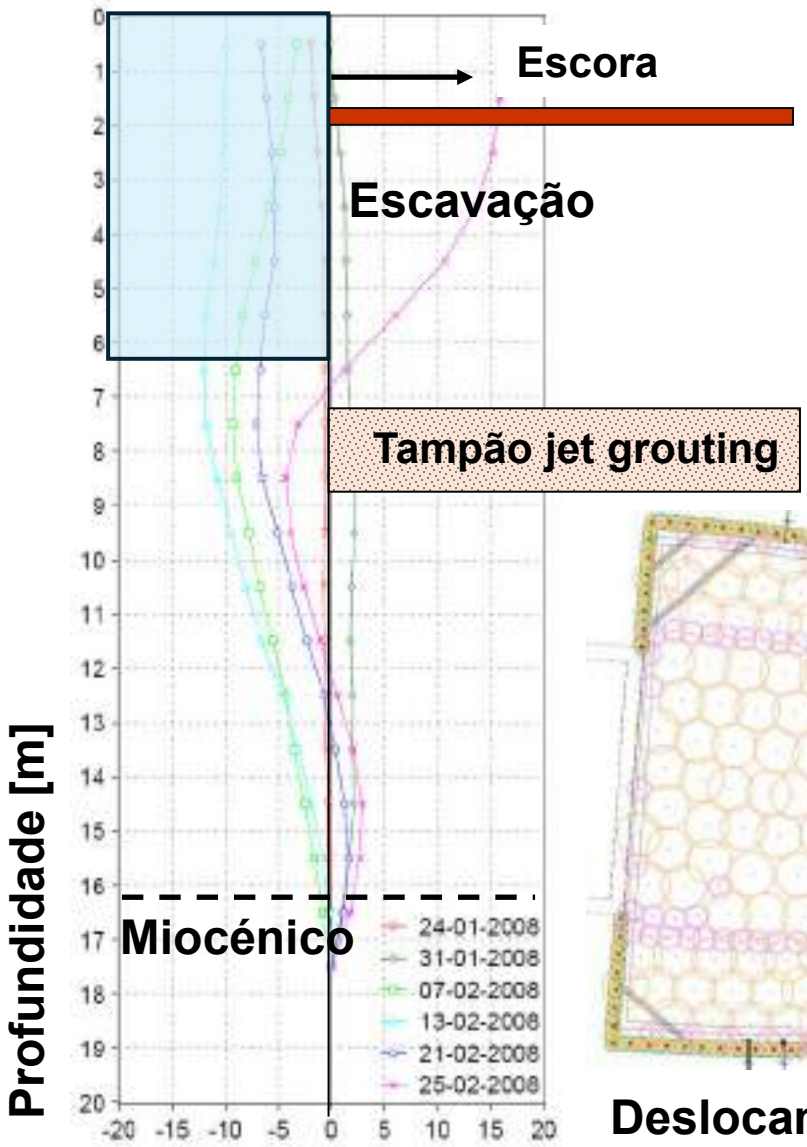


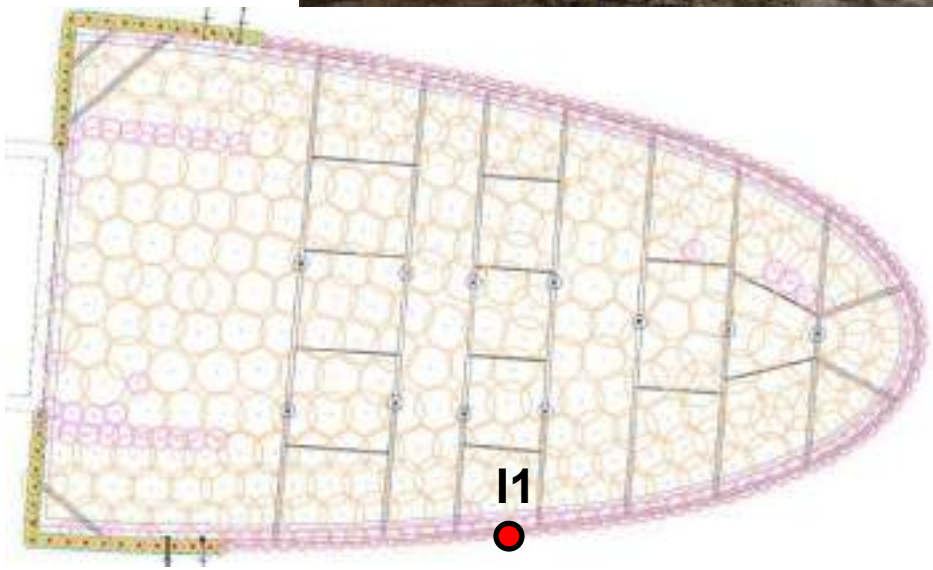


Myriad by Sana Hotel, Lisboa, 2008

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO - ESCORAMENTOS

- Eficácia da escora / tampão de fundo





Myriad by Sana Hotel, Lisboa, 2008

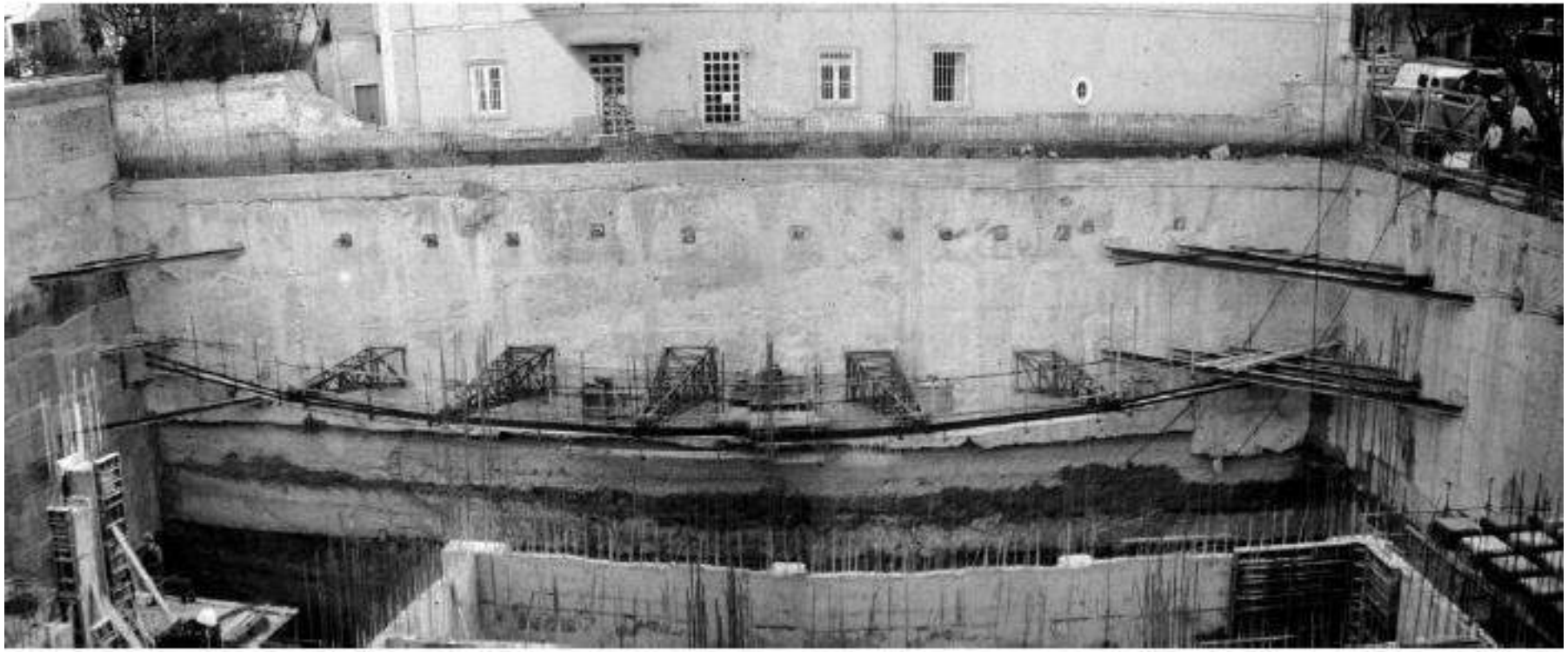
ÍNDICE

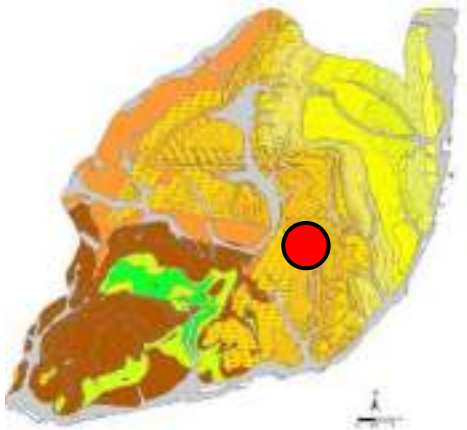
- Introdução
- Soluções de travamento – escoramentos
- **Soluções de travamento – ancoragens**
- Soluções de travamento – bandas de laje
- Soluções de travamento - contrafortes
- Análise comparativa
- Reflexões

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO - ANCORAGENS

- Grande evolução tecnológica nas soluções de ancoragens

❑ Ancoragens “virtuais”

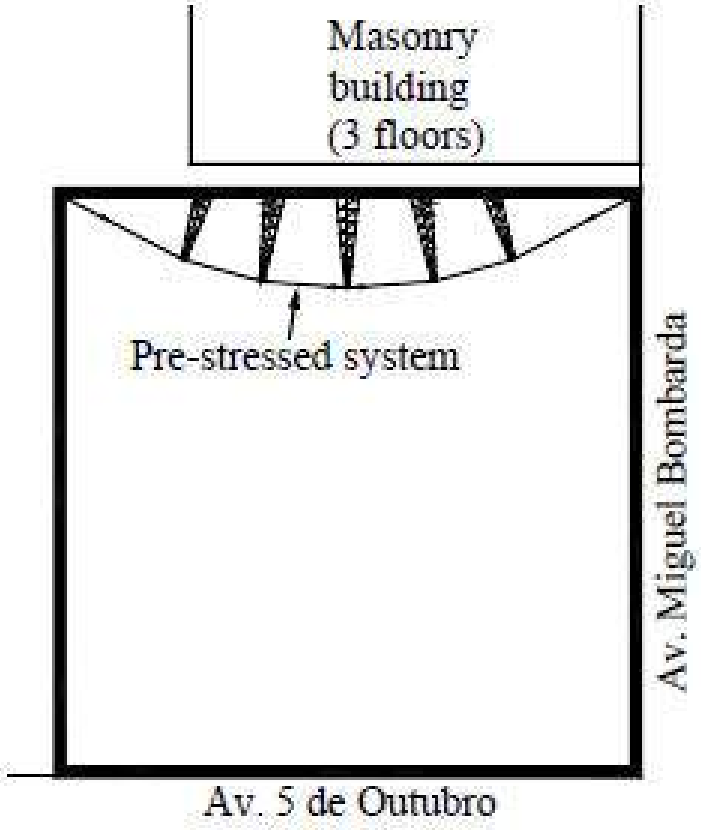


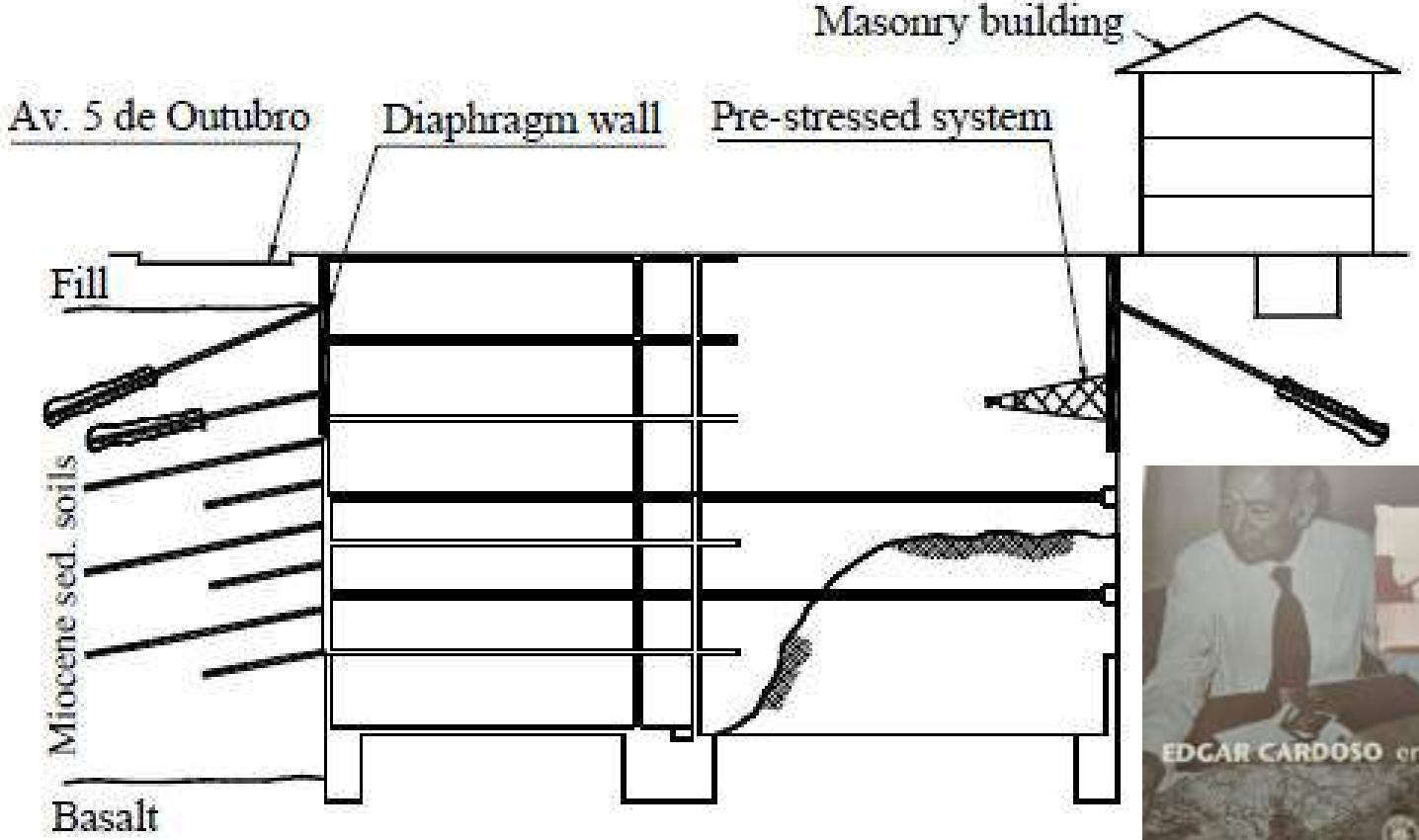


Edifício na Av. 5 de Outubro / Av. Miguel Bombarda. Lisboa, Fonte: Luís Lousada Soares

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO - ANCORAGENS

- Grande evolução tecnológica nas soluções de ancoragens

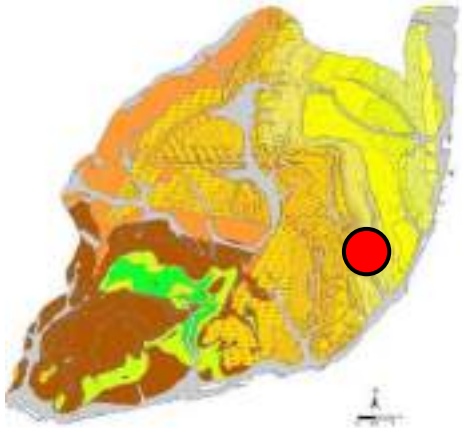




Edifício na Av. 5 de Outubro / Av. Miguel Bombarda. Lisboa, Fonte: Luís Lousada Soares

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO - ANCORAGENS

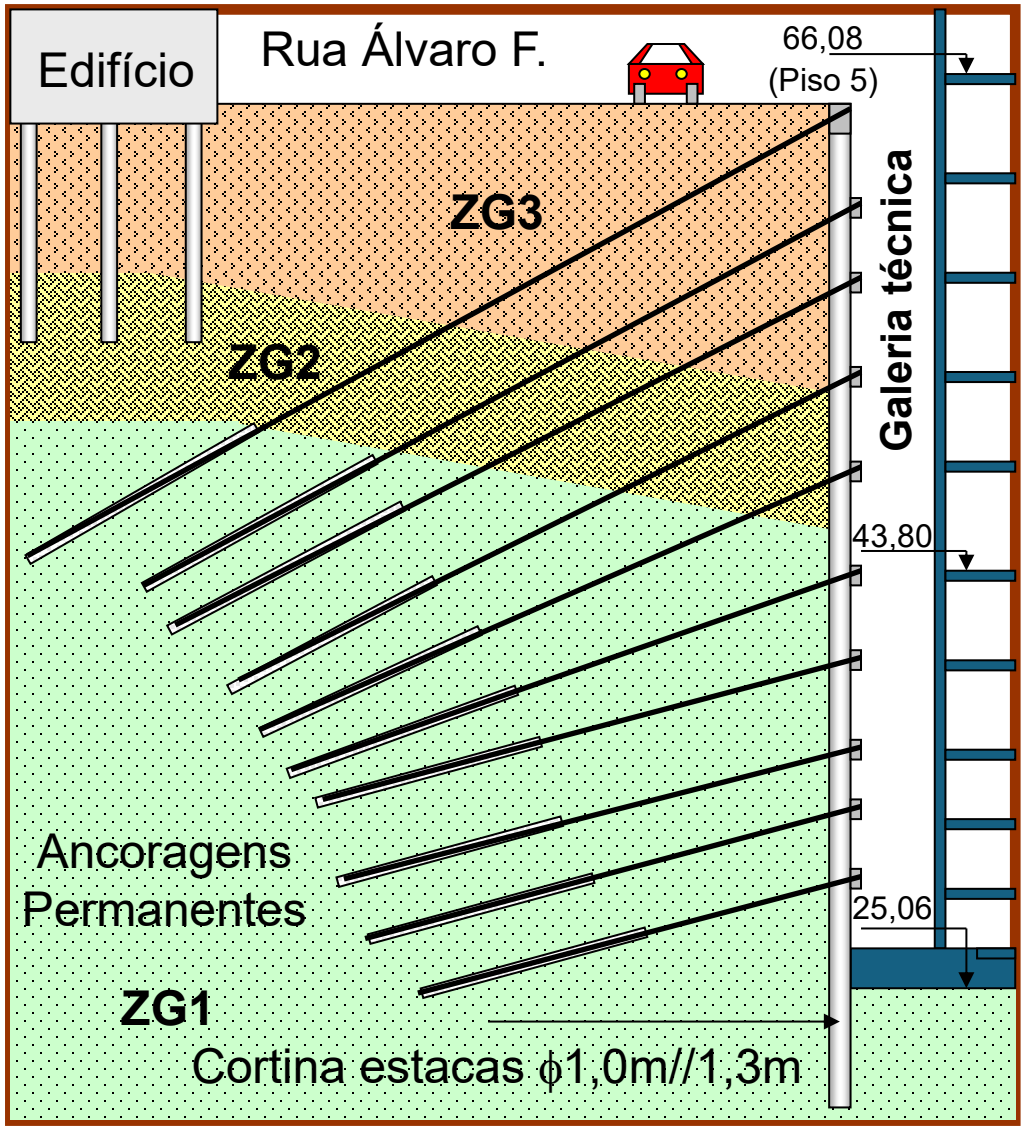
- Soluções tradicionais adotadas em terrenos com competência para acomodar os bolbos de selagem



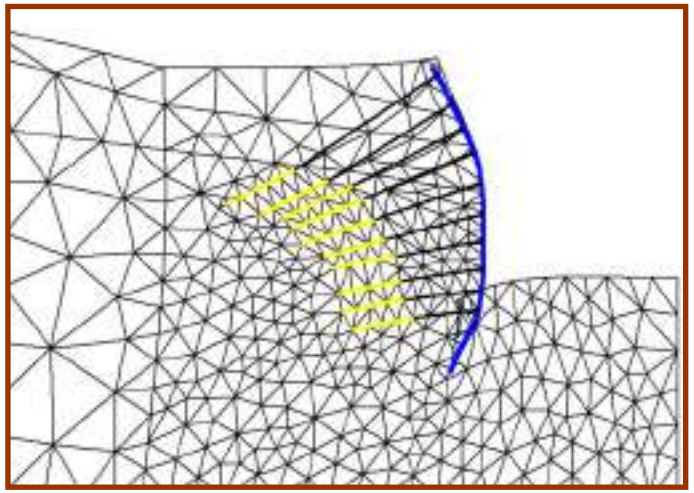
- Exigem uma boa execução, sobretudo, dos bolbos de selagem

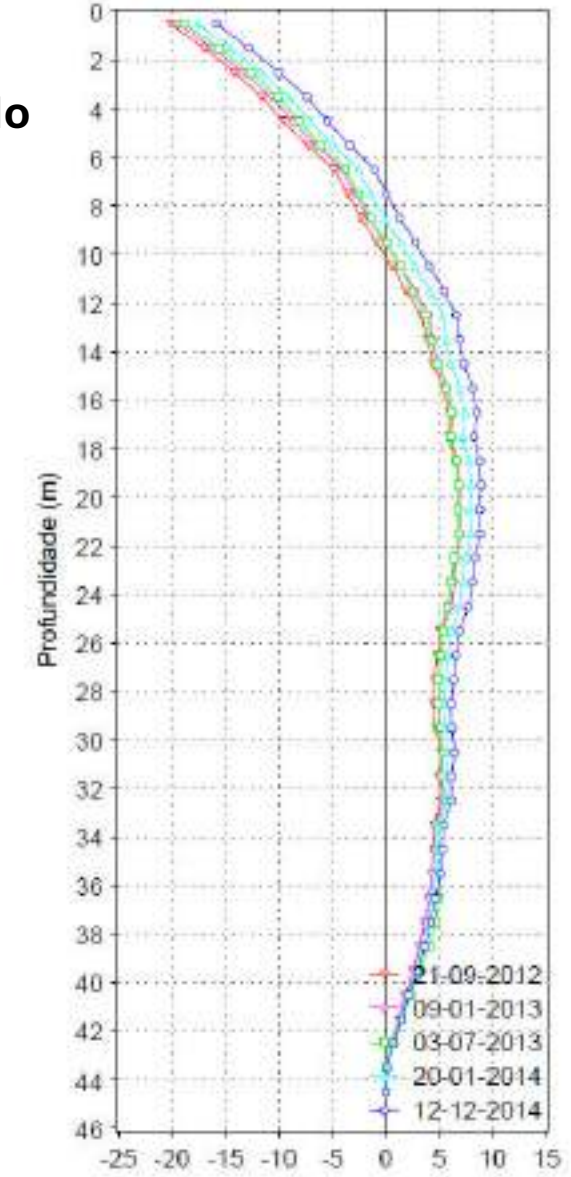
Edifício BCAML, Lisboa, 2005

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO - ANCORAGENS



I2 – Deslocamento acumulado (mm),
desde 21/06/2006
8 + 10 ANOS





Edifício BCAML, Lisboa, 2005

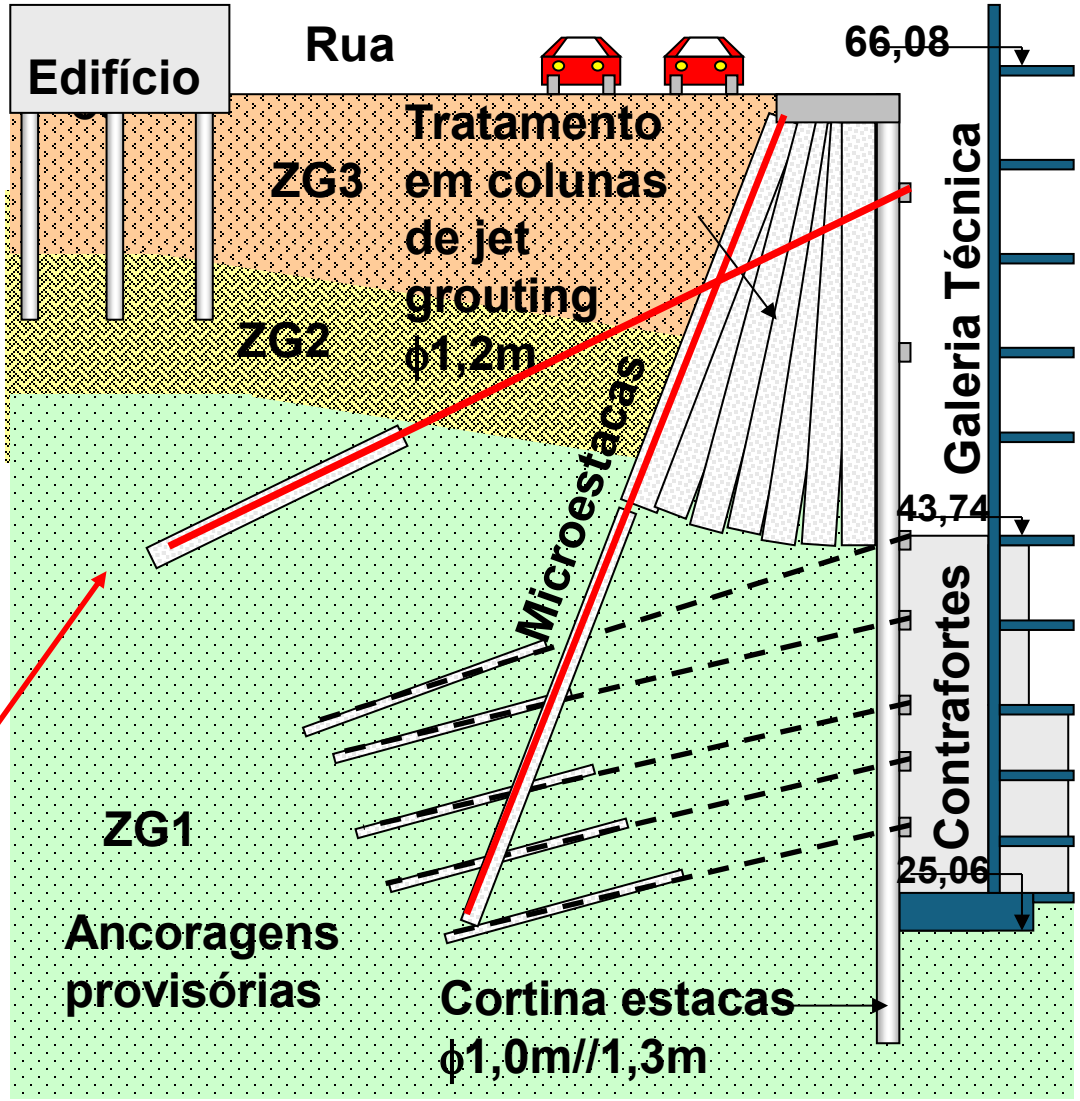
SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO - ANCORAGENS

- Ancoragens com injeção de preenchimento executada em obra

Edifício BCAML, Lisboa, 2005

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO - ANCORAGENS

- Solução passiva, sem recurso a ancoragens e, em consequência, menor exigência de manutenção e de observação (NÃO ADOTADA)

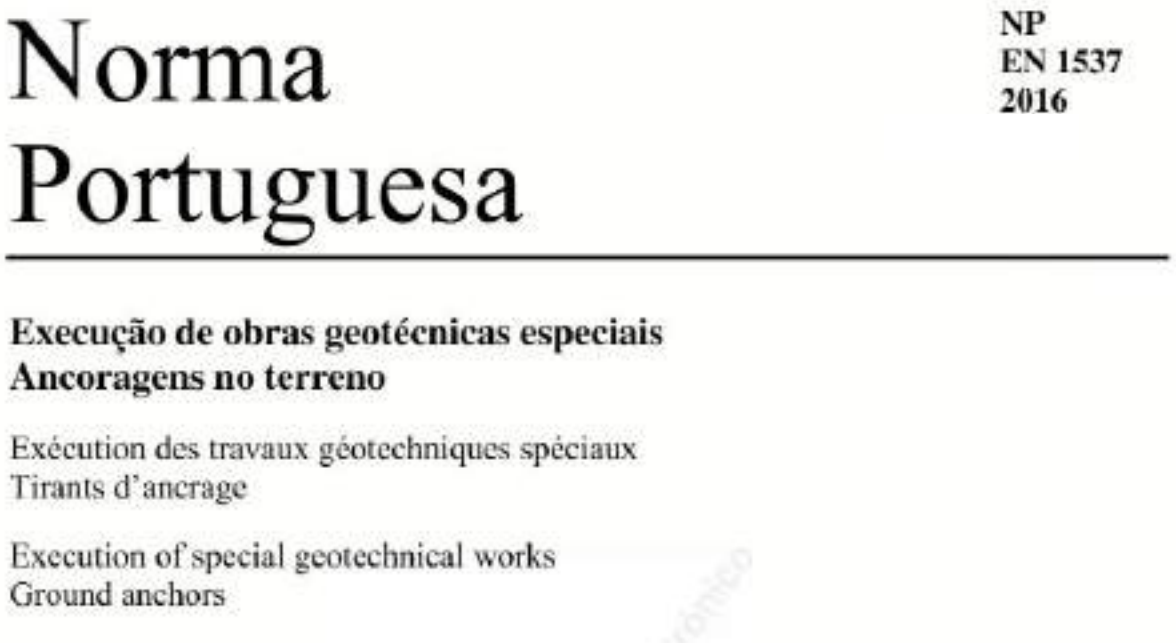


Microestacas com elevada rigidez axial para controlo das deformações

Edifício BCAML, Lisboa, 2005

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO - ANCORAGENS

- Ancoragens provisórias: vida útil máxima de 2 anos
- Ancoragens “definitivas”: vida útil mínima de 2 anos, exigindo:



Norma Portuguesa

NP EN 1537 2016

Execução de obras geotécnicas especiais
Ancoragens no terreno

Exécution des travaux géotechniques spéciaux
Tirants d'ancrage

Execution of special geotechnical works
Ground anchors

- ❑ Proteção contra a corrosão
- ❑ Instrumentação e Observação
- ❑ Acessibilidade para retensionamento e/ou substituição

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – INJEÇÃO SELAGEM

- A formação do bolbo de selagem da ancoragem de forma compatível com o valor da carga a transmitir ao terreno e com as características do mesmo terreno

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – INJEÇÃO SELAGEM

- A formação do bolbo de selagem da ancoragem de forma compatível com o valor da carga a transmitir ao terreno e com as características do mesmo terreno
- A garantia de proteção da armadura da ancoragem contra a corrosão, em particular nas ancoragens não provisórias

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – INJEÇÃO SELAGEM

- A formação do bolbo de selagem da ancoragem de forma compatível com o valor da carga a transmitir ao terreno e com as características do mesmo terreno
- A garantia de proteção da armadura da ancoragem contra a corrosão, em particular nas ancoragens não provisórias
- O alargamento das paredes do furo na zona do comprimento de selagem da ancoragem, de forma a aumentar a sua capacidade de carga

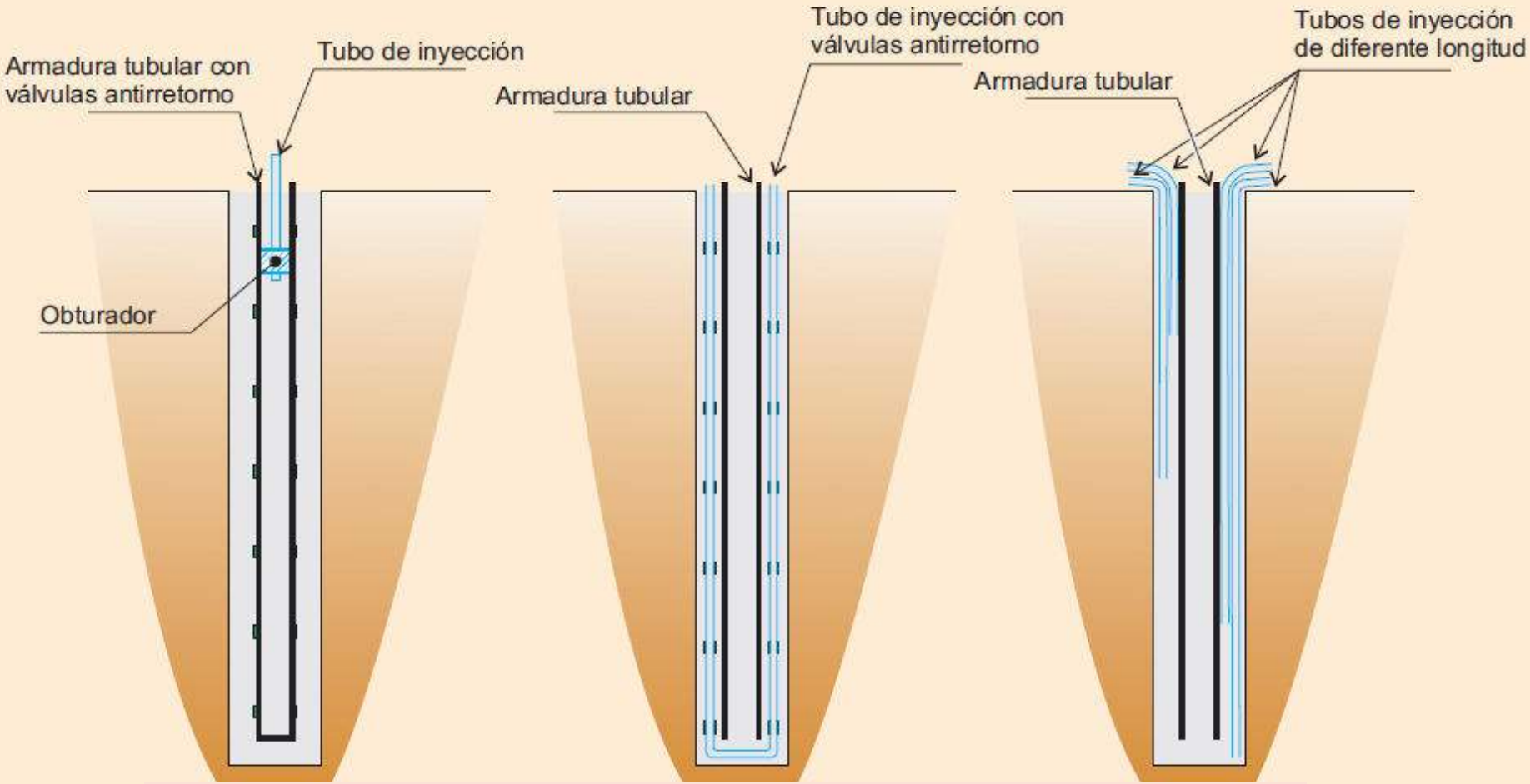
SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – INJEÇÃO SELAGEM

- A formação do bolbo de selagem da ancoragem de forma compatível com o valor da carga a transmitir ao terreno e com as características do mesmo terreno
- A garantia de proteção da armadura da ancoragem contra a corrosão, em particular nas ancoragens não provisórias
- O alargamento das paredes do furo na zona do comprimento de selagem da ancoragem, de forma a aumentar a sua capacidade de carga
- O tratamento do terreno nas imediações na zona de selagem da ancoragem, de forma a limitar a migração de calda

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – INJEÇÃO SELAGEM

- Injeção tipo IR

Fonte: Guia para o Projeto e Execução de Microestacas, Espanha



❑ Injeção menos controlada!

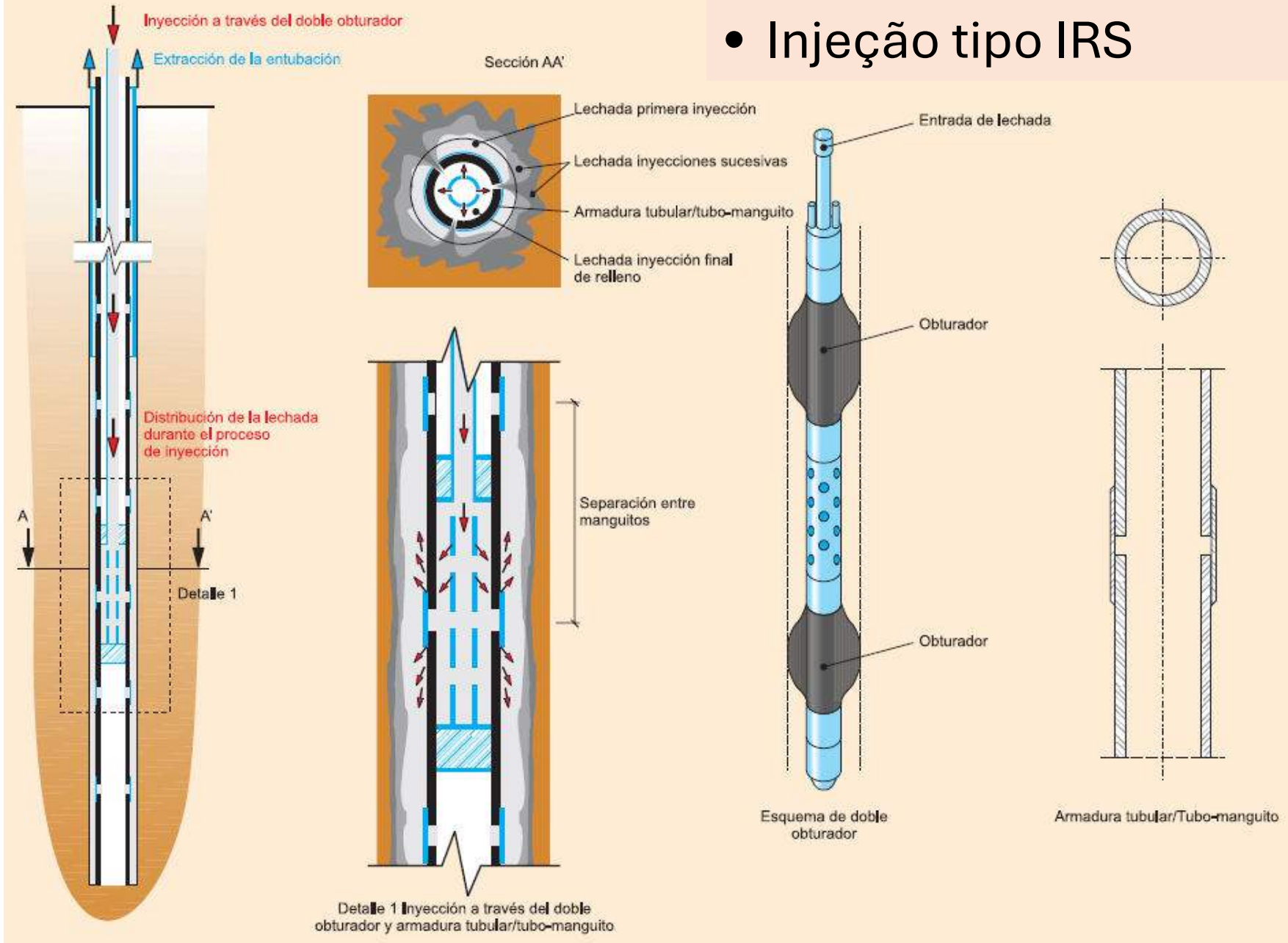
SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – INJEÇÃO SELAGEM

- Injeção tipo IR

❑ Injeção menos controlada e que pode ser perigosa em maciços heterogéneos!

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – INJEÇÃO SELAGEM

- Injeção tipo IRS



Fonte: Guia para o Projeto e Execução de Microestacas, Espanha

- ❑ Injeção mais controlada e eficaz!

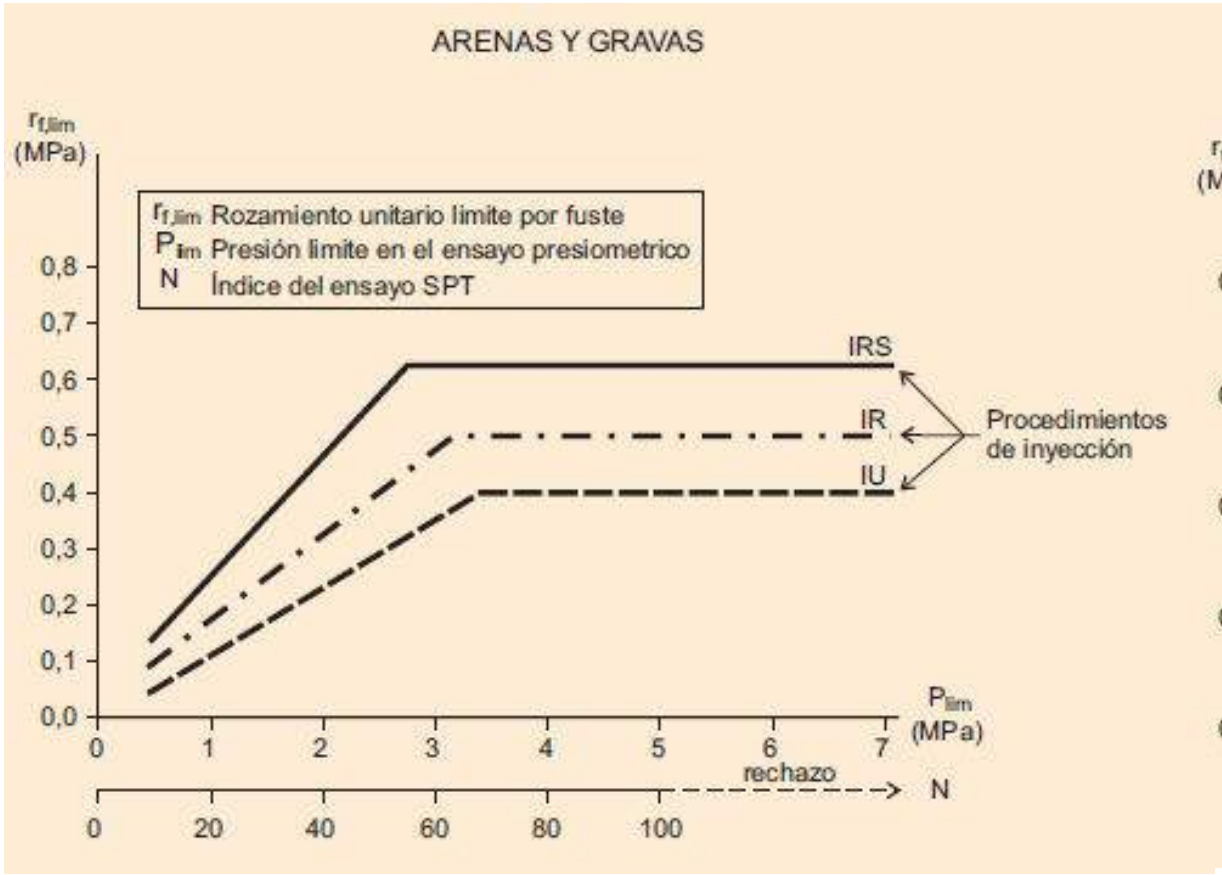
SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – INJEÇÃO SELAGEM

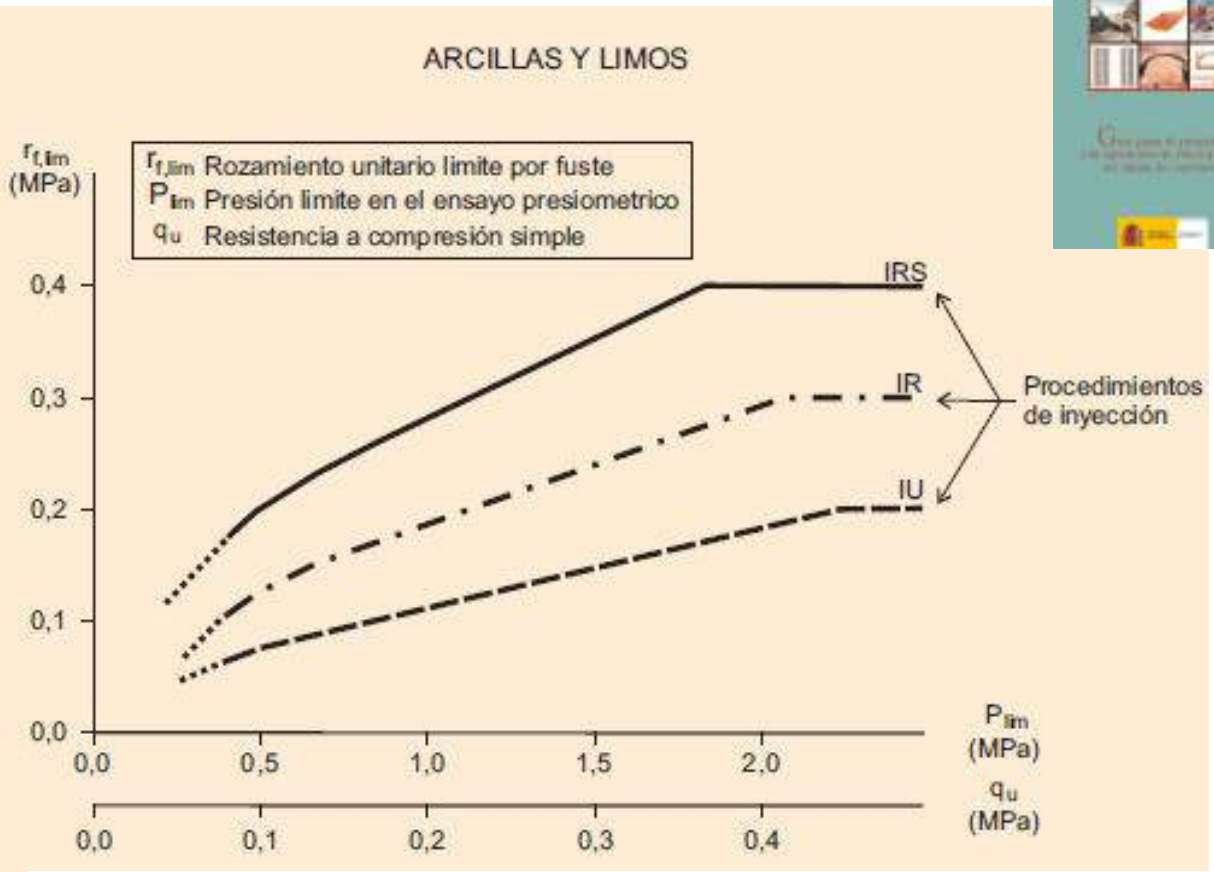
- Injeção tipo IRS

❑ Injeção que exige maior diâmetro de furação, mas mais controlada e eficaz!

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – INJEÇÃO SELAGEM

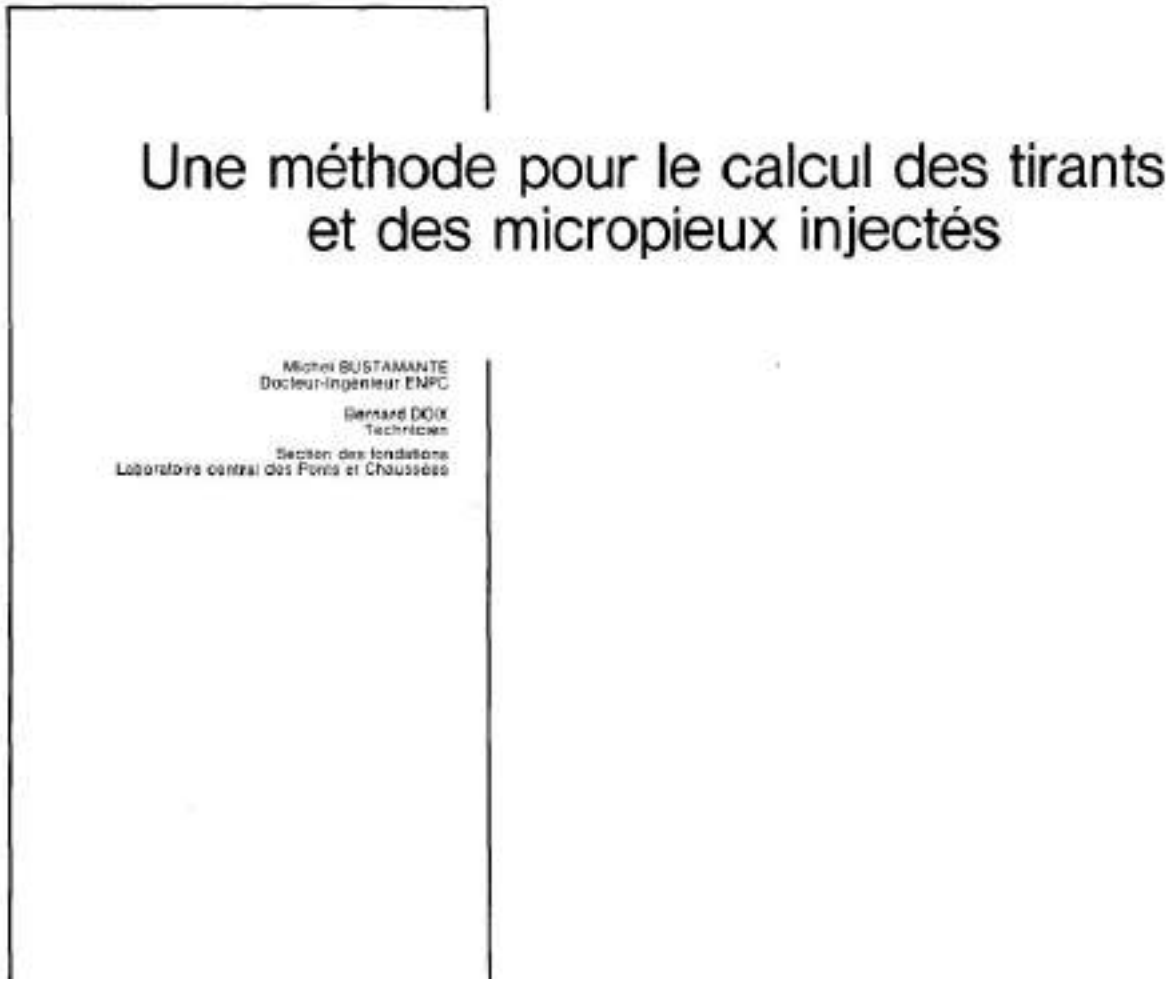
- Injeção tipo IR e IRS: valores da tensão tangencial de atrito





Fonte: Guia para o Projeto e Execução de Microestacas, Espanha

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – INJEÇÃO SELAGEM



Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés

Michel BUSTAMANTE
Docteur-Ingénieur ENPC

Bernard DOIX
Technicien

Section des fondations
Laboratoire central des Ponts et Chaussées

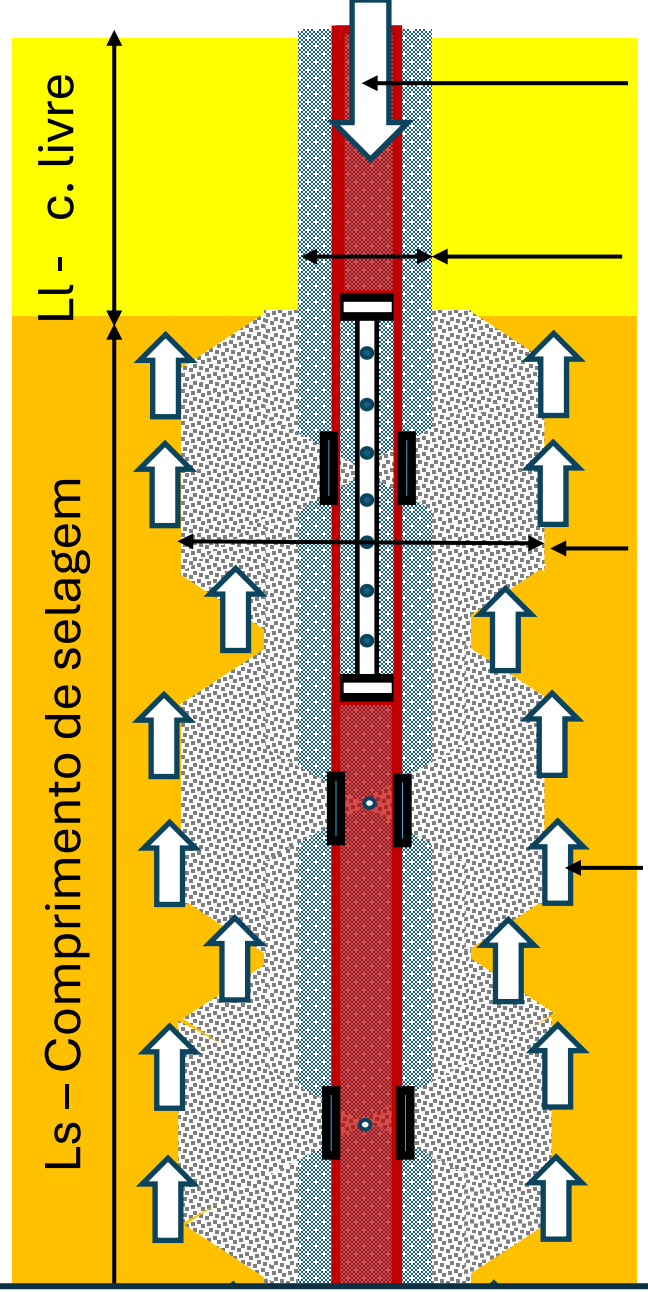
Bull liasion labo P. et Ch. 140 – nov-déc 1985 – Réf. 3047

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – INJEÇÃO SELAGEM

- Injeção tipo IRS

Necessário ajustar à formulação do EC7

$$Ls = \frac{SF \times N}{(\alpha \times \phi \times qs)}$$



N – Carga axial x coeficiente de segurnaça (SF)

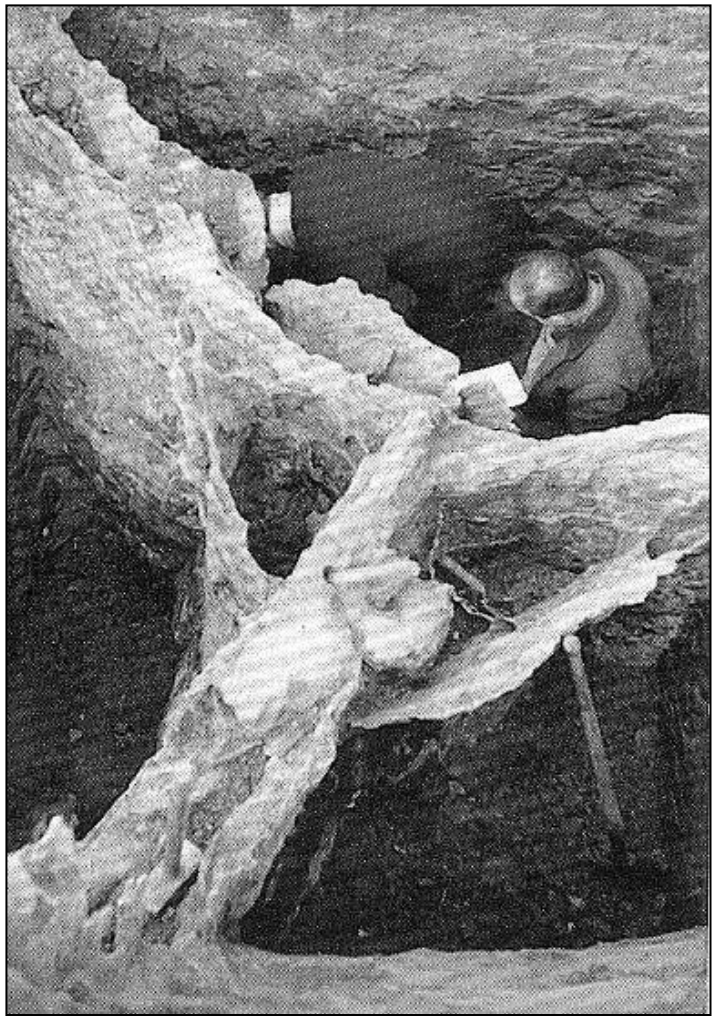
ϕ - Diâmetro furação

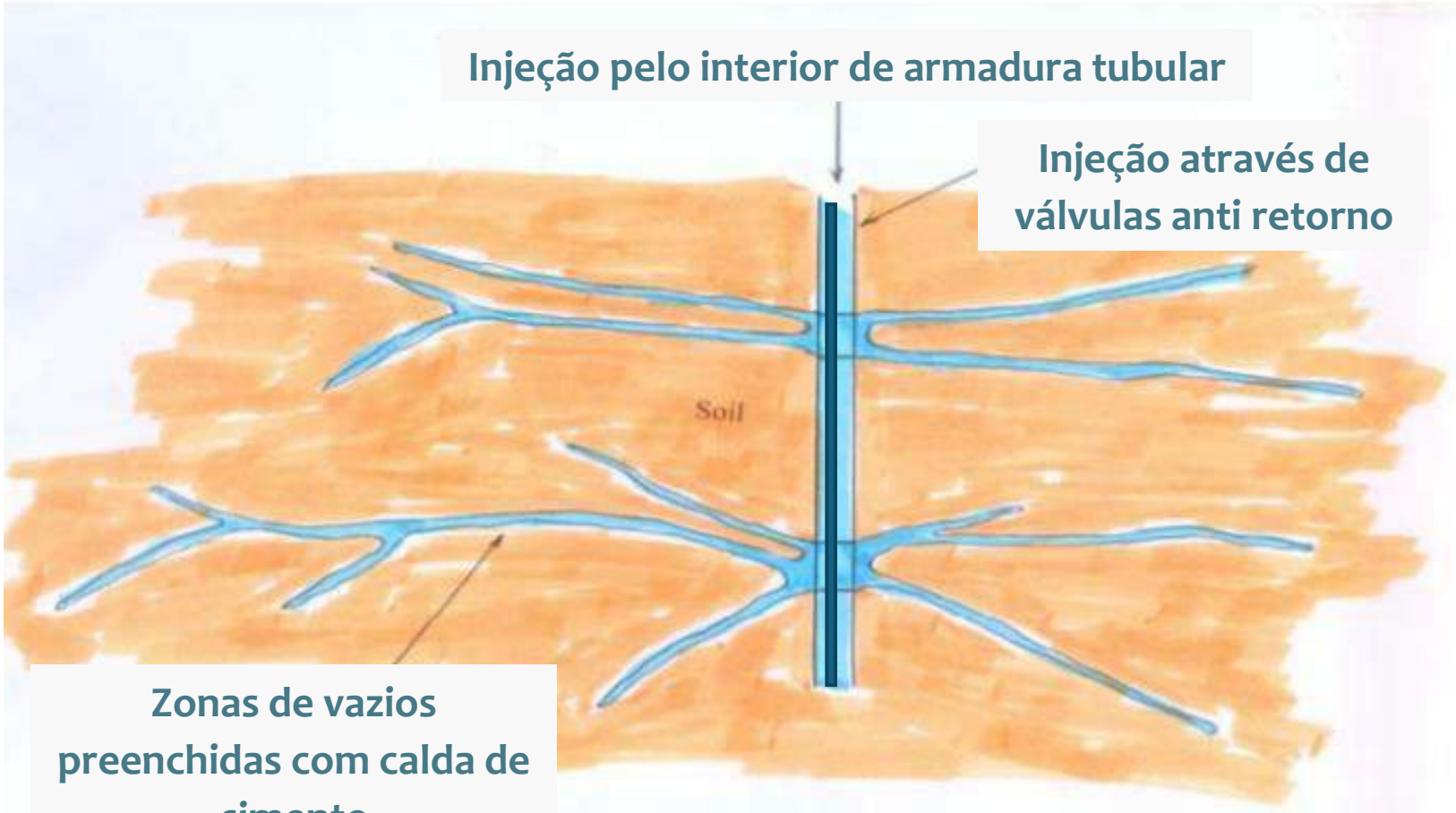
$\alpha \times \phi$ - Diâmetro do bolbo de selagem afetado por coeficiente de expansão (α - função das condições geológicas e do sistema de injeção)

qs – Atrito lateral unitário, função das condições geológicas e do sistema de injeção

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – INJEÇÃO SELAGEM

- Importância da reinjeção controlada (adaptação da Lei de Boyle-Mariotte)



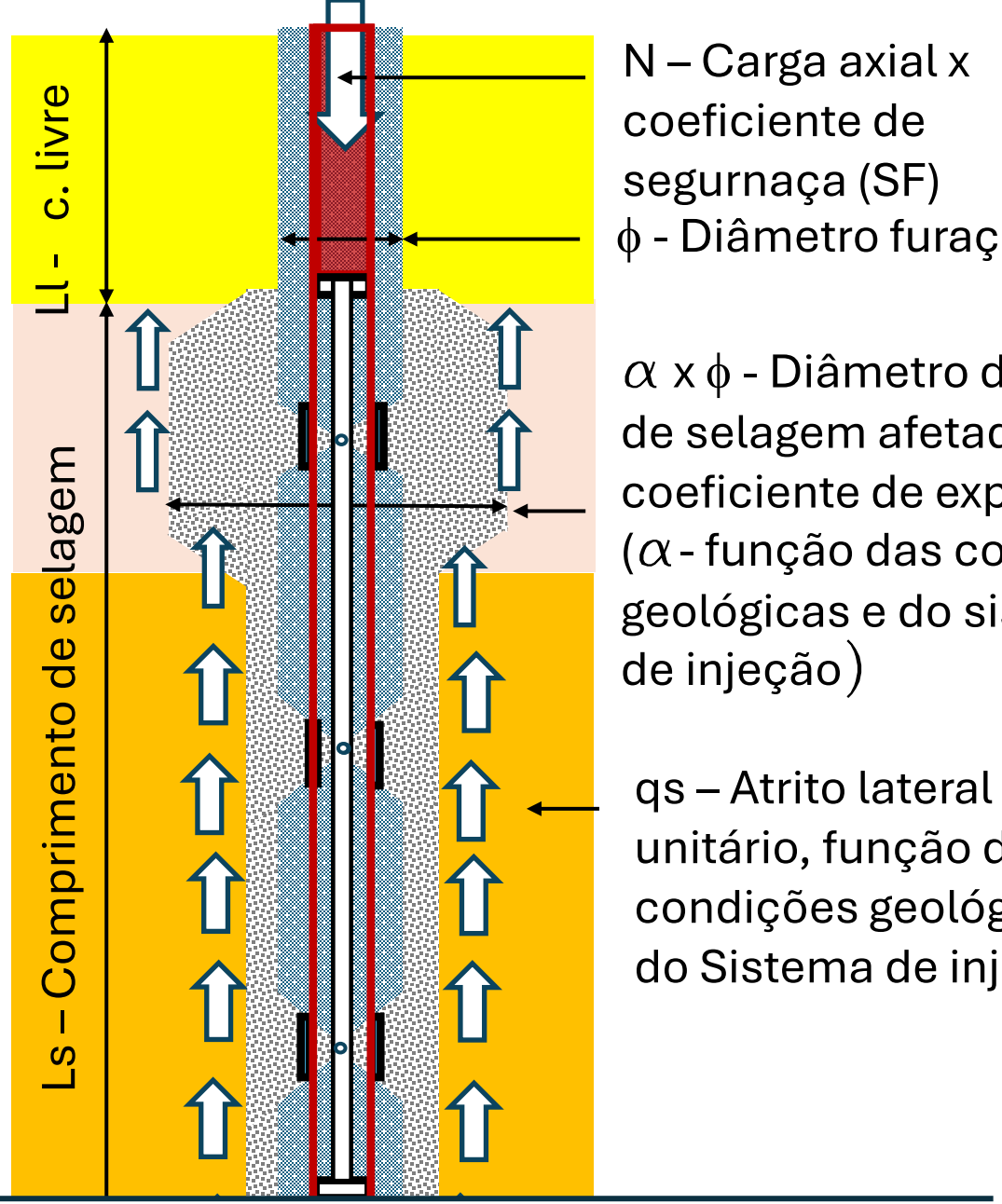


Fonte: ISM

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – INJEÇÃO SELAGEM

- Injeção tipo IR

$$Ls = \frac{SF \times N}{(\alpha_1 \times \phi \times qs_1) + (\alpha_2 \times \phi \times qs_2)}$$



N – Carga axial x coeficiente de segurnaça (SF)

ϕ - Diâmetro furação

$\alpha \times \phi$ - Diâmetro do bolbo de selagem afetado por coeficiente de expansão (α - função das condições geológicas e do sistema de injeção)

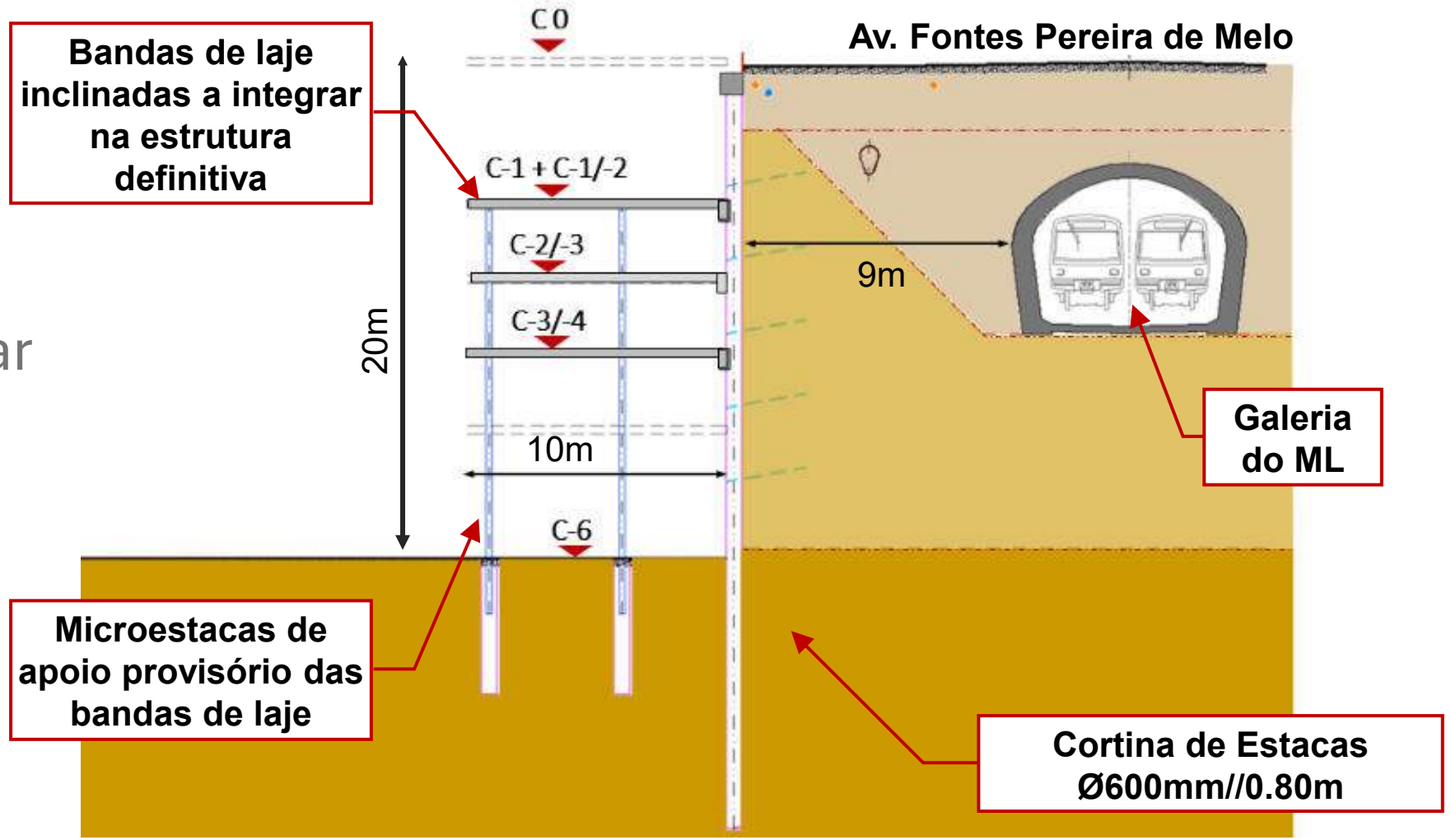
qs – Atrito lateral unitário, função das condições geológicas e do Sistema de injeção

ÍNDICE

- Introdução
- Soluções de travamento – escoramentos
- Soluções de travamento – ancoragens
- **Soluções de travamento – bandas de laje**
- Soluções de travamento - contrafortes
- Análise comparativa
- Reflexões

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – BANDAS DE LAJE

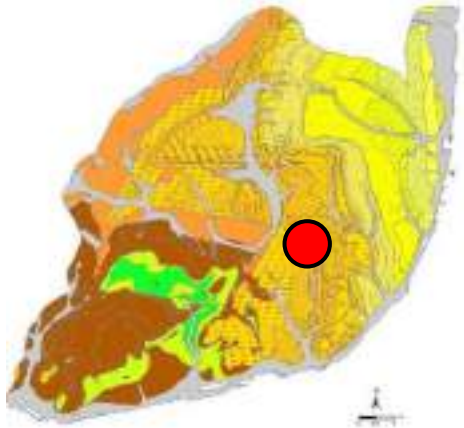
- Soluções estruturais, sempre que possível, a integrar na estrutura definitiva dos pisos enterrados, exigindo apoios provisórios junto ao bordo livre



Edifício FPM41, Lisboa, 2017

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – BANDAS DE LAJE

- Soluções estruturais, sempre que possível, a integrar na estrutura definitiva dos pisos enterrados,



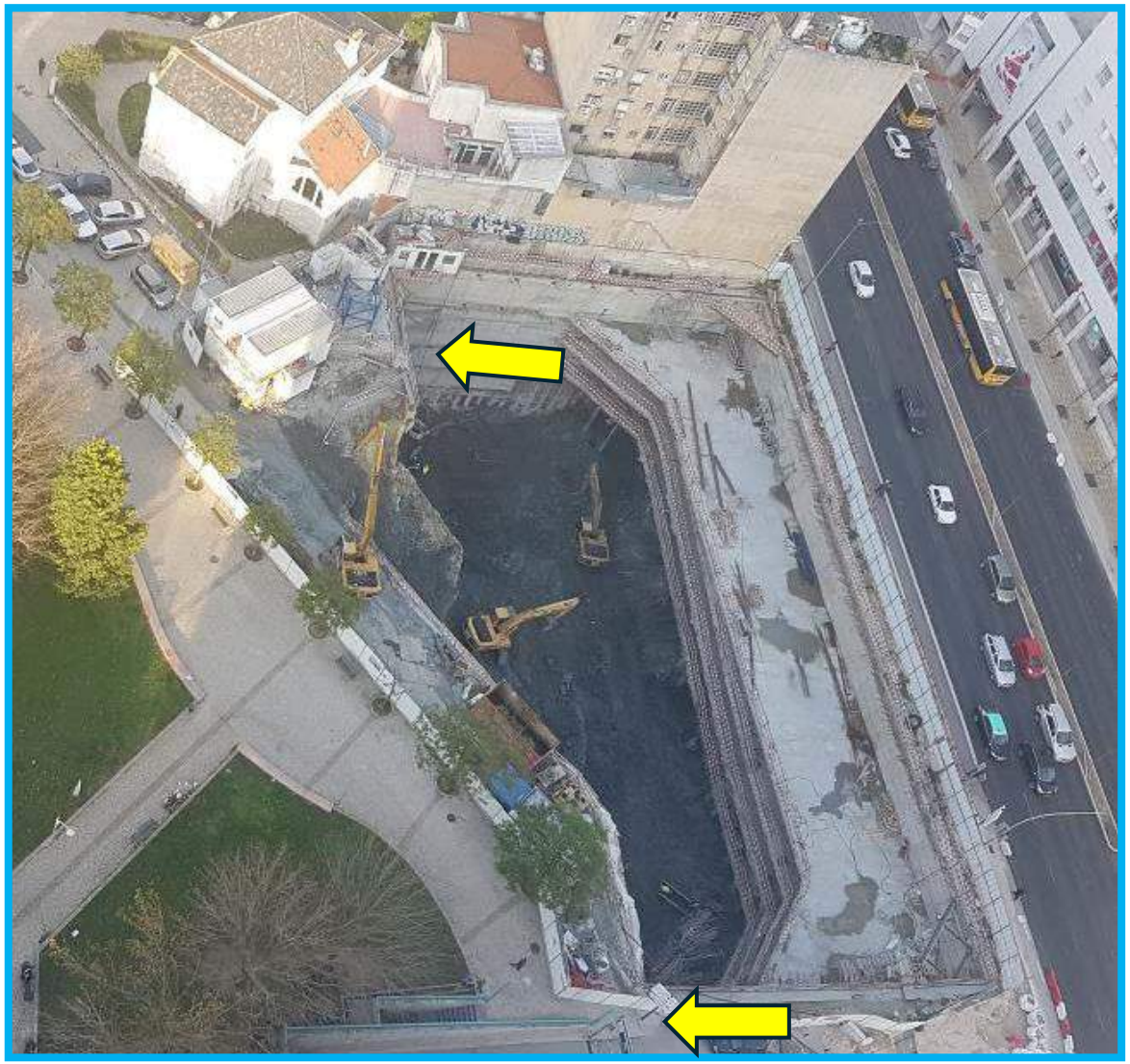
❑ Bandas inclinadas

Edifício FPM41, Lisboa, 2017

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – BANDAS DE LAJE

- Soluções estruturais exigindo capacidade para acomodar as forças de reação nas extremidades das bandas

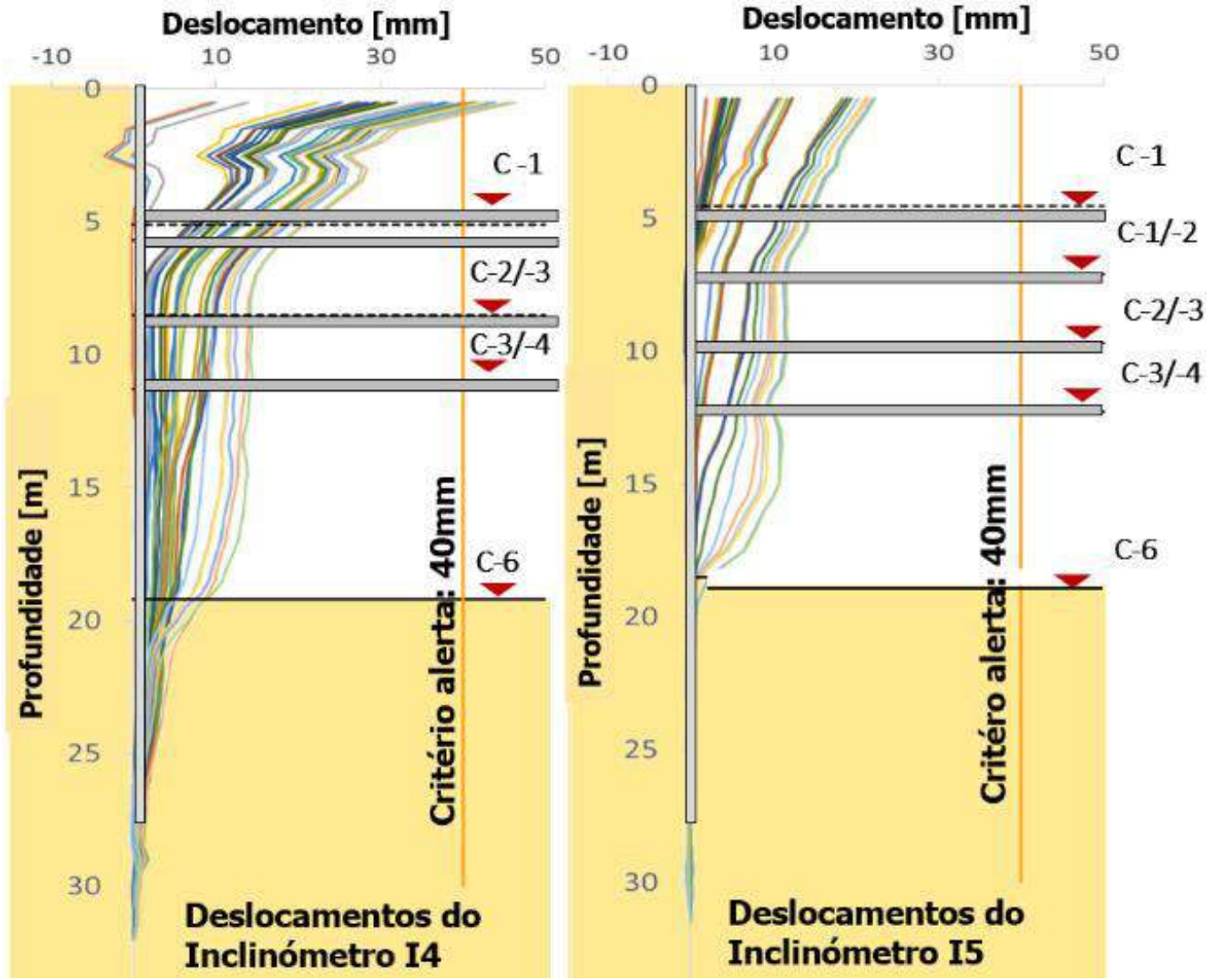
❑ Bandas inclinadas



Edifício FPM41, Lisboa, 2017

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – BANDAS DE LAJE

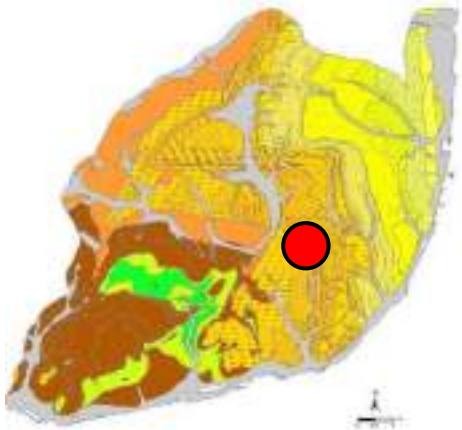
- Soluções estruturais de elevada rigidez, praticamente idêntica à da estrutura definitiva



❑ Soluções de elevada rigidez

Edifício FPM41, Lisboa, 2017

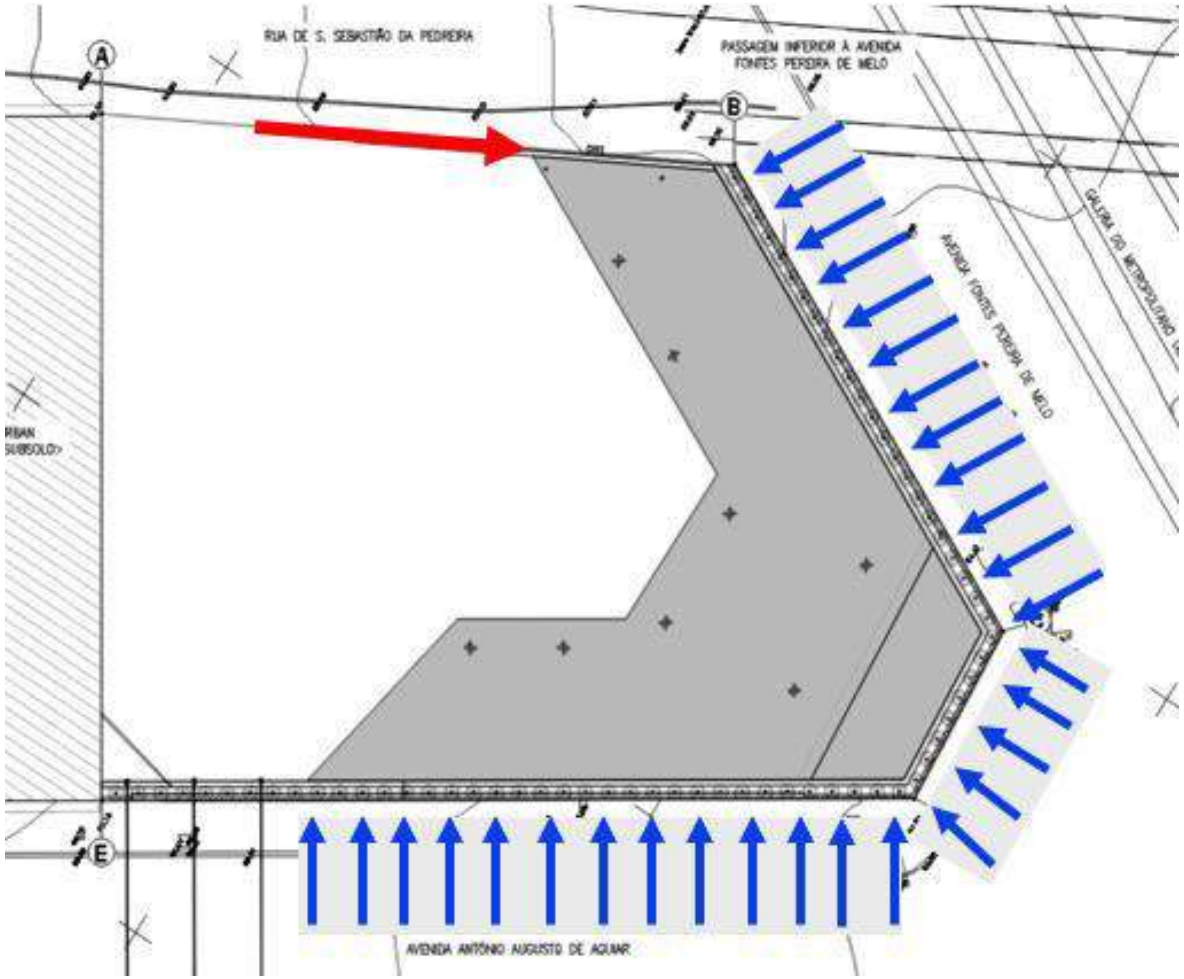
SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – BANDAS DE LAJE

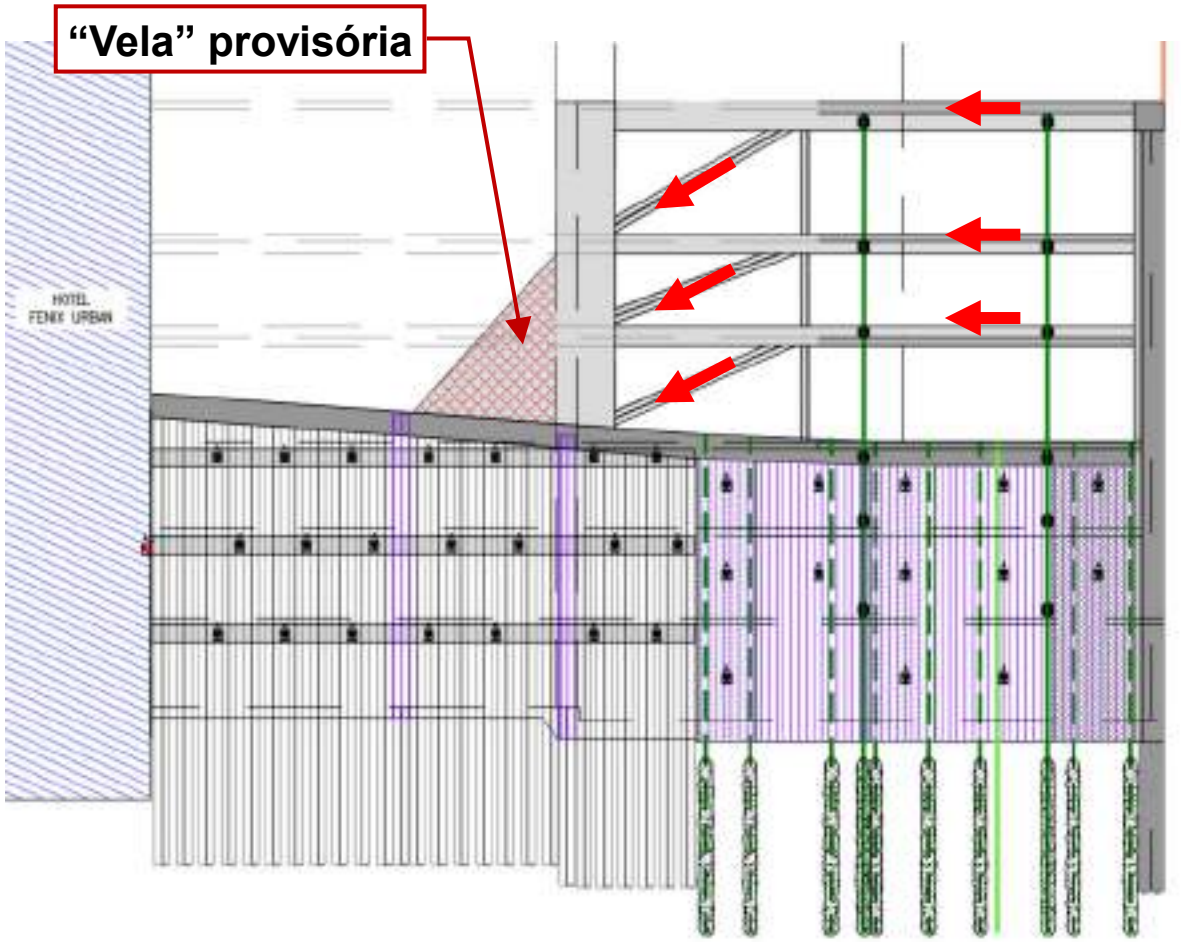


Hotel Meliã, Lisboa, 2021

- Bandas em pisos semi - enterrados

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – BANDAS DE LAJE





Hotel Meliã, Lisboa, 2021

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – BANDAS DE LAJE

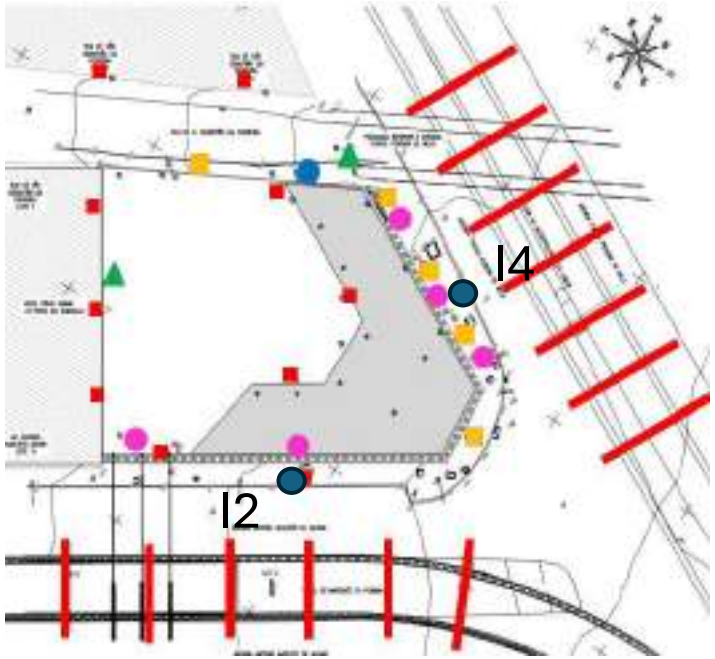
- Soluções estruturais exigindo capacidade para acomodar as forças de reação nas extremidades das bandas

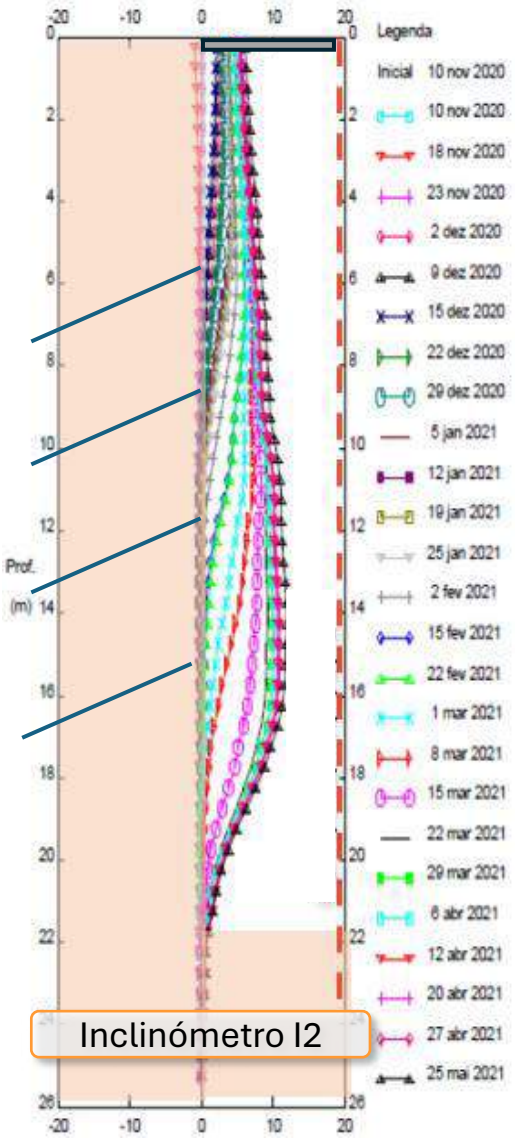
Hotel Meliã, Lisboa, 2021

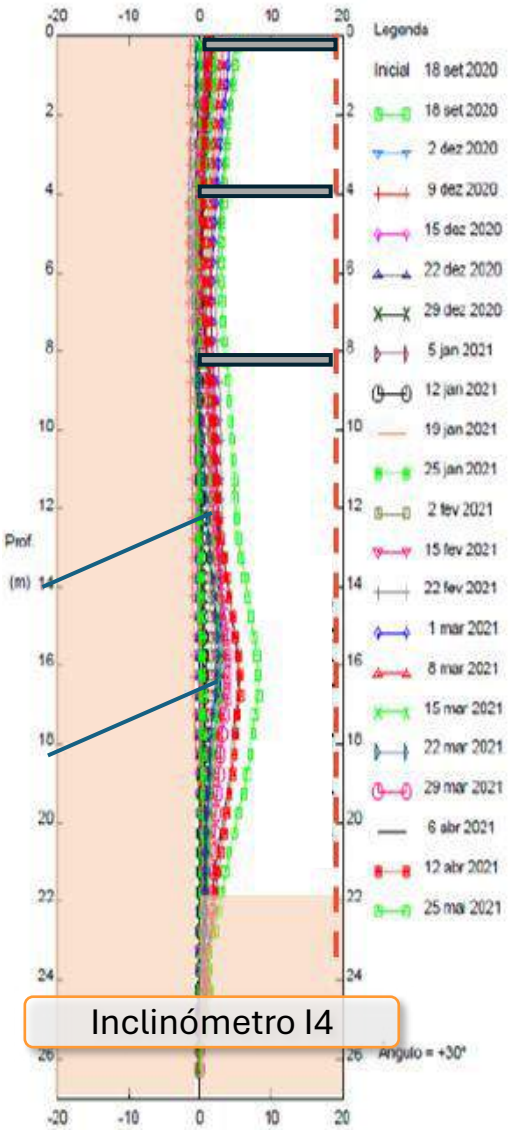
SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – BANDAS DE LAJE

Hotel Meliã, Lisboa, 2021

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – BANDAS DE LAJE





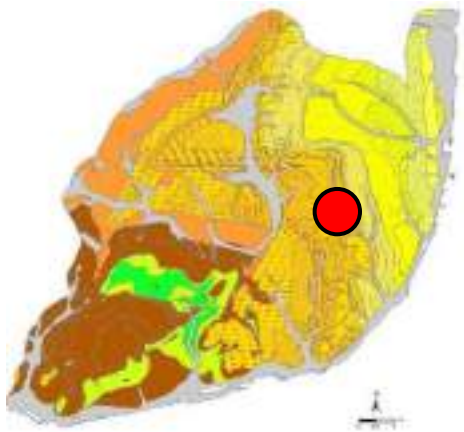


- Soluções de elevada rigidez

Hotel Meliã, Lisboa, 2021

JET SJ

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – MINI BANDAS LAJE



Corte 1-1

Torre de contenção de fachada

Av. Almirante Reis

Aterros

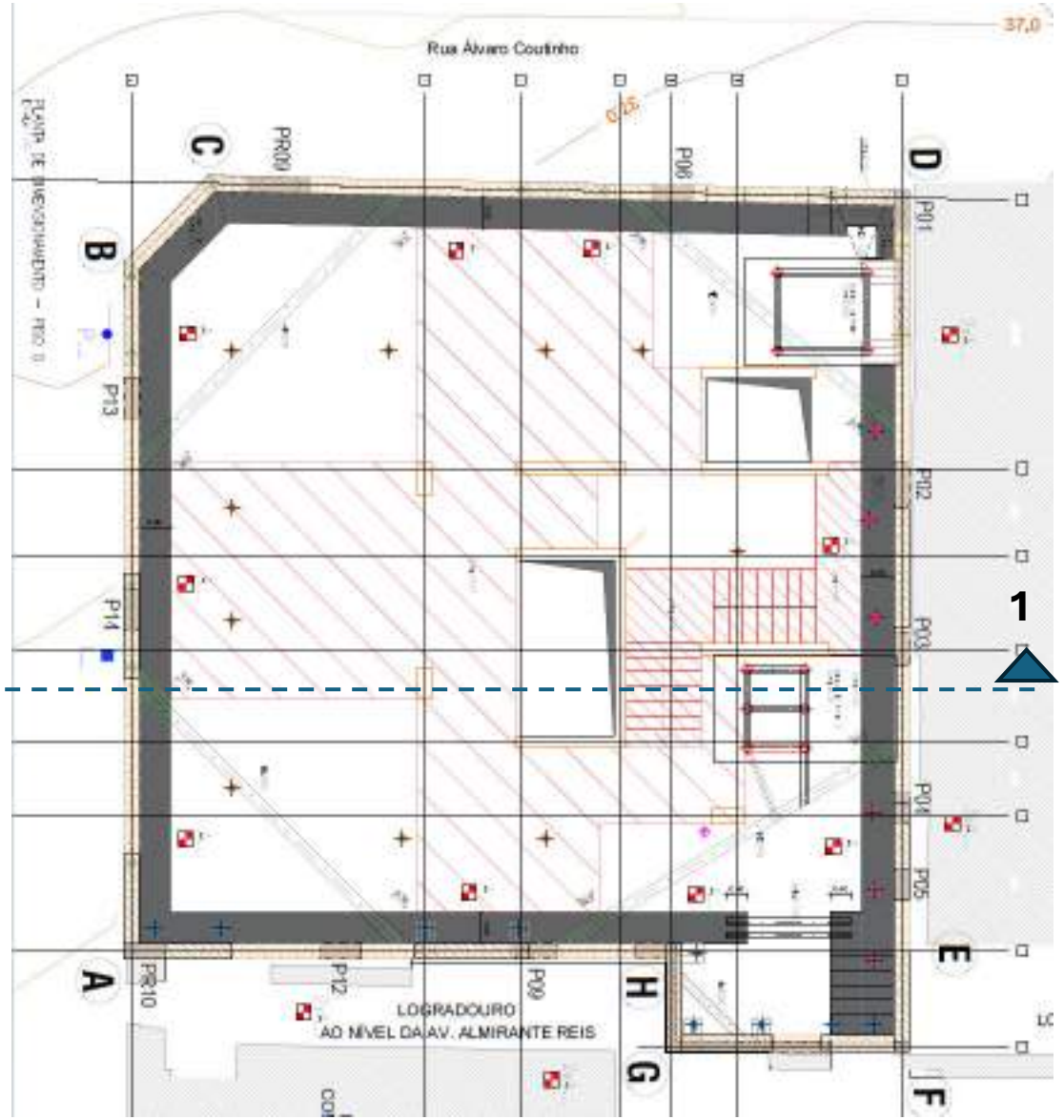
≈11m

Miocénico descomprimido

Miocénico

1

Galeria ML Linha Verde



Hotel Av. Almirante Reis, Lisboa, 2019

JET

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – MINI BANDAS LAJE

Hotel Av. Almirante Reis, Lisboa, 2019

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – MINI BANDAS LAJE

- Soluções estruturais, sempre que possível, a integrar na estrutura definitiva dos pisos enterrados, não exigindo apoios provisórios junto ao bordo livre

Hotel Av. Almirante Reis, Lisboa, 2019

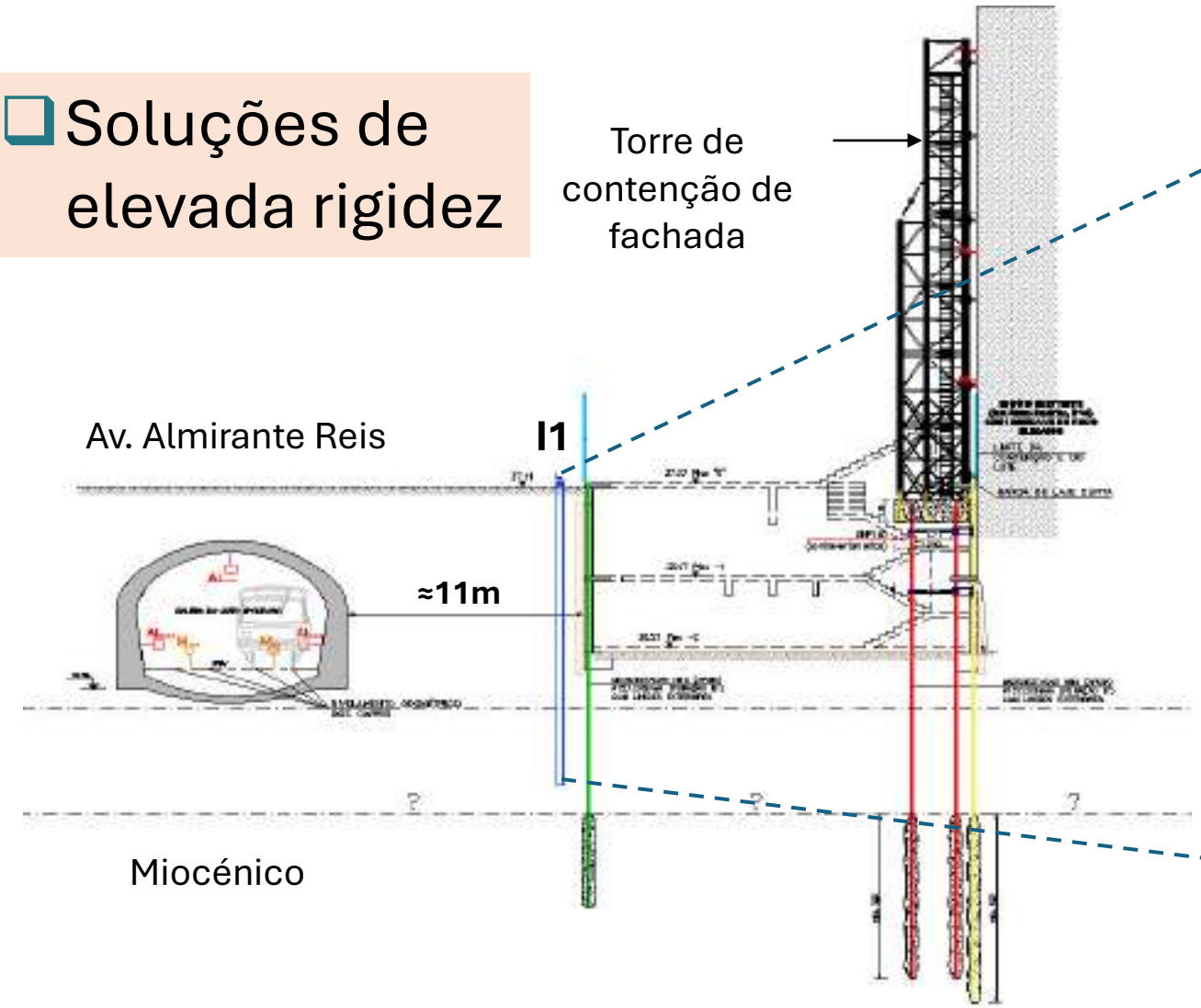
SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – MINI BANDAS LAJE

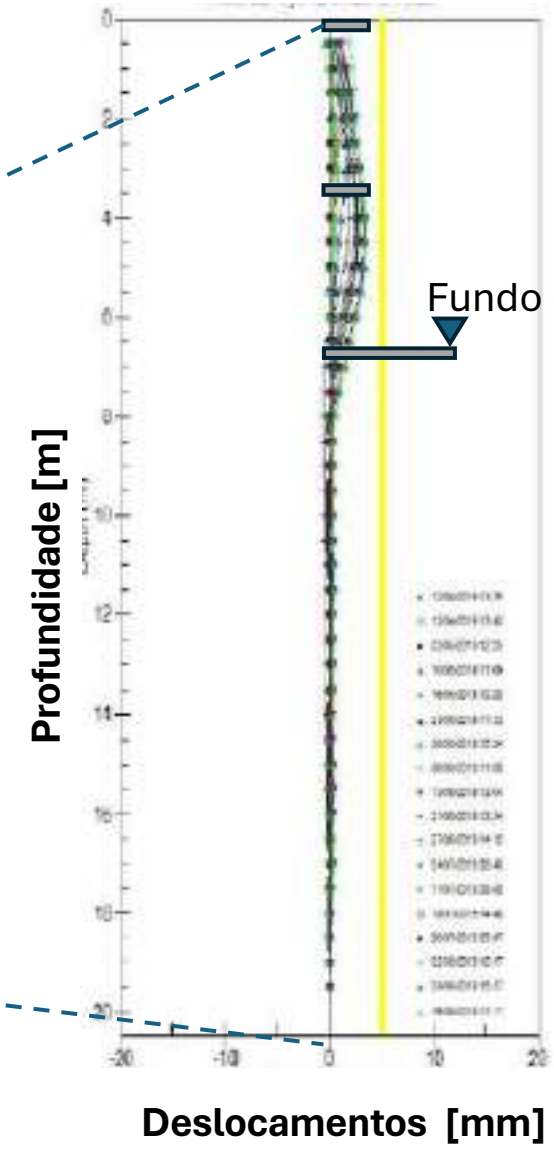
- Soluções estruturais, sempre que possível, a integrar na estrutura definitiva dos pisos enterrados, não exigindo apoios provisórios junto ao bordo livre

Hotel Av. Almirante Reis, Lisboa, 2019

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – MINI BANDAS LAJE

- Soluções de elevada rigidez

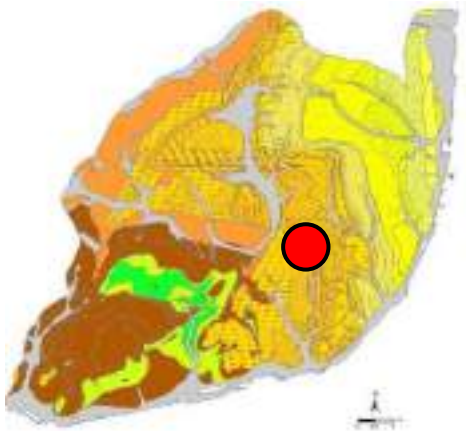




Hotel Av. Almirante Reis, Lisboa, 2019

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – BANDAS DE LAJE

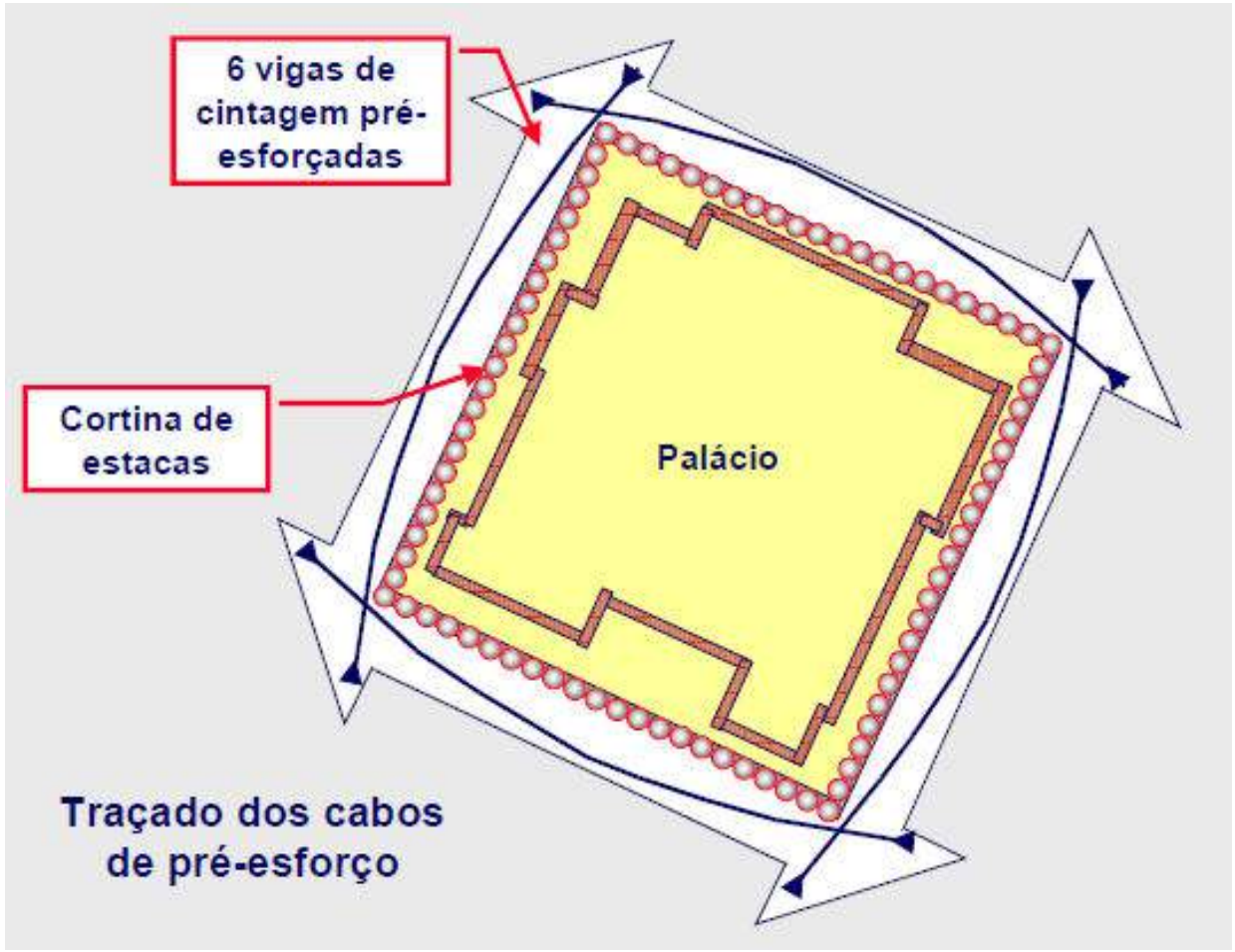
- Soluções estruturais exigindo bandas de laje salientes!



❑ Bandas salientes

Palácio SM, Lisboa, 2000

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – BANDAS DE LAJE



Palácio SM, Lisboa, 2000

Palácio SM, Lisboa, 2000

Palácio SM, Lisboa, 2000

Tecnasol FGE
Fundações e Geotecnia, SA

Palácio SM, Lisboa, 2000

Tecnasol FGE
Fundações e Geotecnia, SA

Palácio SM, Lisboa, 2000

Tecnasol FGE
Fundações e Geotecnia, SA

Palácio SM, Lisboa, 2000

Palácio SM, Lisboa, 2000

Tecnasol FGE
Fundações e Geotecnia, SA

Palácio SM, Lisboa, 2000

Tecnasol FGE
Fundações e Geotecnia, SA

Palácio SM, Lisboa, 2000

Tecnasol FGE
Fundações e Geotecnia, SA

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – BANDAS DE LAJE

Palácio SM, Lisboa, 2000

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – BANDAS DE LAJE

Alçado	Solução	H^{max}	d^{max}_{inst}	H/d^{max}
Av. F. P. Melo	P. moldada (esp=1,0m)	27m	10 mm	H / 2700
R. M. Ferrão	P. moldada (esp=0,6m)	27m	15 mm	H / 1800
R. S. Martins	C. estacas (∅0,8m//1,0m)	24m	14 mm	H / 1700
L. Palmeiras	C. "Munique" (esp=0,35m)	18m	12 mm	H / 1500
Palácio	C. estacas (∅0,8m//1,0m)	25m	13 mm	H / 1900

❑ Soluções de elevada rigidez

H - profundidade máxima da escavação

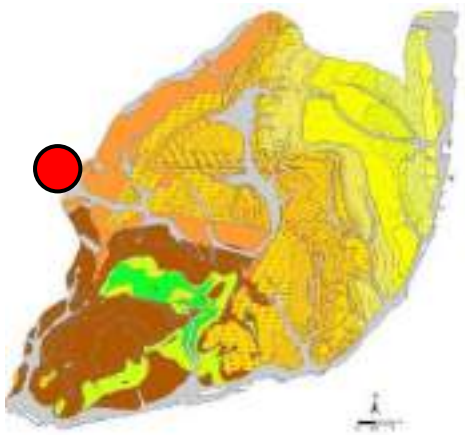
d^{max}_{inst} - deslocamento horizontal máximo medido através da instrumentação (alvos e inclinómetros)

Palácio SM, Lisboa, 2000

ÍNDICE

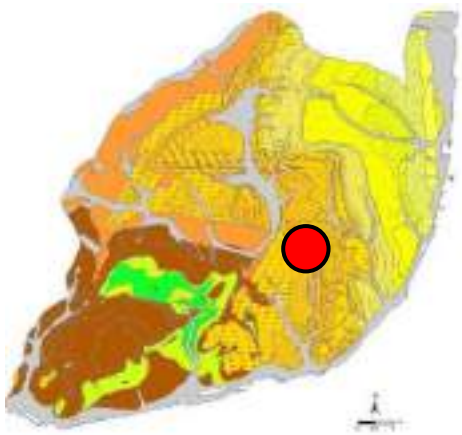
- Introdução
- Soluções de travamento – escoramentos
- Soluções de travamento – ancoragens
- Soluções de travamento – bandas de laje
- **Soluções de travamento - contrafortes**
- Análise comparativa
- Reflexões

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – CONTRAFORTES



Dolce Vita Tejo / UBBO, Amadora, 2006

SOLUÇÕES DE TRAVAMENTO – CONTRAFORTES



Hotel Lumen, Lisboa, 2022

ÍNDICE

- Introdução
- Soluções de travamento – escoramentos
- Soluções de travamento – ancoragens
- Soluções de travamento – bandas de laje
- Soluções de travamento - contrafortes
- **Análise comparativa**
- Reflexões

ANÁLISE COMPARATIVA

Análise	Escoras
Técnica	→
Económica	→
Vizinhança	↑

ANÁLISE COMPARATIVA

Análise	Escoras	Ancoragens
Técnica	→	→
Económica	→	↑
Vizinhança	↑	↓

ANÁLISE COMPARATIVA

Análise	Escoras	Ancoragens	Bandas Laje
Técnica	→	→	↑
Económica	→	↑	→
Vizinhança	↑	↓	↑

ANÁLISE COMPARATIVA

Análise	Escoras	Ancoragens	Bandas Laje	Contrafortes
Técnica	→	→	↑	↑
Económica	→	↑	→	→
Vizinhança	↑	↓	↑	↓ ↑

ANÁLISE COMPARATIVA

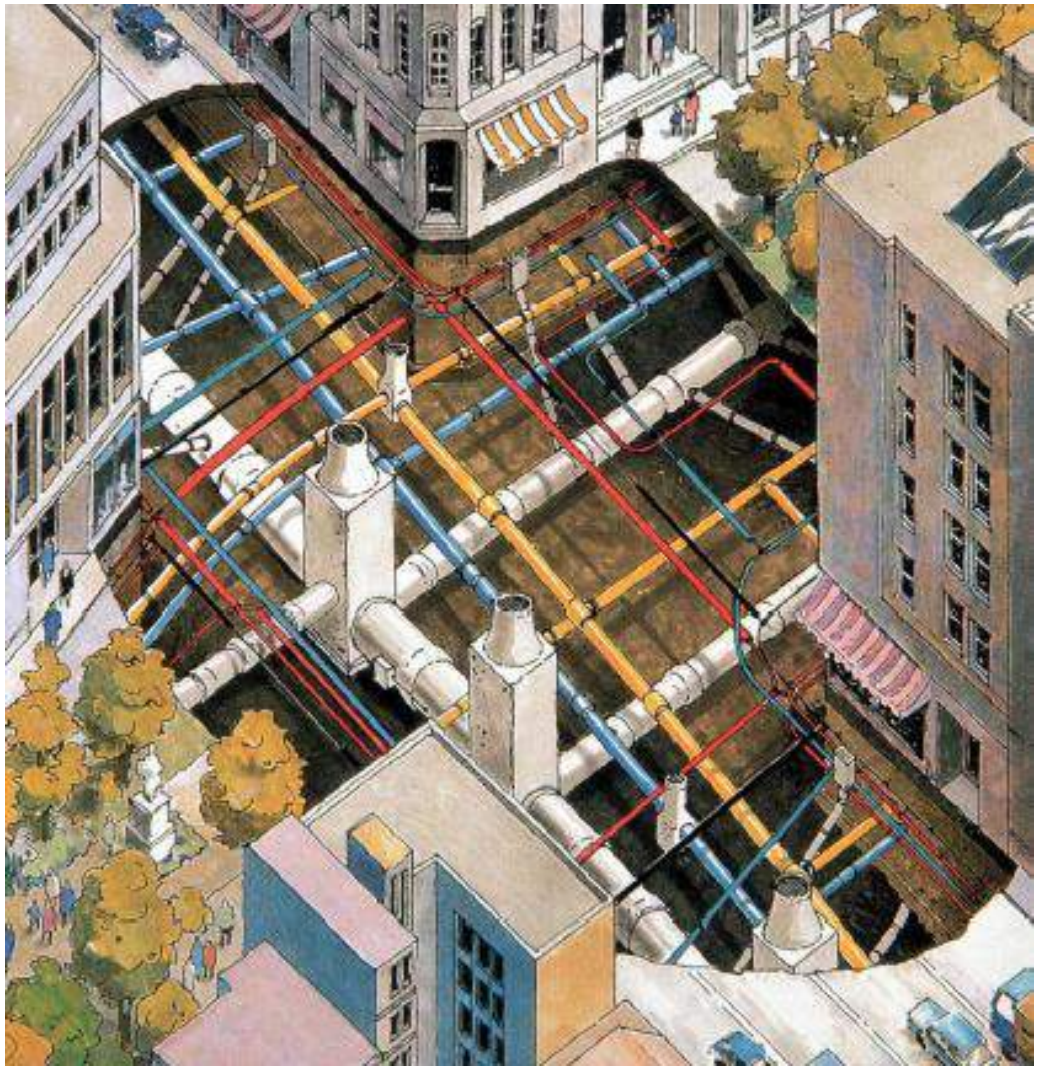
- Condicionamentos de escavação, associados às soluções com recurso a bandas de laje
- Importância de conceber a solução a pensar na respetiva execução

ÍNDICE

- Introdução
- Soluções de travamento – escoramentos
- Soluções de travamento – ancoragens
- Soluções de travamento – bandas de laje
- Soluções de travamento - contrafortes
- Análise comparativa
- **Reflexões**

REFLEXÕES

- Soluções de escavação e contenção periférica em espaços subterrâneos cada vez mais congestionados



REFLEXÕES

- Soluções de escavação e contenção periférica em espaços subterrâneos cada vez mais congestionados

- Dificuldade crescente na execução de soluções que extravasem os limites das obras, como ancoragens (técnica e legal), associado ao recurso demasiado sistematizado do sistema IR

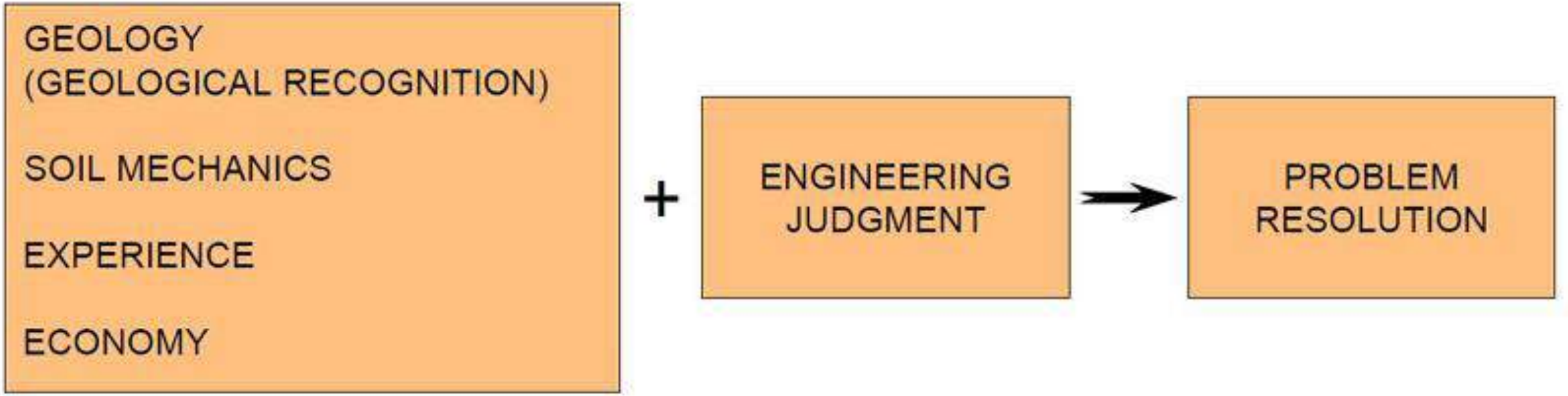
REFLEXÕES

- Soluções de escavação e contenção periférica em espaços subterrâneos cada vez mais congestionados

- Dificuldade crescente na execução de soluções que extravasem os limites das obras, como ancoragens (técnica e legal), associado ao recurso demasiado sistematizado do sistema IR

- Necessidade de cada vez maior interligação / interação entre os projetos, em particular arquitetura, drenagem, estruturas / fundações e escavação e contenção periférica (importância da interação solo – estrutura)

REFLEXÕES – IMPORTÂNCIA DO JULGAMENTO



The solution of problems of soil engineering (Lambe & Whitman, 1969).

REFLEXÕES – IMPORTÂNCIA DO JULGAMENTO

Geotecnia + Estruturas

Hidrogeologia + Drenagem

Arqueologia + Solos Contaminados

DESAFIOS ADICIONAIS

GEOLOGY
(GEOLOGICAL RECOGNITION)

SOIL MECHANICS

EXPERIENCE

ECONOMY

+

ENGINEERING
JUDGMENT

→

PROBLEM
RESOLUTION

The solution of problems of soil engineering (Lambe & Whitman, 1969).

REFLEXÕES – IMPORTÂNCIA DO JULGAMENTO

Barragem da Régua / Bagaúste, 1973

"O cálculo é apenas uma justificação da forma. Concebe-se a obra e verifica-se através do cálculo se está certo ou errado. Se tem material a mais ou não, se tem segurança..."

AGRADECIMENTOS

- Comissão Organizadora do 19º CNG
- Sociedade Portuguesa de Geotecnia
- Todas as empresas e colegas com quem tenho partilhado conhecimentos

Edifício Éden Hotel, Estoril, 2026

Hotel Lumen, Lisboa, 2022

MUITO OBRIGADO PELA ATENÇÃO!

apinto@jetsj.com

utad

19.º Congresso Nacional

Geotecnia

11-14 Maio 2026

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA – CASO DO EDEN HOTEL ESTORIL

RICARDO JUSTINIANO / JETSJ GEOTECNIA

JET SJ

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

ÍNDICE

- **INTRODUÇÃO**
- CONDICIONAMENTOS
- SOLUÇÕES ECP
- EXECUÇÃO ECP
- INSTRUMENTAÇÃO
- CONSIDERAÇÕES FINAIS

INTRODUÇÃO

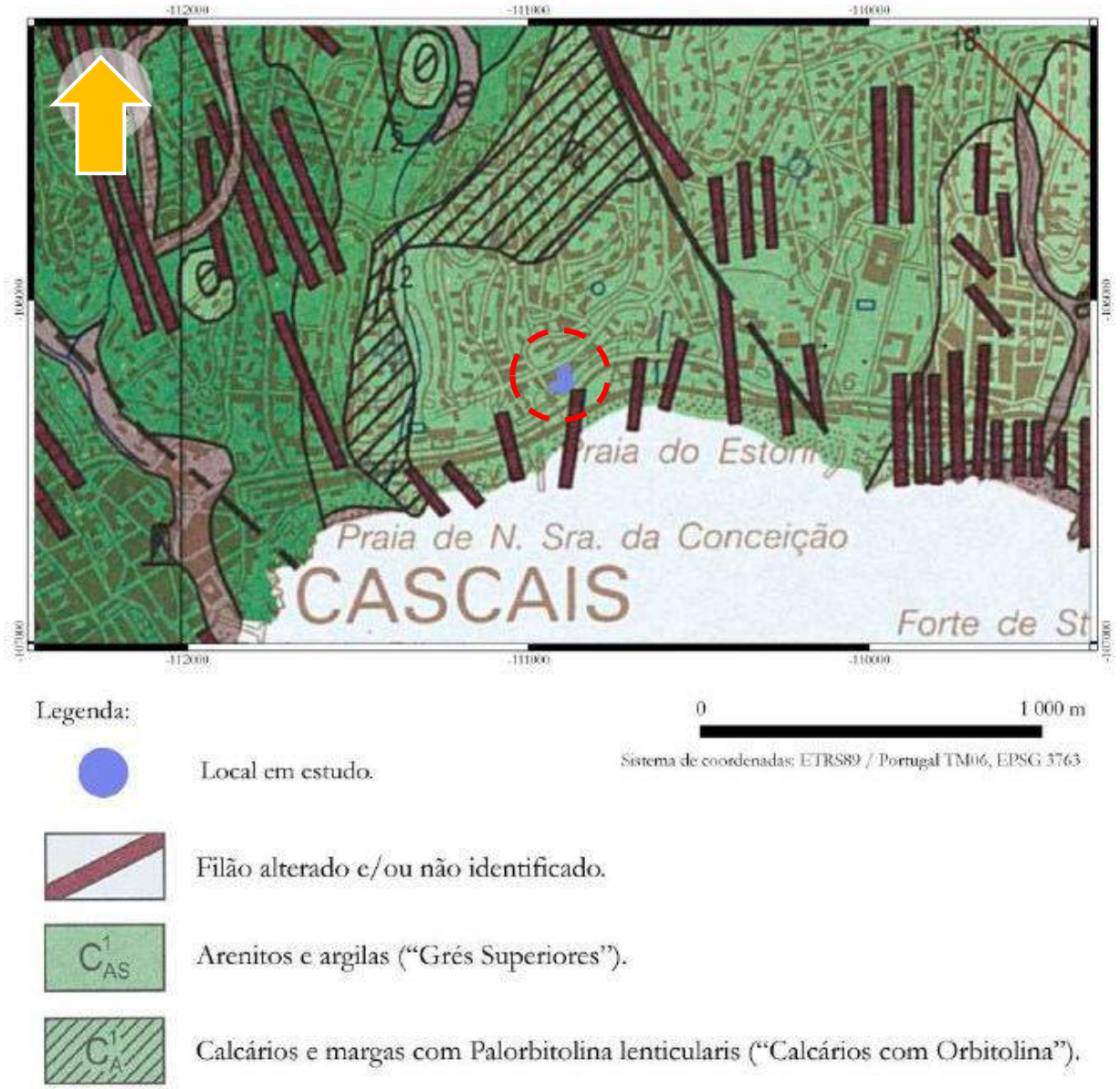
- Construção de um Hotel / Aparthotel com 4 caves + 3 semicaves e 8 pisos acima do solo;
- Área de implantação de cerca 3.000m^2;
- Volume de escavação de 57.000 m^3 ;
- Localização em meio urbano, Estoril, junto à Avenida Marginal;
- Edifício existente a demolir.

ÍNDICE

- INTRODUÇÃO
- **CONDICIONAMENTOS**
- SOLUÇÕES ECP
- EXECUÇÃO
- INSTRUMENTAÇÃO
- CONSIDERAÇÕES FINAIS

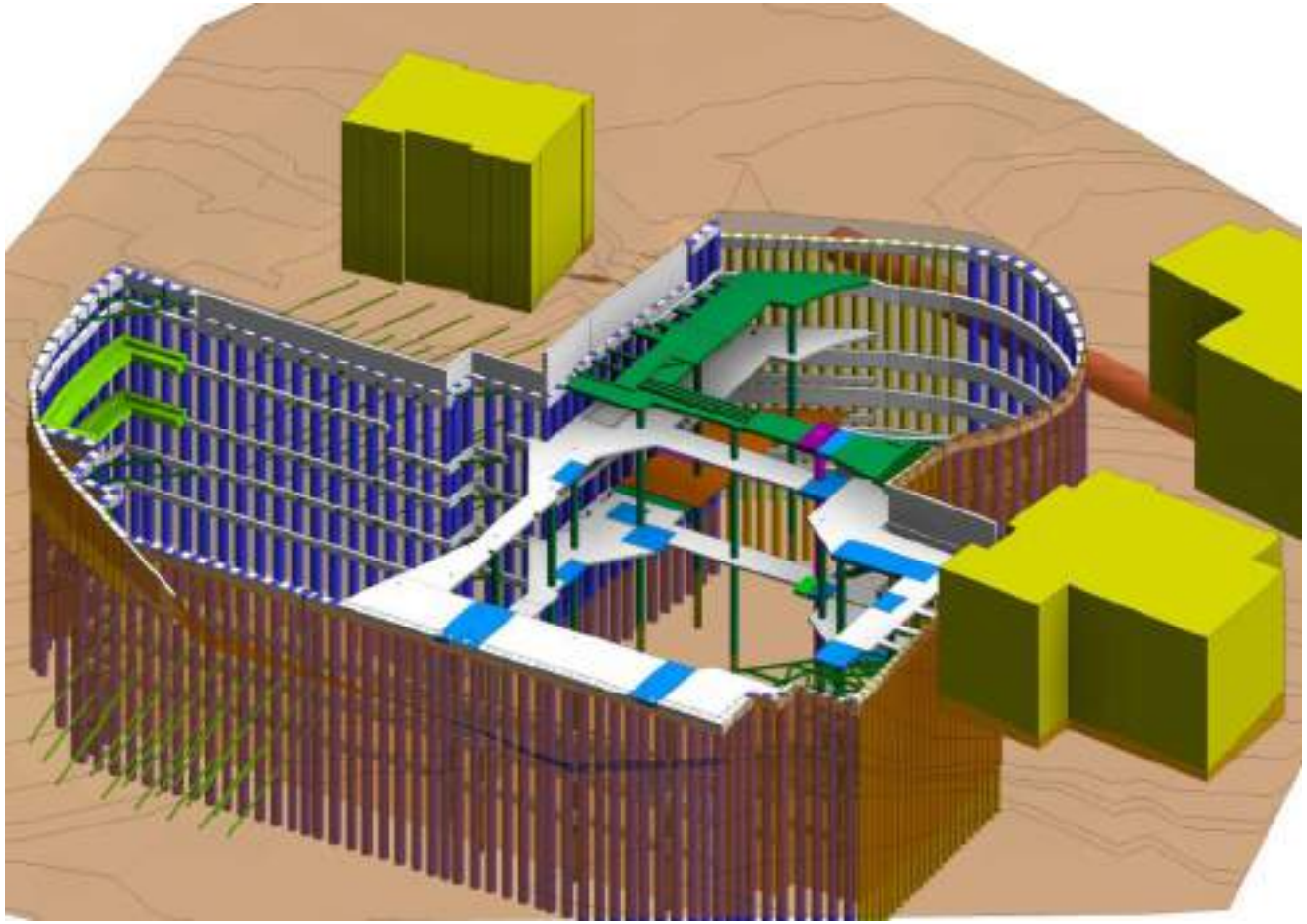
CONDICIONAMENTOS

- Geológicos;
- Hidrogeológicos;



CONDICIONAMENTOS

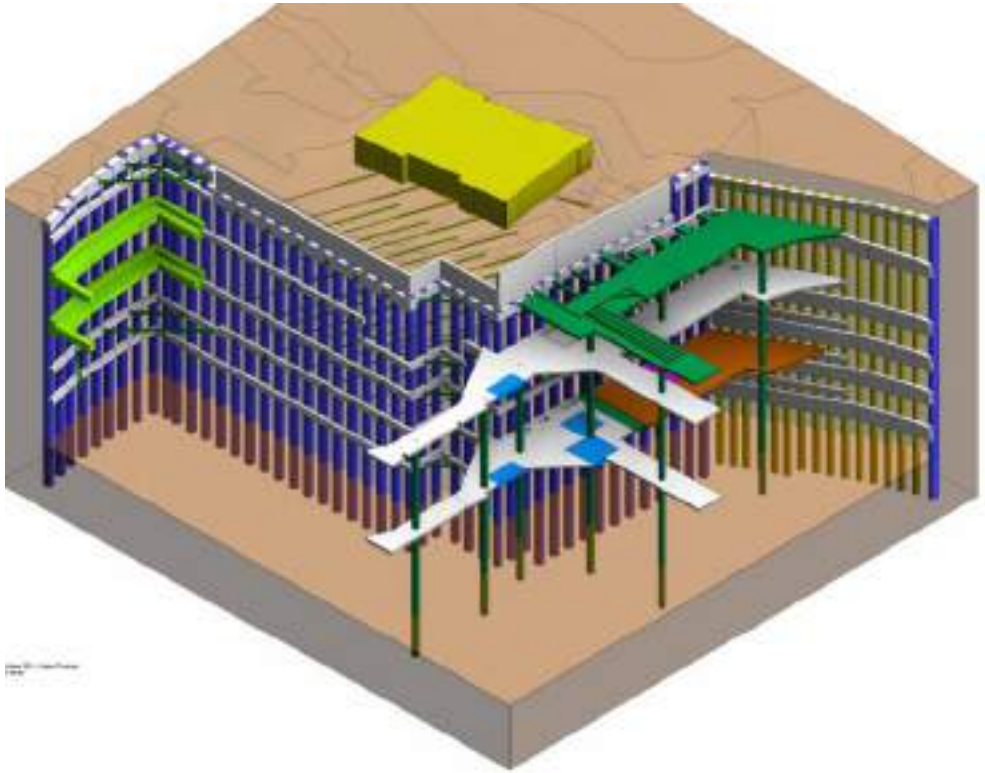
- Compatibilização estrutural e arquitetónica;
- Demolições existentes;
- Estruturas existentes (conduta adutora com 2m de diâmetro);
- Relacionamento com alguns dos vizinhos.

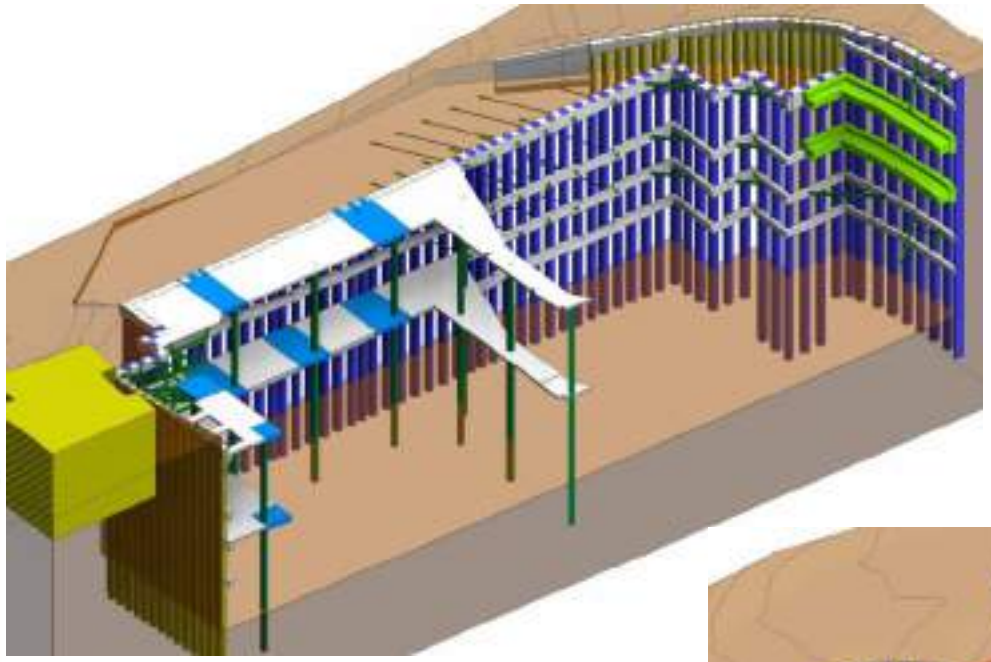


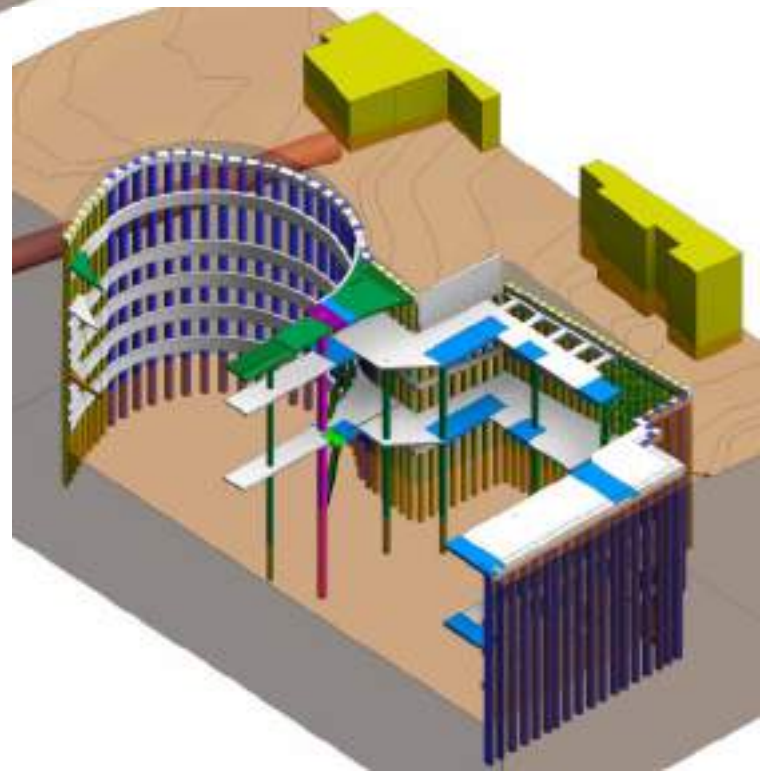
ÍNDICE

- INTRODUÇÃO
- CONDICIONAMENTOS
- **SOLUÇÕES ECP**
- EXECUÇÃO ECP
- INSTRUMENTAÇÃO
- CONSIDERAÇÕES FINAIS

SOLUÇÕES ECP







ÍNDICE

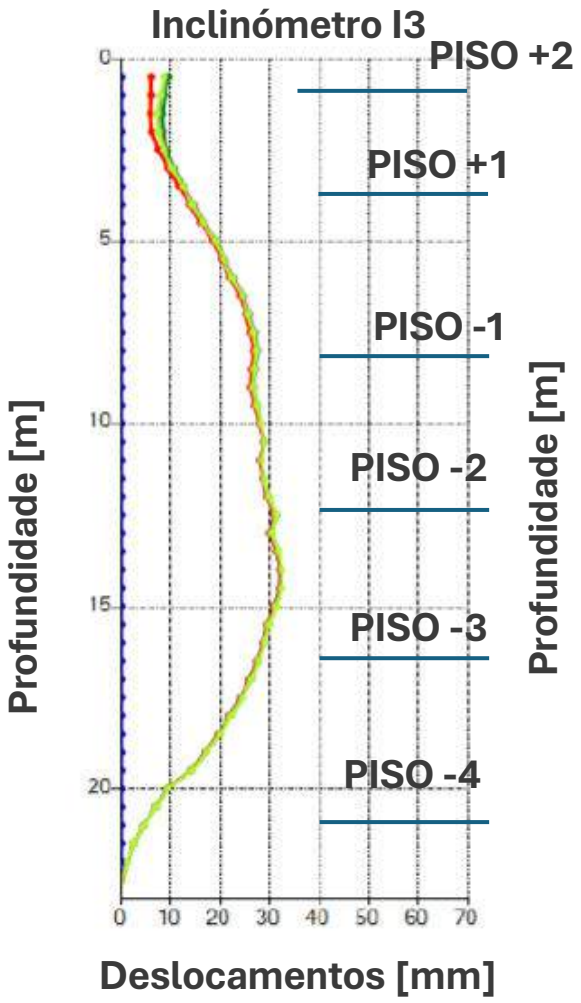
- INTRODUÇÃO
- CONDICIONAMENTOS
- SOLUÇÕES ECP
- **EXECUÇÃO ECP**
- INSTRUMENTAÇÃO
- CONSIDERAÇÕES FINAIS

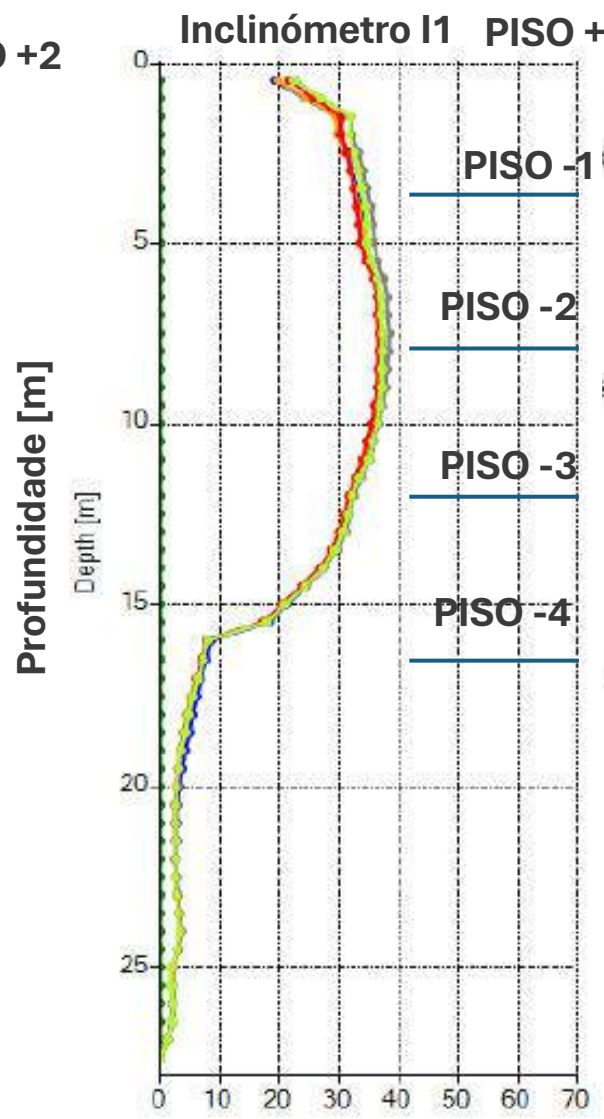
EXECUÇÃO ECP

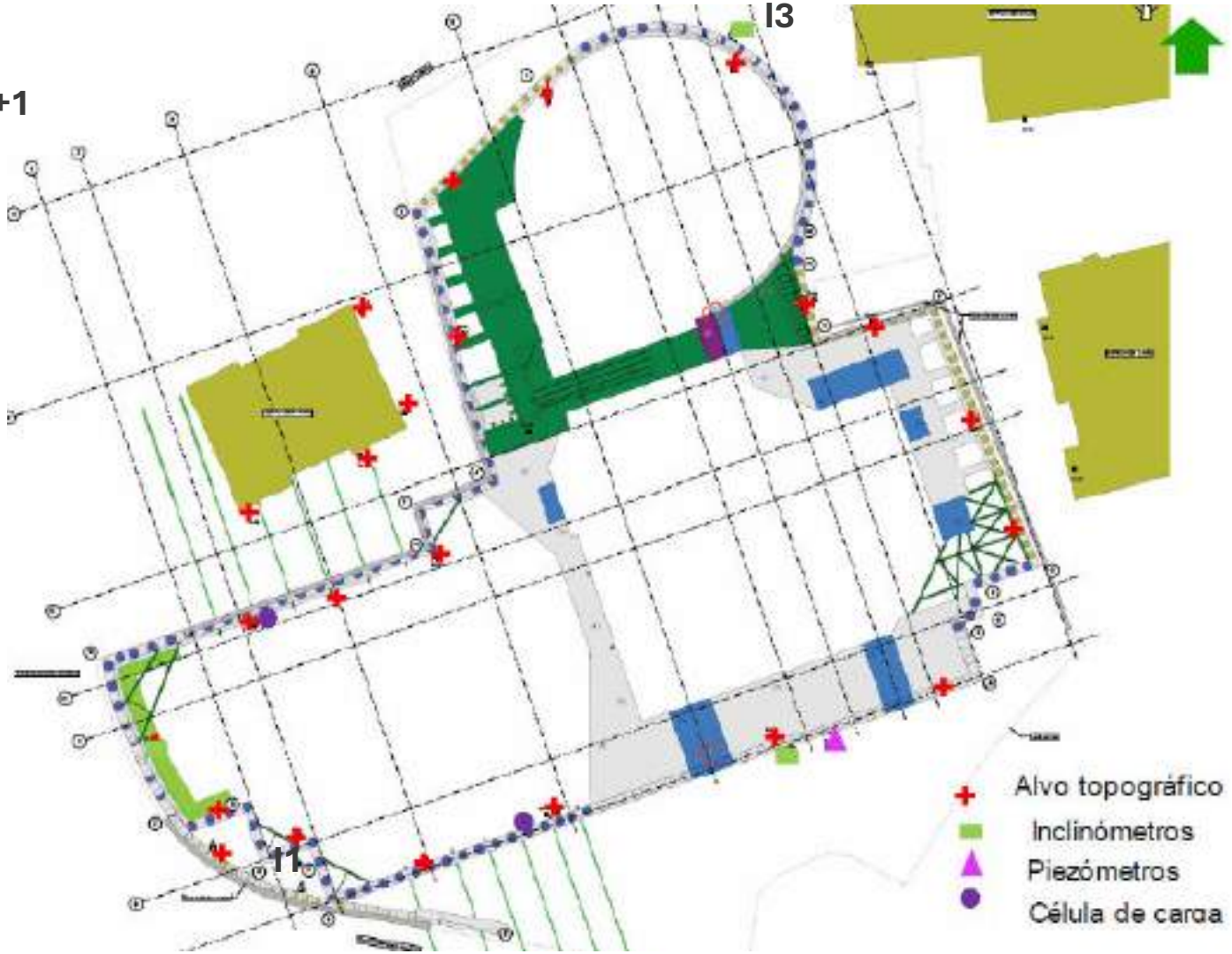
ÍNDICE

- INTRODUÇÃO
- CONDICIONAMENTOS
- SOLUÇÕES ECP
- EXECUÇÃO ECP
- **INSTRUMENTAÇÃO**
- CONSIDERAÇÕES FINAIS

INSTRUMENTAÇÃO







ÍNDICE

- INTRODUÇÃO
- CONDICIONAMENTOS
- SOLUÇÕES ECP
- EXECUÇÃO ECP
- INSTRUMENTAÇÃO
- **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

CONSIDERAÇÕES FINAIS (1)

- Soluções adotadas permitiram economia de custos e de prazo associados à obra de escavação e contenção periférica;
- No âmbito do projeto de escavação e contenção periférica foram desenvolvidos diversos modelos, de forma integrada, em Plaxis 2D (estado plano de deformação e axissimétros) e Autodesk Robot;

CONSIDERAÇÕES FINAIS (2)

- Com base nos resultados da instrumentação foram realizadas retro análises durante os trabalhos de escavação para a calibração, em tempo útil, dos modelos de cálculo;
- Resolução dos vários desafios, quer em fase de projeto, quer em fase de obra, só foram possíveis de ultrapassar com o trabalho de equipa de todos os intervenientes, em particular ACE e Dono de Obra.

MUITO OBRIGADO!

rjustiniano@jetsj.com

José Folque Award – Young Geotechnical Engineer

STABILIZATION OF A GABION WALL AT AN ELECTRICAL SUBSTATION IN COIMBRA

utad

19.º Congresso Nacional

Geotecnia

11-14 Maio 2026

André Henriques / JETsj Geotecnia
Rui Tomásio / JETsj Geotecnia
Ricardo Braga / DST Geotecnia
Rui Carvalho / DST Geotecnia
André Lousinha / E-Redes

JETsj

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

INDEX

1. Introduction
2. Existing structure
3. Geological and geotechnical scenario
4. Adopted solutions
5. Design methods
6. Monitoring and survey plan
7. Final remarks

INDEX

1. **Introduction**
2. Existing structure
3. Geological and geotechnical scenario
4. Adopted solutions
5. Design methods
6. Monitoring and survey plan
7. Final remarks

INTRODUCTION

- Bemposta Substation – Coimbra – Portugal
- Forest area located in the outskirts of Coimbra
- Critical infrastructure
- Constructed in 2007
- Expansion in 2011

Coimbra: EDP inaugurou subestação de nova geração

As zonas dos Hospitais da Universidade de Coimbra, Hospital Pediátrico e Pólo III da Universidade ficaram hoje (dia 22) reforçadas com o abastecimento de energia eléctrica, para além de outros áreas da cidade e dos concelhos de Penacova e Vila Nova de Poiares, através da entrada em funcionamento da subestação da Correnca.

Local: Coimbra

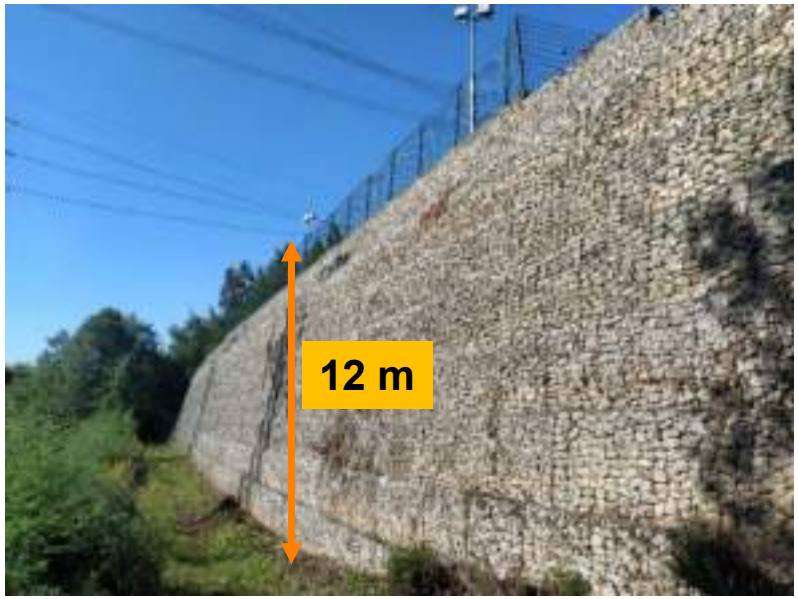
Fonte: Campeão das Províncias

INDEX

1. Introduction
2. **Existing structure**
3. Geological and geotechnical scenario
4. Adopted solutions
5. Design methods
6. Monitoring and survey plan
7. Final remarks

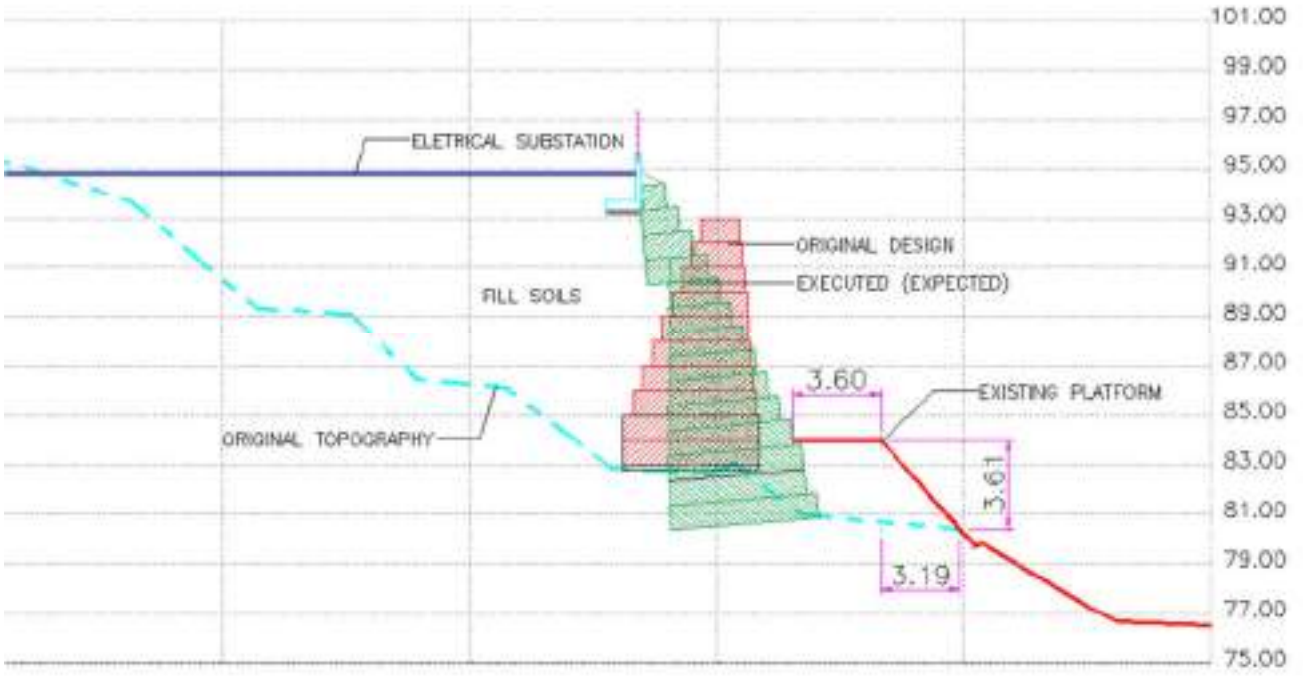
EXISTING STRUCTURE

- Area = 1200 m^2
- West → Local street
- East → Gabion retaining wall
- 70 m length
- 12 m height



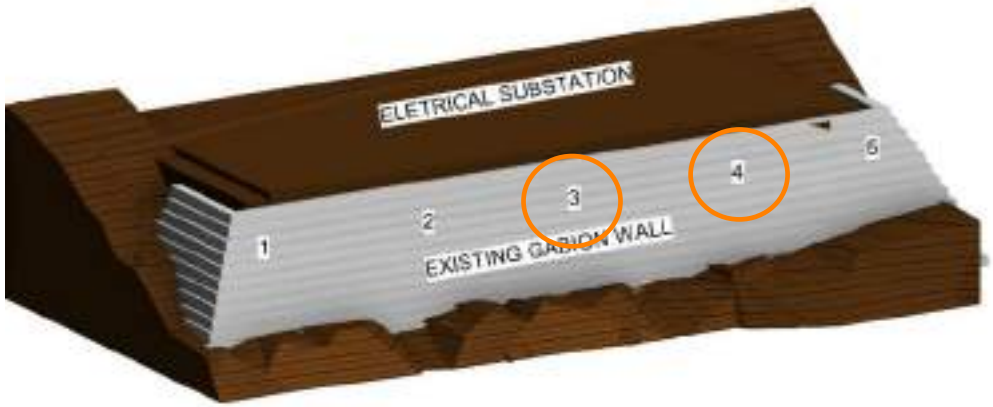
EXISTING STRUCTURE

- Horizontal platform at the elevation of 95.00
- The wall cross-section underwent **several modifications during construction**:
  - Complete change of the wall section
  - Reinforced concrete retaining Wall



EXISTING STRUCTURE

- Topographic monitoring initiated in 2009
- 10 initial targets – 4 monitoring campaigns
- Maximum horizontal displacements = **0.53 m (H/220)!**
- Maximum vertical settlement = **-0.27 m**
- Horizontal displacements were greater at the central targets, both in height and in plan distribution.
- Higher targets recorded the largest settlements



Construction **Expansion** **Decision to reinforcement**

Target	13/07/2007 21/11/2008 Displacement Horizontal	Vertical	21/11/2008 21/04/2009 Displacement Horizontal	Vertical	21/04/2009 11/09/2012 Displacement Horizontal	Vertical	11/09/2012 26/03/2021 Displacement Horizontal	Vertical	26/03/2021 30/09/2021 Displacement Horizontal	Vertical	13/07/2007 30/09/2021 Displacement Horizontal	Vertical
1	0,010	-0,086	0,010	-0,032	0,013	-0,001	0,024	-0,059	0,006	-0,003	**0,063**	**-0,181**
2	0,205	-0,083	0,018	-0,030	0,059	-0,007	0,117	-0,021	0,013	0,002	**0,412**	**-0,139**
3	0,119	-0,162	0,010	-0,037	0,051	-0,008	0,076	-0,056	0,015	0,001	**0,271**	**-0,262**
4	0,240	-0,092	0,041	-0,033			0,243	-0,045	0,009	-0,003	**0,533**	**-0,173**
5	0,021	-0,122	0,011	-0,043	0,020	-0,026	0,030	-0,080	0,001	0,002	**0,083**	**-0,269**
	2007 a 2008		2008 a 2009		2009 a 2012		2012 a 2021		2021-3 a 2021-9		**2007 a 2021**	

Time

EXISTING STRUCTURE

- Cracking
- Misalignement of the concrete wall
- Local instability of the gabion crest

EXISTING STRUCTURE

- Cracking
- Misalignement of the concrete wall
- Local instability of the gabion crest

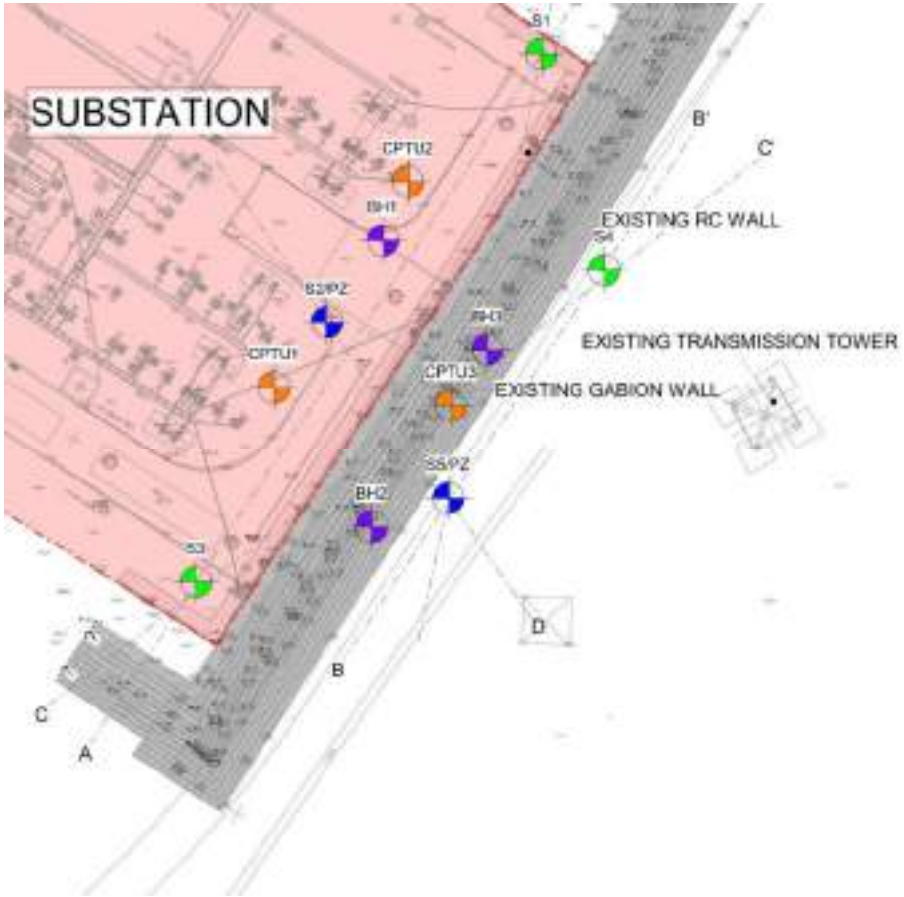
INDEX

1. Introduction
2. Existing structure
3. **Geological and geotechnical scenario**
4. Adopted solutions
5. Design methods
6. Monitoring and survey plan
7. Final remarks

GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL SCENARIO

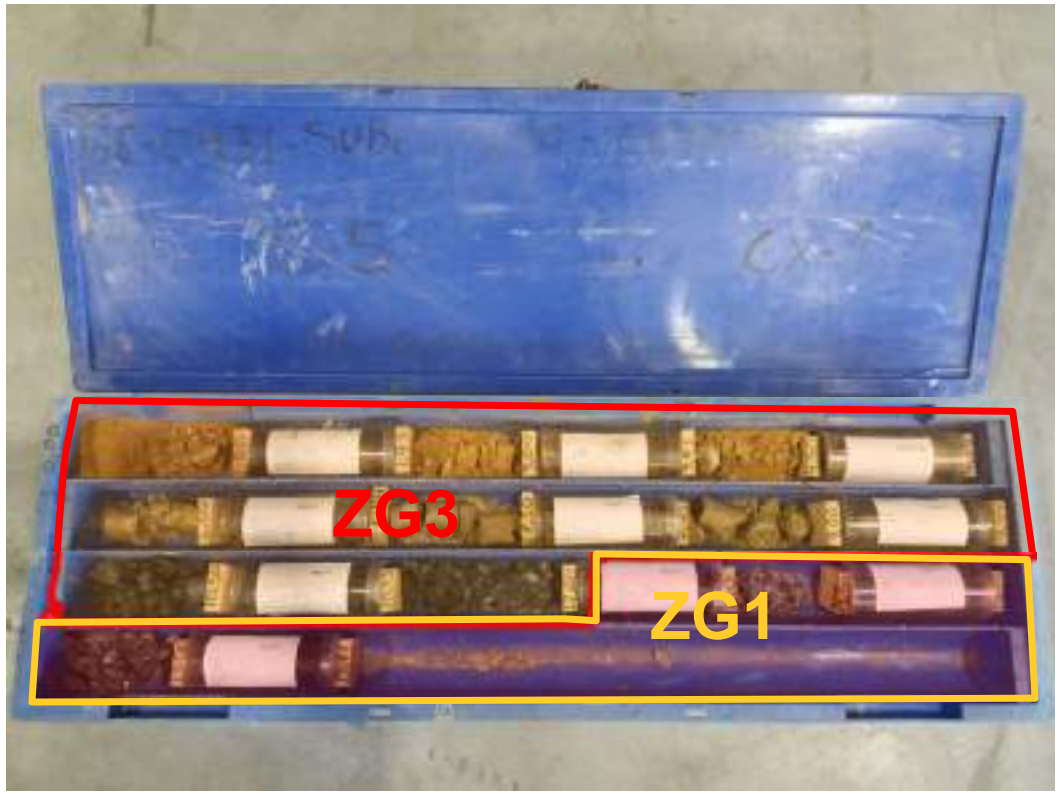
- Two geotechnical campaings
- 3 CPTU
- 2 piezometers
- 8 boreholes with SPT
- Laboratory investigation tests

3 ground layers



- **ZG3** – Fill Soils ($2<N_{SPT}<39$) - Silty deposits and decomposed schist fragments – 13 m
- **ZG2** – Very decomposed schist ($2<N_{SPT}<39$) – 5 to 12 m
- **ZG1** – Decomposed schist $N_{SPT}>60$
- **Ground water table** below the gabion wall foundation

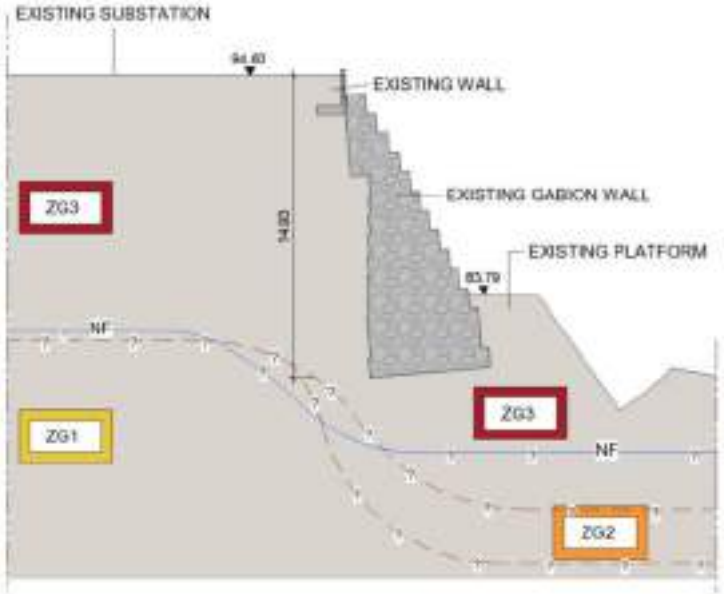
GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL SCENARIO

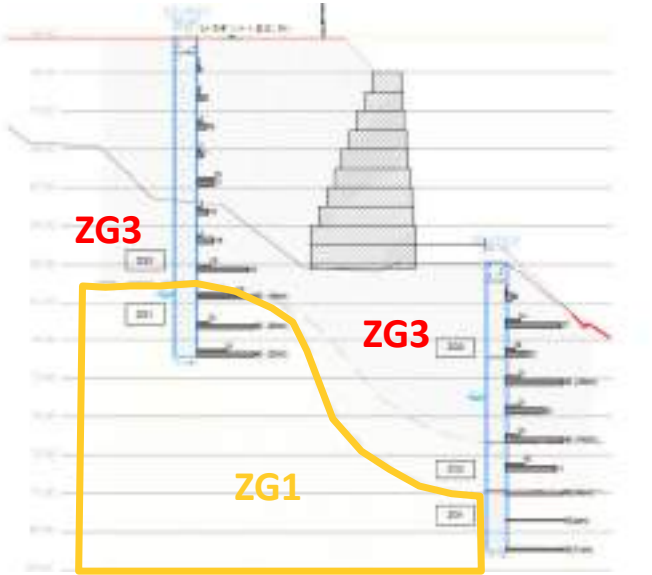


GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL SCENARIO

1. ZG1 is **below** the gabion wall foundation
2. The foundation soil has characteristics consistent with those of **poorly consolidated fill material** (ZG3)
3. The pathologies presented in the gabion wall are probably due to the poor geotechnical characteristics of the fill materials behind and/or at the base of the gabion wall

Interpretation of geological and geotechnical results

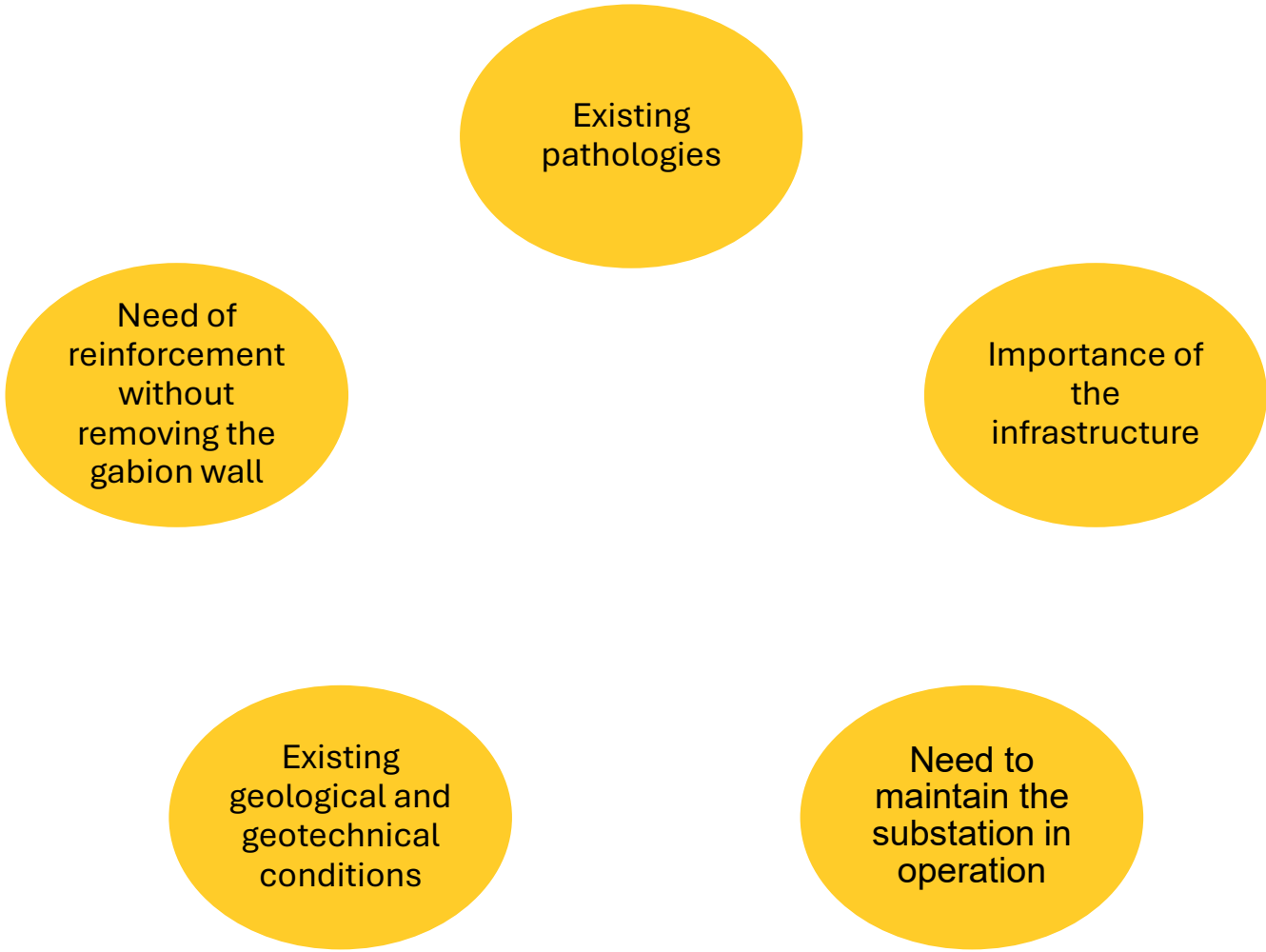




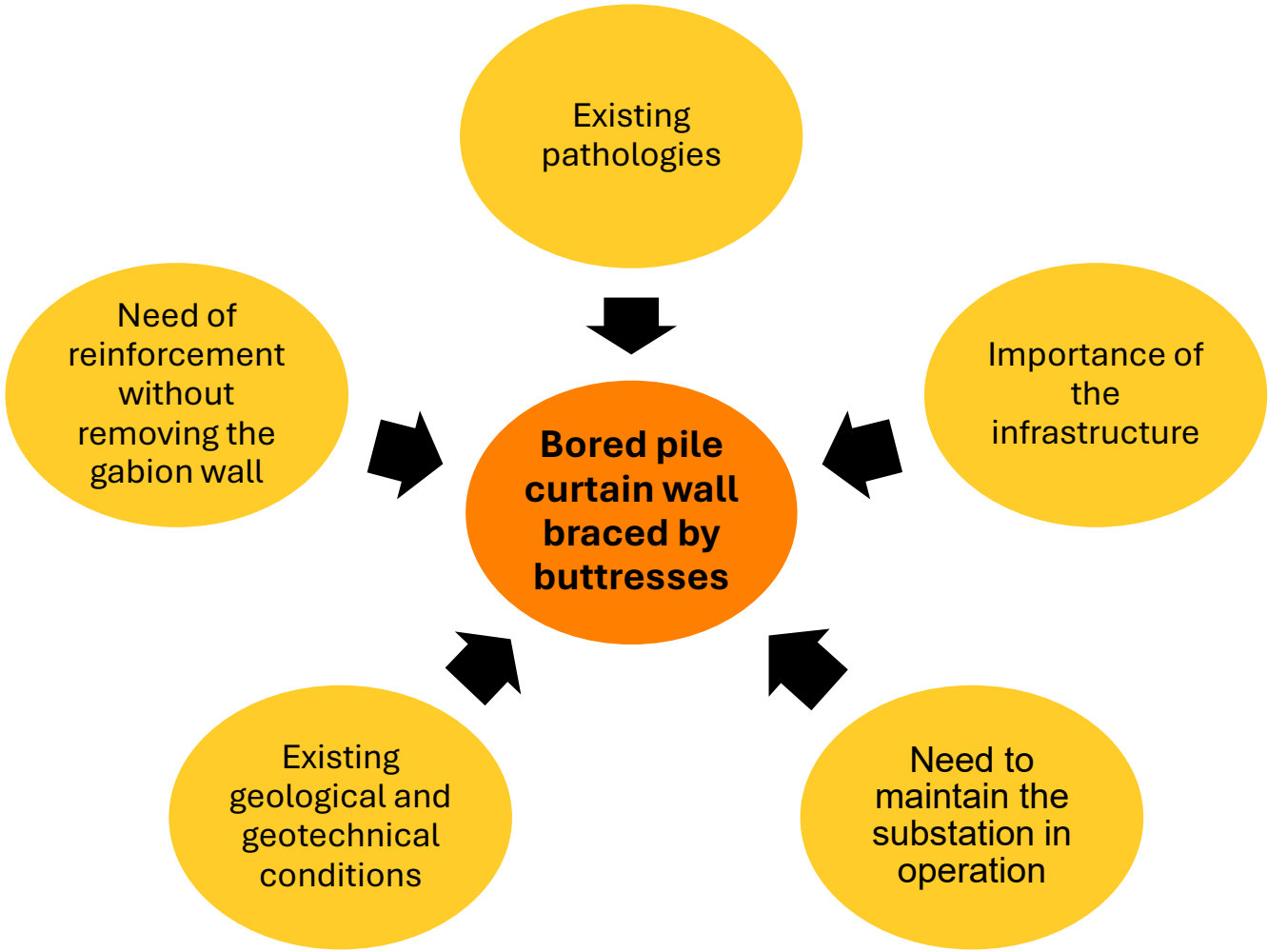
INDEX

1. Introduction
2. Existing structure
3. Geological and geotechnical scenario
4. **Adopted solutions**
5. Design methods
6. Monitoring and survey plan
7. Final remarks

ADOPTED SOLUTIONS

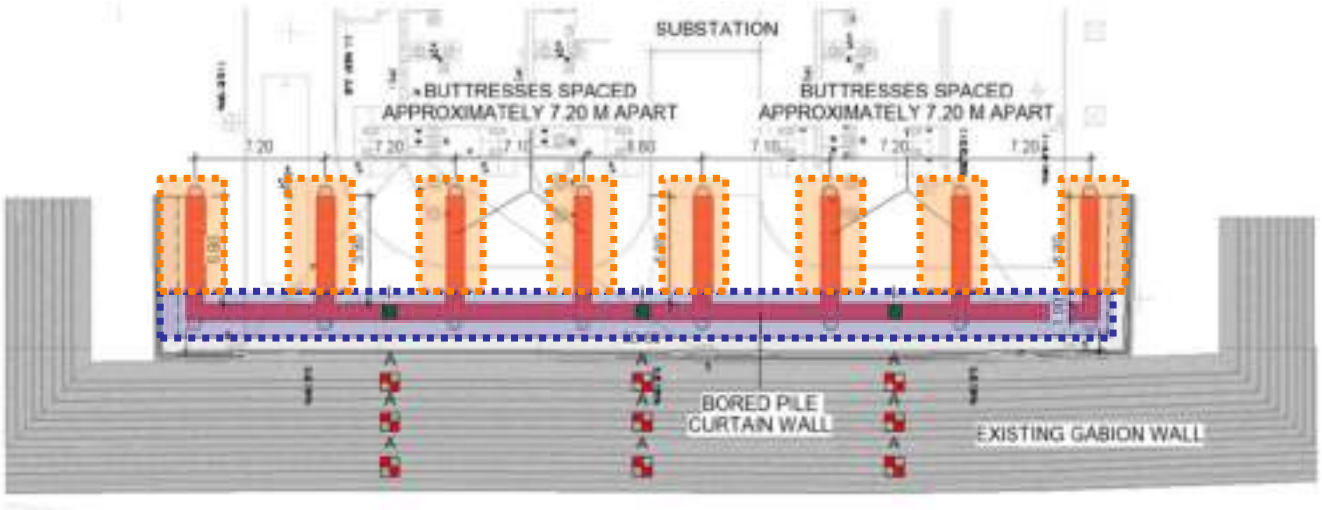


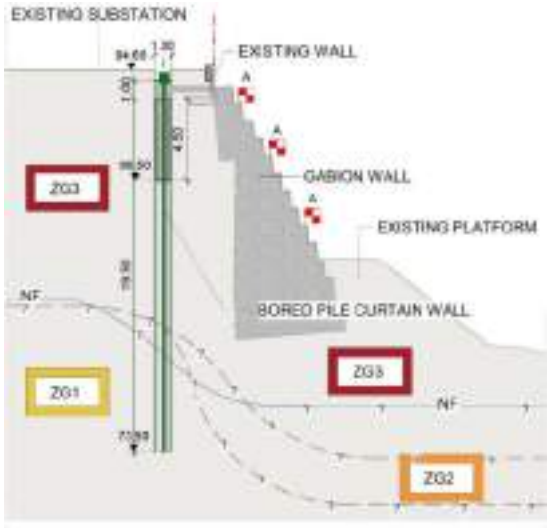
ADOPTED SOLUTIONS



ADOPTED SOLUTIONS

- **Curtain Wall:**
  - Ø800 mm reinforced piles spaced at 1.20 m (21 m)
  - Ø800 mm plastic piles spaced at 1.20 m (5 m) to mitigate erosion effects
- **Buttresses:**
  - Spacing - 7.2 m | Length – 7.0 m
  - Alternating reinforced and unreinforced secant piles (21 m)
- High-stiffness reinforced concrete capping beam, 1.0 m width and 1.0 m height

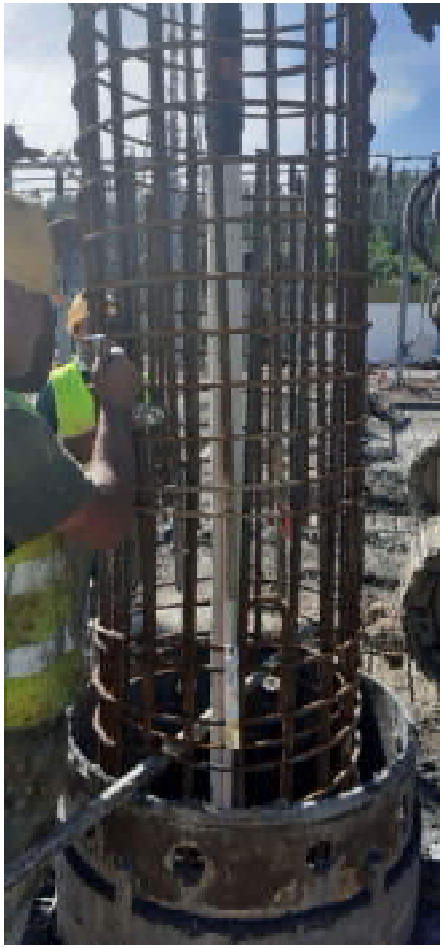


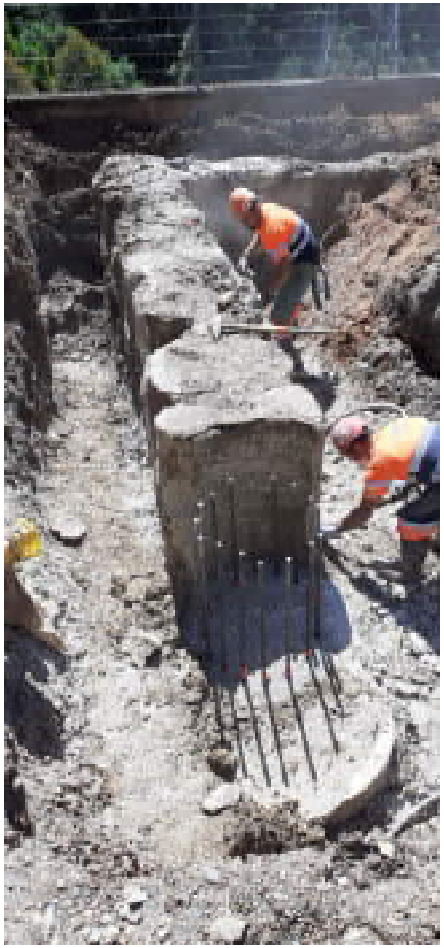


ADOPTED SOLUTIONS

ADOPTED SOLUTIONS

ADOPTED SOLUTIONS





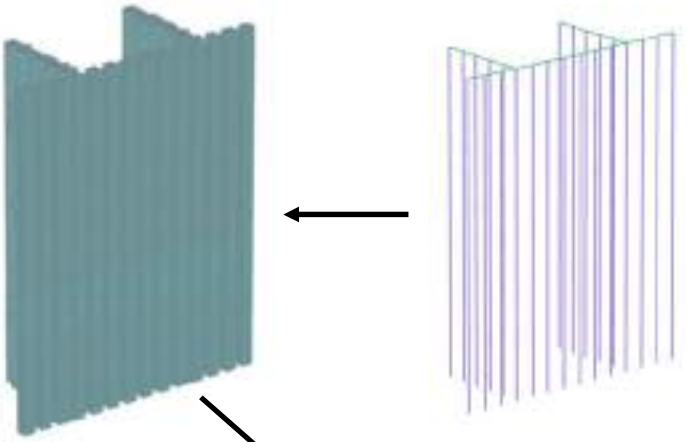
ADOPTED SOLUTIONS

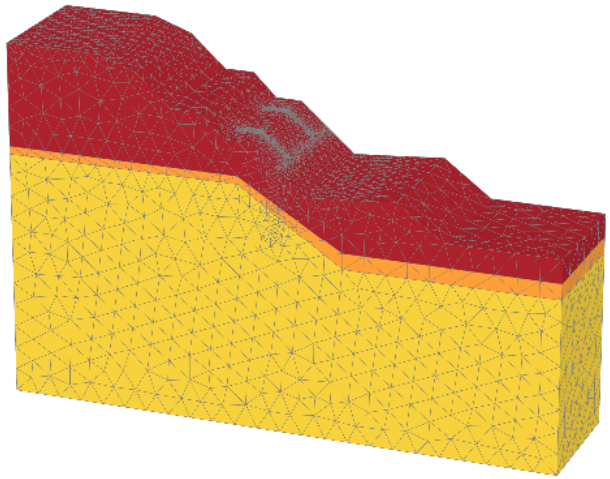
INDEX

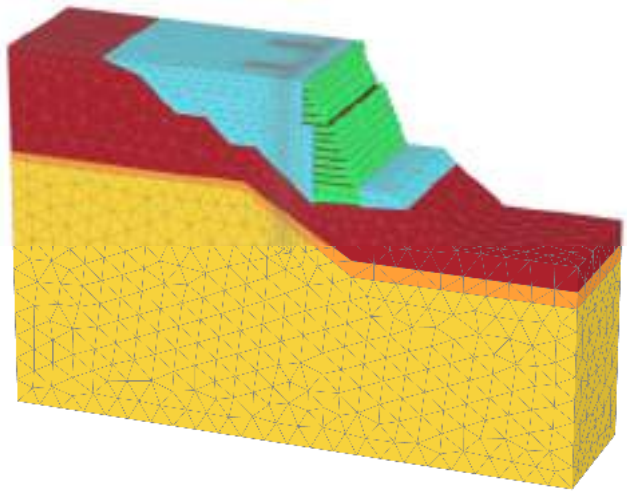
1. Introduction
2. Existing structure
3. Geological and geotechnical scenario
4. Adopted solutions
5. **Design methods**
6. Monitoring and survey plan
7. Final remarks

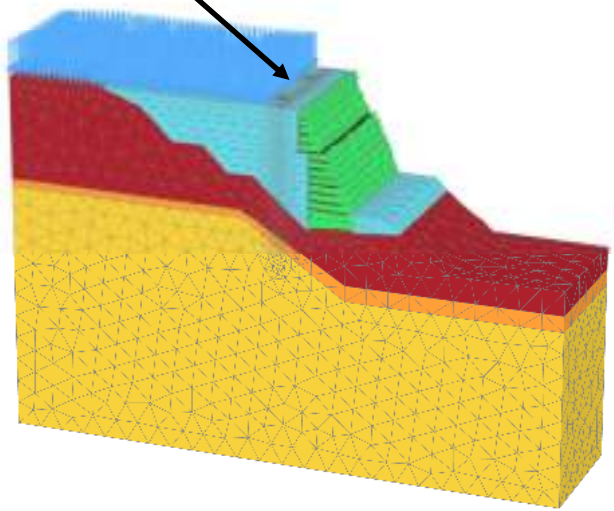
DESIGN METHODS

- Evaluation of structural and geotechnical behaviour - Plaxis 3D
- Multiple construction stages were simulated
- Elasto-plastic behaviour
- Seismic analysis



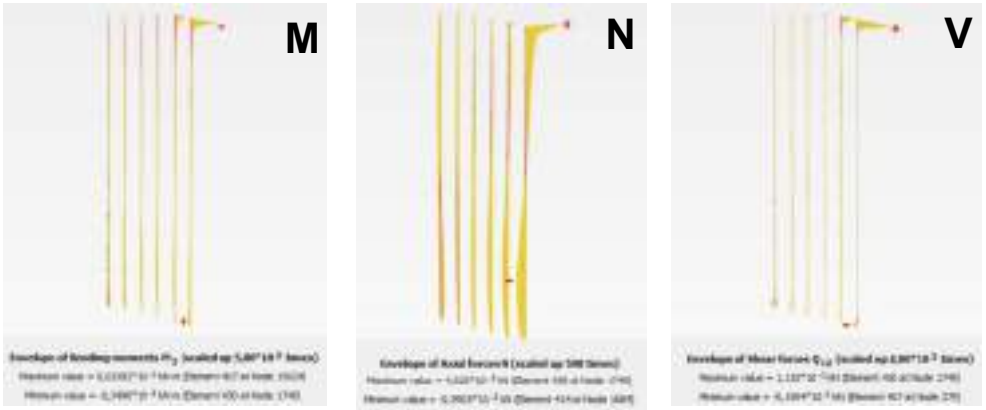


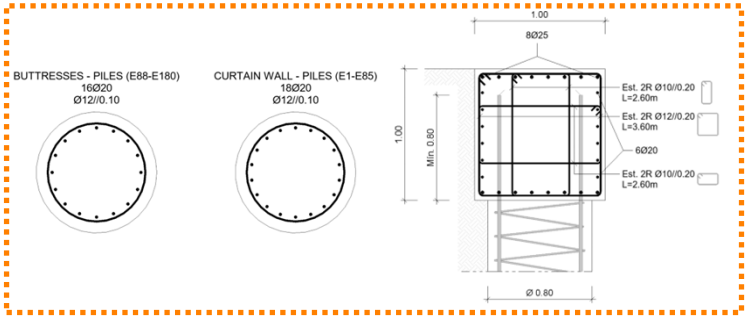


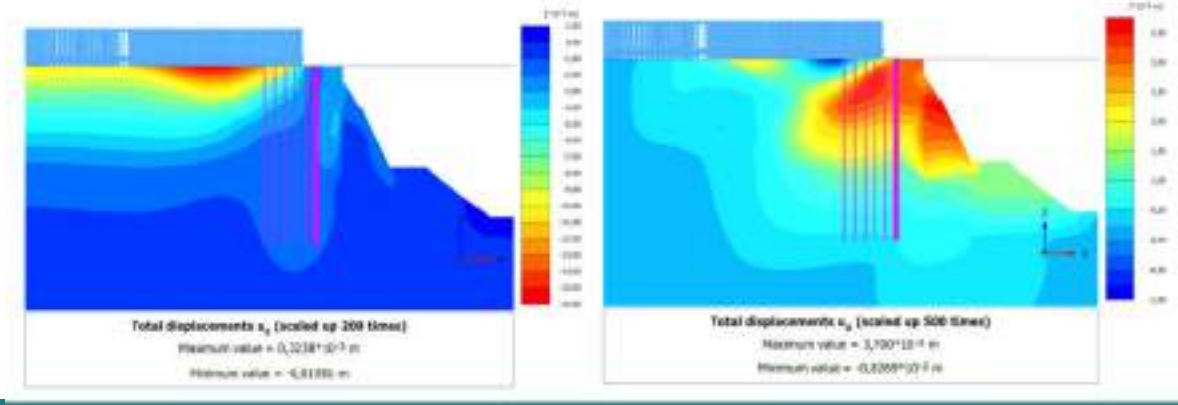


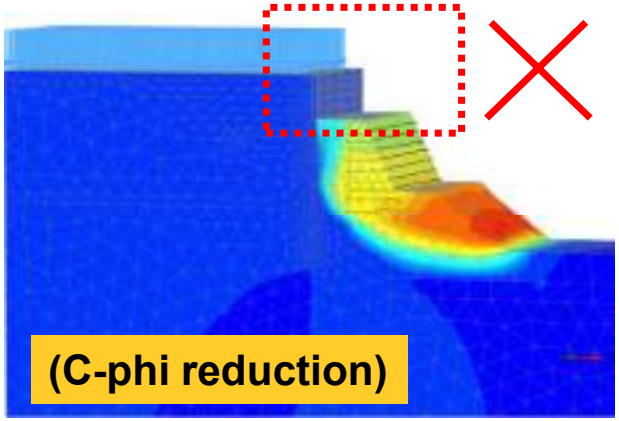
DESIGN METHODS

- **Original design did not achieve the minimum safety factor!!**
- **Solution designed to work without the gabion walls founded on fill materials**









INDEX

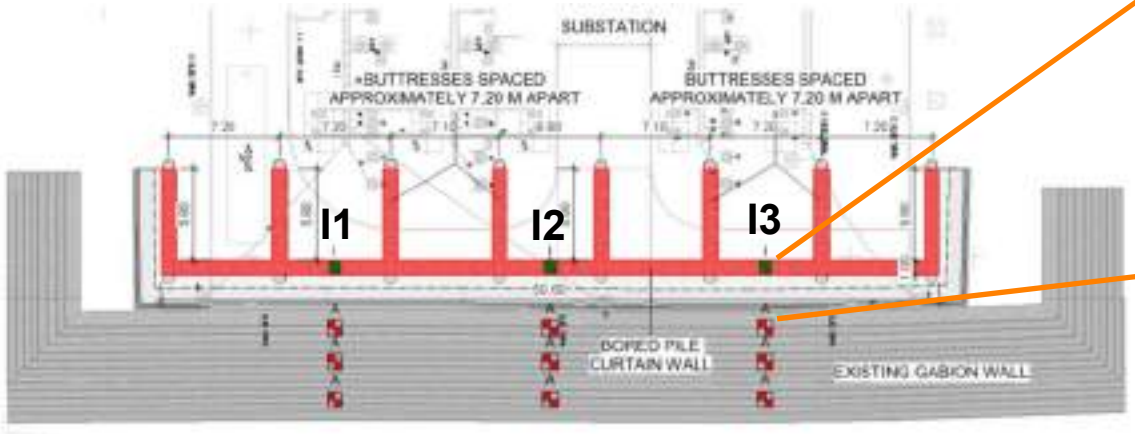
1. Introduction
2. Existing structure
3. Geological and geotechnical scenario
4. Adopted solutions
5. Design methods
6. **Monitoring and survey plan**
7. Final remarks

MONITORING AND SURVEY PLAN

- **Validate** the design assumptions and **managing** geotechnical risk

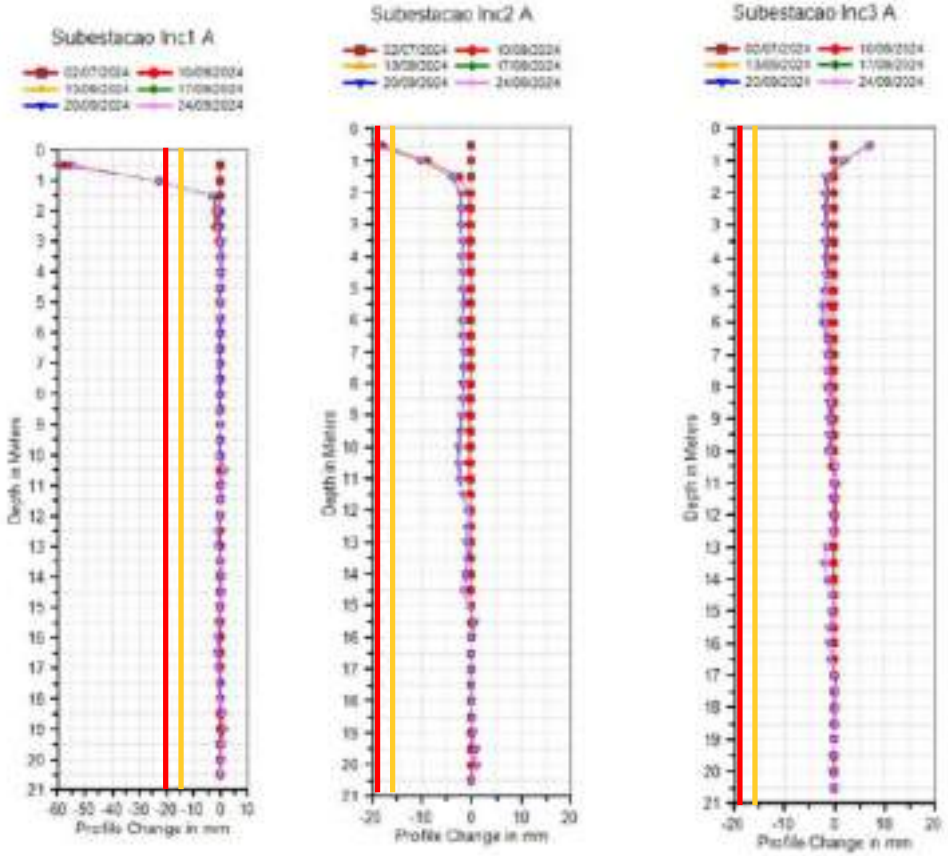
- **Short-term monitoring plan** - Weekly reading campaings during construction
- **Long-term monitoring plan** – Measurements to be carried out during the structure's lifetime

- **Monitoring devices:**
  - **Topographic prisms** installed in several sections
  - **Inclinometers** installed inside the bored pile wall



MONITORING AND SURVEY PLAN

- **Alert criteria** – 15 mm horizontal displacement | 15 mm vertical settlement
- **Alarm criteria** – 20 mm horizontal displacement | 20 mm vertical settlement



INDEX

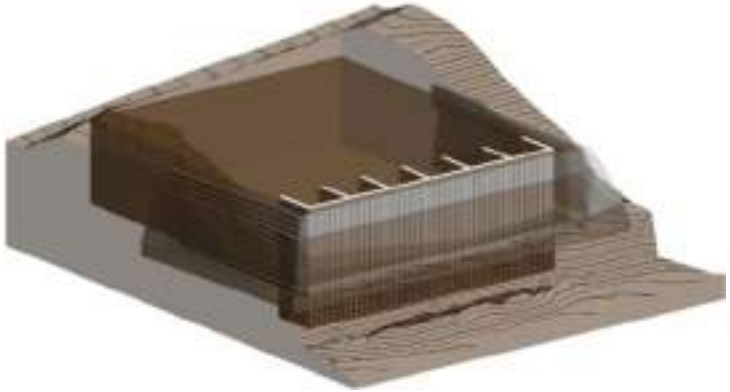
1. Introduction
2. Existing structure
3. Geological and geotechnical scenario
4. Adopted solutions
5. Design methods
6. Monitoring and survey plan
7. **Final remarks**

FINAL REMARKS

- Gabion walls are a widely used solution, however their performance depends on several factors, such as **compressible or poorly compacted soils**, which may lead to failures with significant **impacts on the surrounding areas**.

- The adopted reinforcement solution with a **bored pile wall braced by buttresses** proved to be **effective** and well suited to the geotechnical and operational constraints.

- Measured displacements remained way below the design predictions confirming the **adequacy of the design assumptions**.



Thank you for your attention!

Project owner

Geotechnical contractor

NOVA LINHA CIRCULAR DO METROPOLITANO DE LISBOA

RECALÇAMENTO DE EDIFÍCIOS CENTENÁRIOS

André Henriques / JETsj Geotecnia
Carlos de Oliveira Martins / JETsj Geotecnia
Catarina Fartaria / JETsj Geotecnia
Rui Tomásio / JETsj Geotecnia
Alexandre Pinto / JETsj Geotecnia

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

JETsj

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

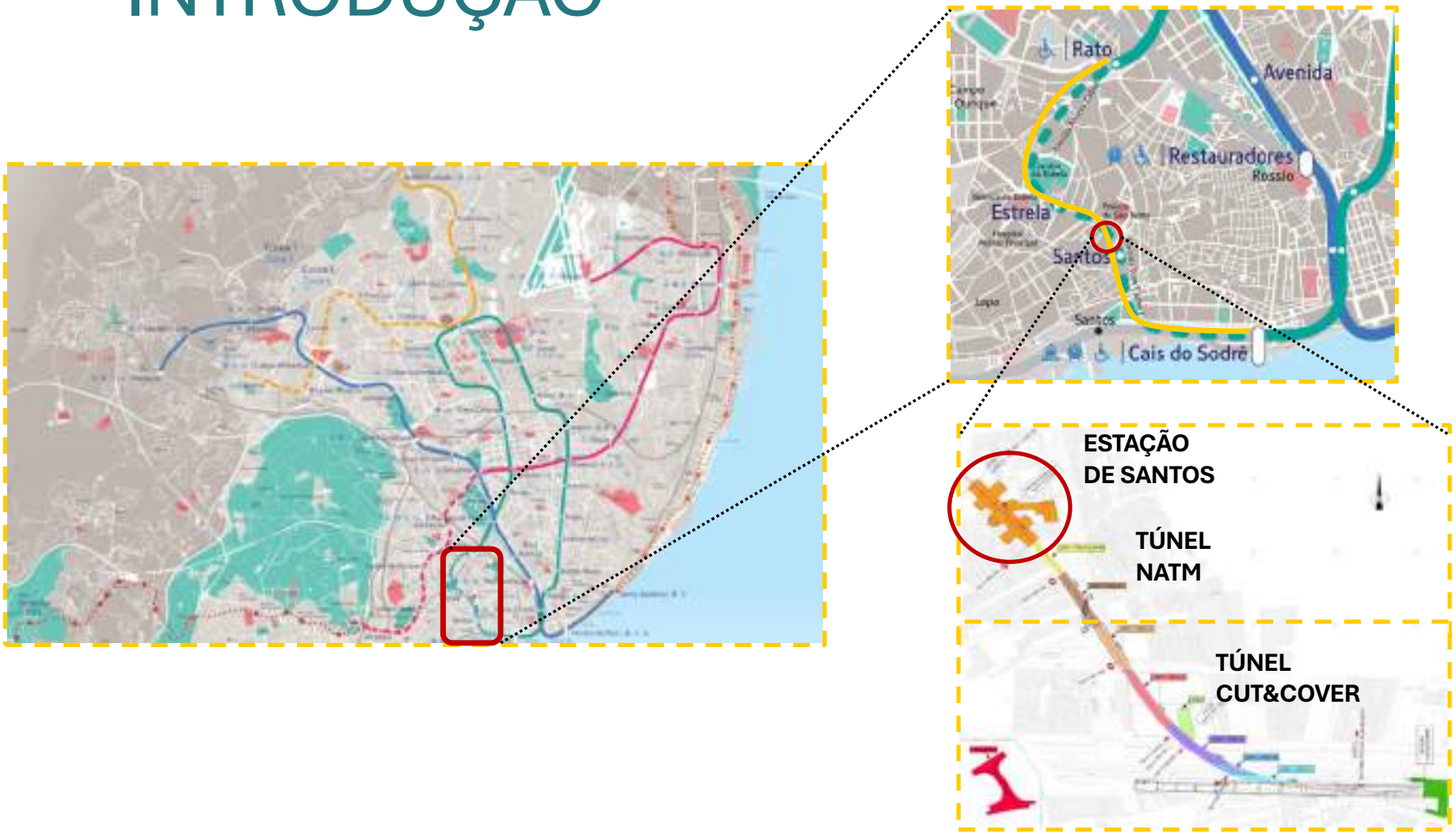
ÍNDICE

1. Introdução
2. Edifícios afetados
3. Principais condicionamentos
4. Solução de recalçamento
5. Dimensionamento
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

ÍNDICE

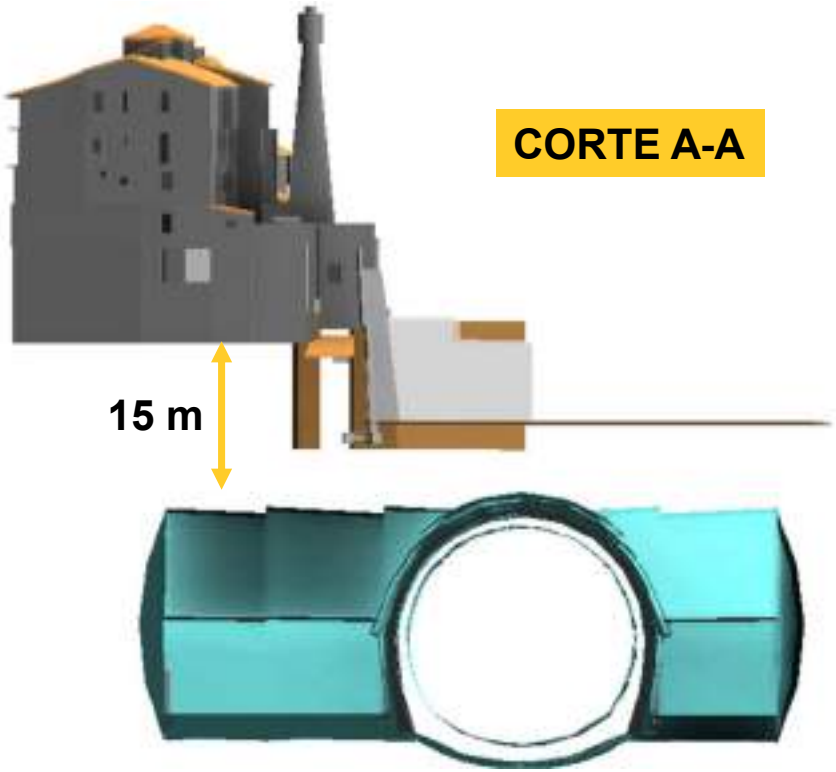
1. **Introdução**
2. Edifícios afetados
3. Principais condicionamentos
4. Solução de recalçamento
5. Dimensionamento
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

INTRODUÇÃO


Rato
Avenida
Restauradores
Rossio
Estrela
Santos
Cais do Sodré
ESTAÇÃO
DE SANTOS
TÚNEL
NATM
TÚNEL
CUT&COVER

INTRODUÇÃO

- Estação de Santos
- Zona histórica
- Zona densamente urbanizada



- Metodologia NATM
- Recobrimento do túnel reduzido
- Necessidade de mitigar danos nos edifícios históricos

ÍNDICE

1. Introdução
2. **Edifícios afetados**
3. Principais condicionamentos
4. Solução de recalçamento
5. Dimensionamento
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

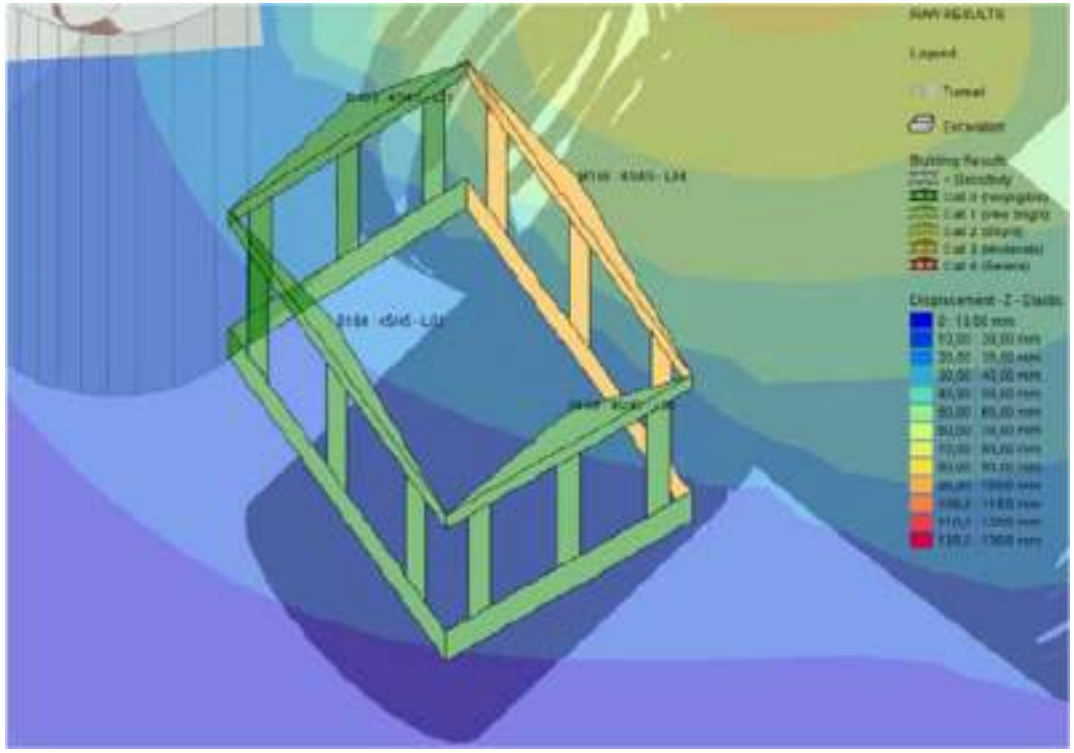
EDIFÍCIOS AFETADOS

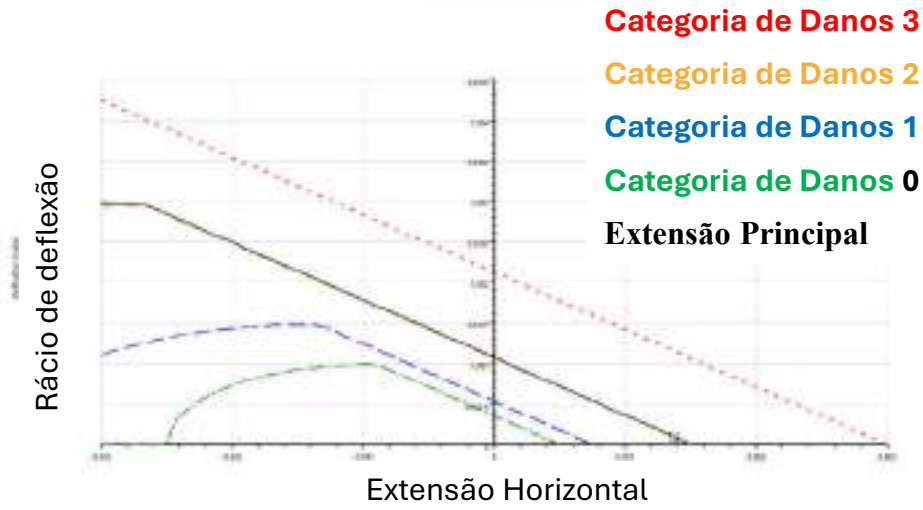
Situação de referência

- Edifícios do século XIX
- Paredes de Alvenaria
- Pisos de madeira
- Uso residencial + comércio

EDIFÍCIOS AFETADOS

Análise de danos





ASSENTAMENTO ESTIMADO EM ANÁLISE NUMÉRICA

↓

BURLAND'S (1997)

↓

DANO MODERADO A SEVERO

↓

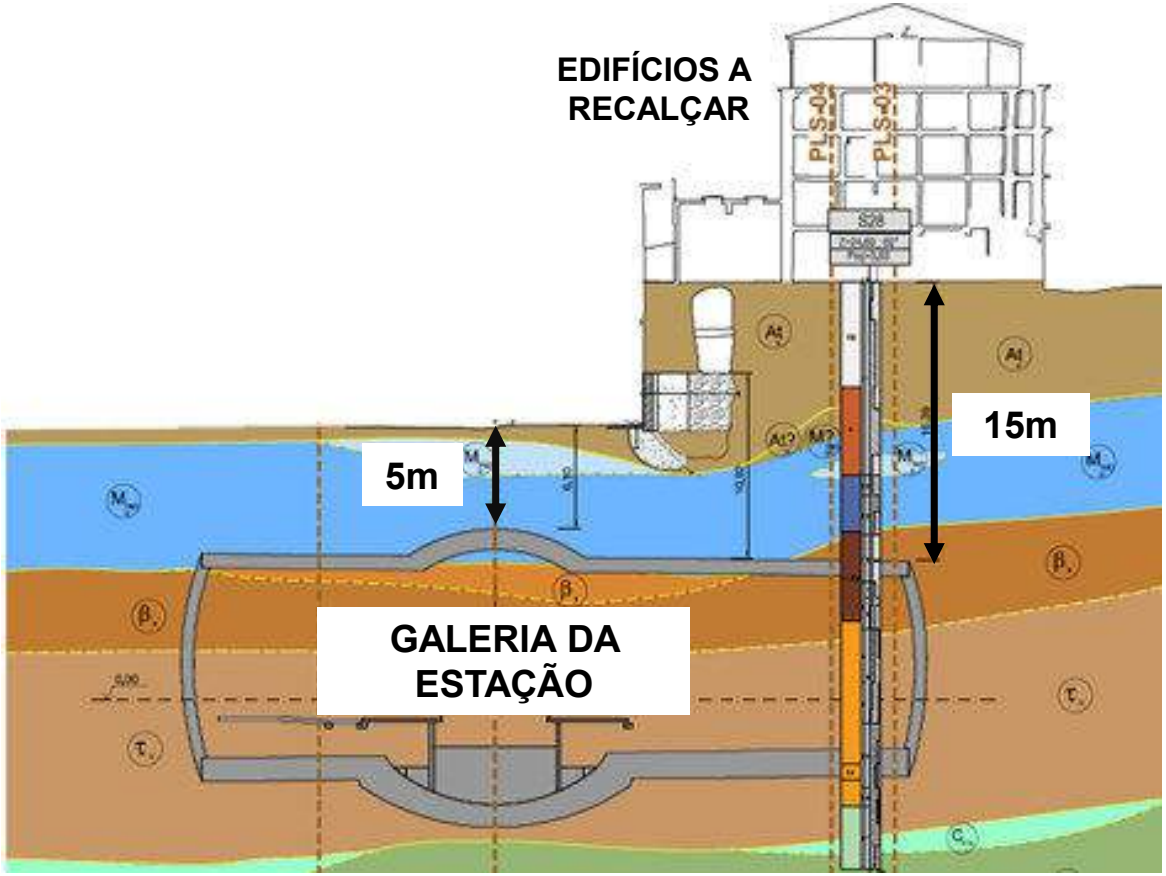
MEDIDAS DE REFORÇO NECESSÁRIAS

ÍNDICE

1. Introdução
2. Edifícios afetados
3. **Principais condicionamentos**
4. Solução de recalçamento
5. Dimensionamento
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

- **CONDICIONAMENTOS GEOTÉCNICOS**
  - Edifícios com fundação superficial
  - Aterro com espessura de 10 m
  - Escavação subterrânea em solos do Complexo Vulcânico de Lisboa
- **CONDICIONAMENTOS CONSTRUTIVOS**
  - Acessibilidade dos equipamentos no interior dos edifícios
  - Necessidade de operar com um pé-direito mínimo de 2,5m
- **CONDICIONAMENTOS RELACIONADOS COM A ESCAVAÇÃO SUBTERRÂNEA**
  - Elementos do suporte primário da escavação NATM



ÍNDICE

1. Introdução
2. Edifícios afetados
3. Principais condicionamentos
4. **Solução de recalçamento**
5. Dimensionamento
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

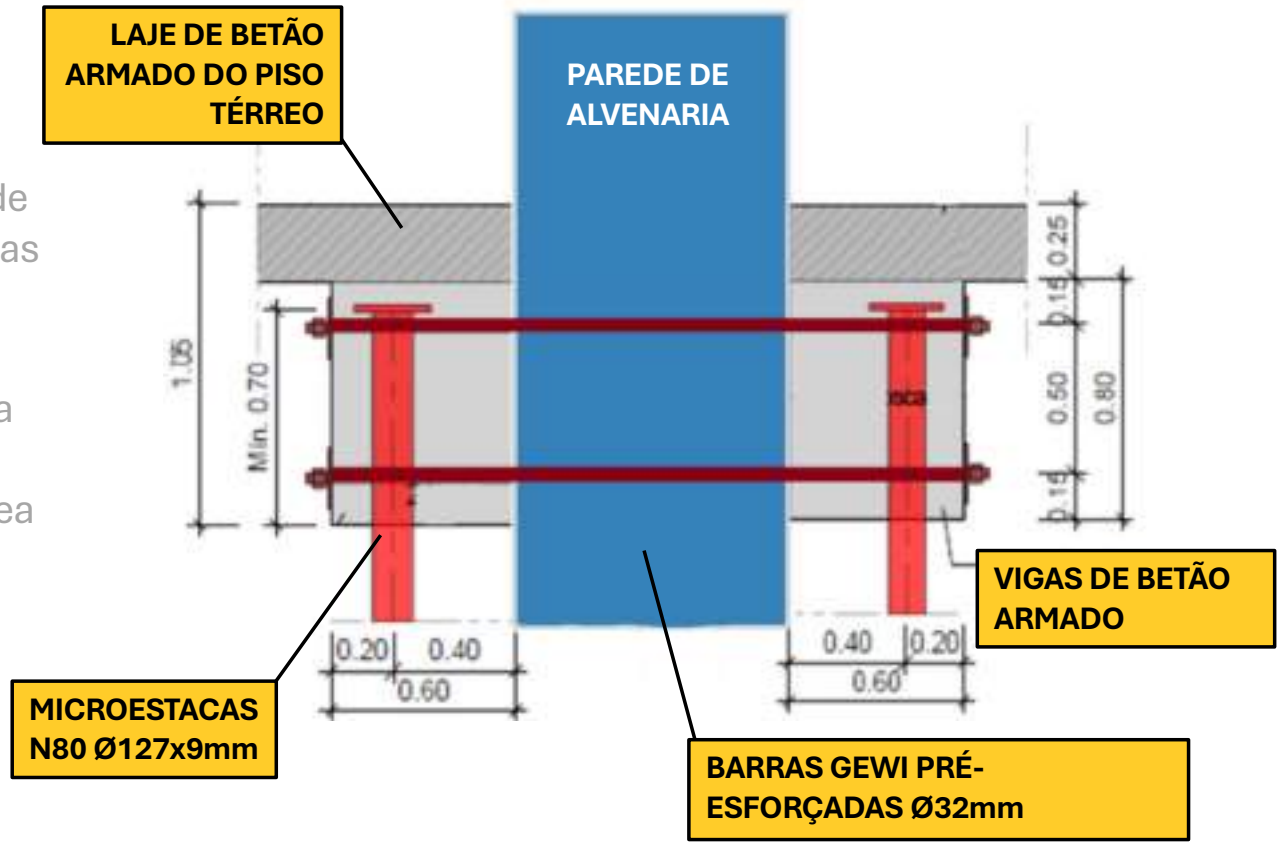
SOLUÇÃO DE RECALÇAMENTO

REFORÇO DAS PAREDES DE ALVENARIA
[S&P ARMO-mesh | S&P ARMO-crete w]

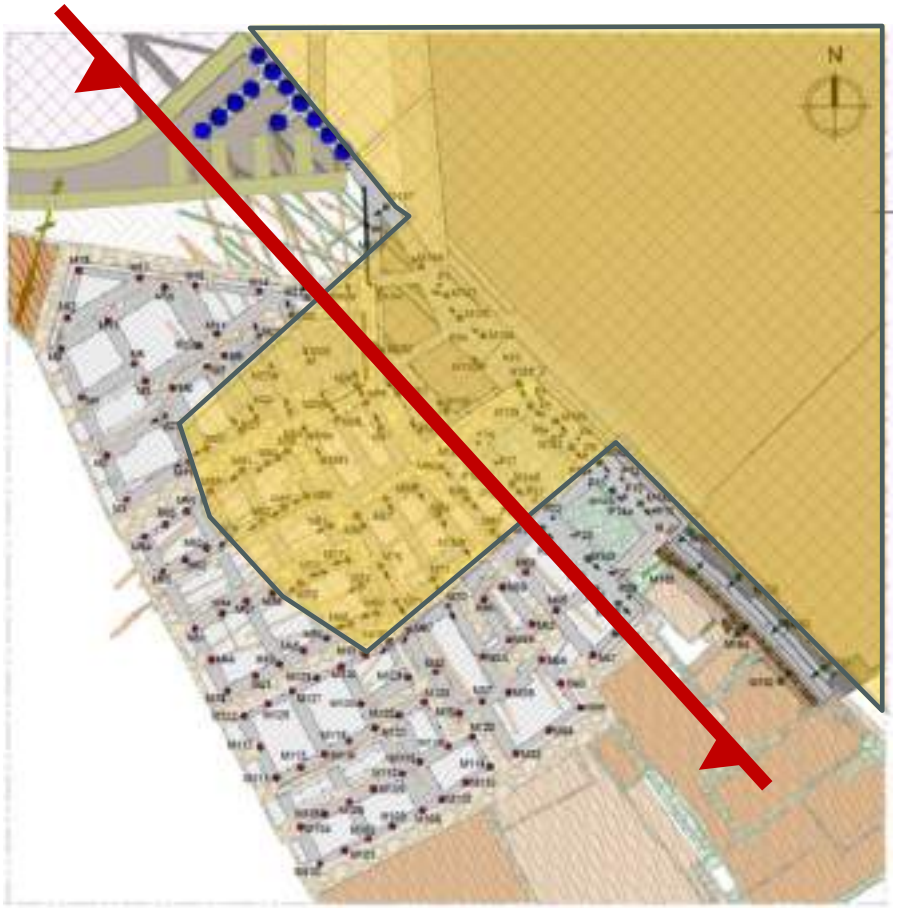
- **REFORÇO PAREDES ALVENARIA**
  - Malha de fibra de carbono e argamassa de alta resistência

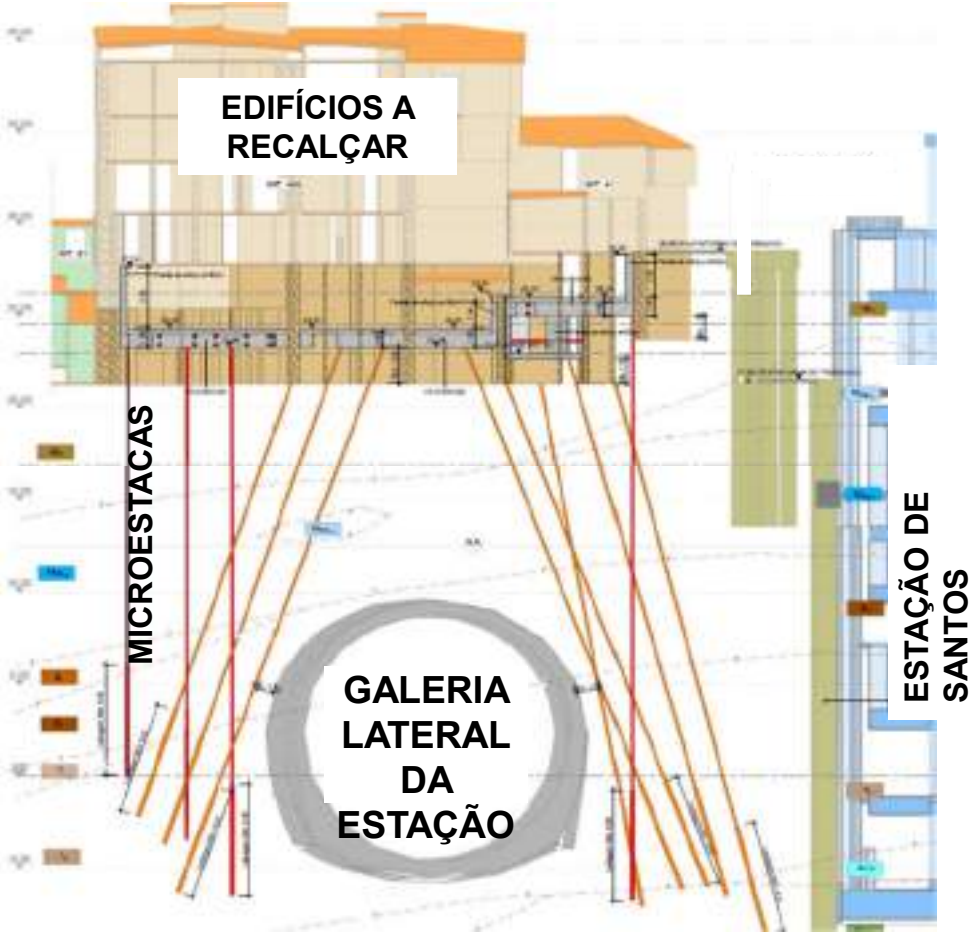
SOLUÇÃO DE RECALÇAMENTO

- **SOLUÇÃO DE RECALÇAMENTO**
  - Grelha de vigas em betão armado abaixo do nível do piso térreo conectadas às paredes de alvenaria com barras roscadas pré-esforçadas
  - Microestacas verticais e subverticais conectadas à grelha de vigas para transferir a carga vertical do edifício para o solo competente abaixo da escavação subterrânea

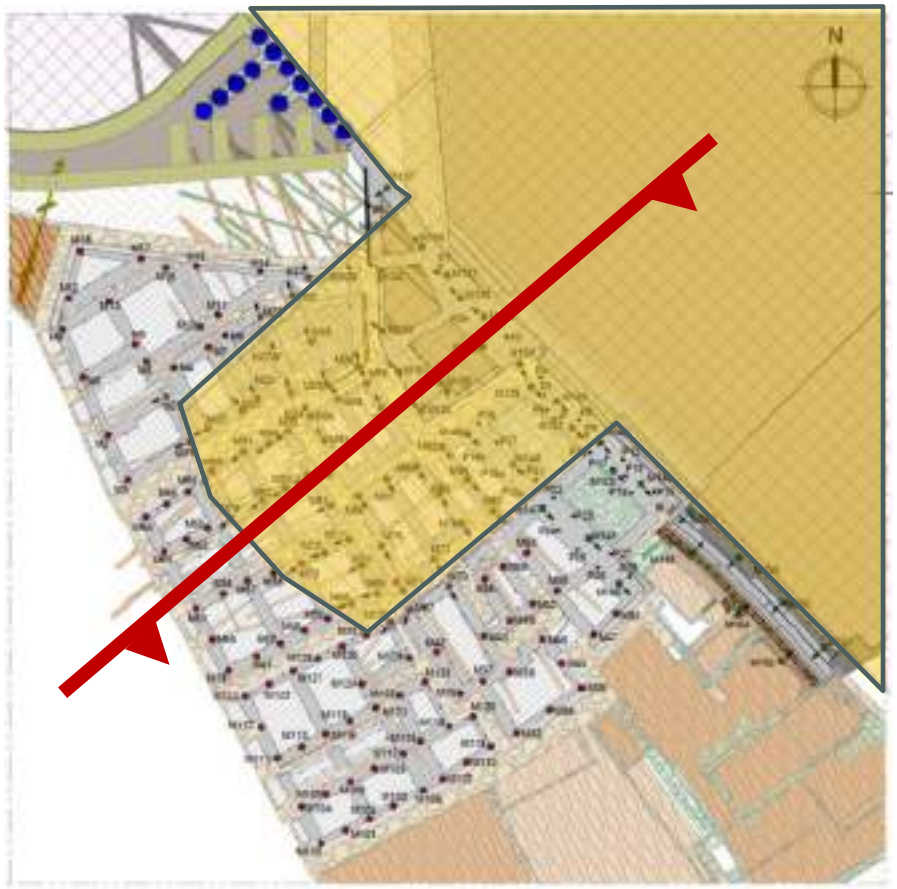


SOLUÇÃO DE RECALÇAMENTO

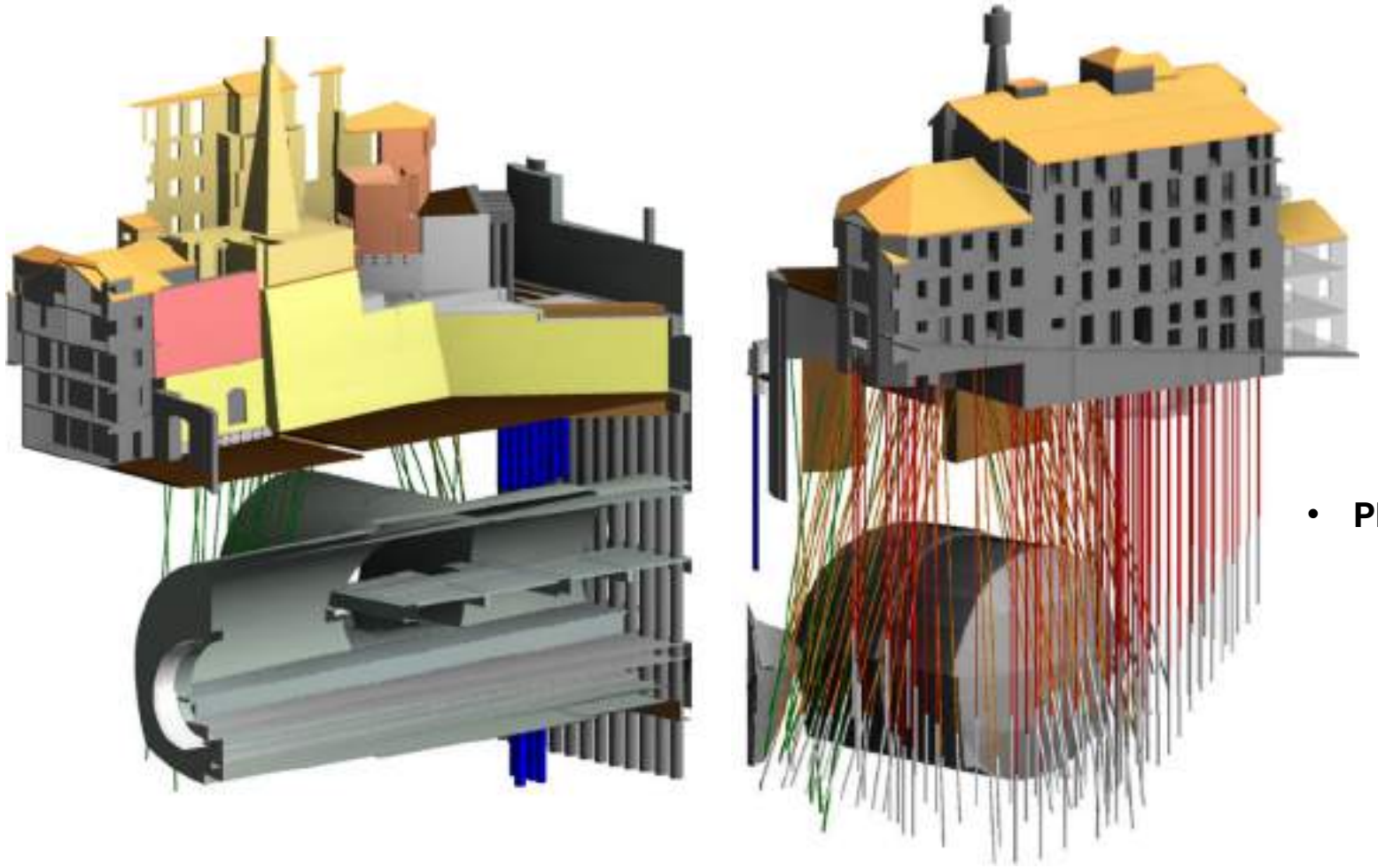




SOLUÇÃO DE RECALÇAMENTO



SOLUÇÃO DE RECALÇAMENTO

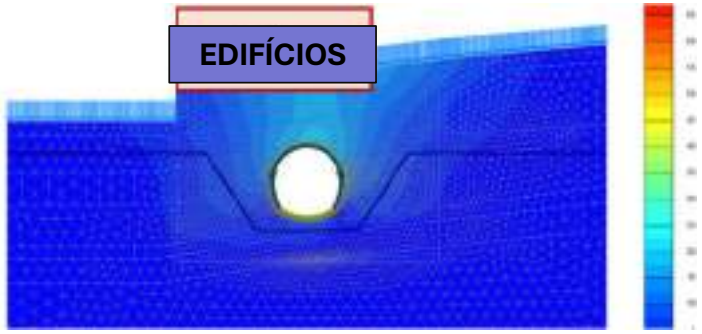


- **PRINCIPAIS QUANTIDADES**
  - Microestacas 20 to 25m
  - ~ 170 unidades
  - Comprimento total ~ 4.000m

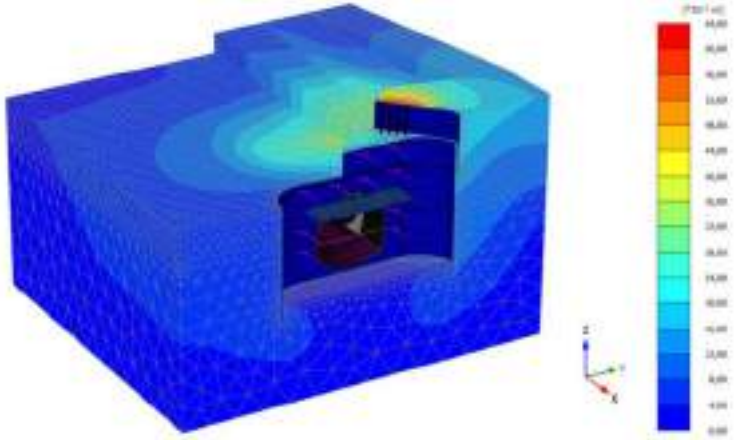
ÍNDICE

1. Introdução
2. Edifícios afetados
3. Principais condicionamentos
4. Solução de recalçamento
5. **Dimensionamento**
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

DIMENSIONAMENTO

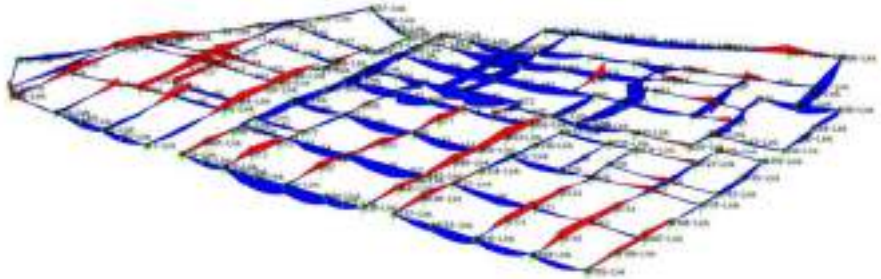


PLAXIS 2D – DESLOCAMENTOS ENVOLVENTE

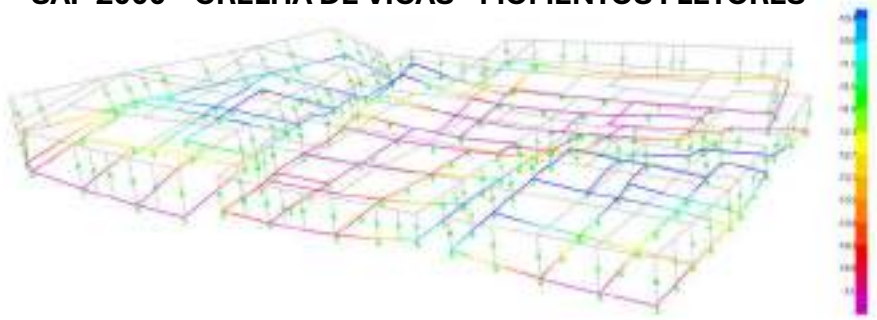


PLAXIS 3D – ASSENTAMENTO À SUPERFÍCIE

- **ANÁLISES DE CÁLCULO**
  - Modelos estruturais (SAP2000)
  - Modelos interação solo-estrutura (PLAXIS 2D AND 3D)



SAP 2000 – GRELHA DE VIGAS - MOMENTOS FLETORES

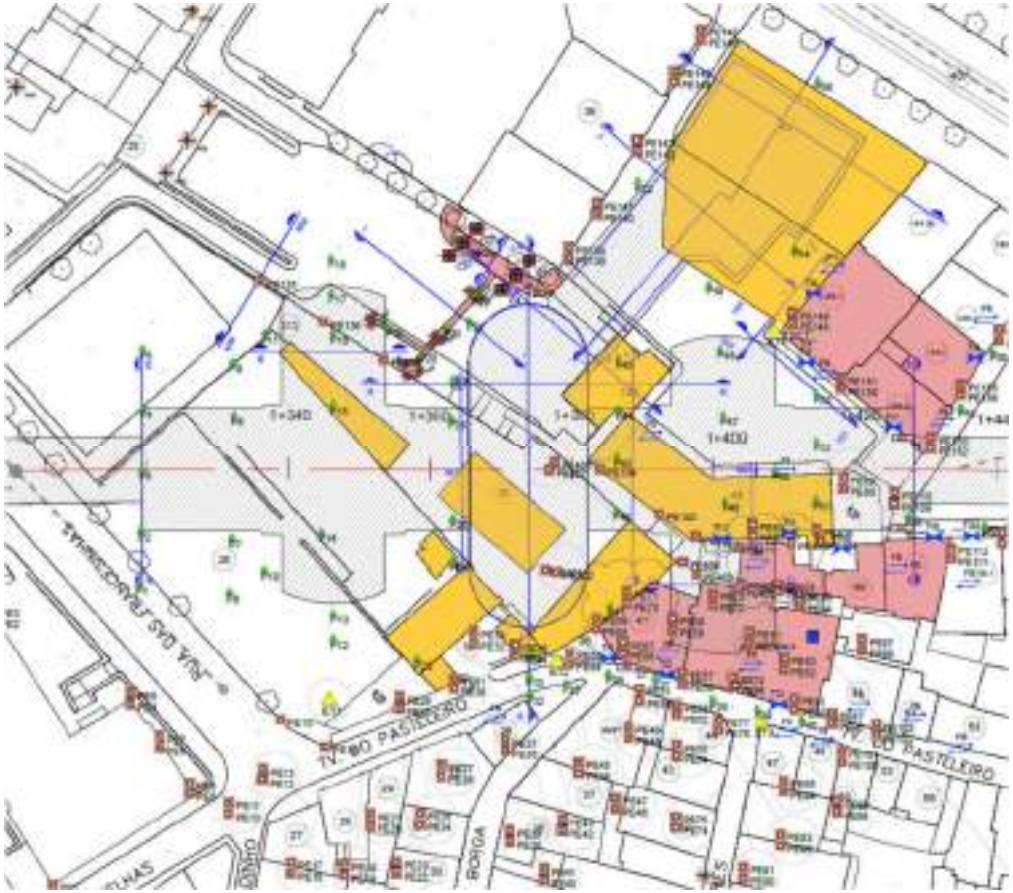


SAP 2000 – ASSENTAMENTOS VERTICAIS

ÍNDICE

1. Introdução
2. Edifícios afetados
3. Principais condicionamentos
4. Solução de recalçamento
5. Dimensionamento
6. **Plano de Instrumentação e Observação**
7. Considerações Finais

PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO



- **GESTÃO DO RISCO**
  - Critérios de Alerta e Alarme
  - Medições diárias usando estações totais automatizadas
- **DISPOSITIVOS DE MONITORIZAÇÃO**
  - Inclinómetros
  - Prismas Topográficos
  - Tiltmeters
  - Fissurometros

PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

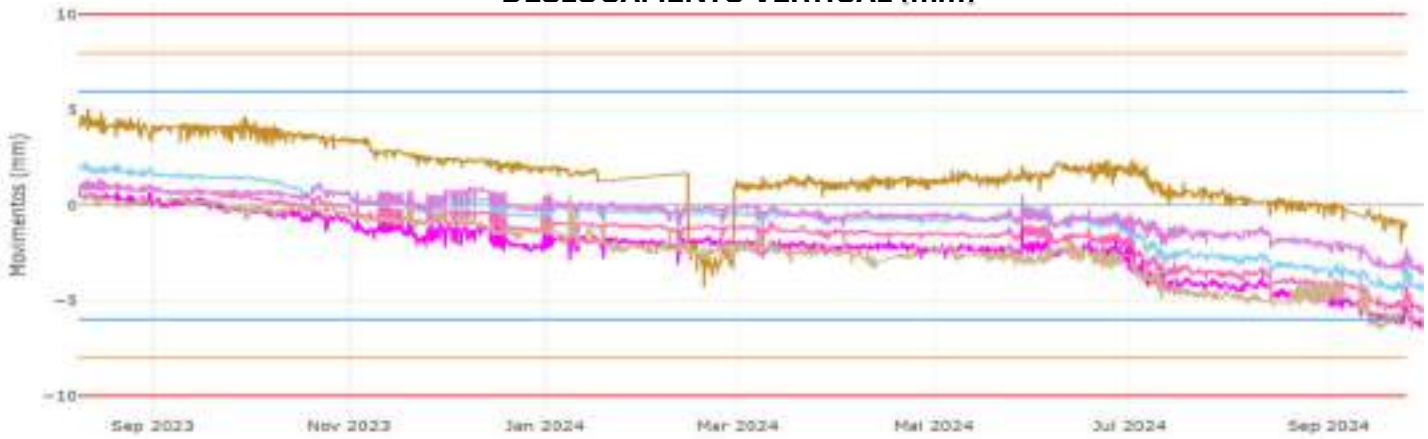
PRISMAS TOPOGRÁFICOS

ESTAÇÃO TOTAL AUTOMATIZADA

CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME

- **ALERTA – 80% RV**
- **VALOR DE REFERÊNCIA (VR)**
- **ALARME – 130% RV**

DESLOCAMENTO VERTICAL (mm)



ÍNDICE

1. Introdução
2. Edifícios afetados
3. Principais condicionamentos
4. Solução de recalçamento
5. Dimensionamento
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. **Considerações Finais**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- **Cenário extremo** com potencial de danos severos para os edifícios centenários pela escavação subterrânea
- Necessidade de implementar medidas de **mitigação de danos / medidas de reforço**
- Plano de Instrumentação e Observação utilizado como ferramenta de **gestão do risco geotécnico**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Obrigado pela vossa atenção

LINHA RUBI DO METRO DO PORTO

ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA DA ESTAÇÃO DE CAMPO ALEGRE

André Henriques / JETsj Geotecnia
Rui Tomásio / JETsj Geotecnia
Filipa Duarte / Quadrante
António Pereira / Quadrante

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

JETsj

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

ÍNDICE

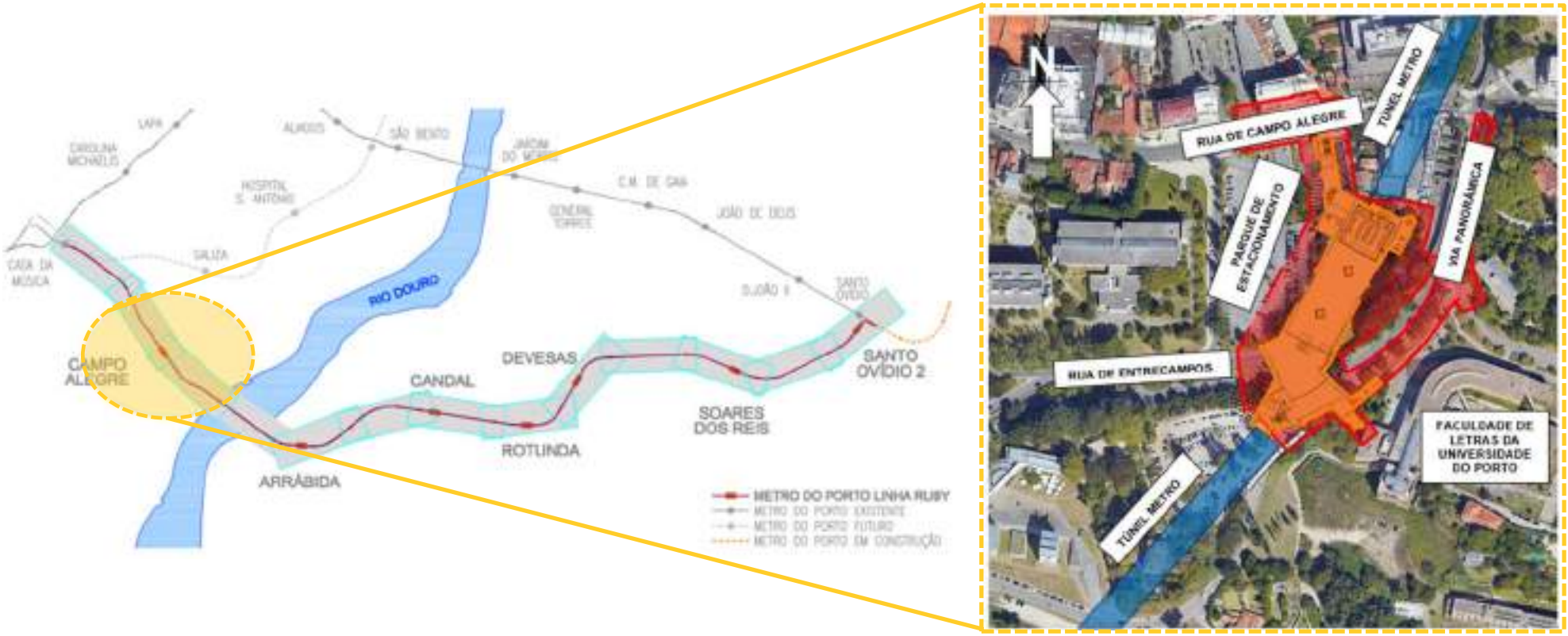
1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
4. Dimensionamento
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

ÍNDICE

1. **Introdução**
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
4. Dimensionamento
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

INTRODUÇÃO

- **Linha Rubi Metro Porto**: Casa da Música ⟶ Santo Ovídio
- Estação de Campo Alegre realizada a céu aberto



ÍNDICE

1. Introdução
2. **Principais Condicionamentos**
3. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
4. Dimensionamento
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

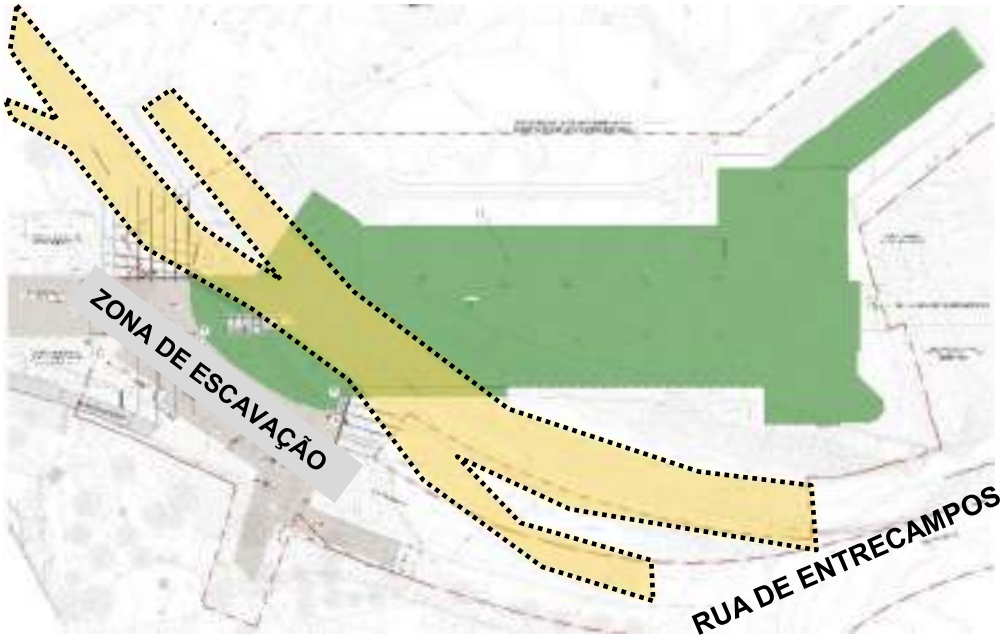
- Escavação em meio urbano
- Arquitetónicos (Desníveis de 9 a 18m)
- Ferroviários/Metro
- Topográficos e de vizinhança
- Infraestruturas no sub-solo

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

- **Condicionamentos viários** – Realização da escavação em duas fases

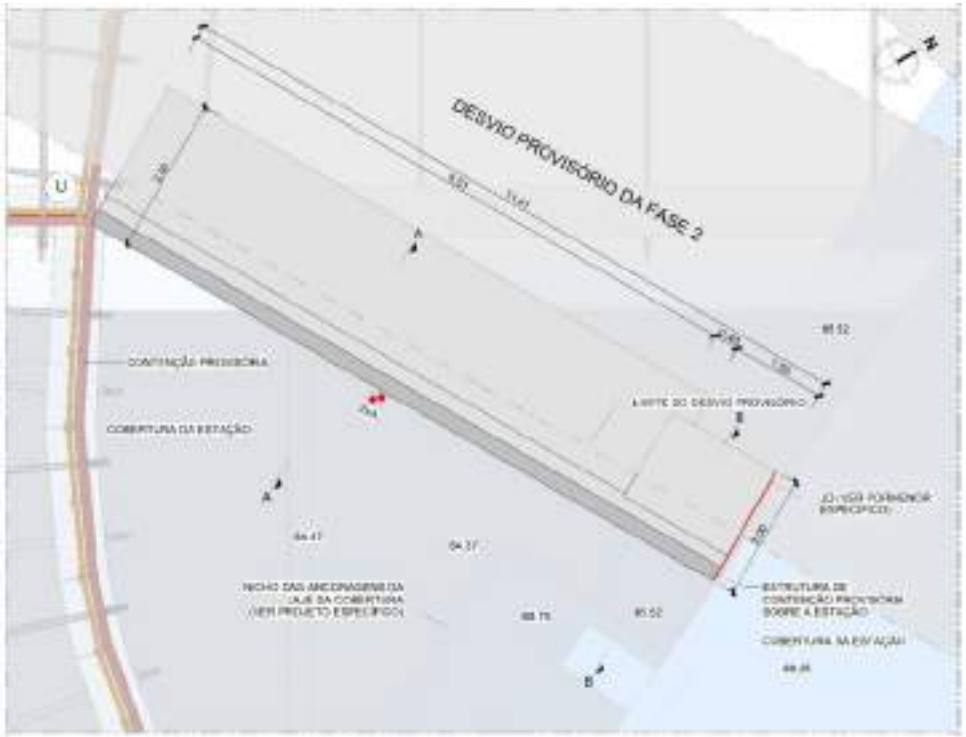
1º FASE

2ª FASE



PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

- **Condicionamentos viários** – Realização da escavação em duas fases



PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

- **Condicionamentos Geológico-Geotécnicos**
- 2 campanhas de sondagens
- 14 sondagens com a realização de ensaios SPT
- 3 perfis de refração sísmica

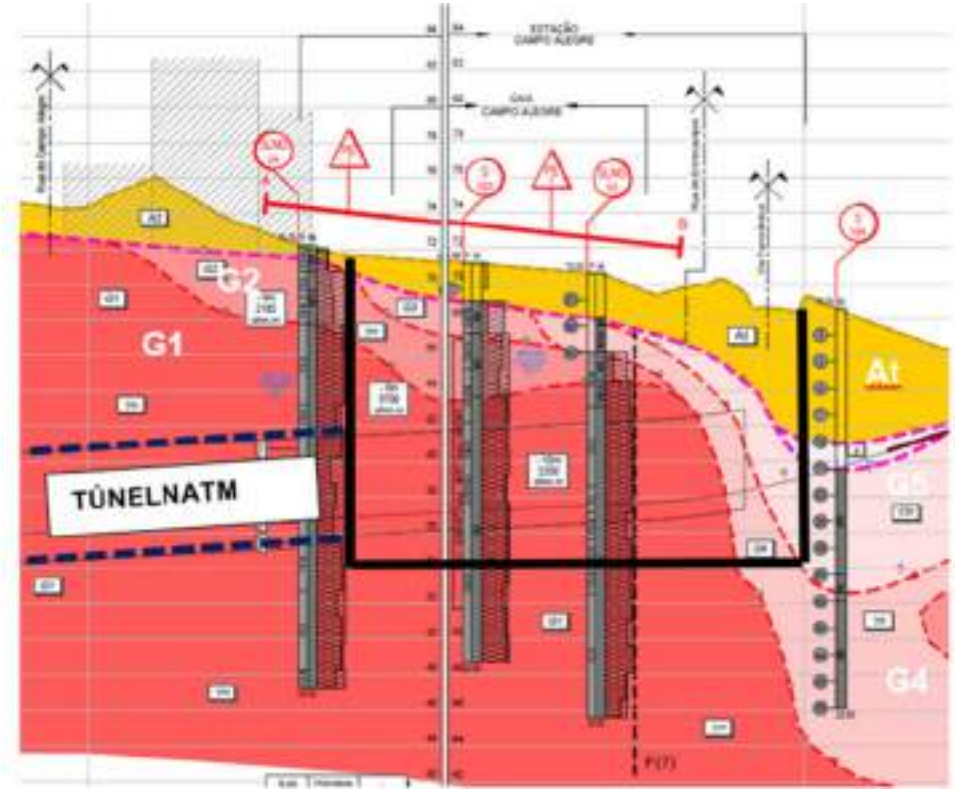
Granito do Porto

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

- **Condicionamentos Geológico-Geotécnicos**

Zona Geotécnica	Alteração	Fraturas	GSI	N_{SPT}
G1	W2 (W1)	F2(1) a F3-F5	50-60	-
G2	W3	F3-F4	40-50	-
G3	W5	F4-F5	13-30	-
G4	W5	-	-	>50
G5	W6	-	-	>50
At	-	-	-	<30

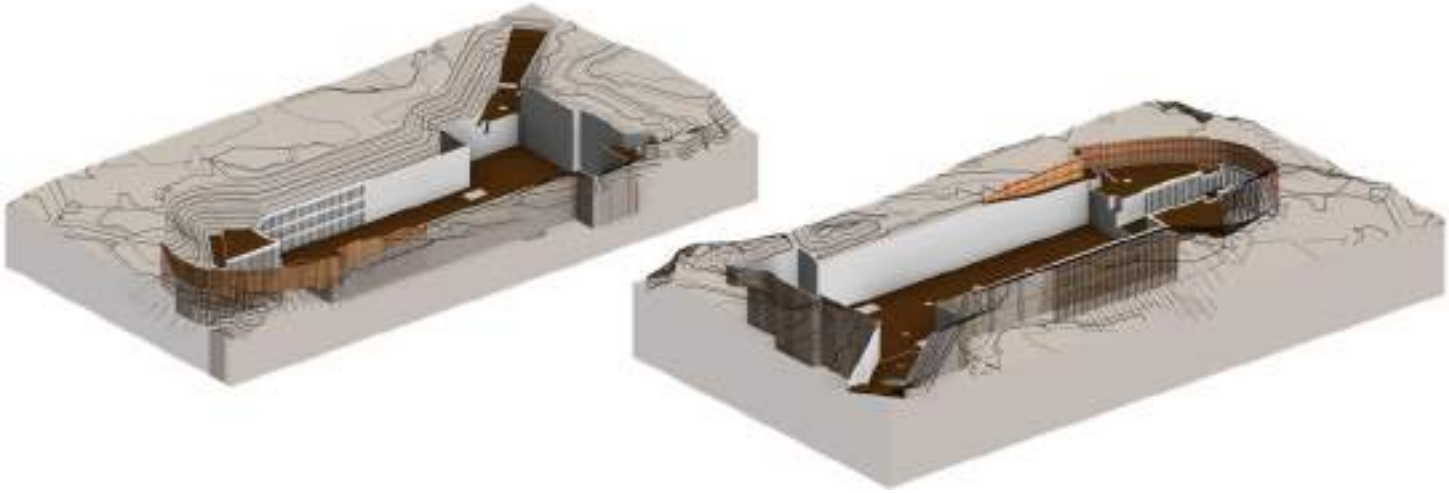


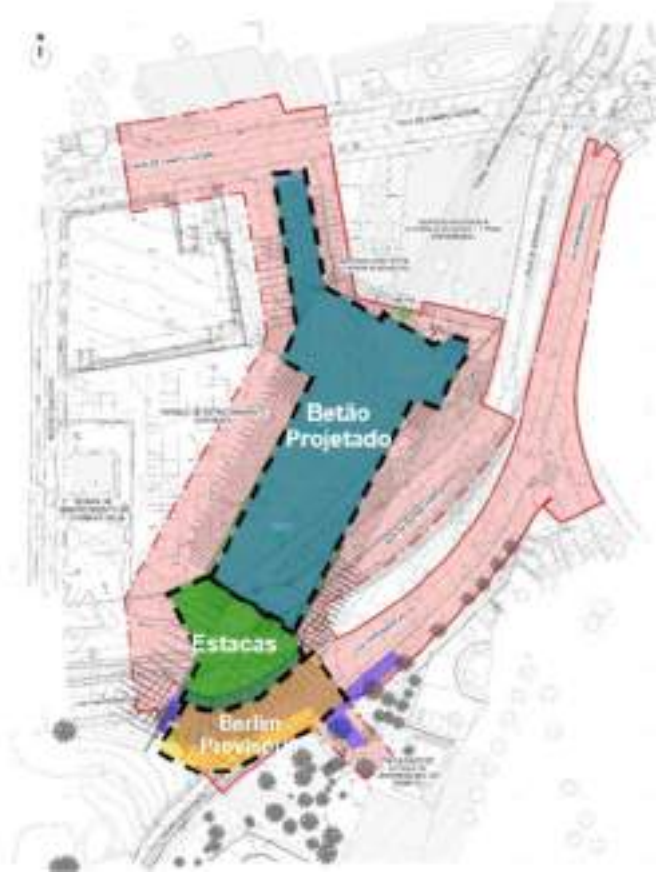
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. **Soluções de Escavação e Contenção Periférica**
4. Dimensionamento
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

- 4 Soluções de escavação em função dos diversos condicionamentos existentes
  1. Taludes provisórios
  2. Betão projetado com pregagens
  3. Berlim provisório
  4. Cortina de estacas

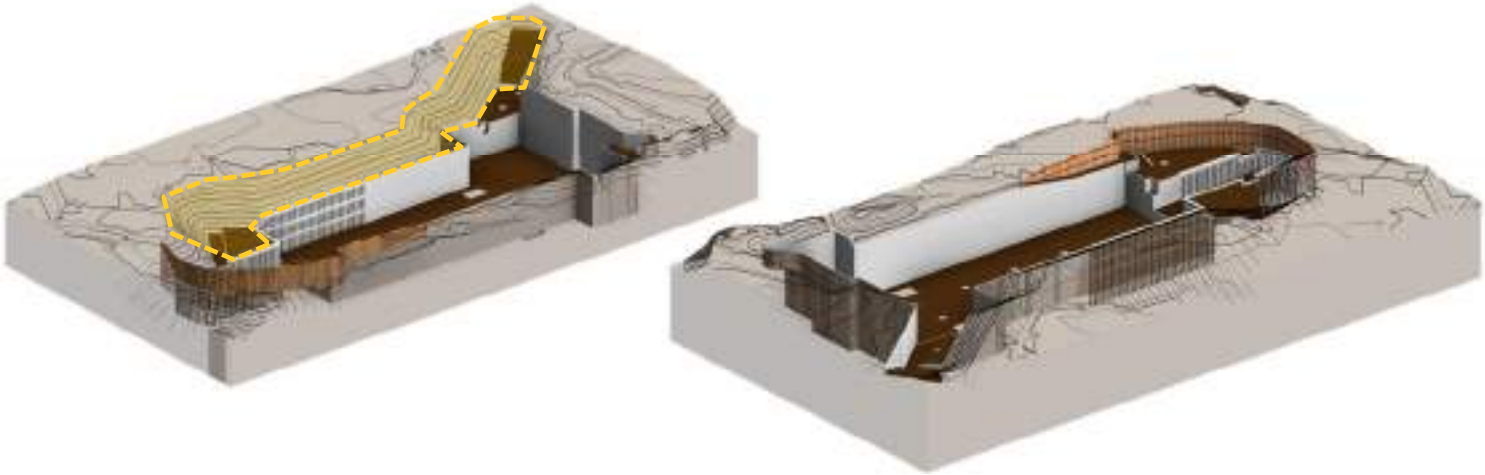


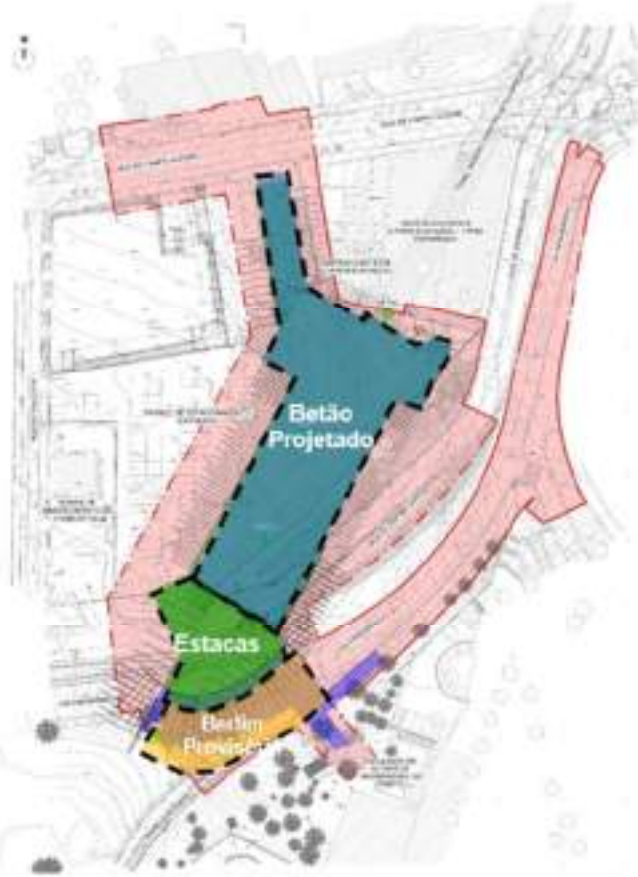


SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

- 4 Soluções de escavação em função dos diversos condicionamentos existentes
  1. **Taludes provisórios**
  2. Betão projetado com pregagens
  3. Berlim provisório
  4. Cortina de estacas

- Inclinações 1:2 (V:H) até ao contacto com o maciço rochoso

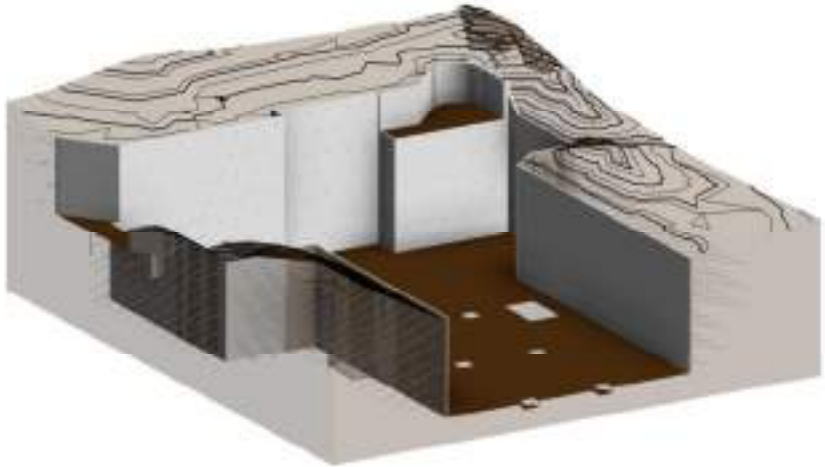


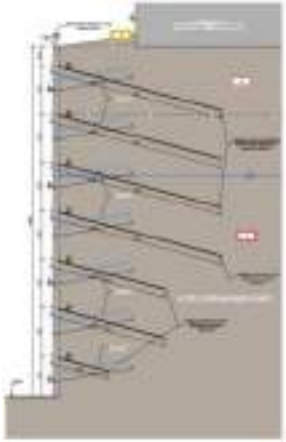


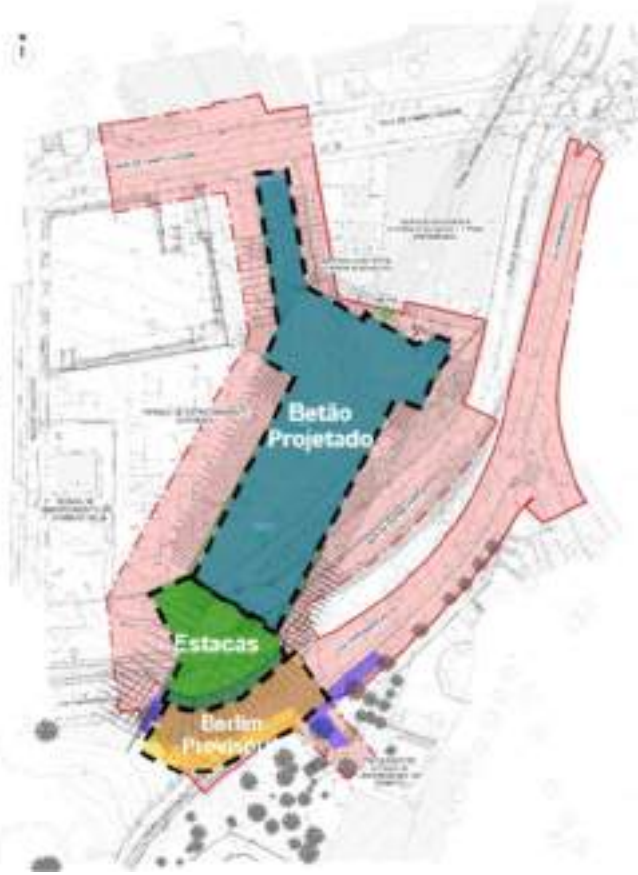
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

- 4 Soluções de escavação em função dos diversos condicionamentos existentes
  1. Taludes provisórios
  2. **Betão projetado (e=25 cm) com pregagens**
  3. Berlim provisório
  4. Cortina de estacas

- Utilização de fibras metálicas + Pregagens em quincôncio + Drenos



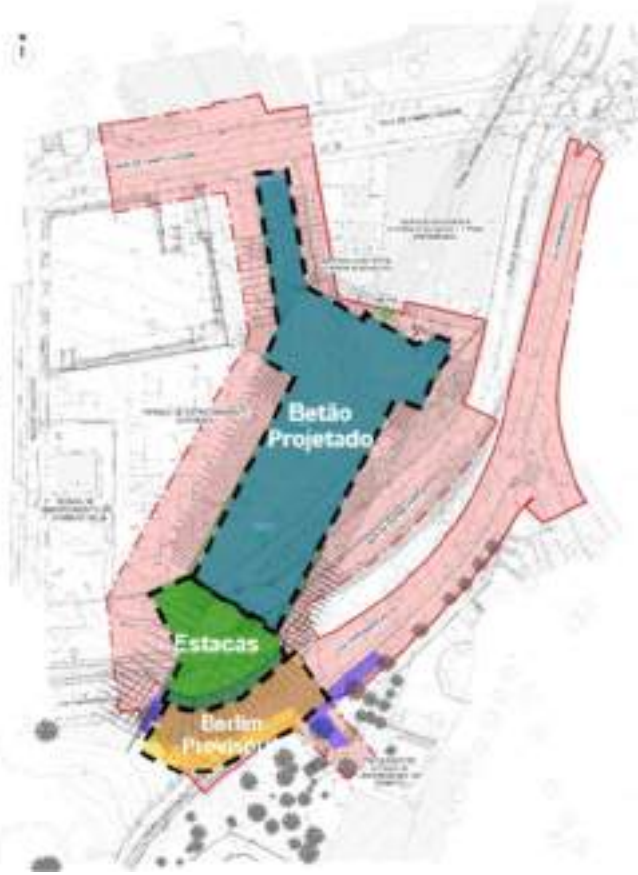




SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

- 4 Soluções de escavação em função dos diversos condicionamentos existentes
  1. Taludes provisórios
  2. **Betão projetado (e=25 cm) com pregagens**
  3. Berlim provisório
  4. Cortina de estacas

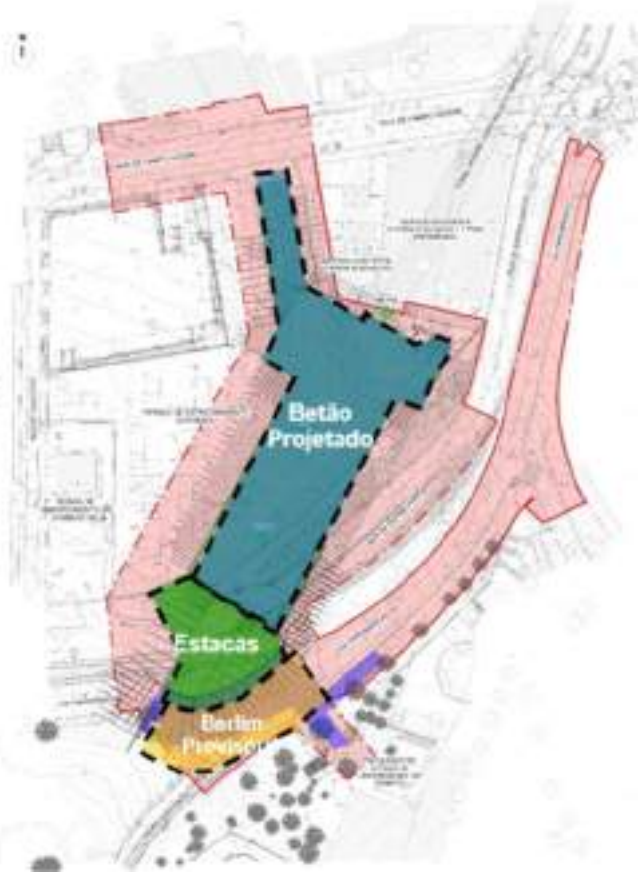
- Utilização de fibras metálicas + Pregagens em quincôncio + Drenos



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

- 4 Soluções de escavação em função dos diversos condicionamentos existentes
  1. Taludes provisórios
  2. **Betão projetado (e=25 cm) com pregagens**
  3. Berlim provisório
  4. Cortina de estacas

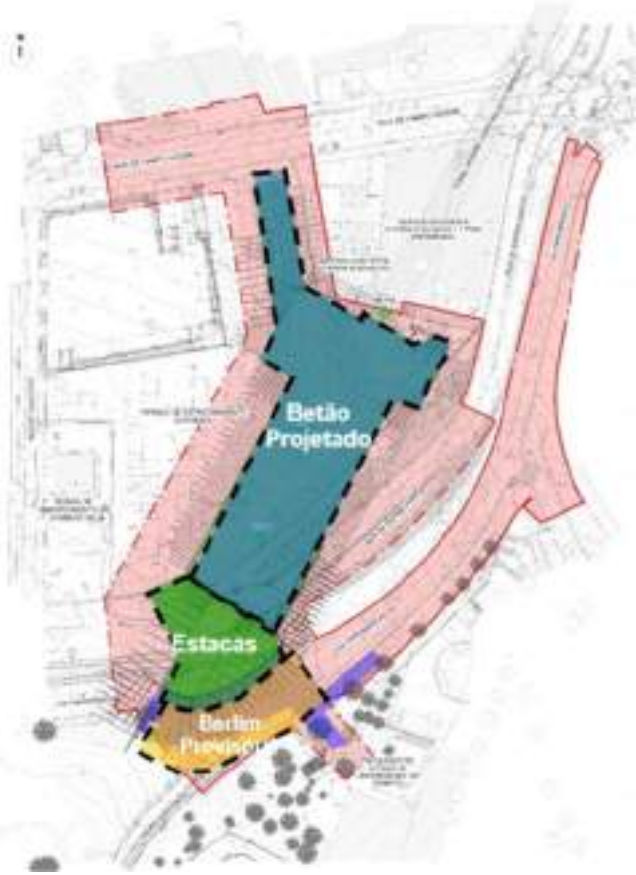
- Utilização de fibras metálicas + Pregagens em quincôncio + Drenos



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

- 4 Soluções de escavação em função dos diversos condicionamentos existentes
  1. Taludes provisórios
  2. **Betão projetado (e=25 cm) com pregagens**
  3. Berlim provisório
  4. Cortina de estacas

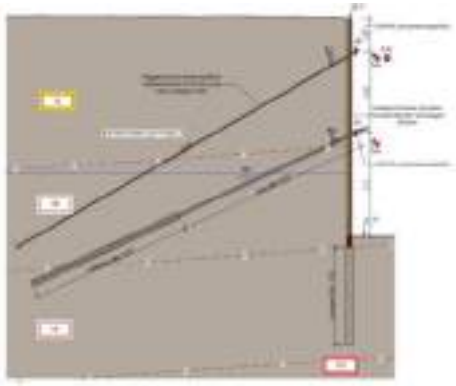
- Utilização de fibras metálicas + Pregagens em quincôncio + Drenos

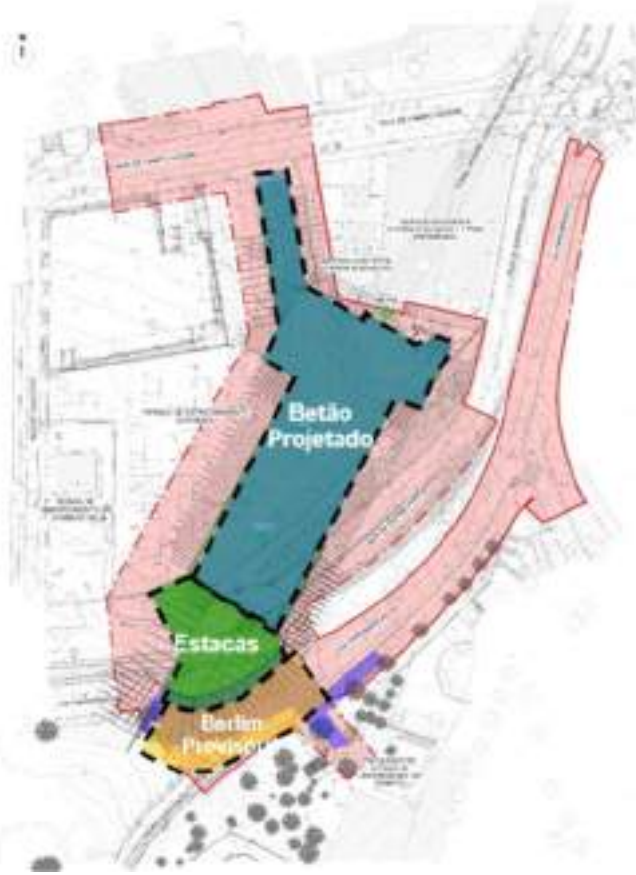


SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

- 4 Soluções de escavação em função dos diversos condicionamentos existentes
  1. Taludes provisórios
  2. Betão projetado com pregagens
  3. **Berlim provisório**
  4. Cortina de estacas

- 2 a 3 níveis travados com pregagens e ancoragens

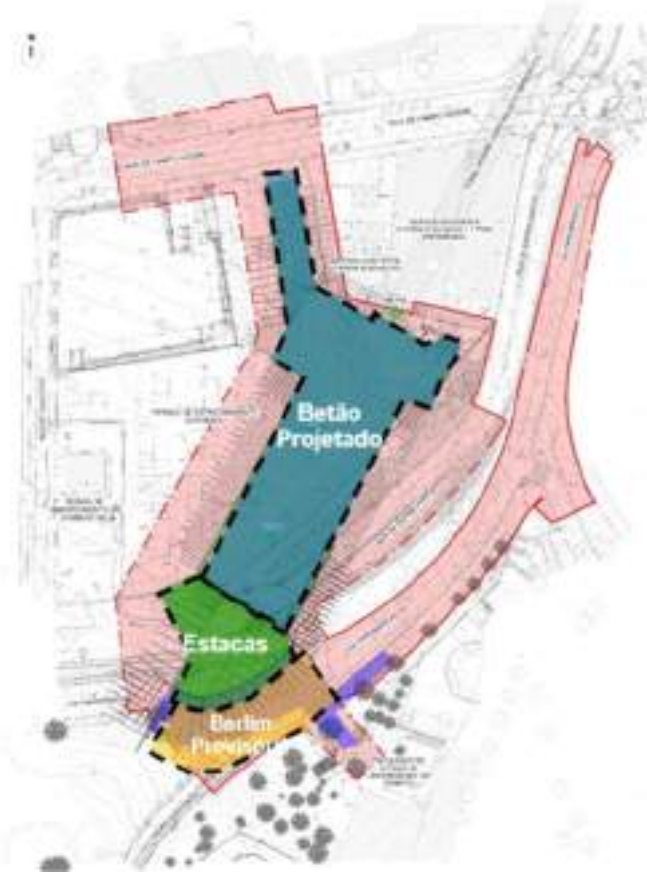




SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

- 4 Soluções de escavação em função dos diversos condicionamentos existentes
  1. Taludes provisórios
  2. Betão projetado com pregagens
  3. **Berlim provisório**
  4. Cortina de estacas

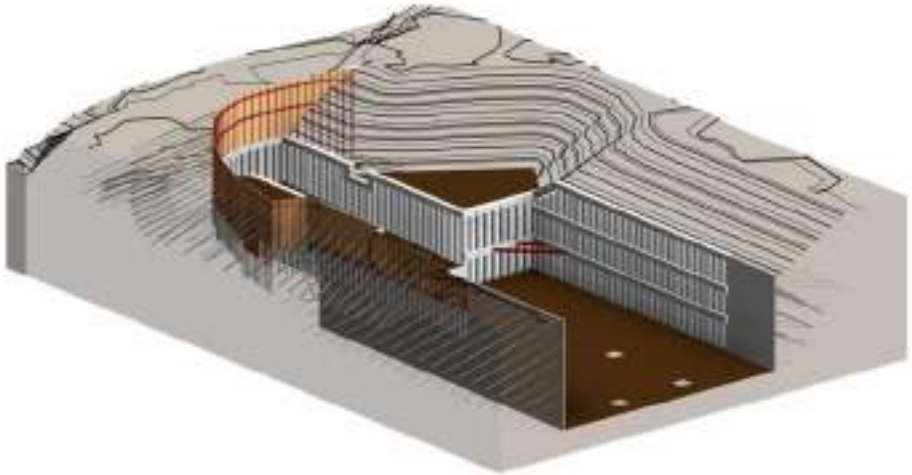
- 2 a 3 níveis travados com pregagens e ancoragens

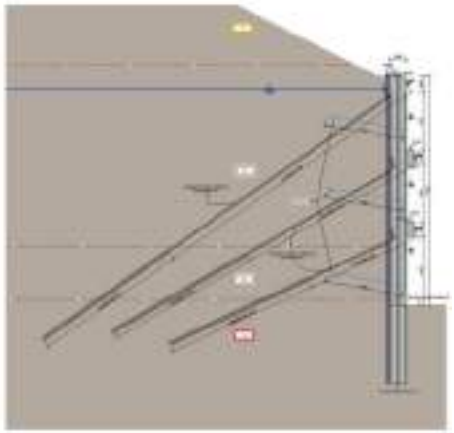


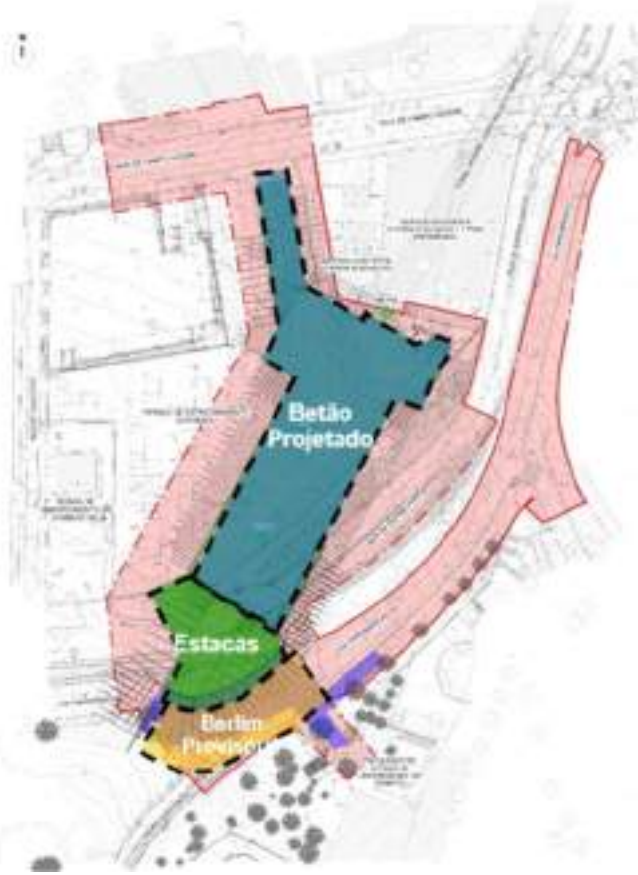
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

- 4 Soluções de escavação em função dos diversos condicionamentos existentes
  1. Taludes provisórios
  2. Betão projetado com pregagens
  3. Berlim provisório
  4. **Cortina de estacas Φ800//1.20**

- 2 a 3 níveis travados com ancoragens e escoras + Betão Projetado



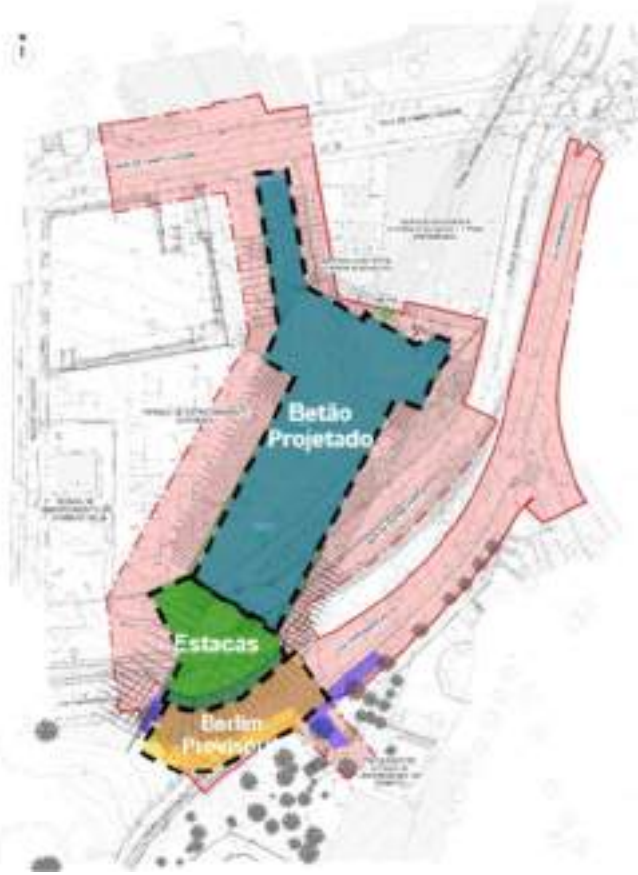




SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

- 4 Soluções de escavação em função dos diversos condicionamentos existentes
  1. Taludes provisórios
  2. Betão projetado com pregagens
  3. Berlim provisório
  4. **Cortina de estacas Φ800//1.20**

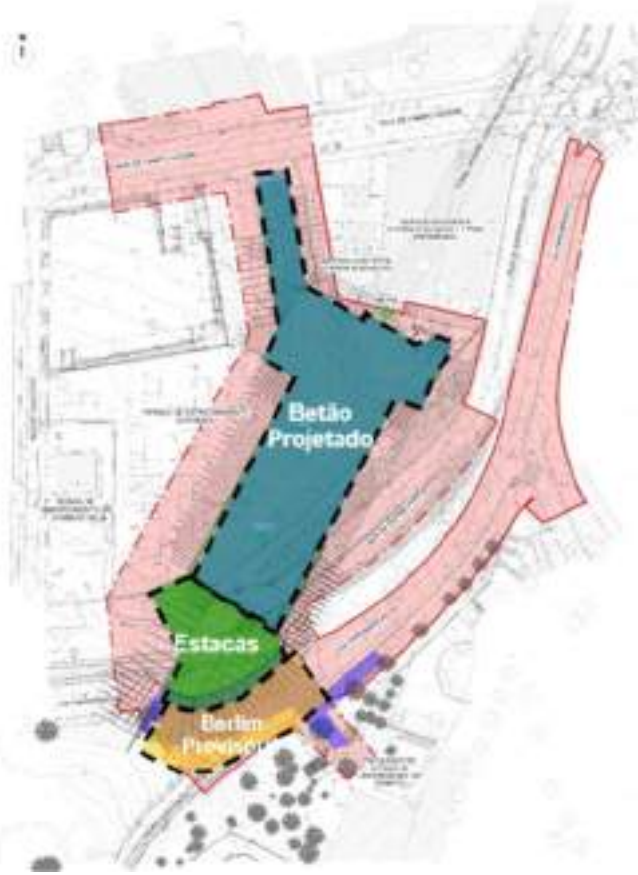
- 2 a 3 níveis travados com ancoragens e escoras + Betão Projetado



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

- 4 Soluções de escavação em função dos diversos condicionamentos existentes
  1. Taludes provisórios
  2. Betão projetado com pregagens
  3. Berlim provisório
  4. **Cortina de estacas Φ800//1.20**

- 2 a 3 níveis travados com ancoragens e escoras + Betão Projetado



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

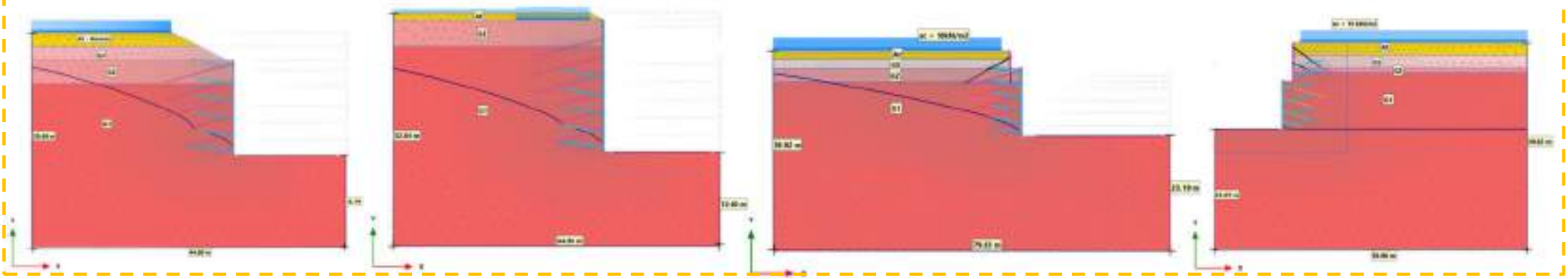
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
4. **Dimensionamento**
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

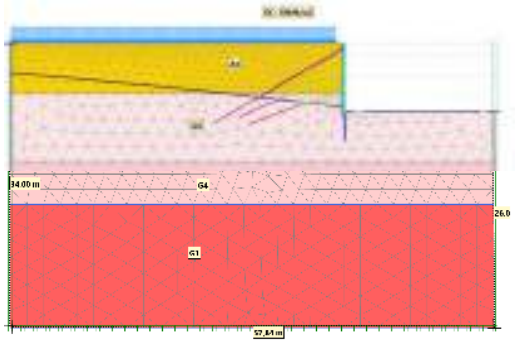
DIMENSIONAMENTO

- **Análise contenções**

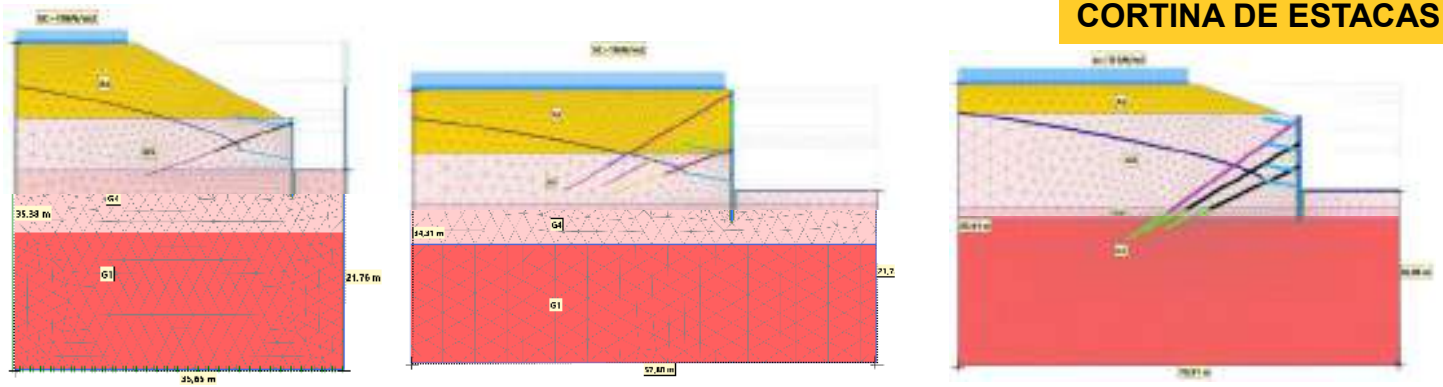
BETÃO PROJETADO



BERLIM PROVISÓRIO

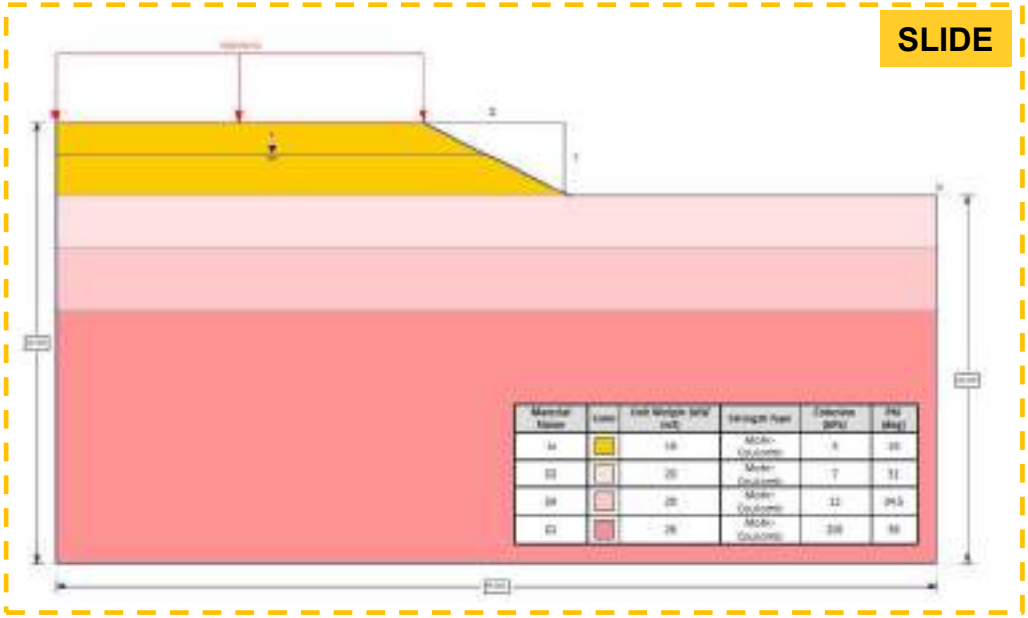


CORTINA DE ESTACAS



DIMENSIONAMENTO

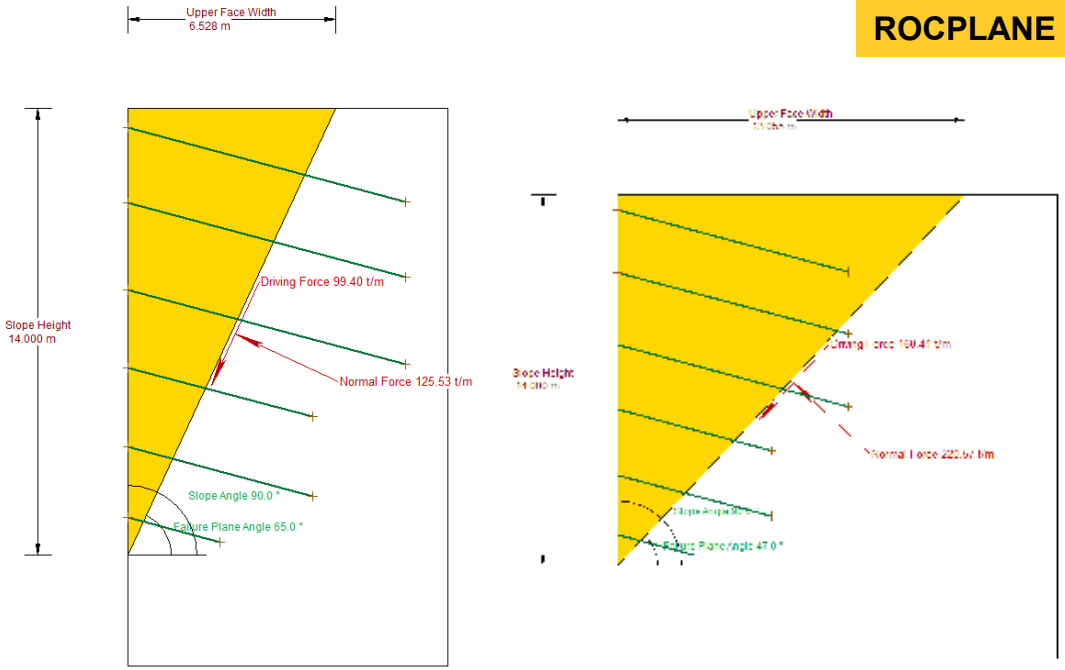
- Análise contenções
- **Análise taludes**



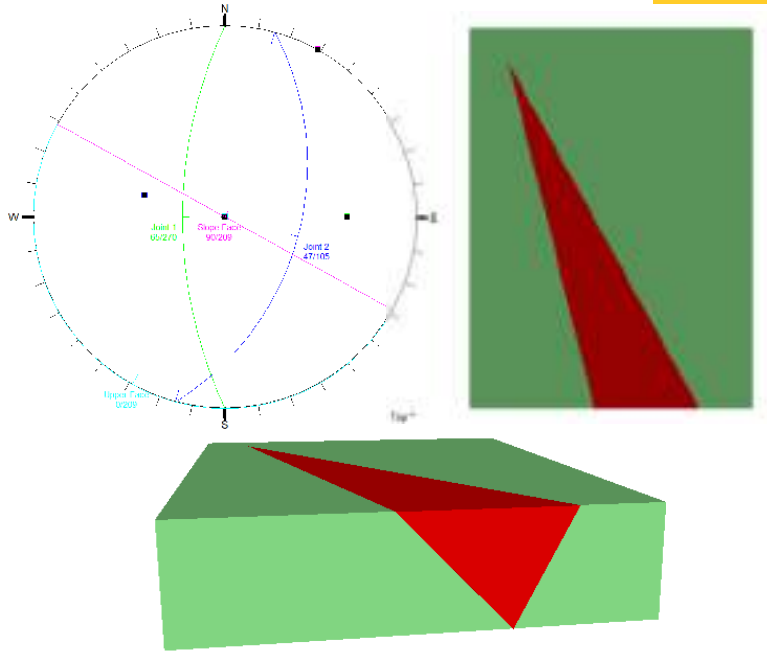
DIMENSIONAMENTO

- Análise contenções
- Análise taludes
- **Análise das descontinuidades**

ROCPLANE



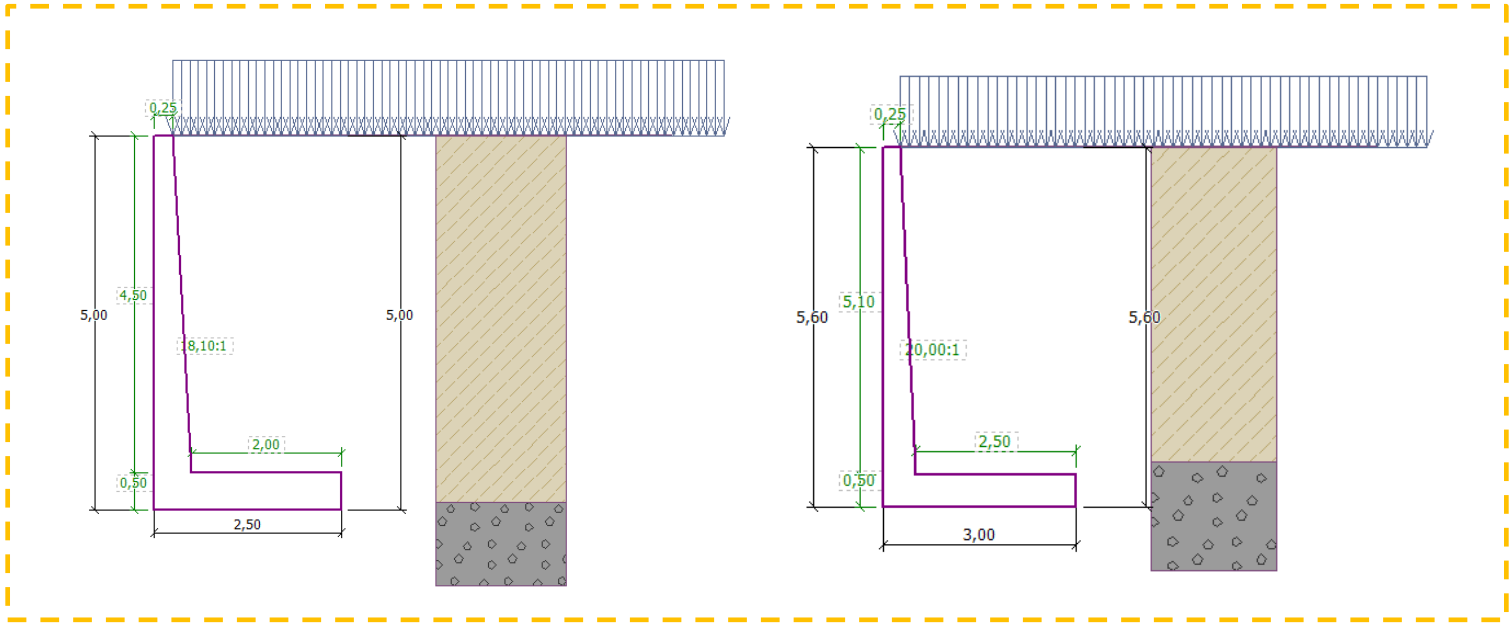
SWEDGE



DIMENSIONAMENTO

- Análise contenções
- Análise taludes
- Análise das descontinuidades
- **Análise dos muros de betão armado**

GEO5



ÍNDICE

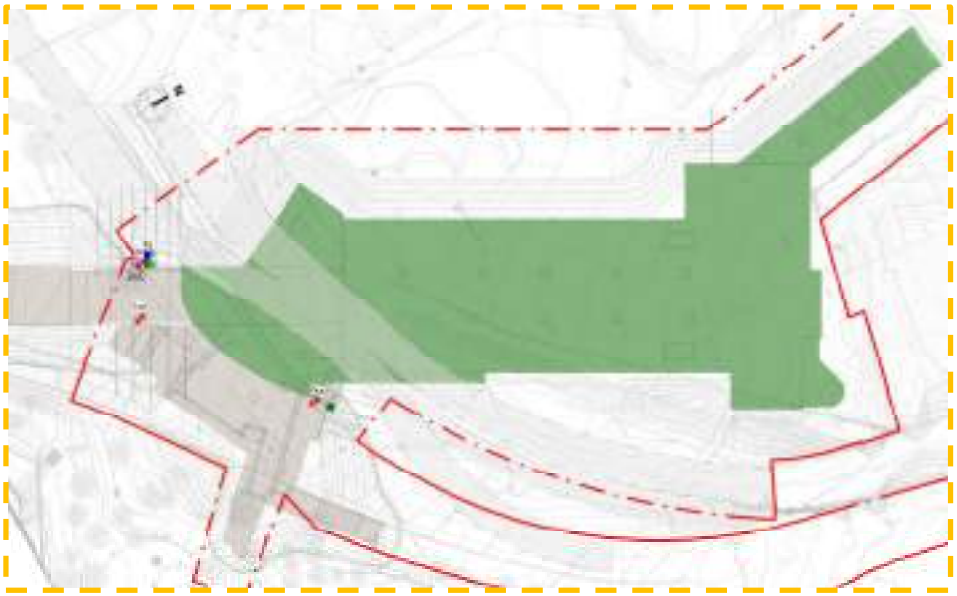
1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
4. Dimensionamento
5. **Plano de Instrumentação e Observação**
6. Considerações Finais

PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

- Análise do comportamento das **estruturas de contenção e vizinhas**
- Avaliação dos **pressupostos de cálculo considerados**
- Definição de **critérios de alerta e alarme**
- Definição de **medidas de reforço**

FASE 1

FASE 2

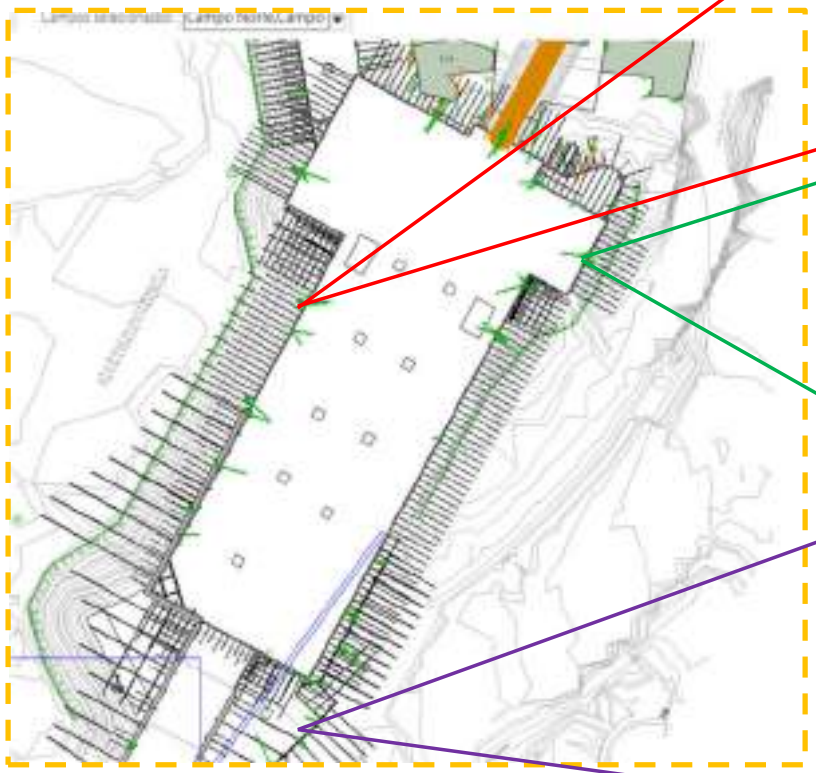


106 alvos | 6 células de carga | 10 inclinómetros | 4 piezómetros

PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

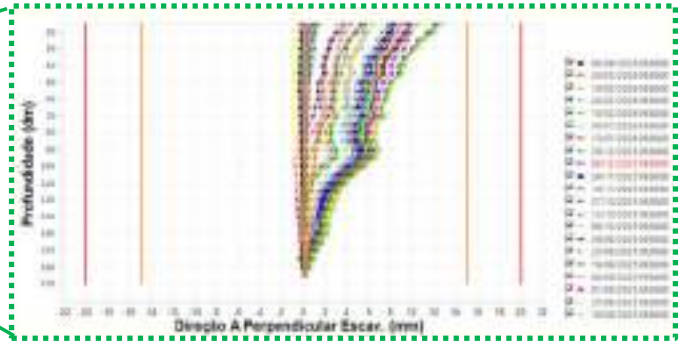
- **Monitorização automática**

Applus

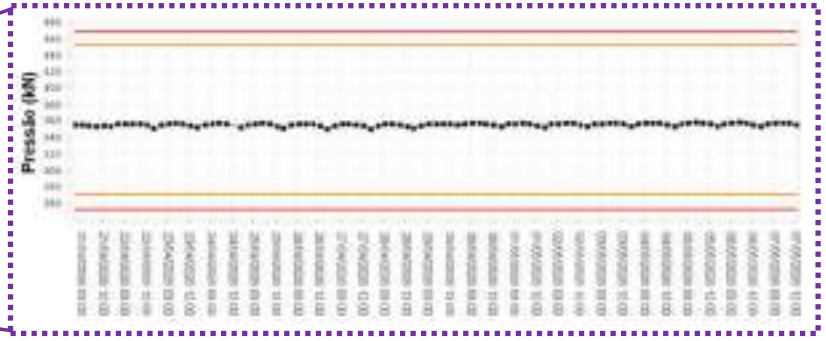


Alvos

Inclinómetros



Células de carga



ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
4. Dimensionamento
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. **Considerações Finais**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Desafio geotécnico e construtivo relevante, resultante da conjugação de um **enquadramento urbano fortemente condicionado**, de um **cenário geológico-geotécnico heterogéneo** e da necessidade de garantir a continuidade da **circulação viária**;

- As soluções preconizadas mostraram-se adequadas às características dos terrenos e aos requisitos geométricos e funcionais da estação;

- A implementação de um plano de instrumentação e observação com recurso a **sistemas de monitorização automática**, constituiu um elemento-chave na gestão do risco geotécnico, possibilitando o acompanhamento em tempo real do comportamento das estruturas e a tomada de decisões informadas durante a execução da obra.

JET SJ
Obrigado pela vossa atenção

NOVA LINHA CIRCULAR DO METROPOLITANO DE LISBOA: LIGAÇÃO ENTRE O NOVO TÚNEL E O TERMINAL EXISTENTE NO CAIS SODRÉ

Pedro Marques / JETsj Geotecnia
Carlos de Oliveira Martins / JETsj Geotecnia
Catarina Fartaria/ JETsj Geotecnia
Rui Tomásio / JETsj Geotecnia
Alexandre Pinto / JETsj Geotecnia

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026
JETsj
Sociedade Portuguesa de Geotecnia

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Descrição da Solução
4. Faseamento Construtivo
5. Dimensionamento da Solução
6. Considerações Finais

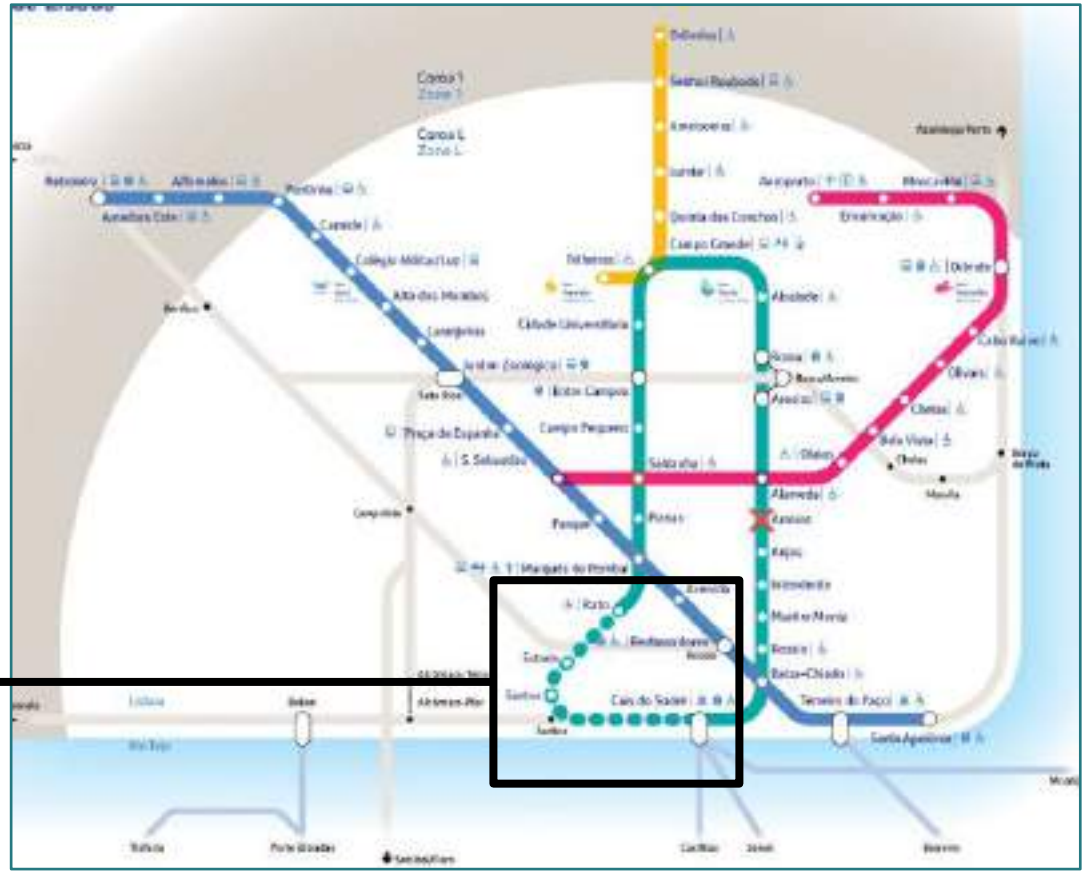
ÍNDICE

1. **Introdução**
2. Principais Condicionamentos
3. Descrição da Solução
4. Faseamento Construtivo
5. Dimensionamento da Solução
6. Considerações Finais

INTRODUÇÃO

NOVA LINHA CIRCULAR DO METROPOLITANO DE LISBOA:

- Ligação entre o Rato e o Cais Sodré



INTRODUÇÃO

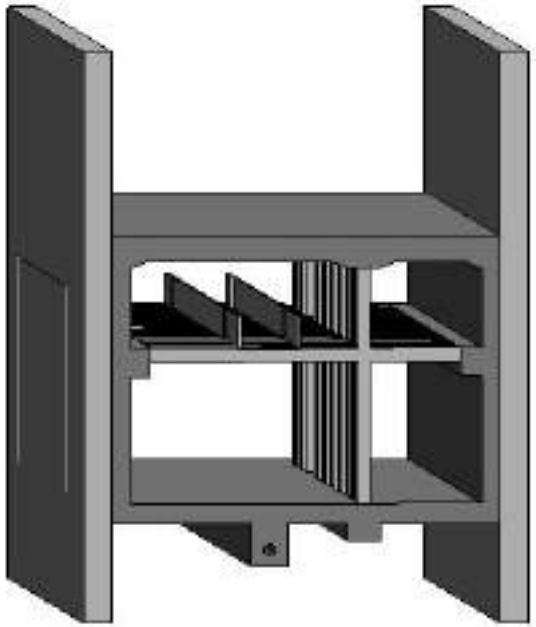
INTERSEÇÃO DO TÚNEL COM A ESTAÇÃO DO CAIS SODRÉ:

INTRODUÇÃO

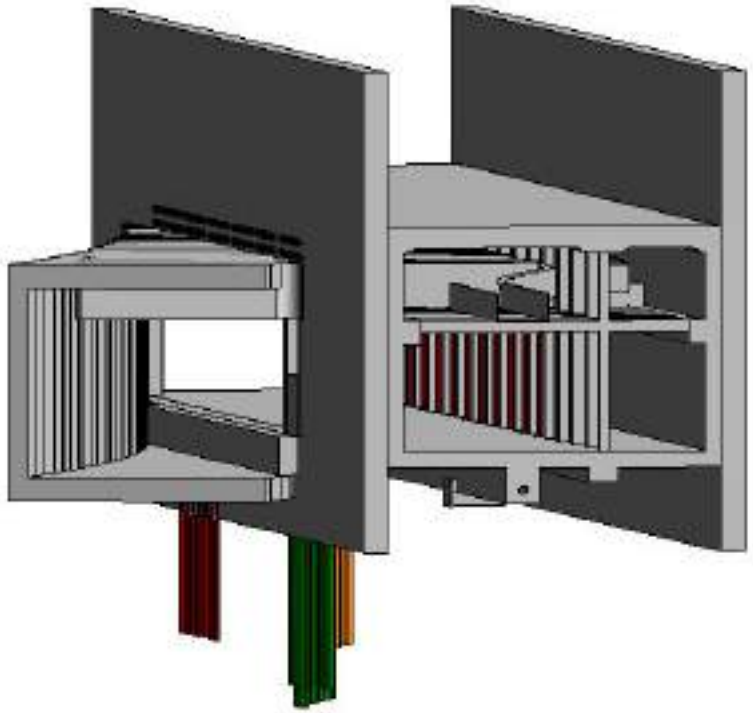
OBJETIVO DESTA OBRA:

- Interseção do novo túnel com o Término/Estação do Cais Sodré

Término Existente



Ligação da nova linha circular ao Término



ÍNDICE

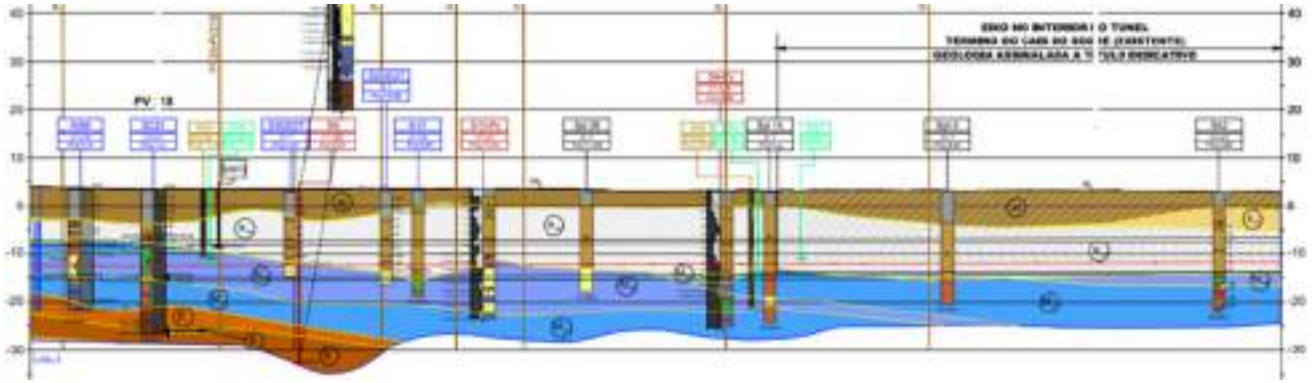
1. Introdução
2. **Principais Condicionamentos**
3. Descrição da Solução
4. Faseamento Construtivo
5. Dimensionamento da Solução
6. Considerações Finais

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

DESAFIOS:

- Localização da obra:
  - Malha urbana densa, com estruturas e infraestruturas
  - Proximidade do Rio Tejo

- Condições Geológico-Geotécnicas e Hidrogeológicas:
  - Área de aluviões do Tejo
  - Nível freático elevado
  - Efeito maré
- Trabalhos em obra compatíveis com continuação do uso da área:
  - Parte da estrutura do Término operacional
  - Infraestruturas rodoviárias e ferroviárias operacionais



PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

CONDICIONAMENTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS:

Materiais de génese recente

(Aterros e aluviões- essencialmente argilosa)

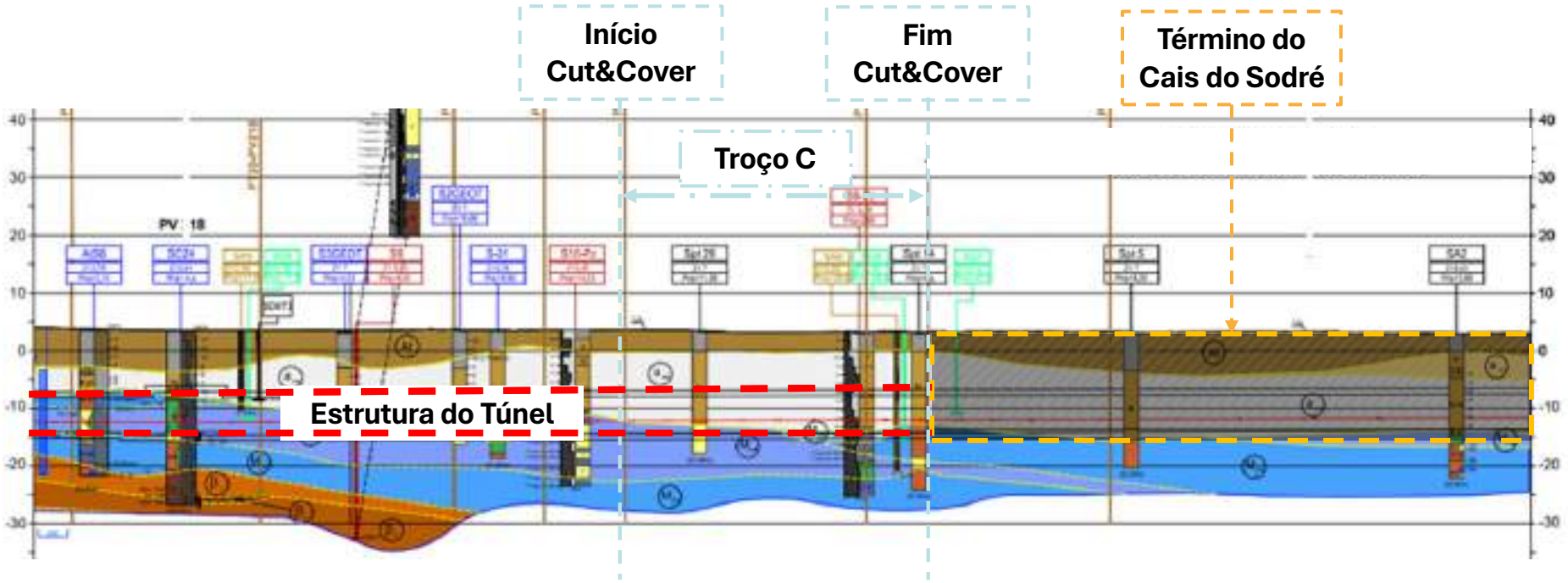
At | a | b | $a_{(ar)}$ | a | b | $a_{(ag)}$ | $a_{(cg)}$

→

Miocénico

(Argilas e Calcários)

$M_{(ag)}$ | a | b | $M_{(ca)}$

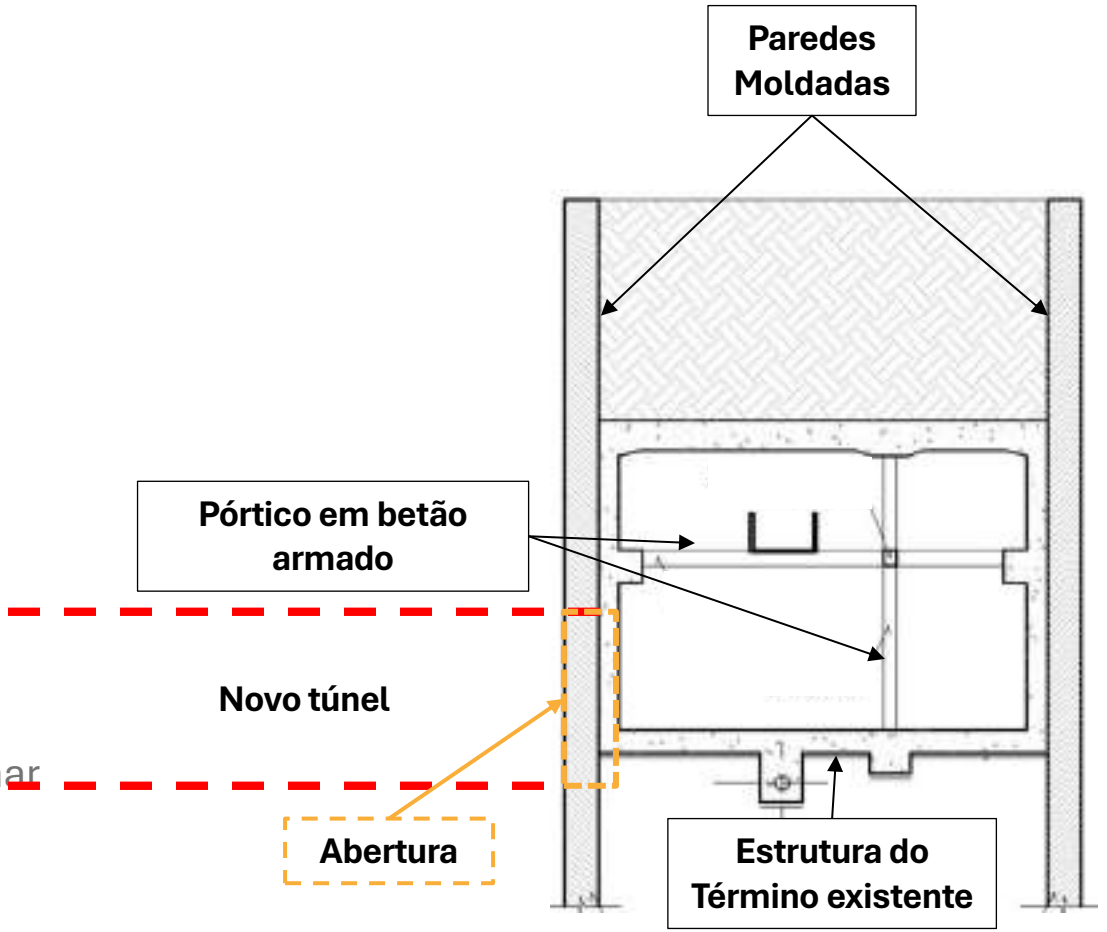


PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

CONDICIONAMENTOS GEOMÉTRICOS DA ESTRUTURA EXISTENTE:

- Construído nos anos 90 através da tecnologia Cut&Cover:
  - Estrutura de contenção garantida através de trincheiras em parede moldada.
  - Estrutura definitiva do Término em forma de caixa fechada com um pórtico interior, em betão armado.

- Necessidade de "abrir" a estrutura existente para ligação ao novo túnel:
  - Soluções compatíveis com equipamentos que possam trabalhar no interior do Término.



ÍNDICE

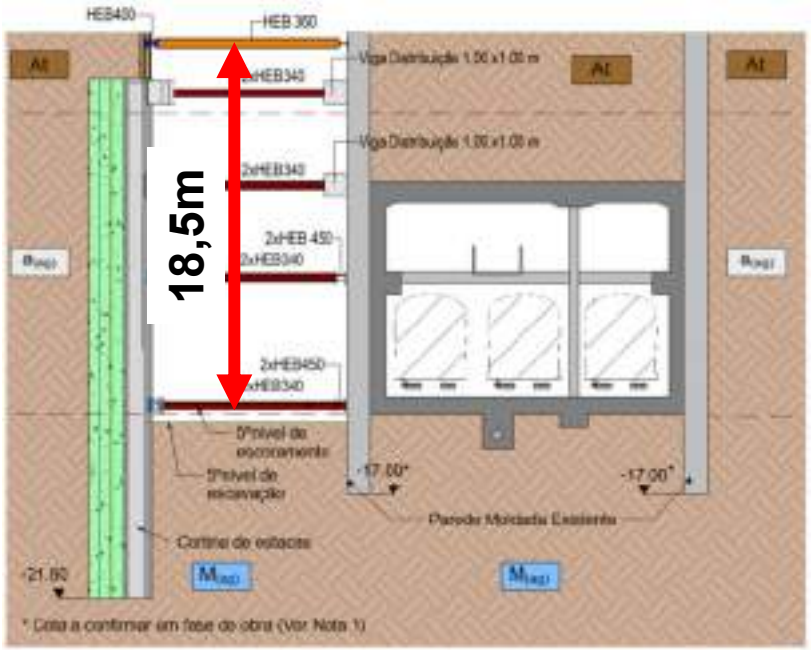
1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. **Descrição da Solução**
4. Faseamento Construtivo
5. Dimensionamento da Solução
6. Considerações Finais

DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

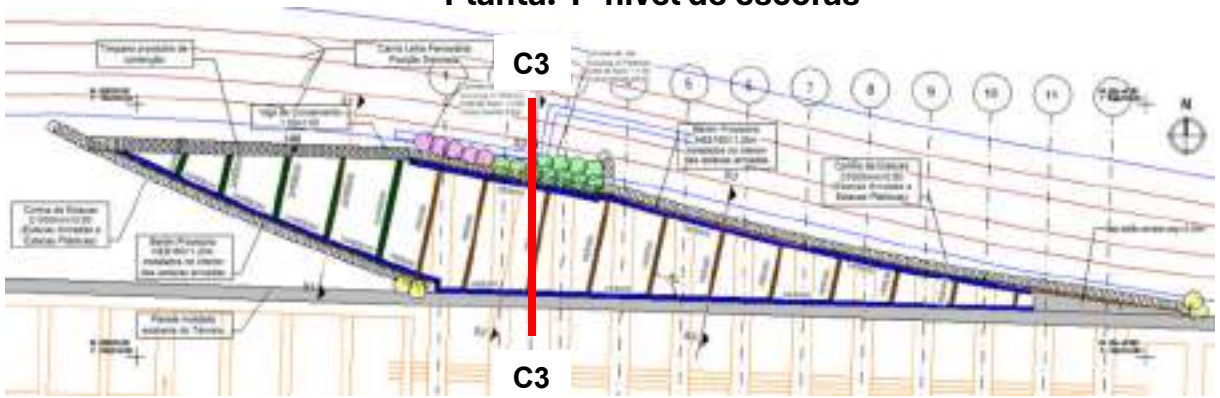
SOLUÇÃO DE ESCAVAÇÃO EM CUT&COVER:

- Profundidade de 18,5m;

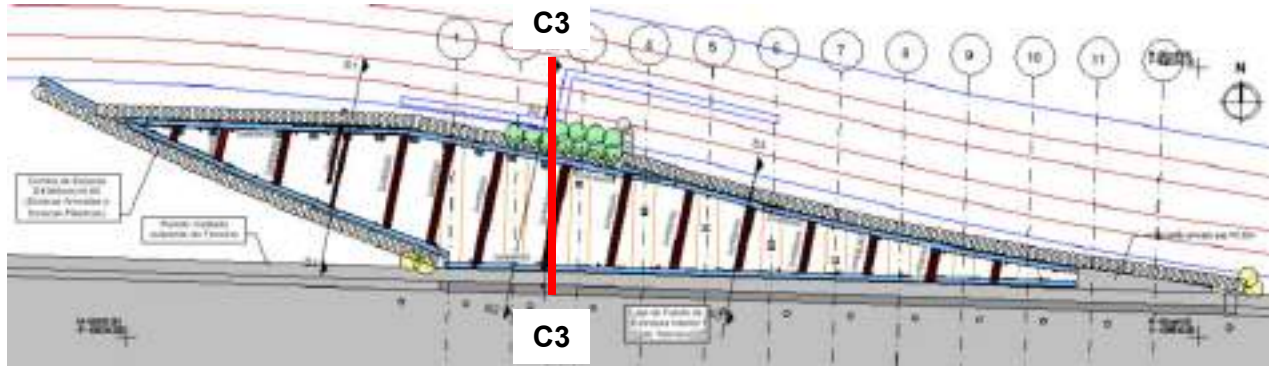
Corte Transversal - C3



Planta: 1º nível de escoras



Planta: 5° nível de escoras

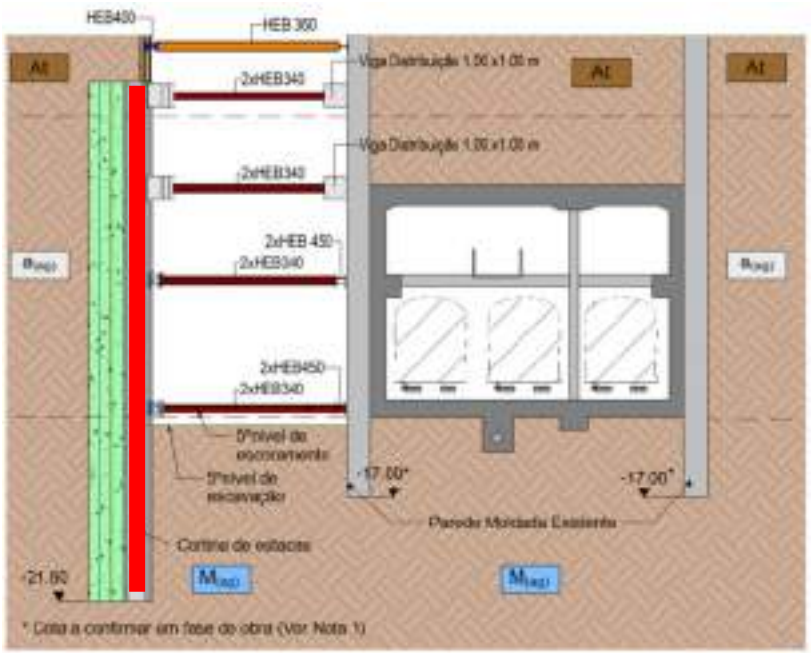


DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

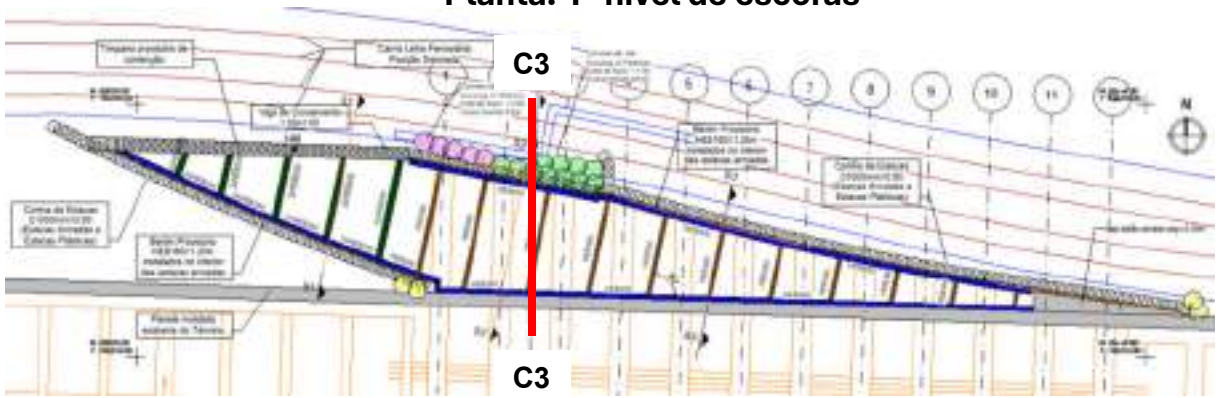
SOLUÇÃO DE ESCAVAÇÃO EM CUT&COVER:

- Profundidade de 18,5m;
- **Cortina de estacas secantes Ø1000 afastadas 0,60m;**

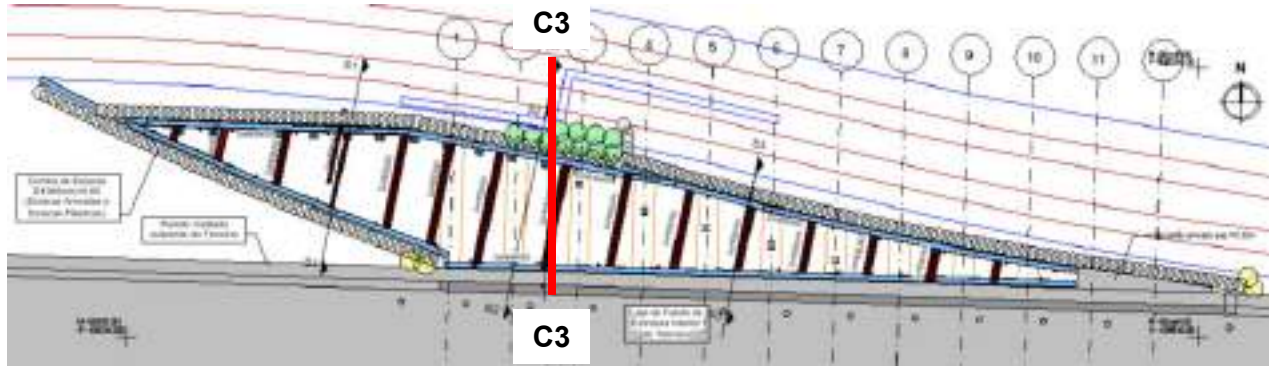
Corte Transversal - C3



Planta: 1º nível de escoras



Planta: 5° nível de escoras

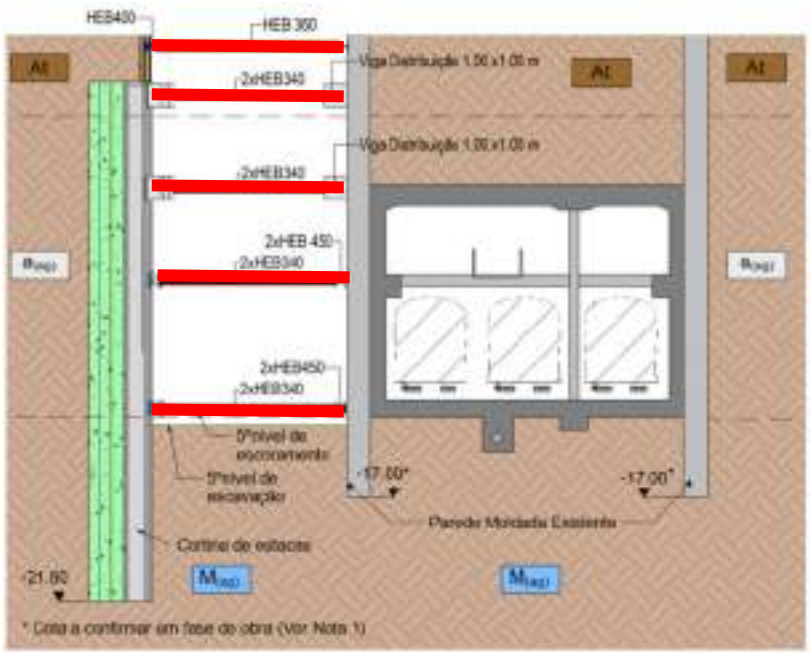


DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

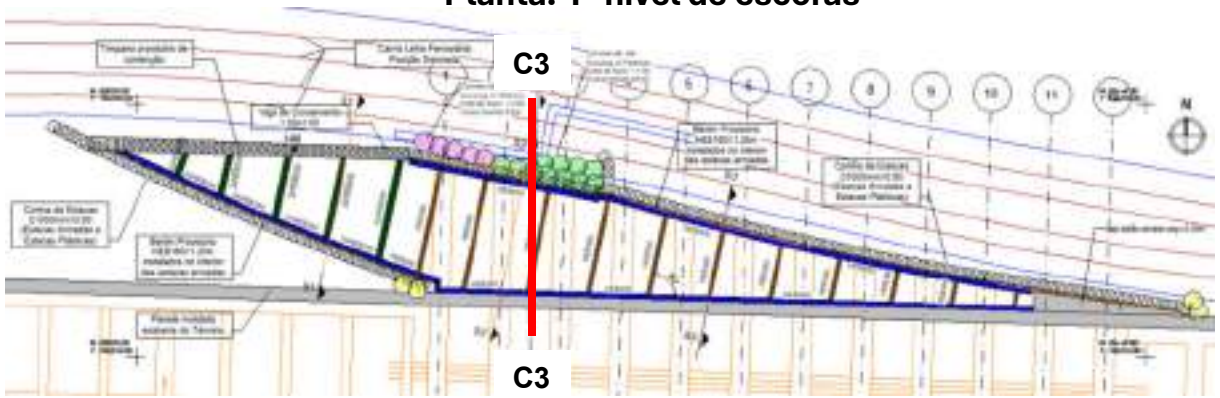
SOLUÇÃO DE ESCAVAÇÃO EM CUT&COVER:

- Profundidade de 18,5m;
- Cortina de estacas secantes Ø1000 afastadas 0,60m;
- Contenção temporariamente travada à parede moldada já existente e à estrutura do Término:
  - **5 níveis de escoras metálicas (2xHEB 240, 2xHEB 340 e HEB 360) afastadas 5.0m entre si;**
  - **Vigas de distribuição metálicas (HEB 400 e 2x HEB 450) e em betão armado (1,00x1,00m);**
  - **3º, 4º e 5o nível de escoras metálicas alinhados com a estrutura existente do Término.**

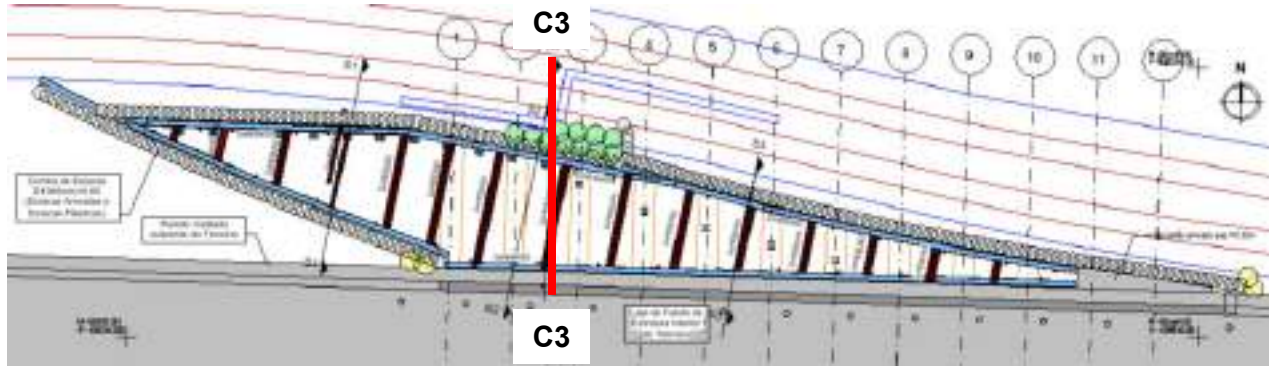
Corte Transversal - C3



Planta: 1º nível de escoras



Planta: 5° nível de escoras

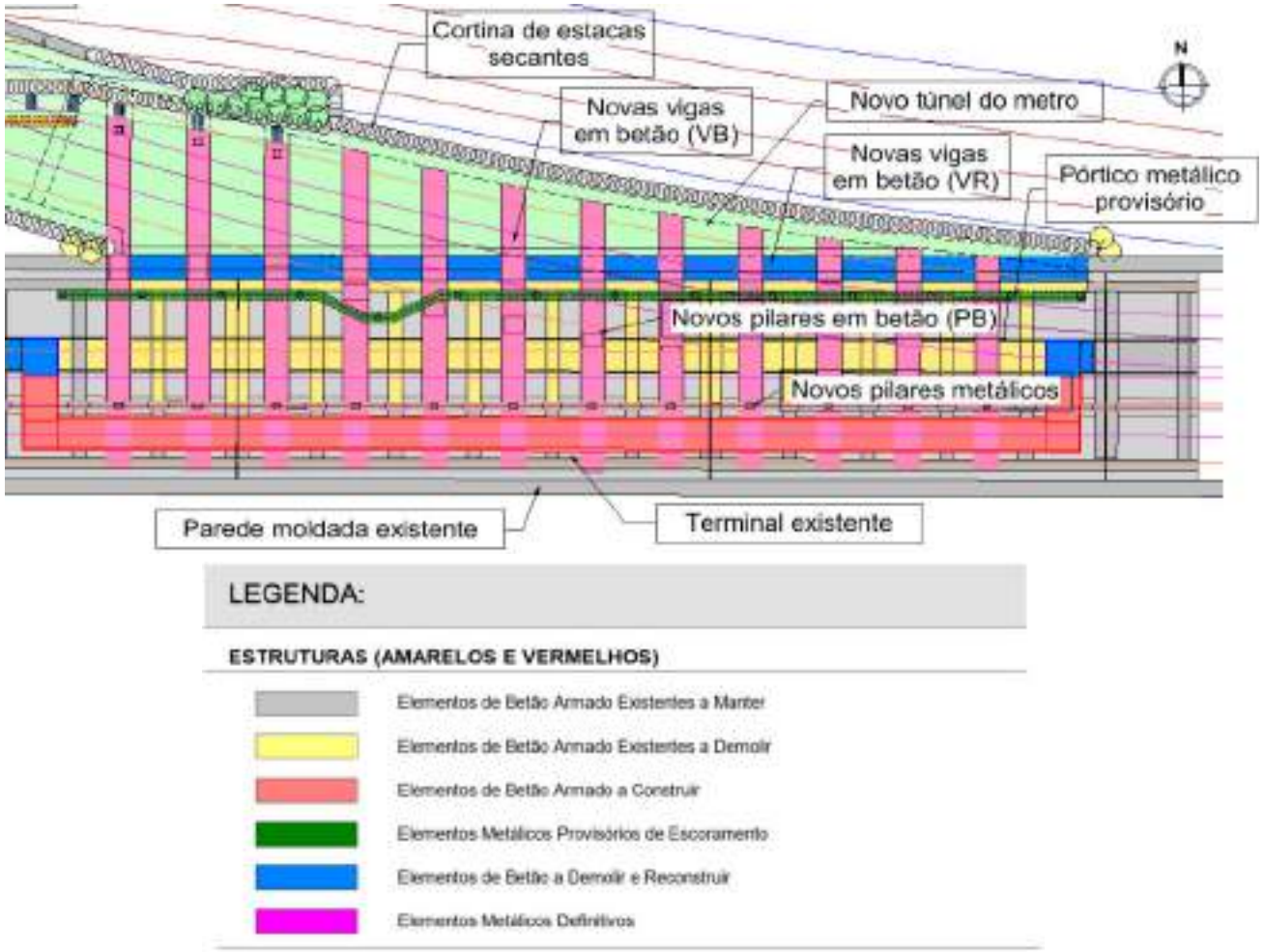


DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

SOLUÇÃO DA ESTUTURA DEFINITIVA DO TÉRMINO:

- Nova estrutura porticada em betão armado, vigas e pilares com capacidade para suportar:
  - Cargas existentes no hasteal norte do Término existente, após a sua demolição parcial
  - Recalçamento da parede moldada existente
  - Cargas provenientes da laje de cobertura do novo túnel do metro
  - Cargas horizontais provenientes dos impulsos do terreno

Planta: Estruturas a construir, demolir, preserver

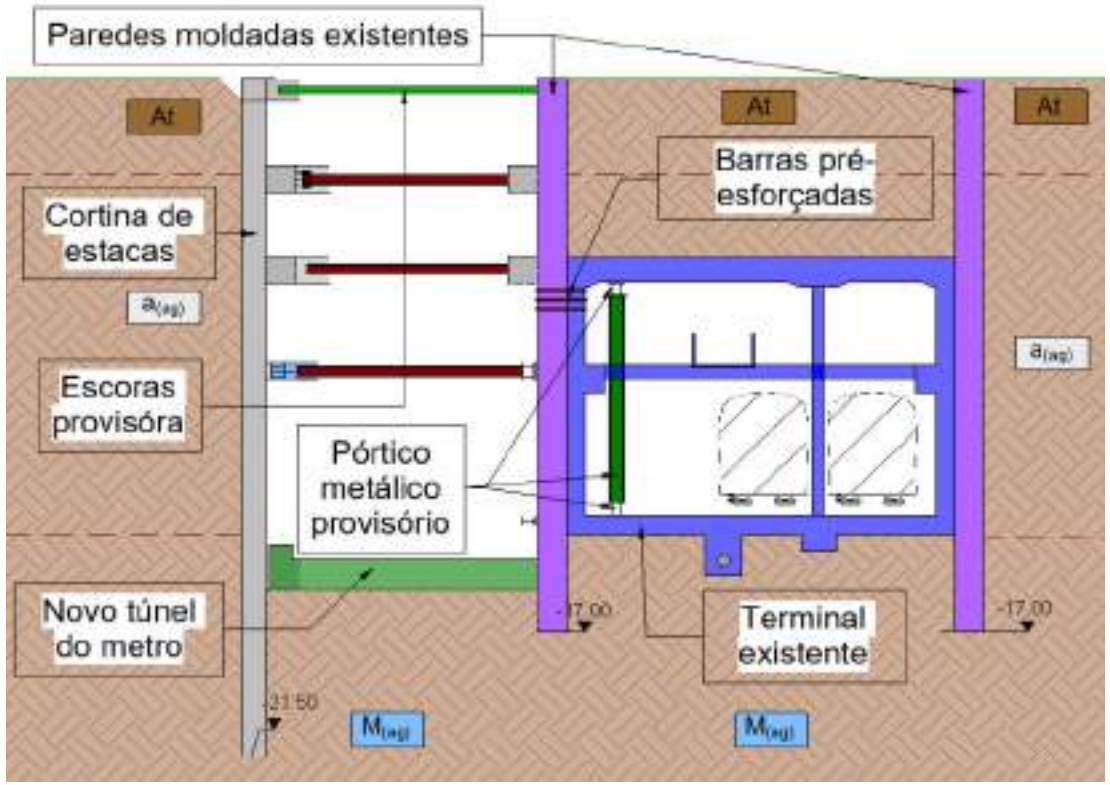


DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

SOLUÇÃO DA ESTUTURA DEFINITIVA DO TÉRMINO:

- Nova estrutura porticada em betão armado, vigas e pilares com capacidade para suportar:
  - Cargas existentes no hasteal norte do Término existente, após a sua demolição parcial
  - Recalçamento da parede moldada existente
  - Cargas provenientes da laje de cobertura do novo túnel do metro
  - Cargas horizontais provenientes dos impulsos do terreno
- Fundação através de microestacas

Corte Tipo solução estrutural

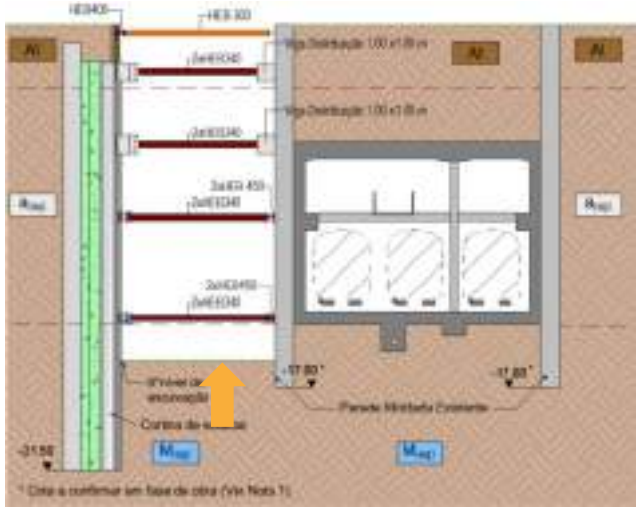


ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Descrição da Solução
4. **Faseamento Construtivo**
5. Dimensionamento da Solução
6. Considerações Finais

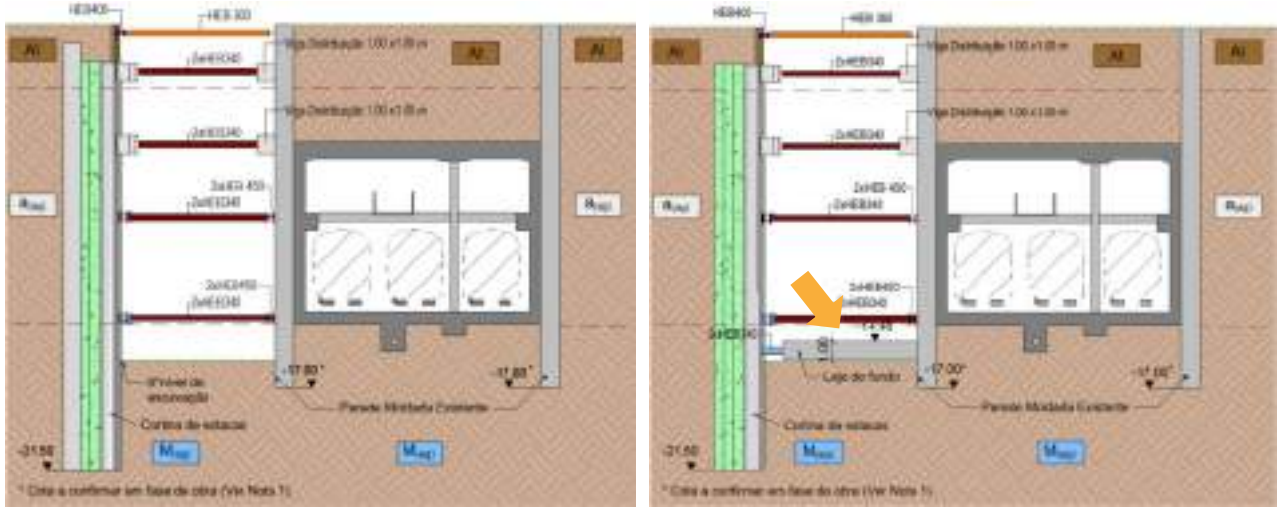
FASEAMENTO CONSTRUTIVO

1. **Escavação em Cut&Cover faseada até à cota de fundação do novo túnel (cerca de 18,5m de profundidade)**



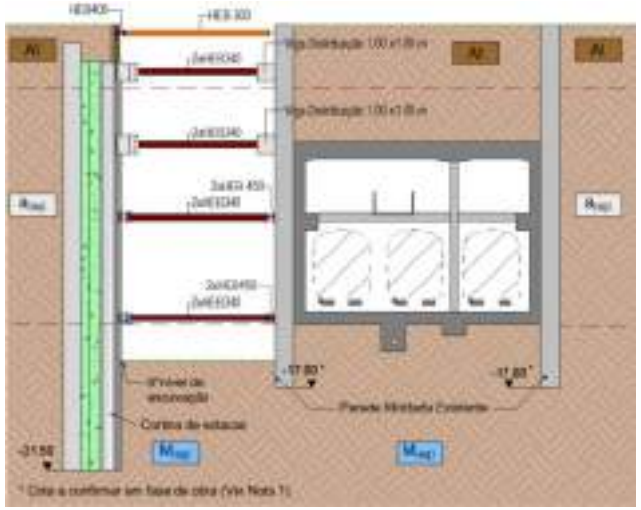
FASEAMENTO CONSTRUTIVO

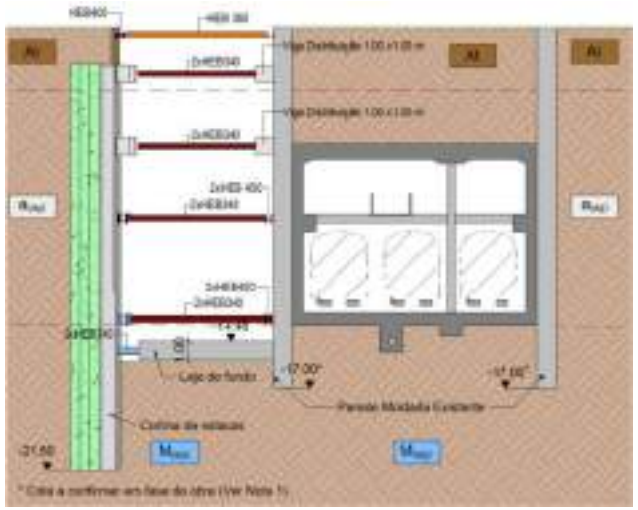
1. Escavação em Cut&Cover faseada até à cota de fundação do novo túnel (cerca de 18,5m de profundidade)
2. **Execução da laje de fundação do novo túnel (e =1.0m)**
3. **Desativação do 5º nível de escoramentos**

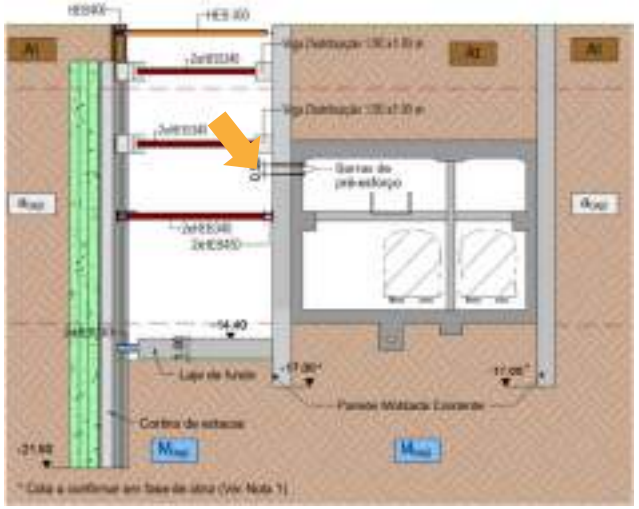


FASEAMENTO CONSTRUTIVO

1. Escavação em Cut&Cover faseada até à cota de fundação do novo túnel (cerca de 18,5m de profundidade)
2. Execução da laje de fundação do novo túnel (e =1.0m)
3. Desativação do 5º nível de escoramentos
4. **Execução de barras Gewi e ferrolhos de ligação entre a parede moldada existente e o hasteal do término (pelo interior e exterior)**

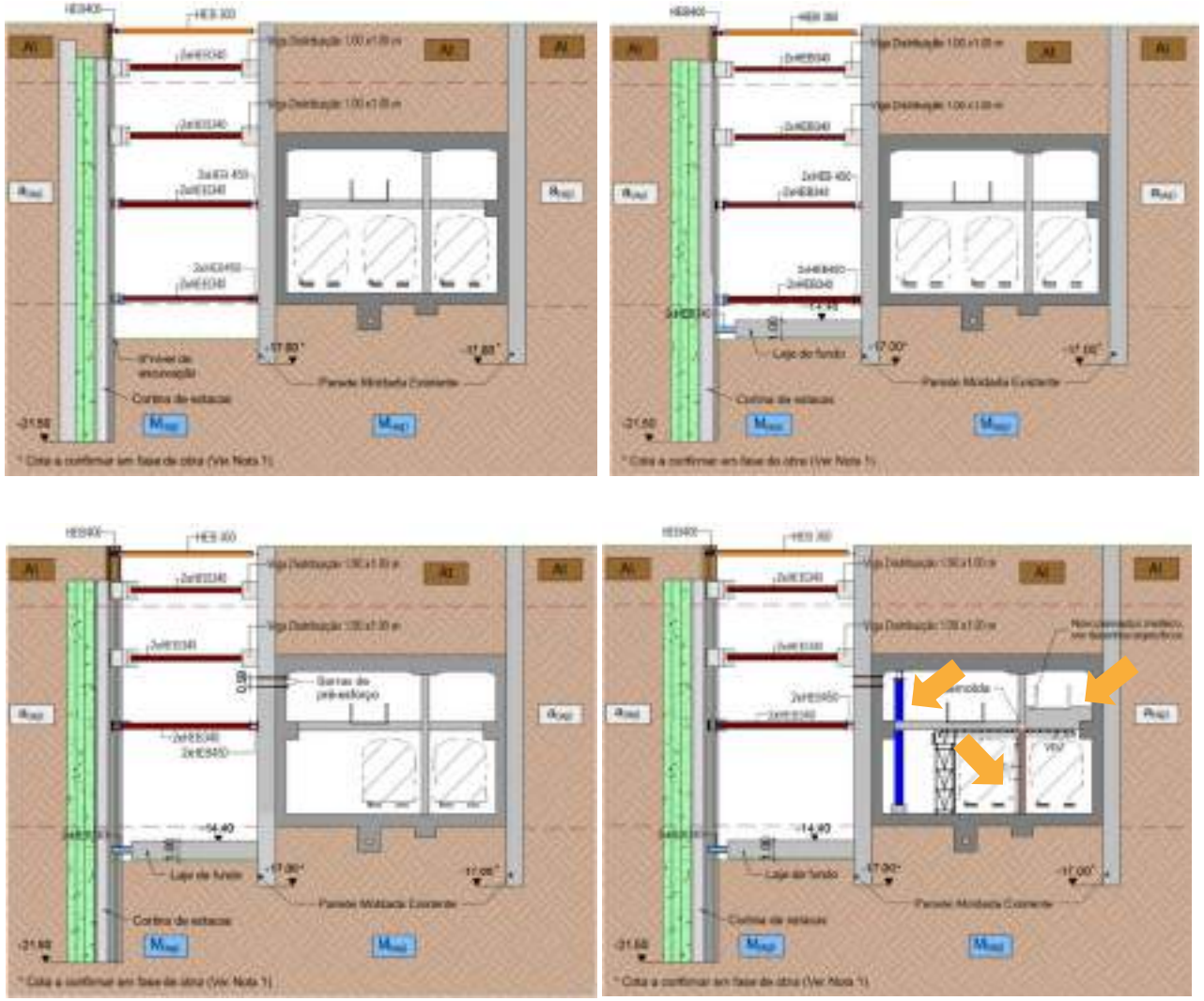






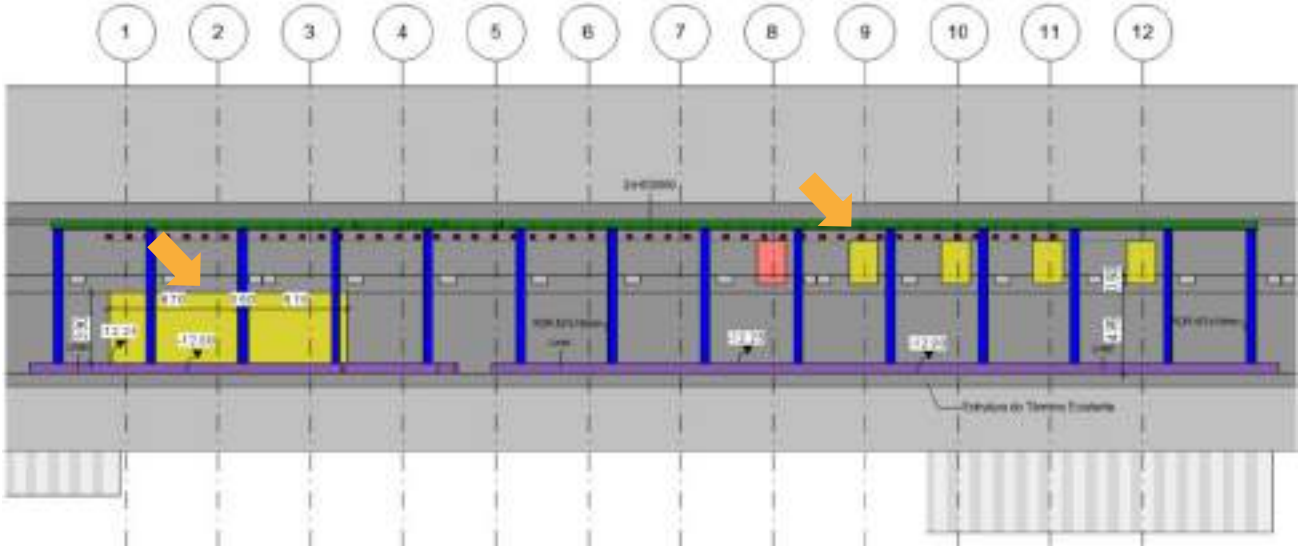
FASEAMENTO CONSTRUTIVO

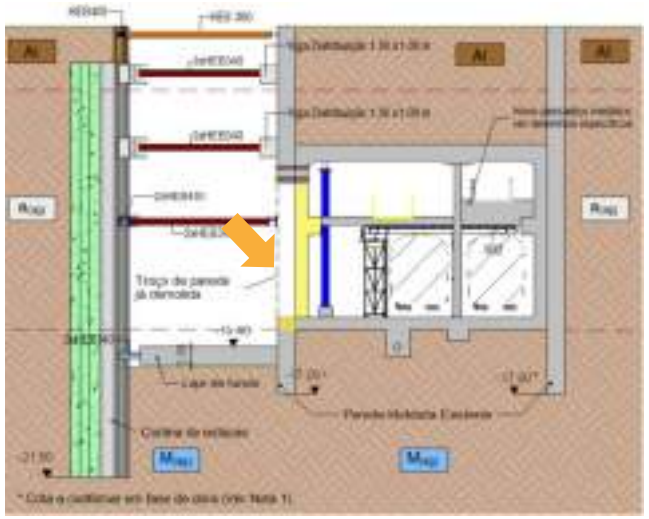
1. Escavação em Cut&Cover faseada até à cota de fundação do novo túnel (cerca de 18,5m de profundidade)
2. Execução da laje de fundação do novo túnel (e =1.0m)
3. Desativação do 5º nível de escoramentos
4. Execução de barras Gewi e ferrolhos de ligação entre a parede moldada existente e o hasteal do término (pelo interior e exterior)
5. **Instalação dos pórticos metálicos provisórios de suporte à cobertura do Término**
6. **Execução de novos pilares metálicos da nova solução porticada**
7. **Execução de 1º vão das vigas constituintes da nova estrutura porticada**



FASEAMENTO CONSTRUTIVO

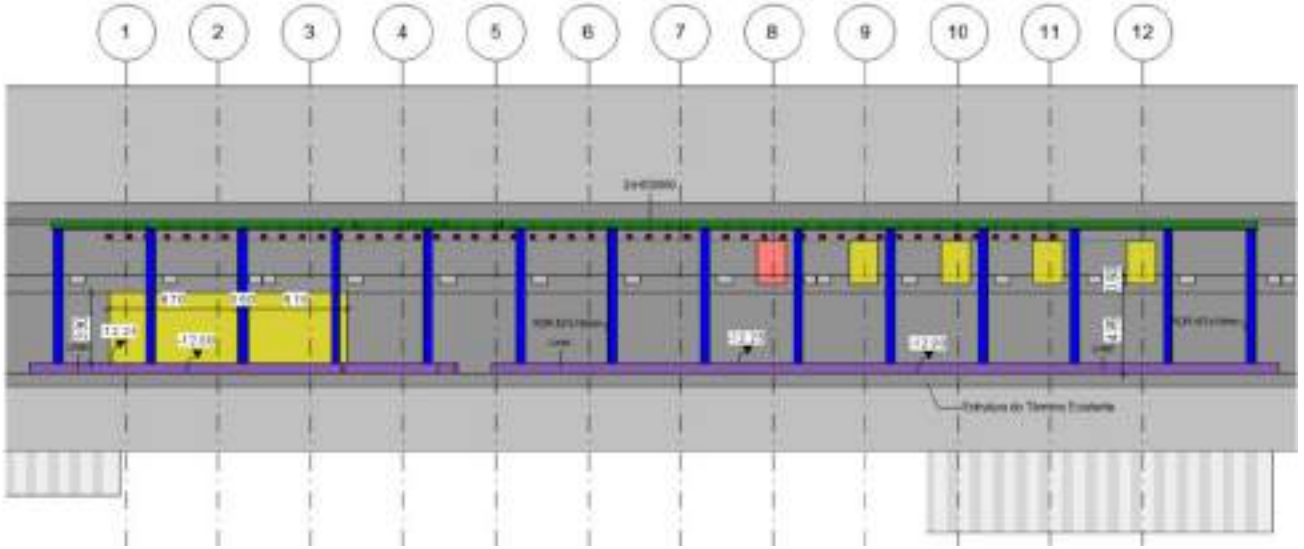
8. **Inicio dos trabalhos de “abertura”, através da demolição parcial da parede moldada e hasteal norte do Término**

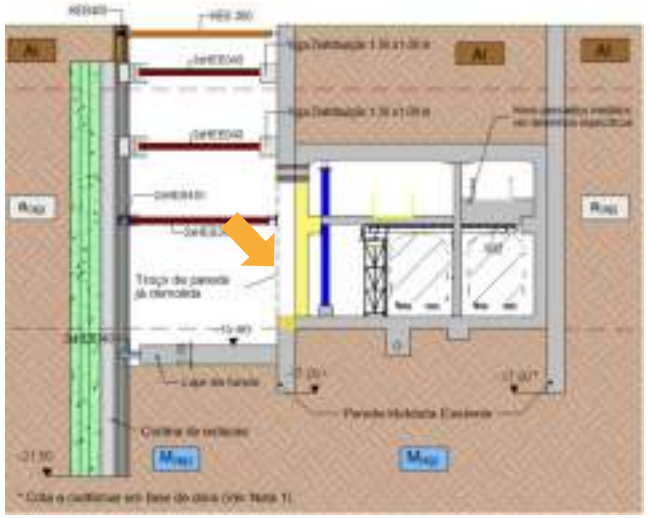


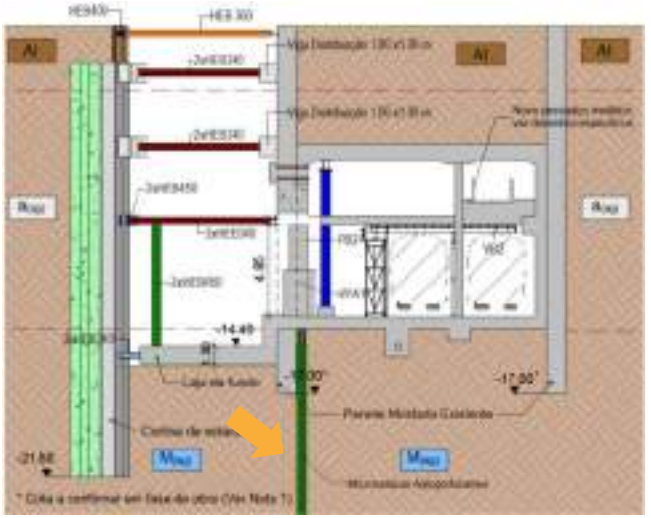


FASEAMENTO CONSTRUTIVO

8. Inicio dos trabalhos de “abertura”, através da demolição parcial da parede moldada e hasteal norte do Término
9. **Execução das microestacas de fundação**

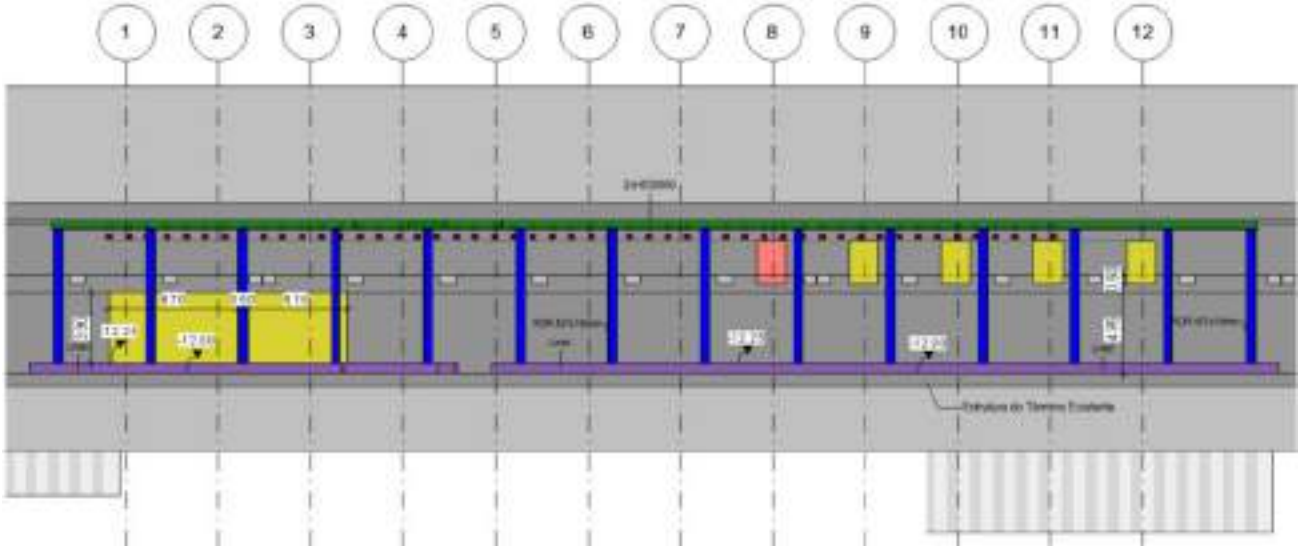


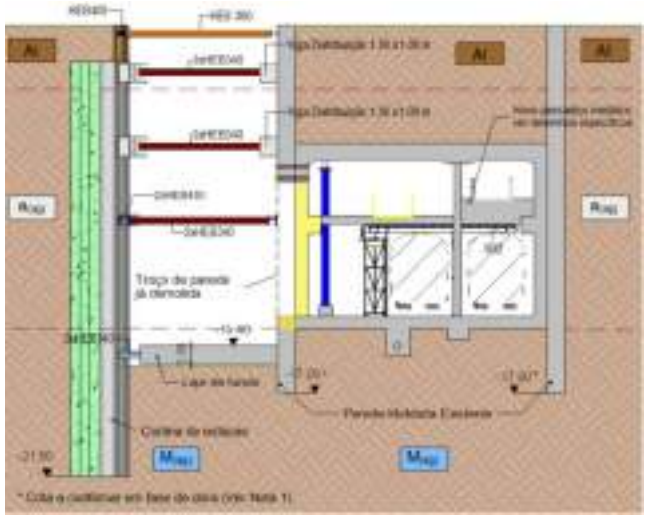


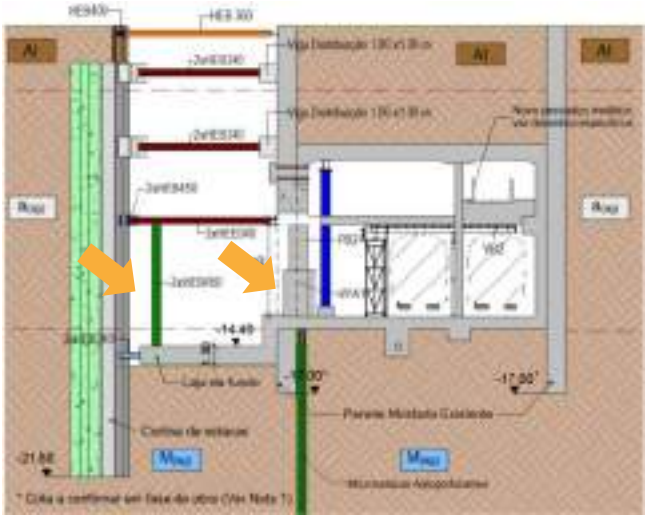


FASEAMENTO CONSTRUTIVO

8. Inicio dos trabalhos de “abertura”, através da demolição parcial da parede moldada e hasteal norte do Término
9. Execução das microestacas de fundação
10. **Execução da “viga-parede”**
11. **Colocação de pilares metálicos provisórios de apoio às vigas**

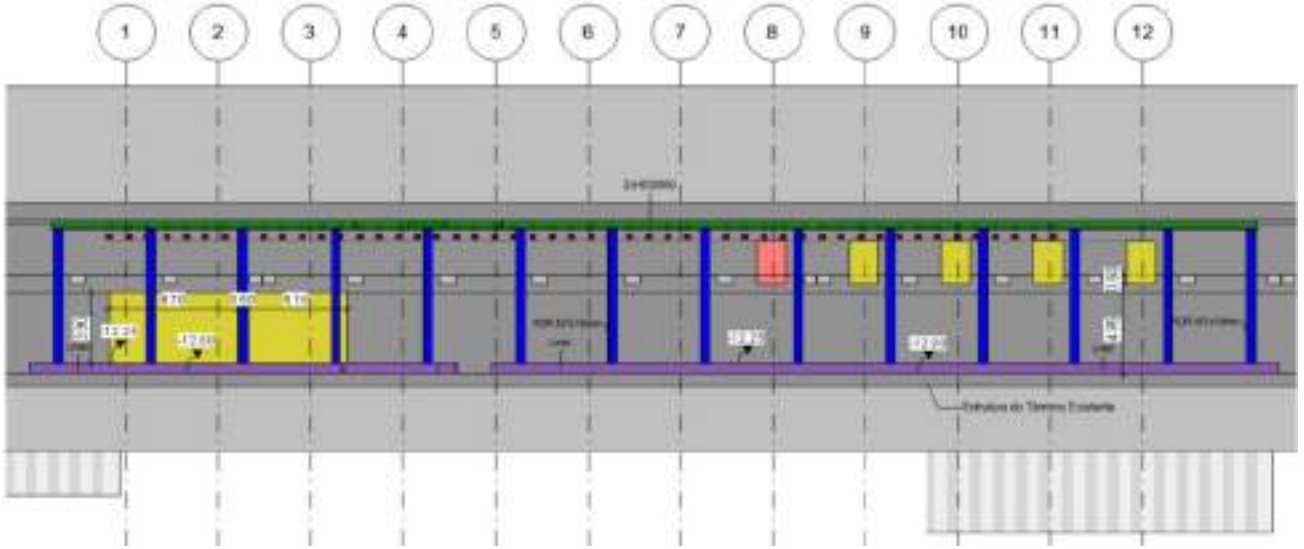


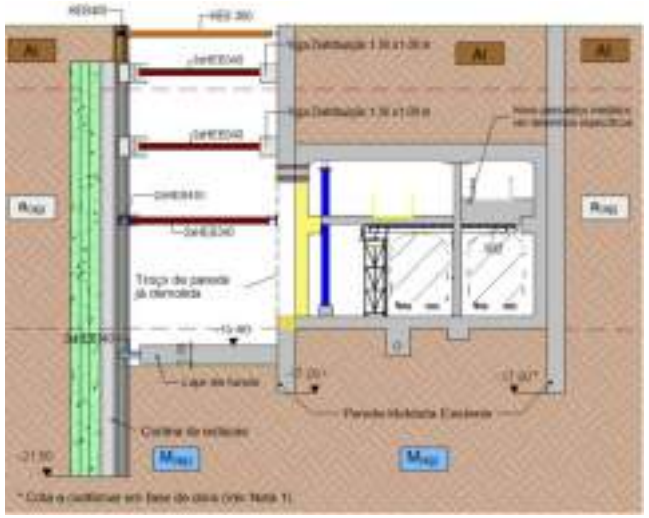


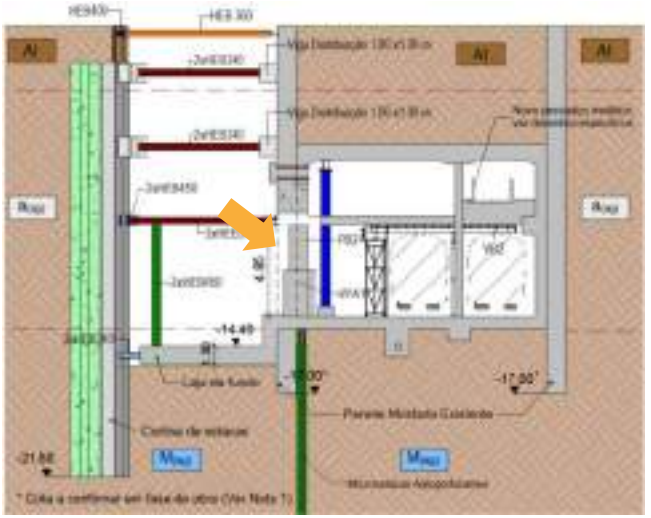


FASEAMENTO CONSTRUTIVO

8. Inicio dos trabalhos de “abertura”, através da demolição parcial da parede moldada e hasteal norte do Término
9. Execução das microestacas de fundação
10. Execução da “viga-parede”
11. Colocação de pilares metálicos provisórios de apoio às vigas
12. **Execução parcial dos pilares constituintes da nova estrutura porticada**
13. **Execução de parte do hasteal e das vigas entre o eixo 9 e 12**

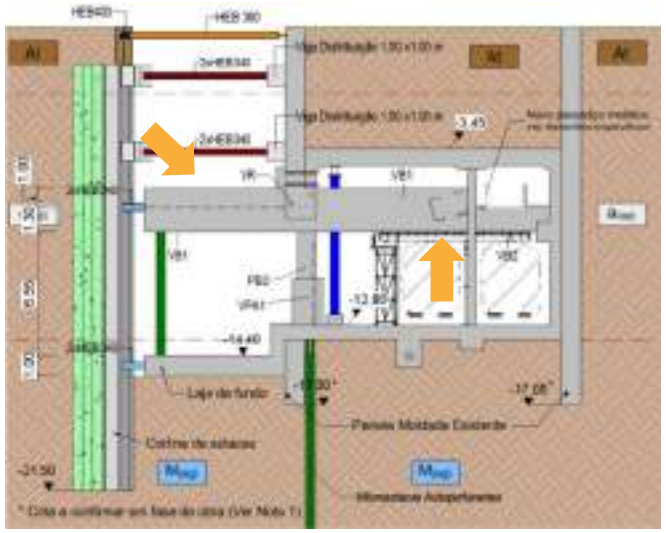






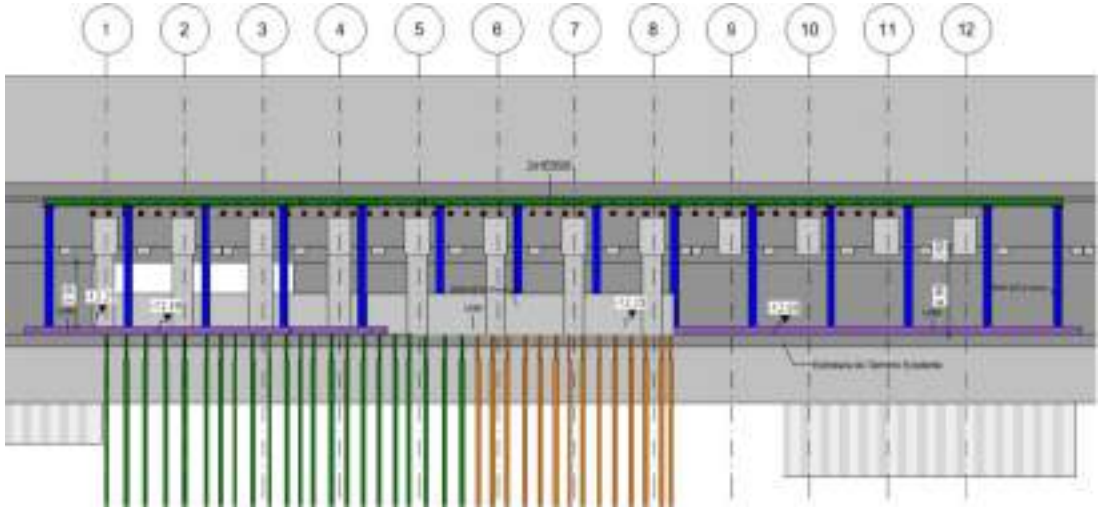
FASEAMENTO CONSTRUTIVO

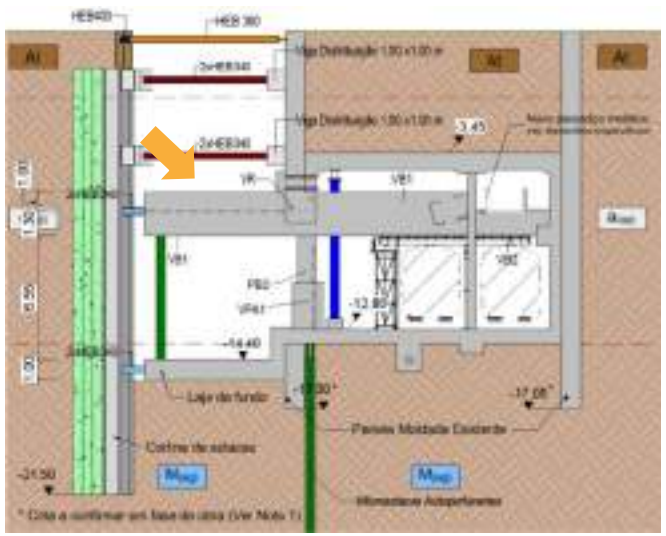
14. Execução do 2º vão das vigas constituintes da nova estrutura porticada
15. Demolição das restantes estruturas da parede moldada e hasteal norte existentes

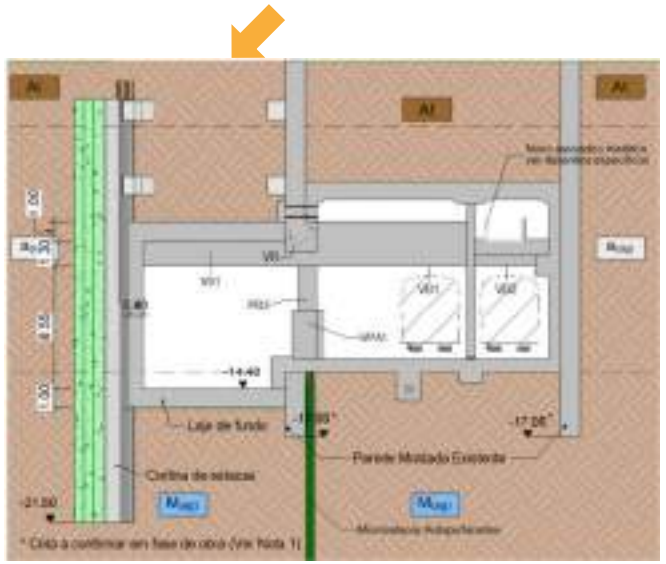


FASEAMENTO CONSTRUTIVO

14. Execução do 2º vão das vigas constituintes da nova estrutura porticada
15. Demolição das restantes estruturas da parede moldada e hasteal norte existentes
16. **Execução da laje de cobertura na zona do novo túnel do metro**
17. **Realização de aterro sobre a laje de cobertura do novo túnel do metro**

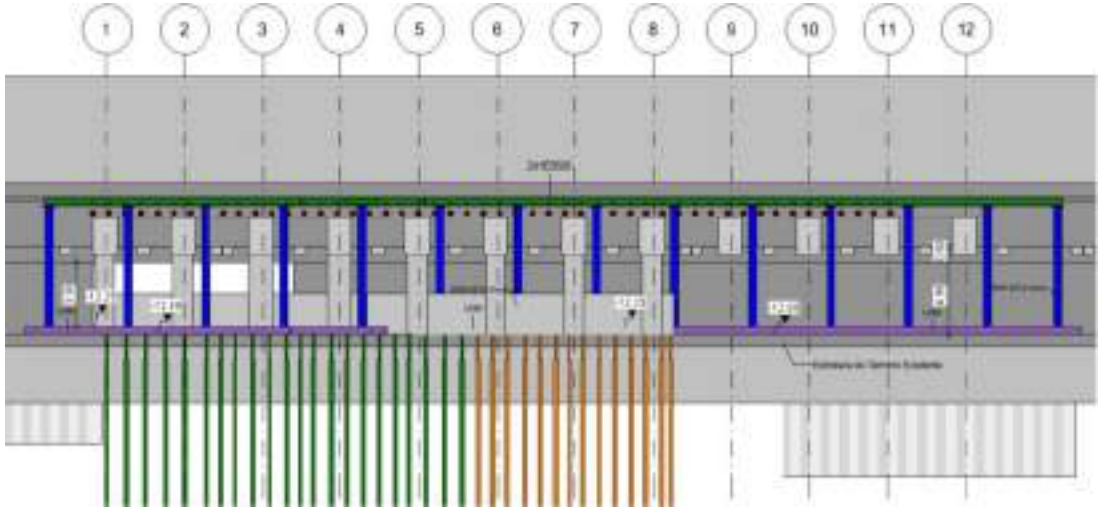


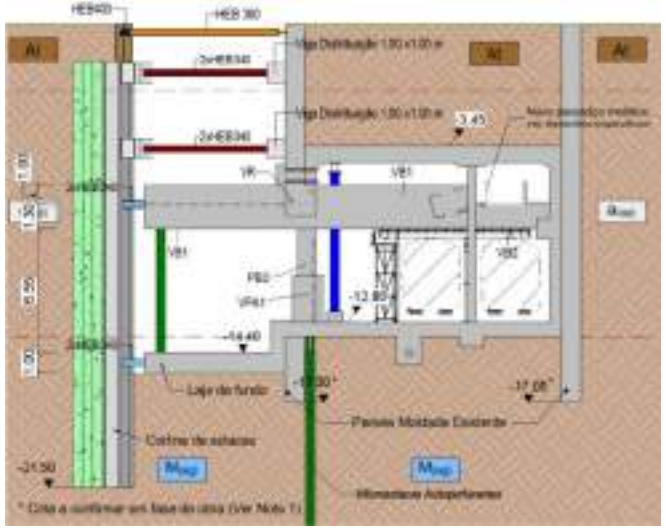


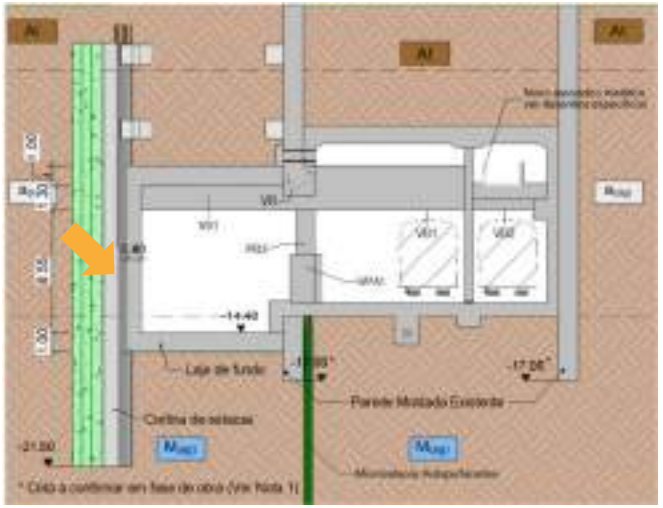


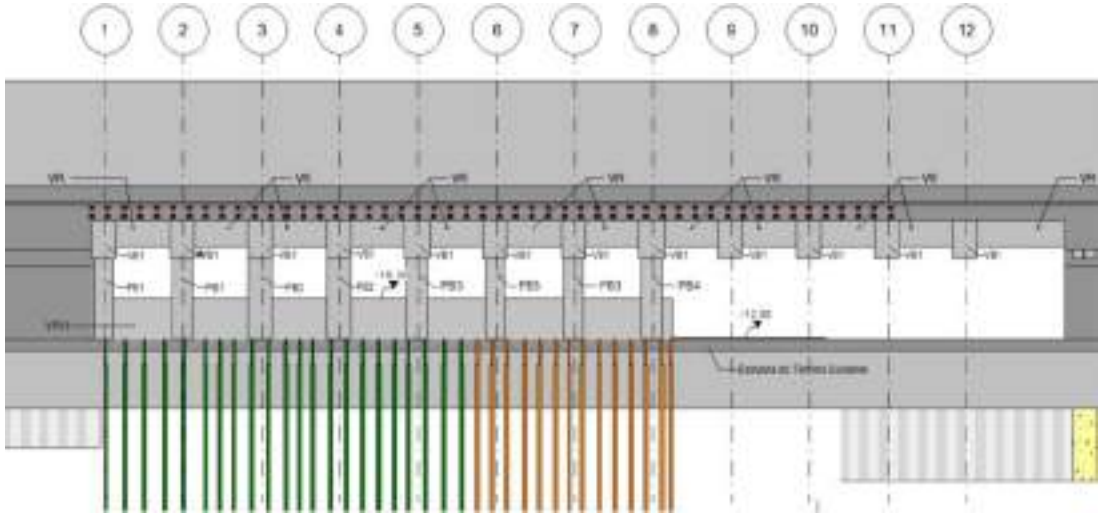
FASEAMENTO CONSTRUTIVO

14. Execução do 2º vão das vigas constituintes da nova estrutura porticada
15. Demolição das restantes estruturas da parede moldada e hasteal norte existentes
16. Execução da laje de cobertura na zona do novo túnel do metro
17. Realização de aterro sobre a laje de cobertura do novo túnel do metro
18. **Execução do hasteal do novo túnel do metro**
19. **Remoção de todos os elementos provisórios no interior do término**



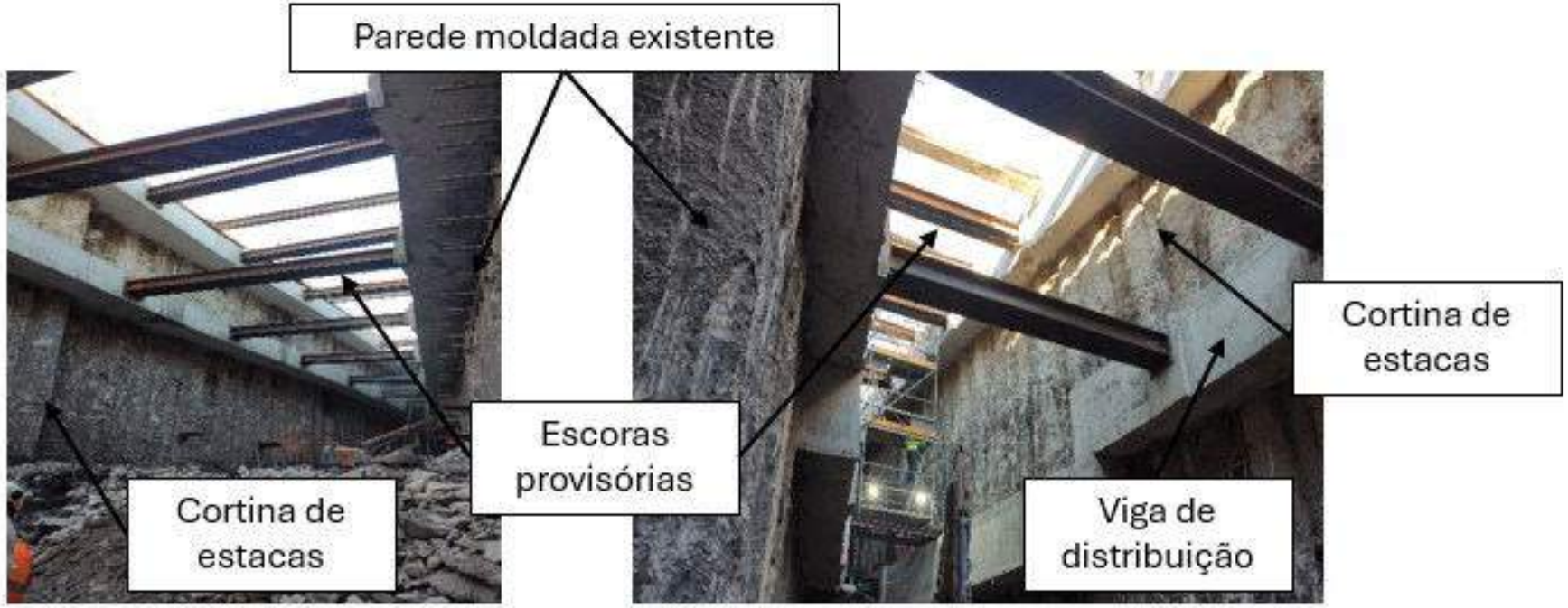






FASEAMENTO CONSTRUTIVO

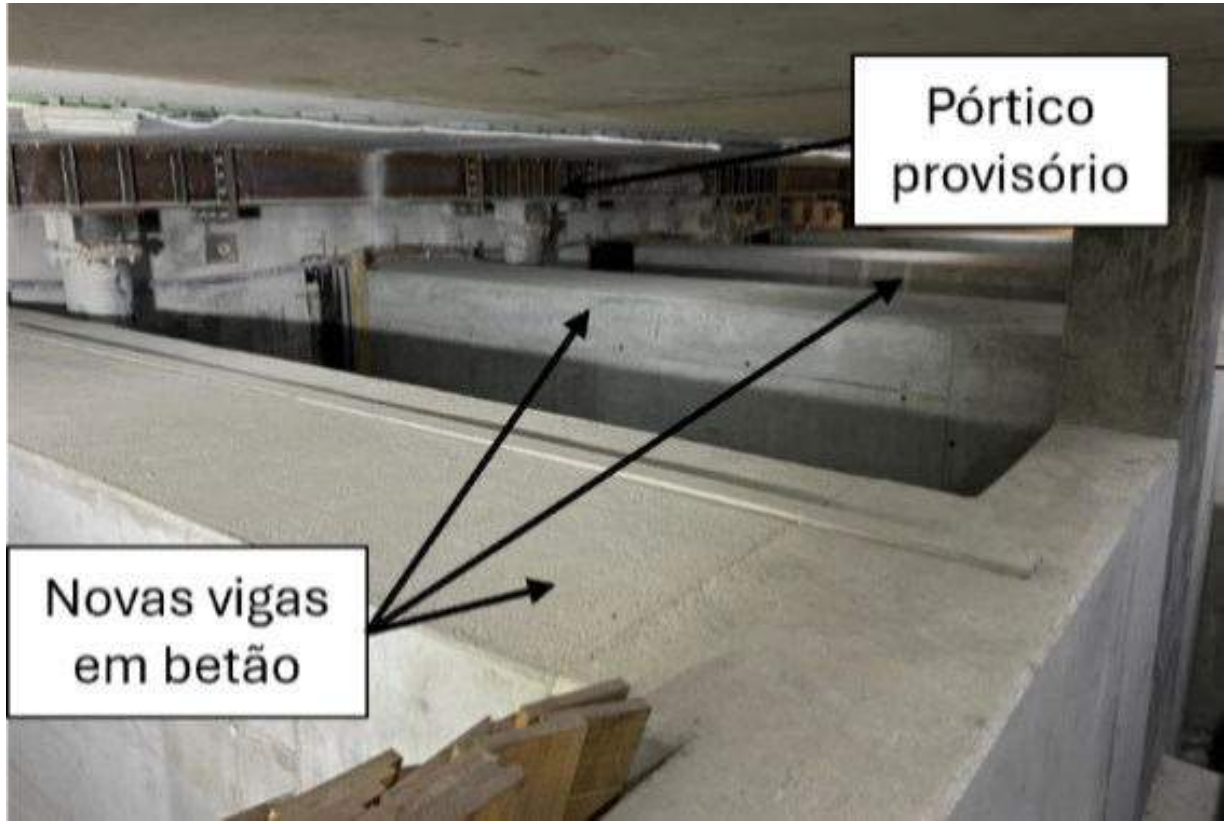
FASEAMENTO CONSTRUTIVO



FASEAMENTO CONSTRUTIVO

FASEAMENTO CONSTRUTIVO

FASEAMENTO CONSTRUTIVO



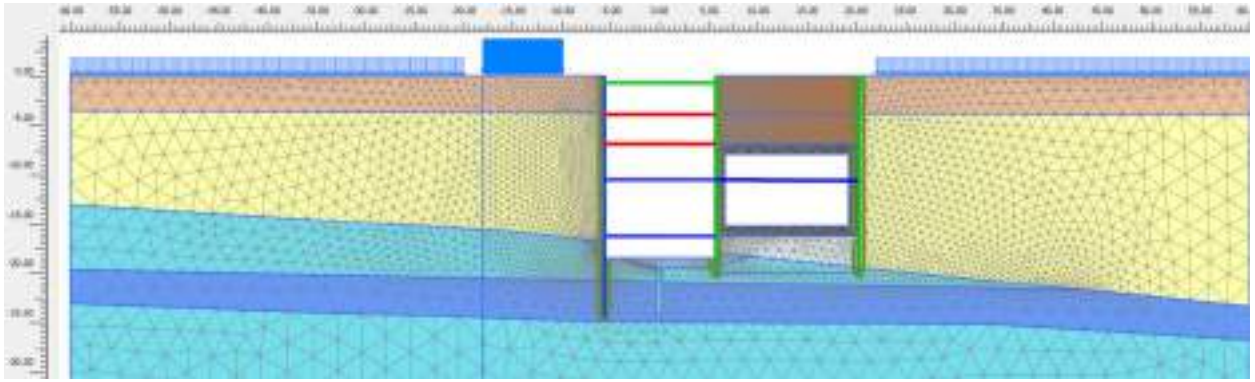
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Descrição da Solução
4. Faseamento Construtivo
5. **Dimensionamento da Solução**
6. Considerações Finais

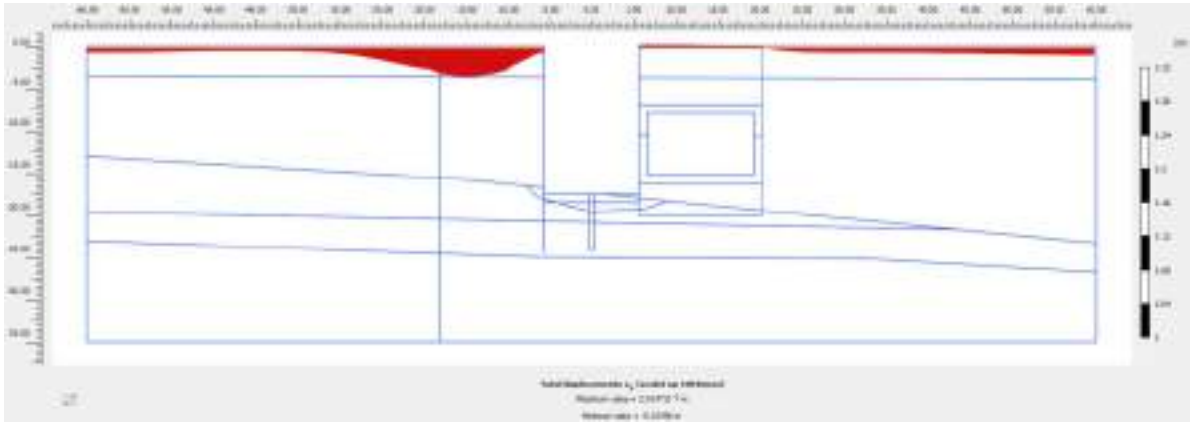
DIMENSIONAMENTO DA SOLUÇÃO

ESCAVAÇÃO EM *CUT&COVER*:

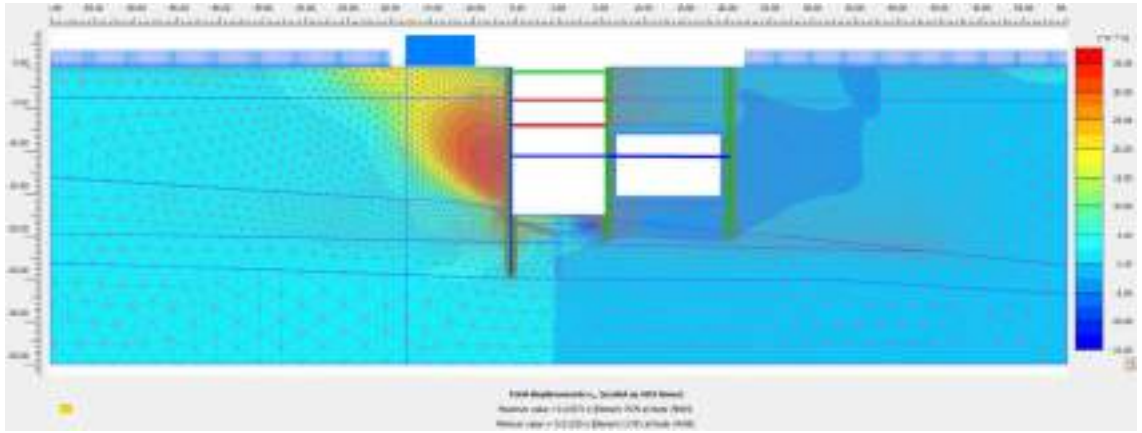
- **Dimensionamento através de elementos finitos no *software PLAXIS 2D***



Deformação vertical à superfície ($U_{y,máx}$=34mm)



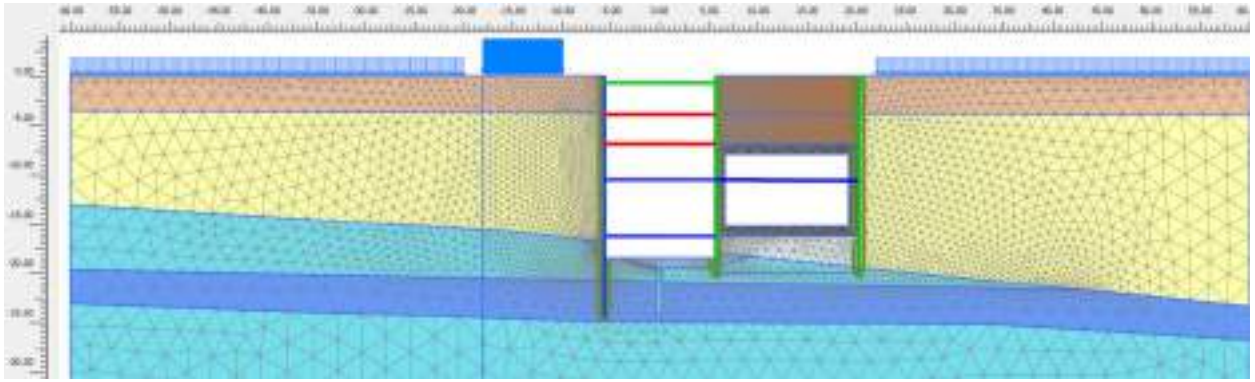
Deformação Horizontal ($U_{x,máx}$=36mm)



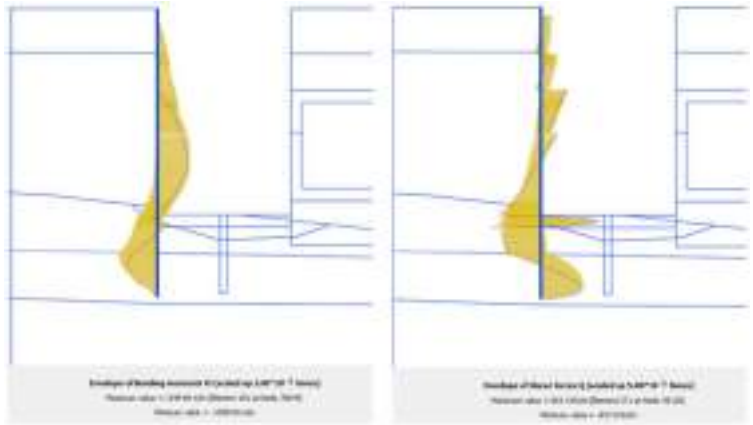
DIMENSIONAMENTO DA SOLUÇÃO

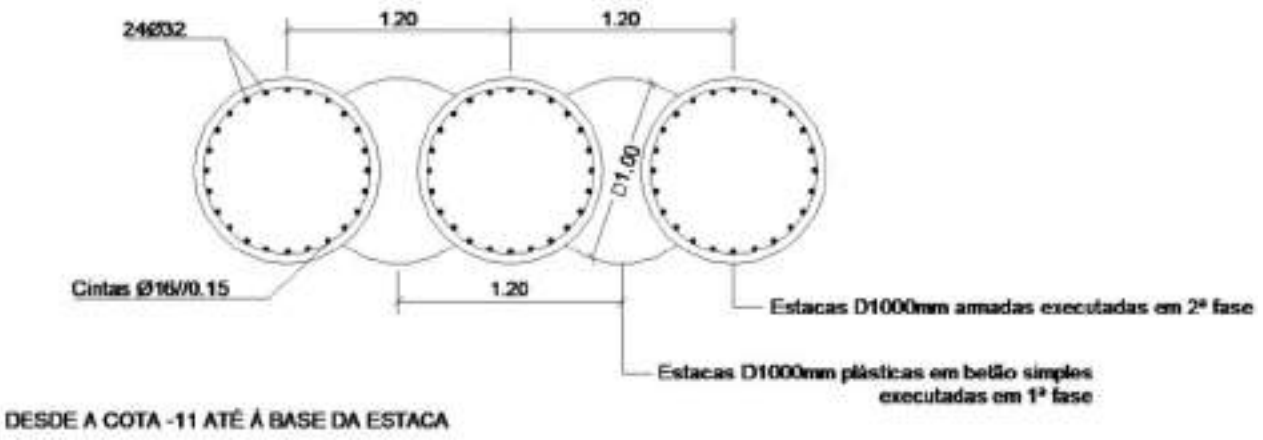
ESCAVAÇÃO EM *CUT&COVER*:

- Dimensionamento através de elementos finitos no *software PLAXIS 2D*



Momento fletor e esforço transverso





DIMENSIONAMENTO DA SOLUÇÃO

SOLUÇÃO ESTRUTURAL DEFINITIVA DO TÉRMINO:

- Modelação efetuada em elementos finitos no *software SAP2000*
- Dimensionamento de acordo com Eurocódigos em vigor

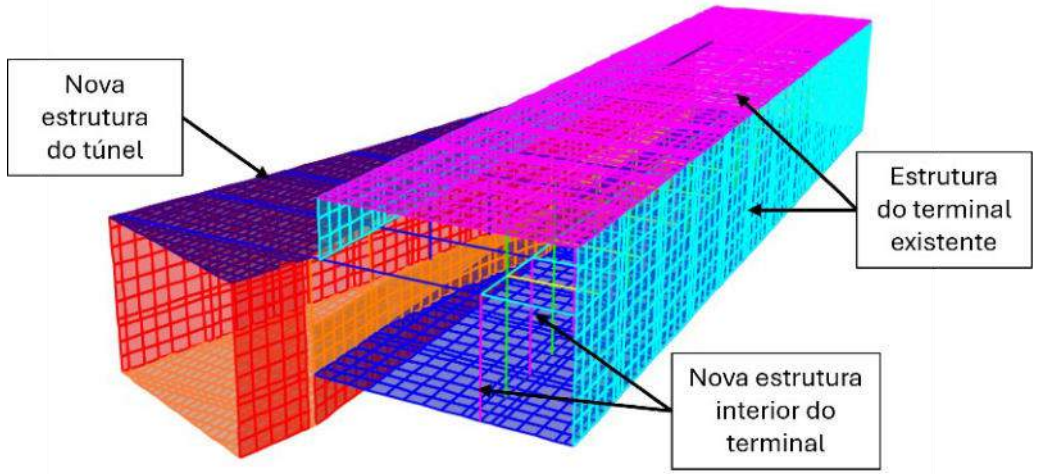
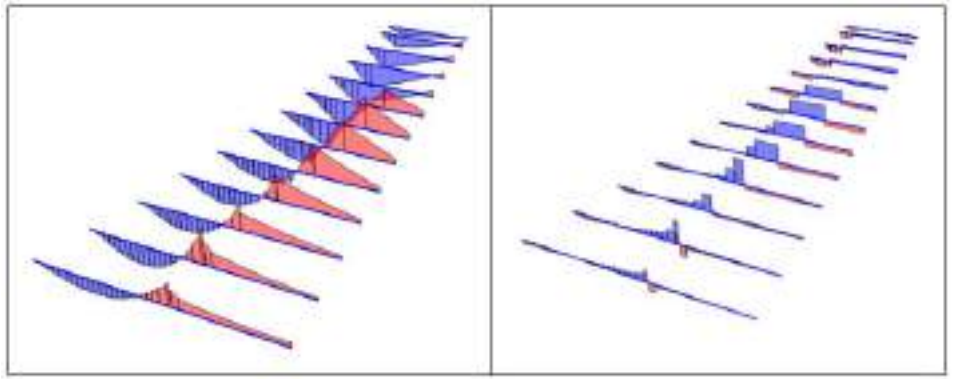
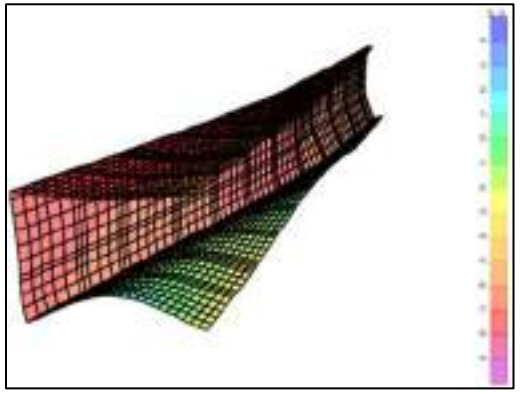


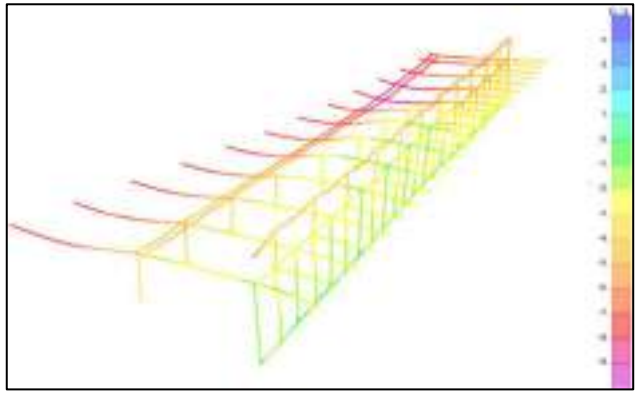
Diagrama de momentos fletores e esforço transverso (Vigas VB1)



Deformação vertical do novo túnel (11mm < 39mm)



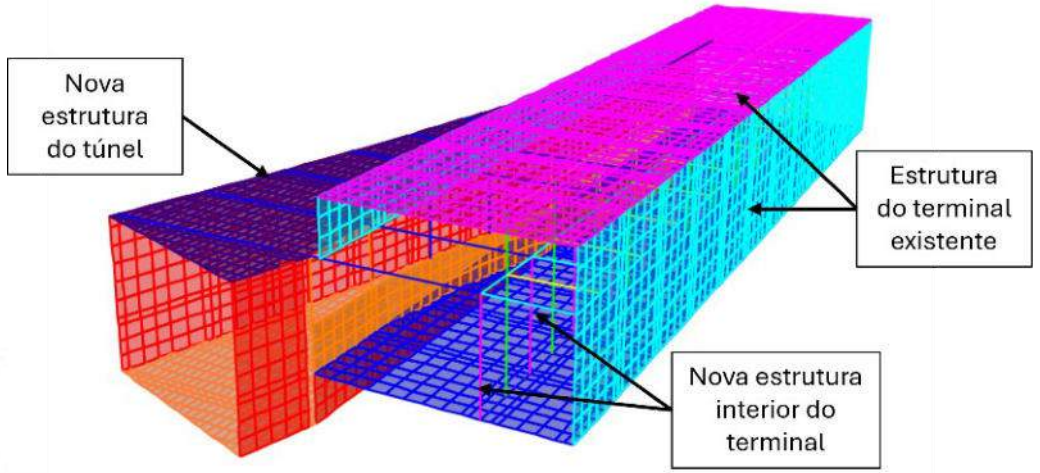
Deformação vertical da nova estrutura do Término (11mm < 48mm)

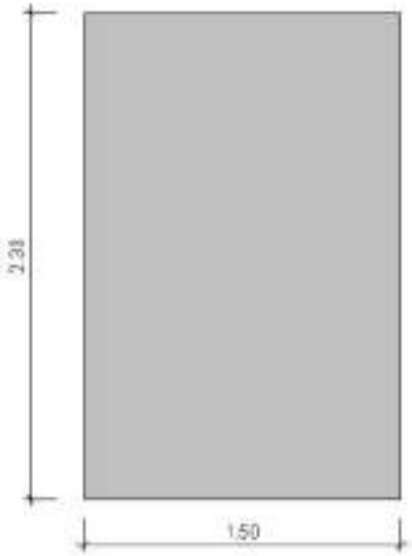


DIMENSIONAMENTO DA SOLUÇÃO

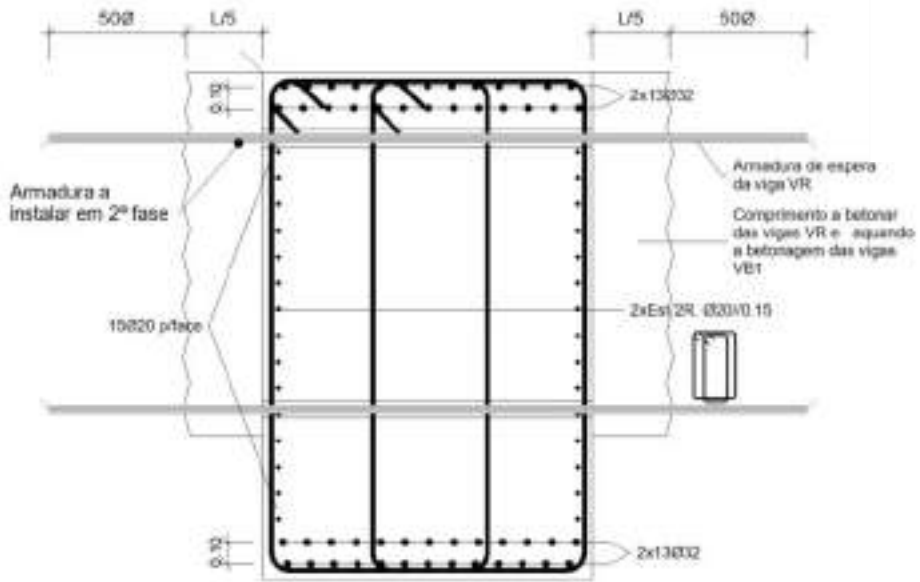
SOLUÇÃO ESTRUTURAL DEFINITIVA DO TÉRMINO:

- Modelação efetuada em elementos finitos no *software SAP2000*
- Dimensionamento de acordo com Eurocódigos em vigor





Viga VB1 (1.50X2.30)
Pormenor de Geometria
Esc. 1 : 25



*L/5 corresponde a um quinto do vão das vigas VR, e laje de cobertura. Incluindo estribos. Apesar de não representado, também deverão ser deixadas as esperas das armaduras de alma das vigas e as esperas da armadura de laje de cobertura

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Descrição da Solução
4. Faseamento Construtivo
5. Dimensionamento da Solução
6. **Considerações Finais**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Importância da avaliação prévia das **Condicionantes Locais** (Arquitetura, Edifícios Vizinhos e Infraestruturas)

Importância da realização de um **Estudo Geológico Geotécnico** que caracterize os terrenos em profundidade

Importância do **Papel da Geotecnia** nas escavações em meio urbano

Obrigado pela vossa atenção

Agradecimentos

Dono de Obra

Metropolitano de Lisboa

Empreiteiro Geral

MOTA-ENGIL ENGENHARIA spie batignolles international

METRO SANTOS SODRÉ ACE

Consórcio Projetista

GROUP coba

DESAFIOS E SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTEÇÃO PERIFÉRICA DA PARCELA A E LOTE B1 DE ENTRECAMPOS (ANTIGA FEIRA POPULAR)

Carlos de Oliveira Martins / JETsj Geotecnia
Rui Tomásio / JETsj Geotecnia
Alexandre Pinto / JETsj Geotecnia

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

JETsj

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

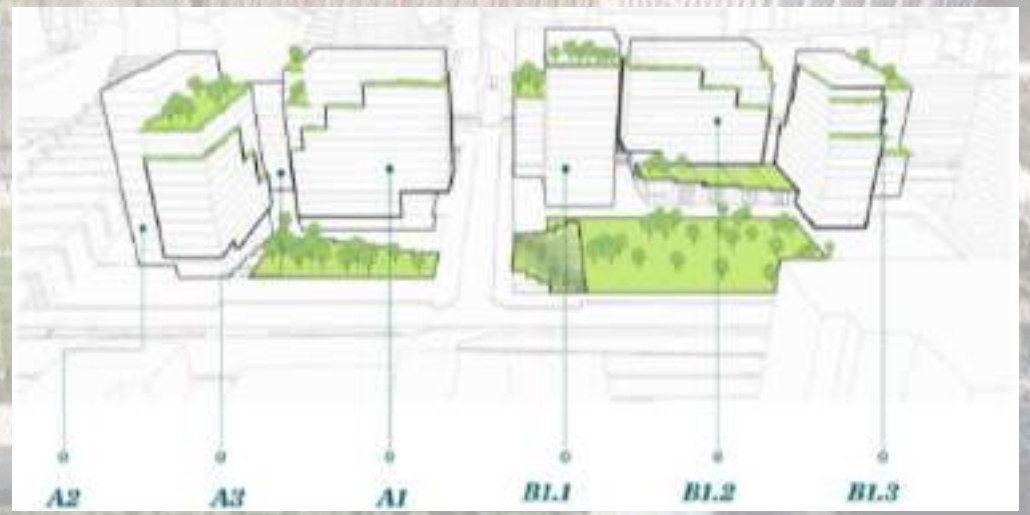
ÍNDICE

1. **Introdução**
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Processos Construtivos
6. Plano de Instrumentação e Observação

INTRODUÇÃO

EDIFÍCIOS ESCRITÓRIOS E COMÉRCIO

PARCELA A	LOTE B1
3 pisos enterrados	3 pisos enterrados
Área: 12 275m²	Área: 14 700 m²
Perímetro: 420 m	Perímetro: 465 m
Altura máxima: 12,5 m	Altura máxima: 14 m
Escavação: 105 000 m³	Escavação: 140 000 m³



ÍNDICE

1. Introdução
2. **Principais Condicionamentos**
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Processos Construtivos
6. Plano de Instrumentação e Observação

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

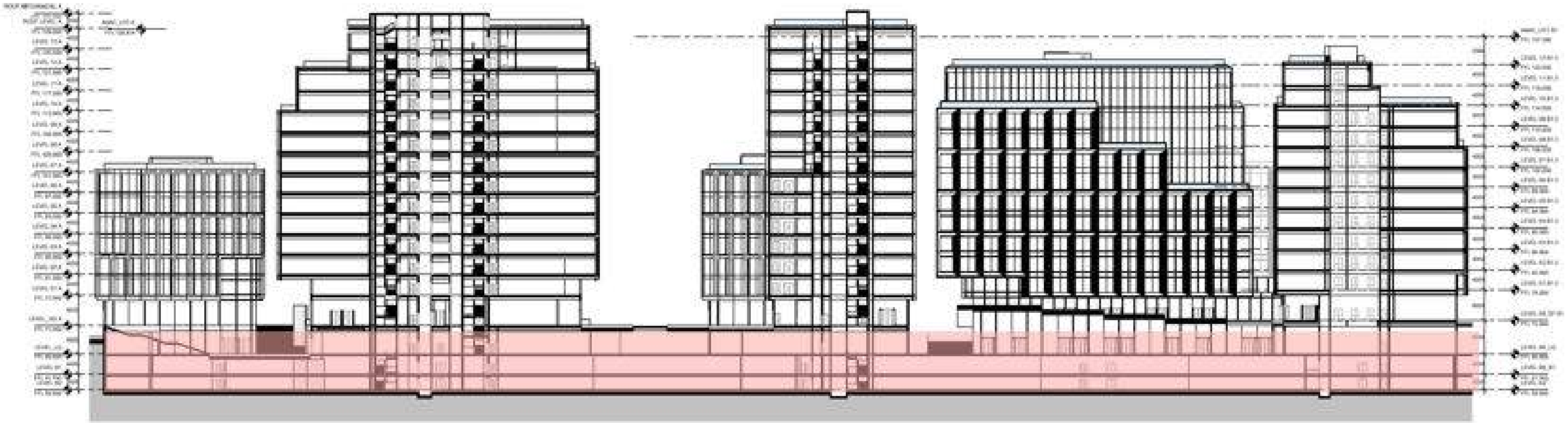
Escavação em Meio Urbano

Multiplicidade de Condicionantes

- Arquitetónicos
- Vias Circundantes
  - Avenida 5 de Outubro
  - Avenida da República
- Infraestruturas no subsolo
- Metropolitano de Lisboa
- Estação de Entrecampos

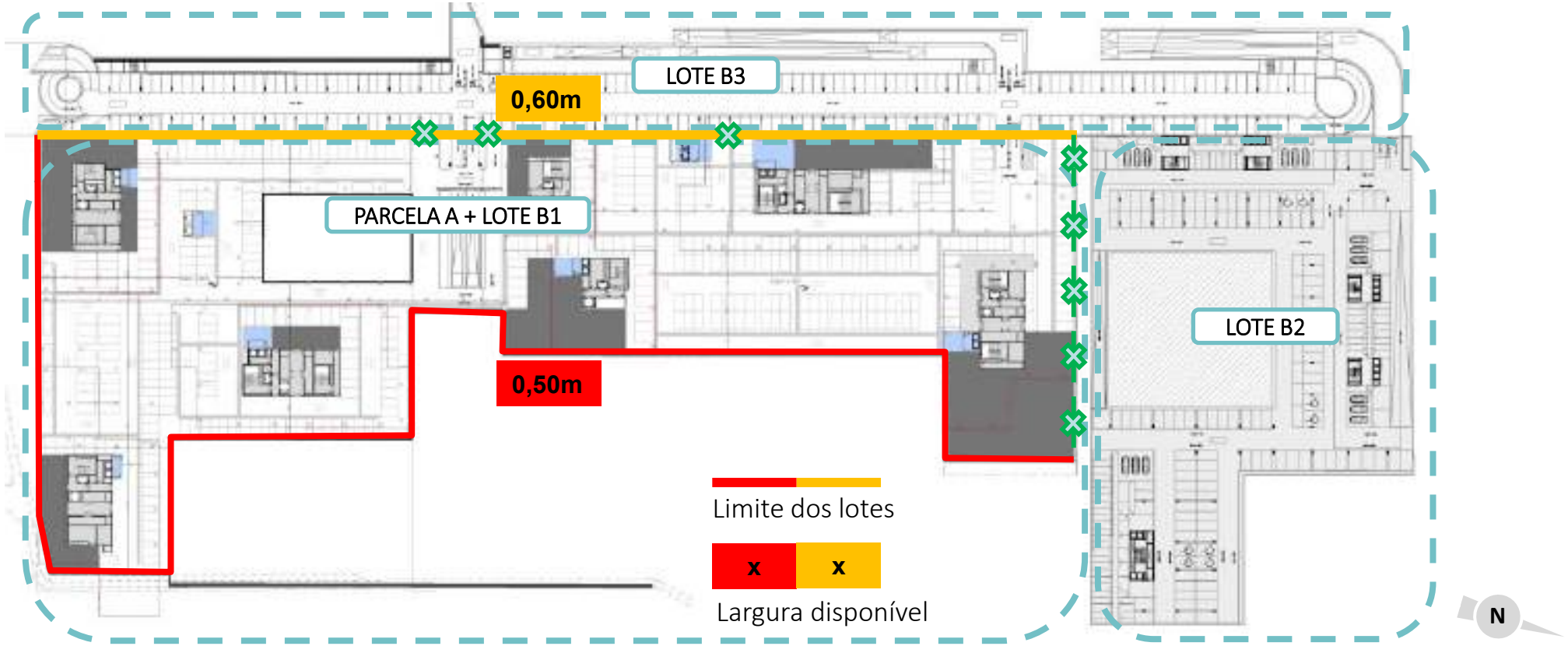
PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

- ✓ **Condicionamentos construtivos e arquitetónicos:**
  - Escavação para construção de 3 pisos enterrados



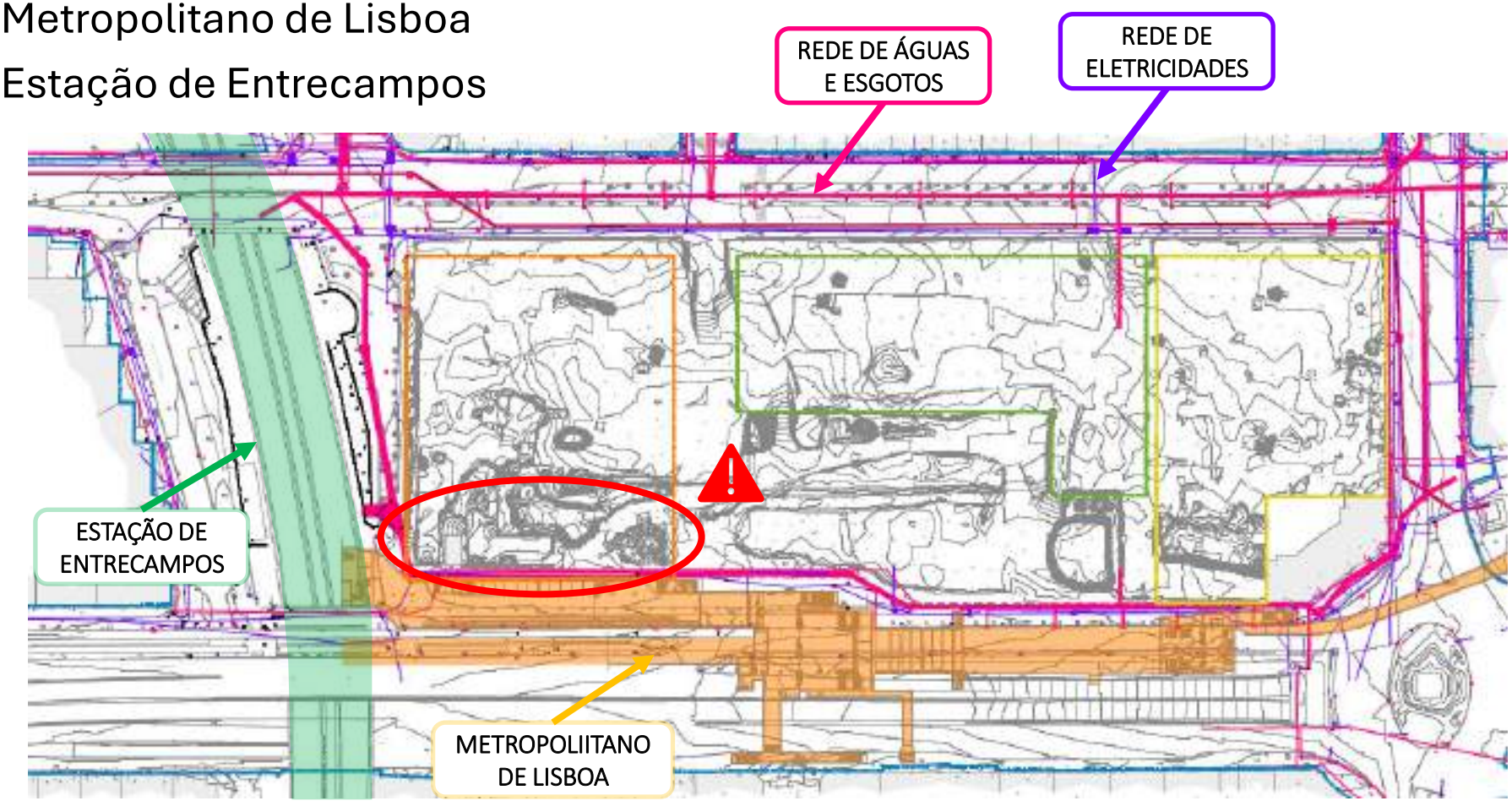
PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

- ✓ **Condicionamentos construtivos e arquitetónicos:**
  - Escavação para construção de 3 pisos enterrados
  - Espaço disponível para a estrutura de contenção ao nível dos pisos enterrados
  - Compatibilização com a construção dos diversos Lotes



PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

- ✓ **Infraestruturas circundantes:**
  - Infraestruturas no subsolo
  - Metropolitano de Lisboa
  - Estação de Entrecampos



ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. **Estudo Geológico-Geotécnico**
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Processos Construtivos
6. Plano de Instrumentação e Observação

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000

Fonte: Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, Folha 34D - Lisboa

No local de implantação da obra afloram regionalmente:

- **Aluviões** – Zona de presença de antiga linha de água.
- Solos do **Miocénico**:
  - Areolas de Estefânia (M_{ES})
  - Argila dos Prazeres (M_{PR})
  - Argila de Forno do Tijolo (M_{FT})
  - Calcários de Entrecampos (M_{EC})

Sob estes solos, e com maior presença, encontram-se materiais do **Oligocénico**:

- Formação de Benfica ($\emptyset_{BF}$)

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Plano de Prospeção Geológico-Geotécnico

Base

Maio de 2018 (Câmara Municipal de Lisboa): 🟡

- ✓ 9 Sondagens Geotécnicas à rotação com amostragem contínua
- ✓ Ensaios SPT em profundidade

Maio de 2019 (Dono de Obra): 🔴

- ✓ 9 Sondagens Geotécnicas à rotação com amostragem contínua
- ✓ Ensaios SPT em profundidade
- ✓ 2 Piezómetros
- ✓ Ensaios Laboratoriais

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Plano de Prospeção Geológico-Geotécnico Complementar

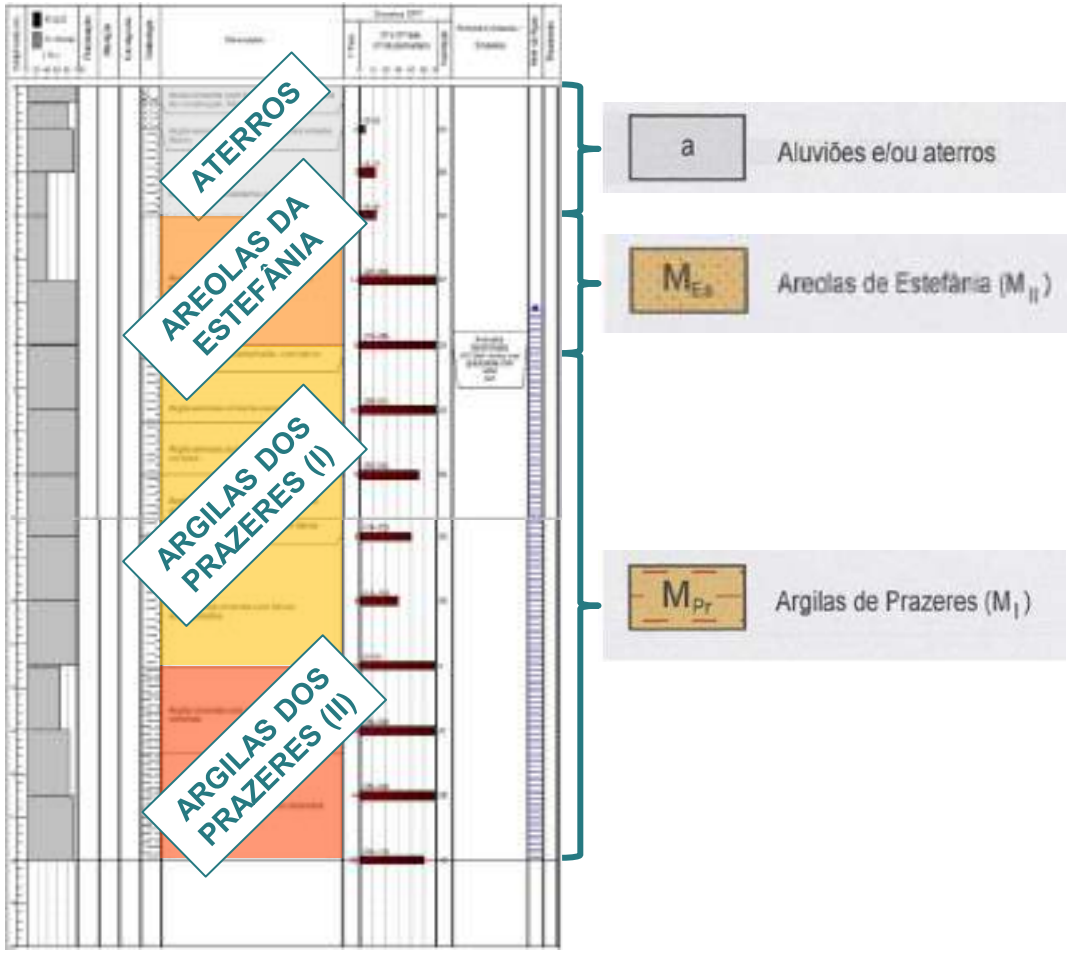
Outubro de 2022 (Dono de Obra): 🟢

- ✓ 7 Sondagens Geotécnicas à rotação com amostragem contínua
- ✓ Ensaios SPT em profundidade
- ✓ 2 Piezómetros
- ✓ Ensaios Laboratoriais
  - ✓ ...
  - ✓ **Ensaios de permeabilidade:**
    - ✓ **8 Tipo Lefranc**

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Sondagens Geotécnicas:

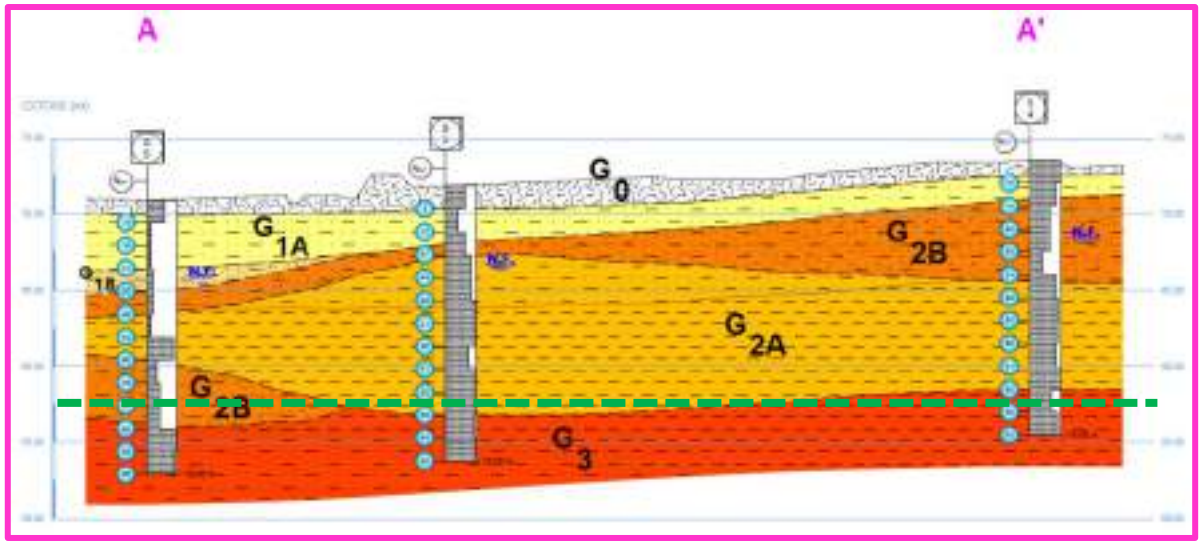
O exemplo da Sondagem 3

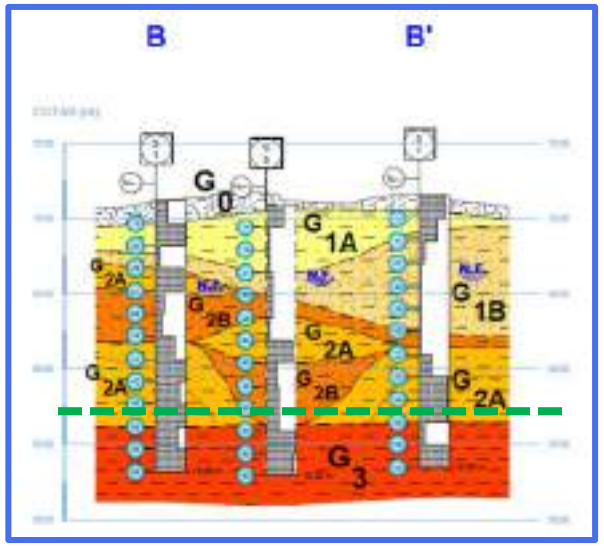


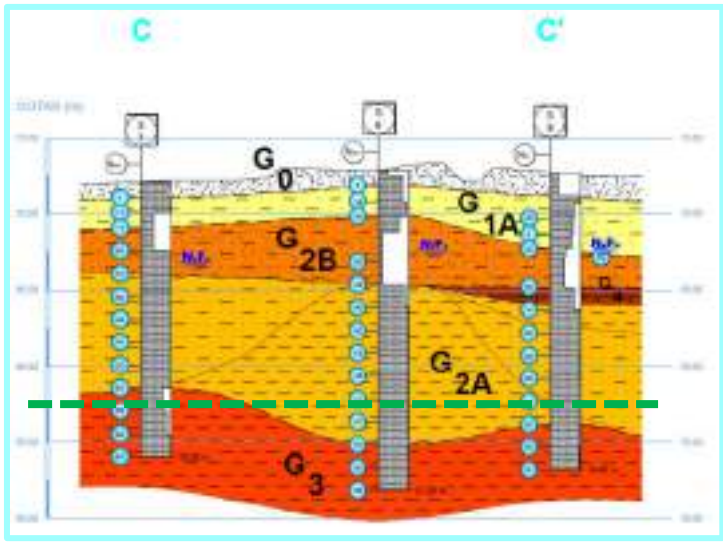
ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Zonamento Geológico-Geotécnico

Zona	Formação	Intervalos N_{SPT}
G_0	Aterro heterogéneo	-
G_{1A}	Solos argilosos rijos	$8<N_{SPT}<15$
G_{1B}	Solos arenosos medianamente compactos	$10<N_{SPT}<30$
G_{2A}	Solos argilosos duros	$30<N_{SPT}<60$
G_{2B}	Solos arenosos compactos	$30<N_{SPT}<60$
G_3	Solos argilosos muito duros	$N_{SPT}>60$







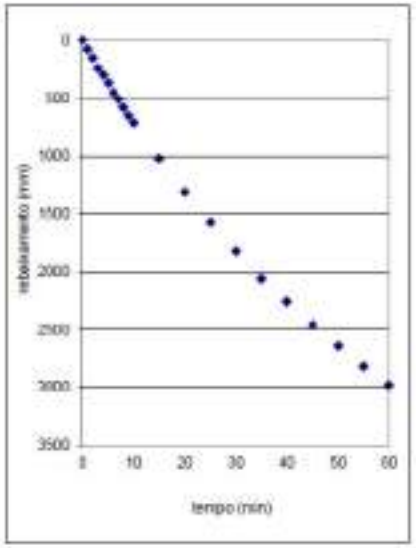
Cota de fundo de escavação

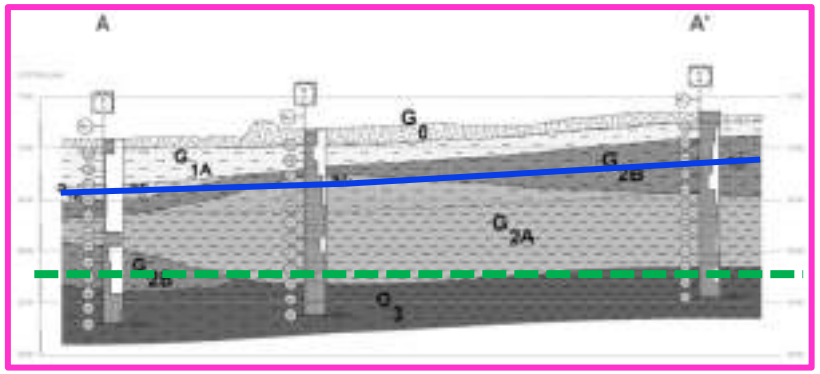
ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

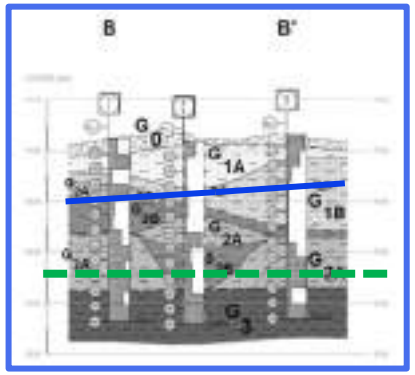
Hidrogeologia

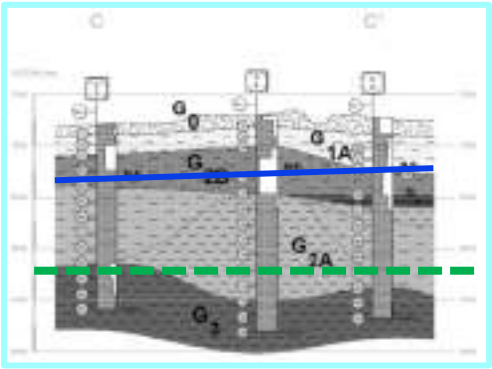
- ✓ Níveis de água identificados entre 5 m e 7m.
- ✓ Permeabilidades:
  - ✓ Depósitos Arenosos (G1B e G2B):
    - ✓ Médias a Baixas (10^{-5} m/s)
  - ✓ Depósitos Argilosos (G1A e G2A):
    - ✓ Baixas a Muito Baixas (10^{-6} a 10^{-9} m/s)

Tempo (min)	Rebaixamento (mm)	K (m/seg)
0,0	0,00	0,000E+00
1,0	75,00	5,317E-07
2,0	150,00	5,308E-07
3,0	240,00	6,566E-07
4,0	360,00	4,441E-07
5,0	370,00	5,245E-07
6,0	450,00	6,062E-07
7,0	510,00	4,625E-07
8,0	580,00	5,465E-07
9,0	650,00	5,543E-07
10,0	710,00	4,814E-07
15,0	1020,00	5,173E-07
20,0	1310,00	5,171E-07
25,0	1570,00	4,946E-07
30,0	1820,00	5,070E-07
35,0	2050,00	5,196E-07
40,0	2250,00	4,812E-07
45,0	2460,00	4,902E-07
50,0	2640,00	4,691E-07
55,0	2820,00	4,866E-07
60,0	2980,00	4,720E-07









Cota de fundo de escavação

Nível de água

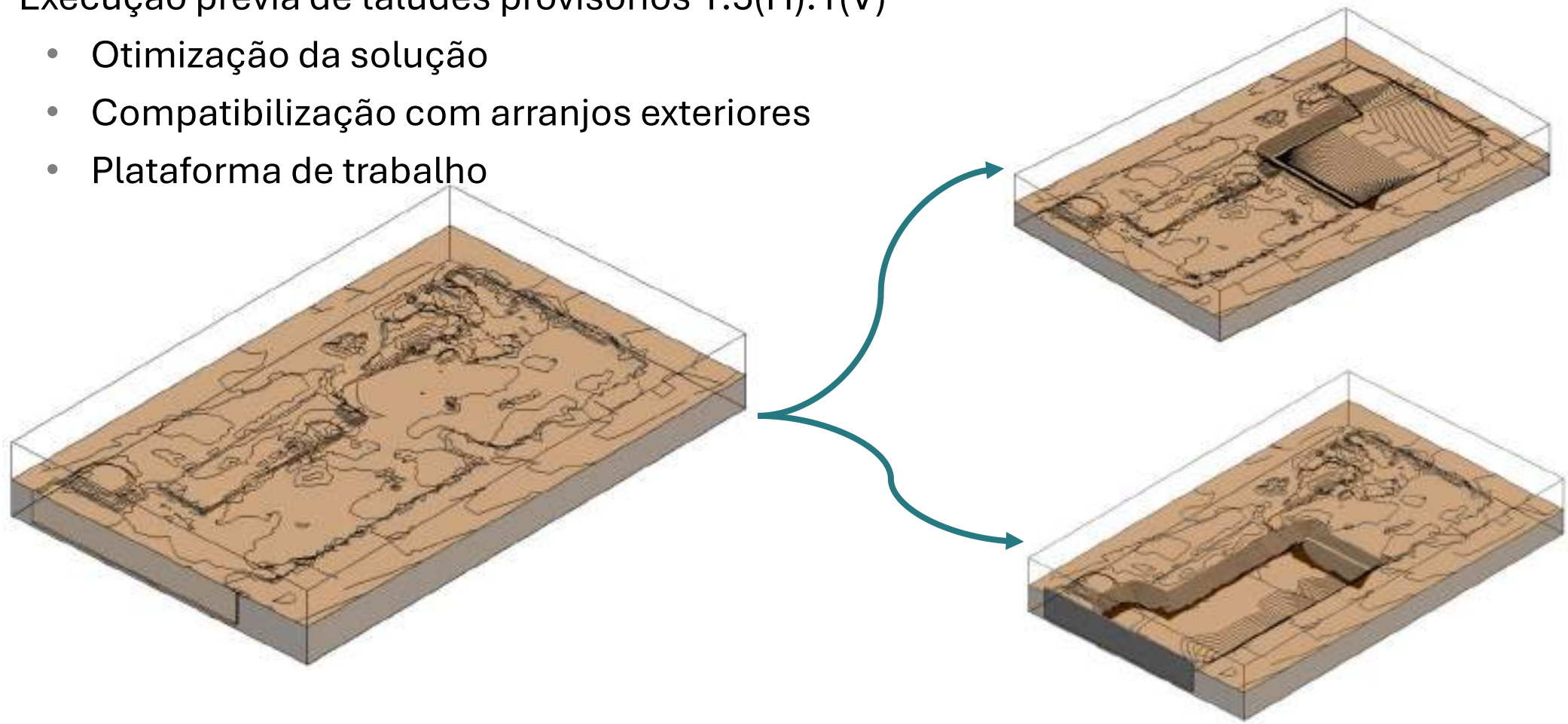
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. **Soluções de Escavação e Contenção Periférica**
5. Processos Construtivos
6. Plano de Instrumentação e Observação

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

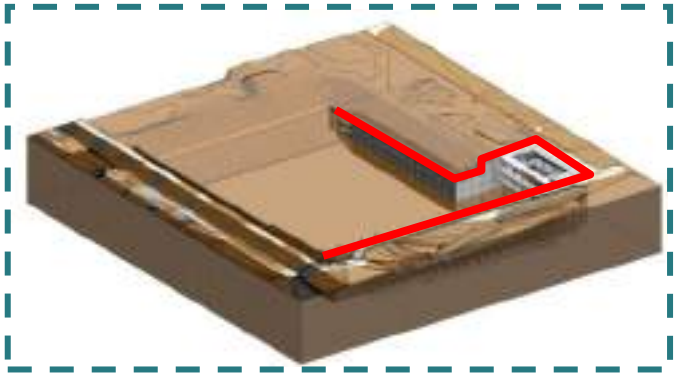
Parcela A + Lote B1

- Execução prévia de taludes provisórios 1.5(H):1(V)
  - Otimização da solução
  - Compatibilização com arranjos exteriores
  - Plataforma de trabalho

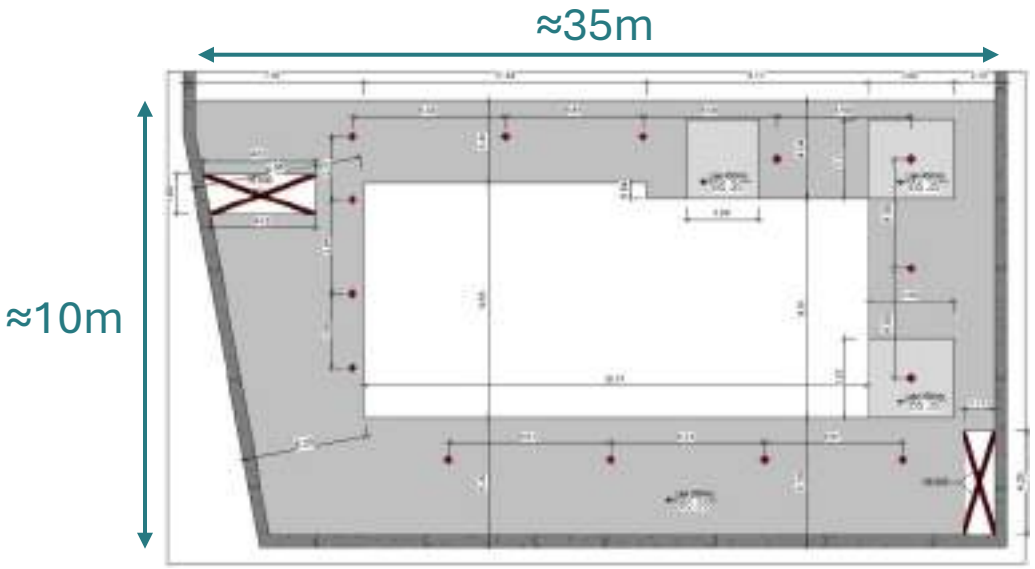


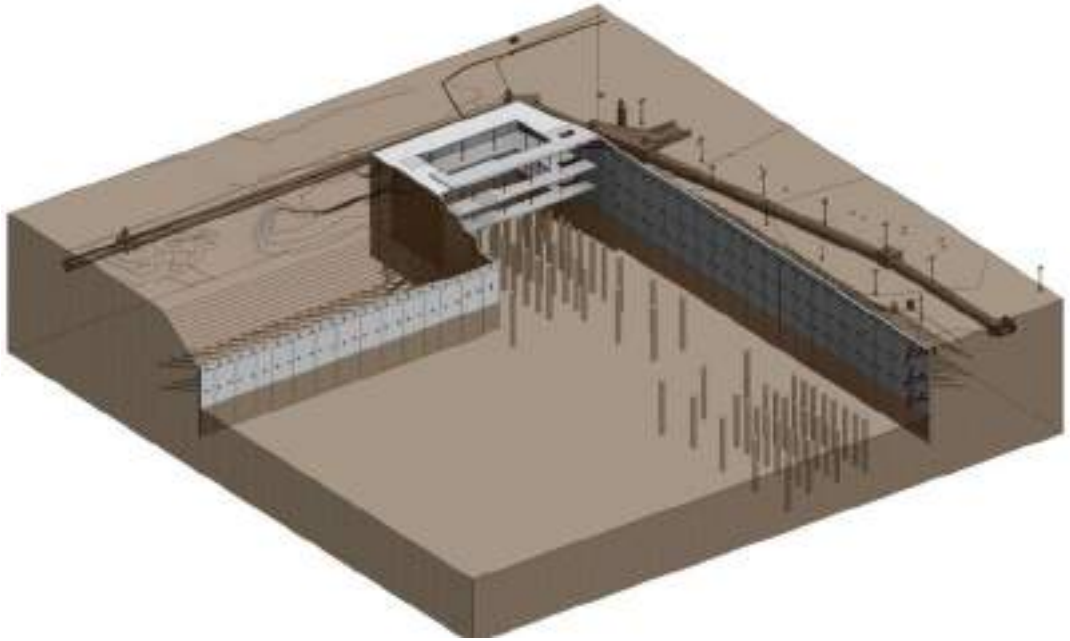
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Parcela A



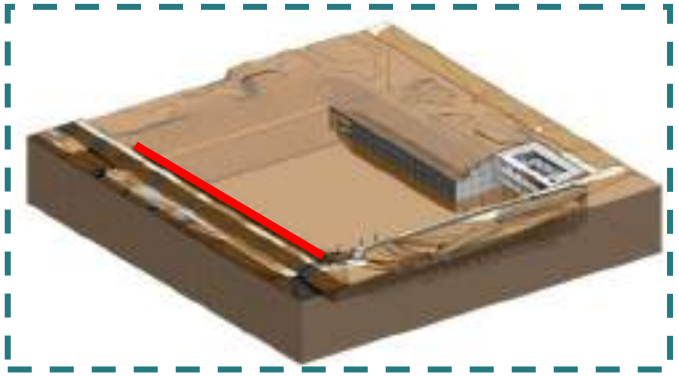
- Parede Moldada 500mm:
  - Ancoragens provisórias // 2.50m
  - Escoras metálicas de canto
  - Banda de laje
  - Viga de coroamento compatível com arruamentos e taludes provisórios



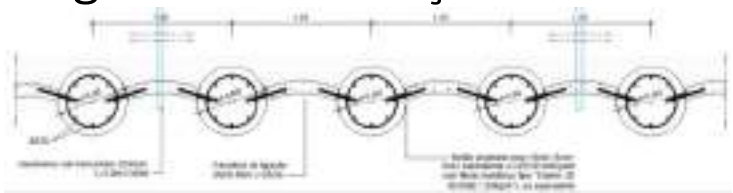


SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

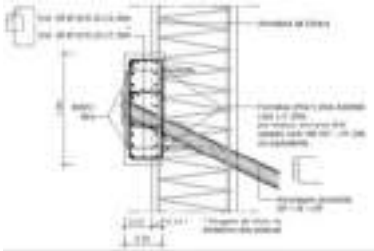
Parcela A



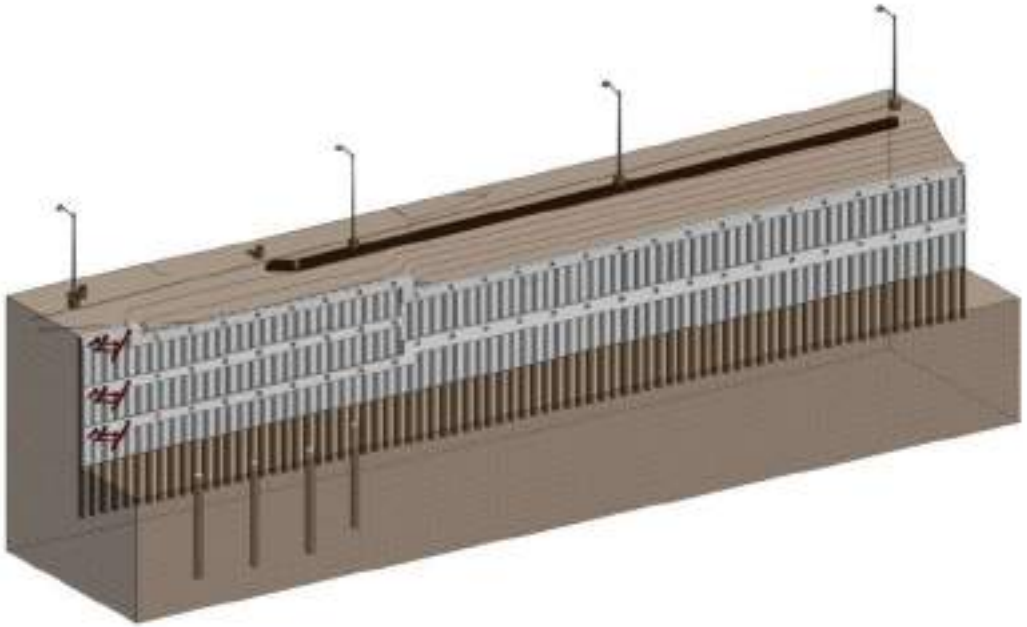
- Cortina de Estacas 600mm // 1.20m Espaçadas:
  - Ancoragens provisórias // 3.60m
  - Escoras metálicas de canto
  - Betão projetado
  - Viga de coroamento compatível com arruamentos e taludes provisórios
  - Vigas de distribuição em betão armado



Cortina de Estacas + Betão Projetado

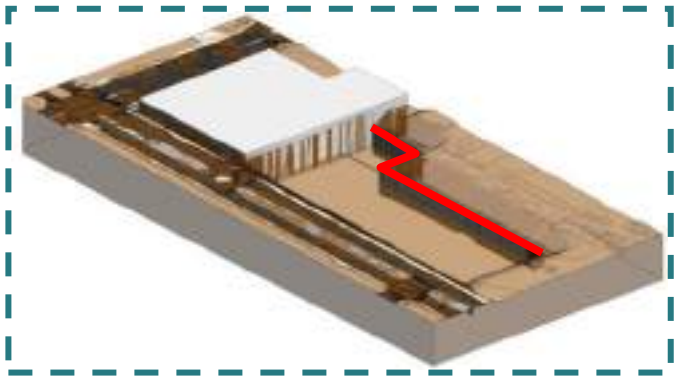


Viga de Distribuição

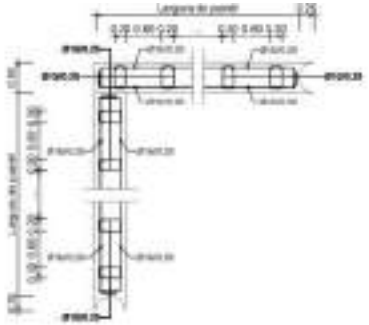


SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Lote B1



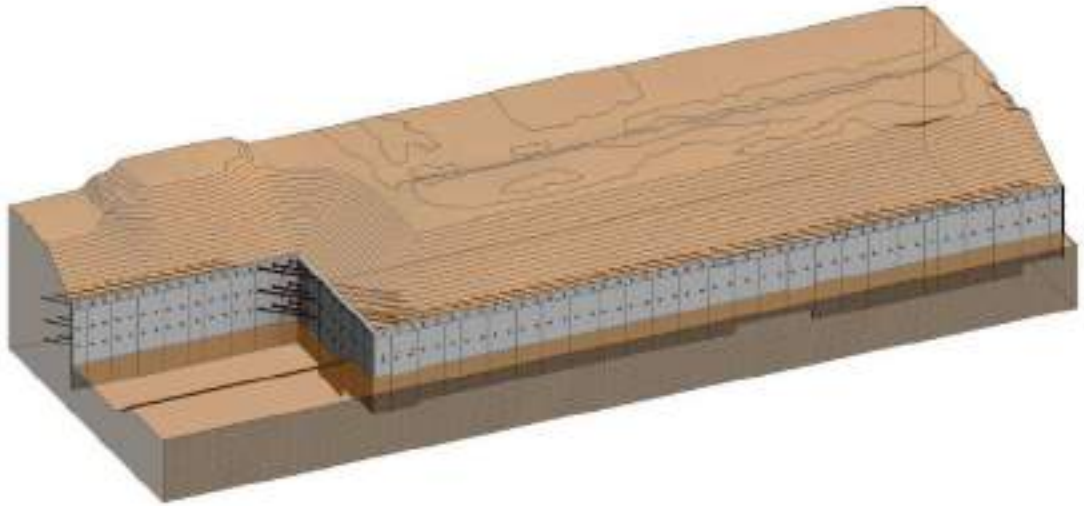
- Parede Moldada 500mm:
  - Ancoragens provisórias // 2.50m
  - Escoras metálicas de canto
  - Muros guia
  - Viga de coroamento compatível com arruamentos e taludes provisórios



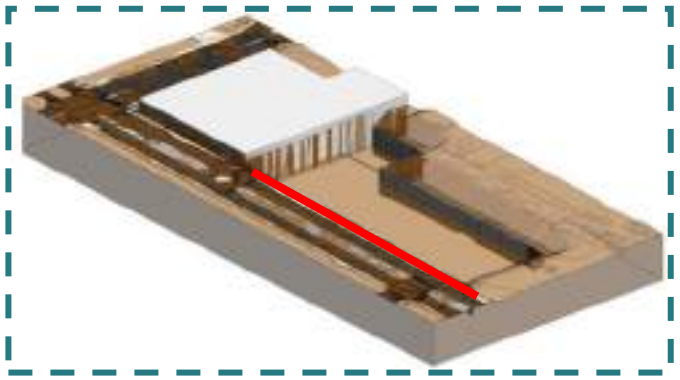
Painel de Canto

Painel de Continuidade

Painel de Fecho

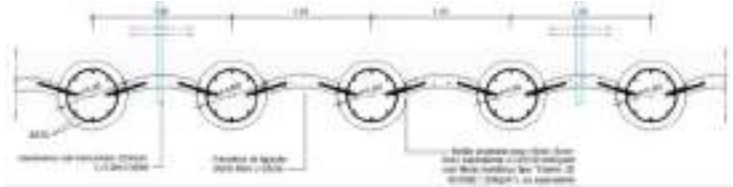


SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

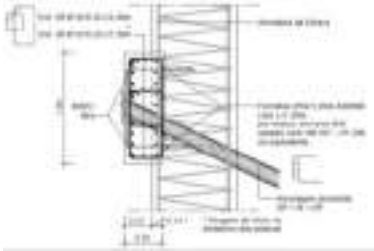


Lote B1

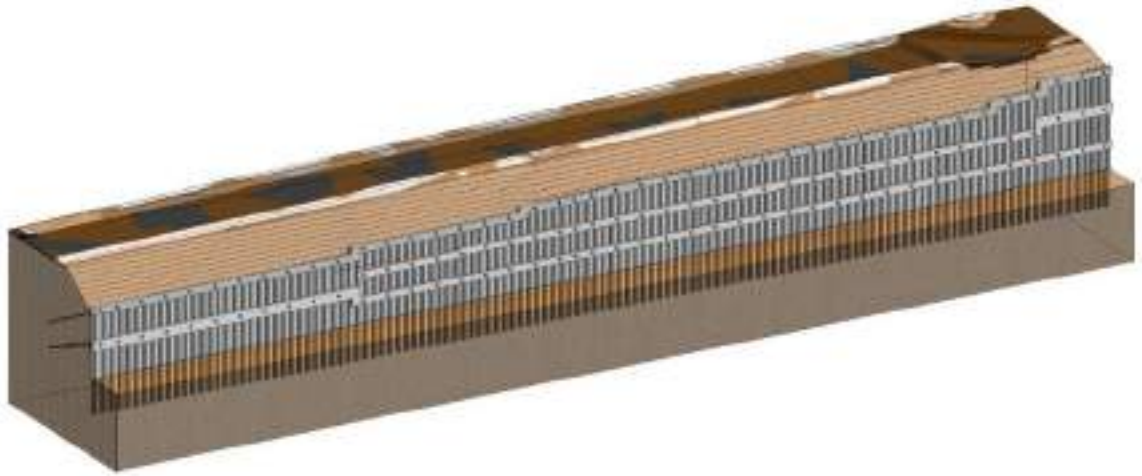
- Cortina de Estacas 600mm // 1.20m Espaçadas:
  - Ancoragens provisórias // 3.60m
  - Escoras metálicas de canto
  - Betão projetado
  - Viga de coroamento compatível com arruamentos e taludes provisórios
  - Vigas de distribuição em betão armado



Cortina de Estacas + Betão Projetado



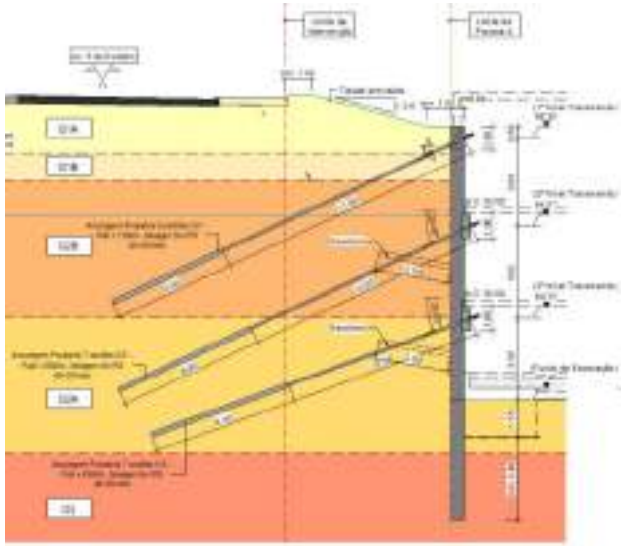
Viga de Distribuição



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

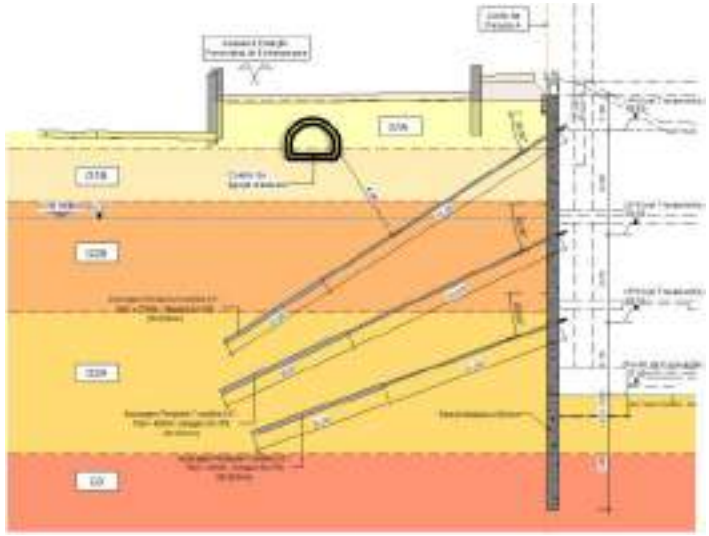
Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo

Secção Tipo 1: Cortina de Estacas



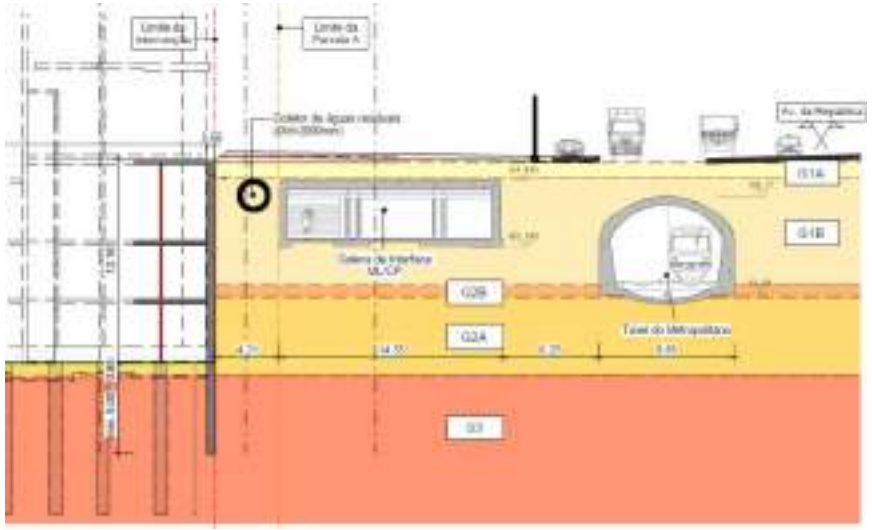
- ✓ Altura 12,5m -> Ficha 4m
- ✓ 3 Níveis de Ancoragens

Secção Tipo 2: Parede Moldada



- ✓ Altura 14m -> Ficha 5m
- ✓ 3 Níveis de Ancoragens

Secção Tipo 3: Parede Moldada

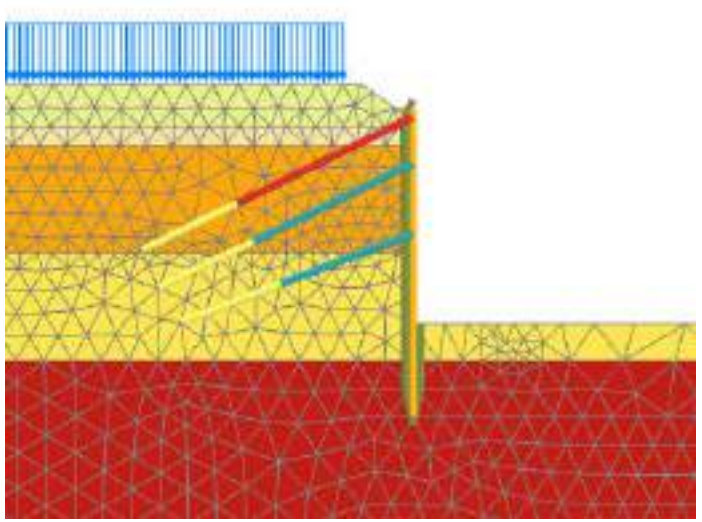


- ✓ Altura 12,5m -> Ficha 5m
- ✓ 3 Níveis de Banda de Laje

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

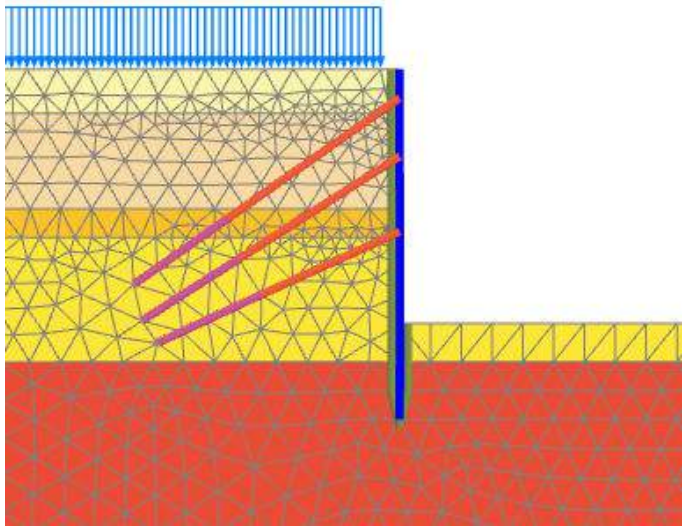
Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo PLAXIS 2D

Secção Tipo 1: Cortina de Estacas



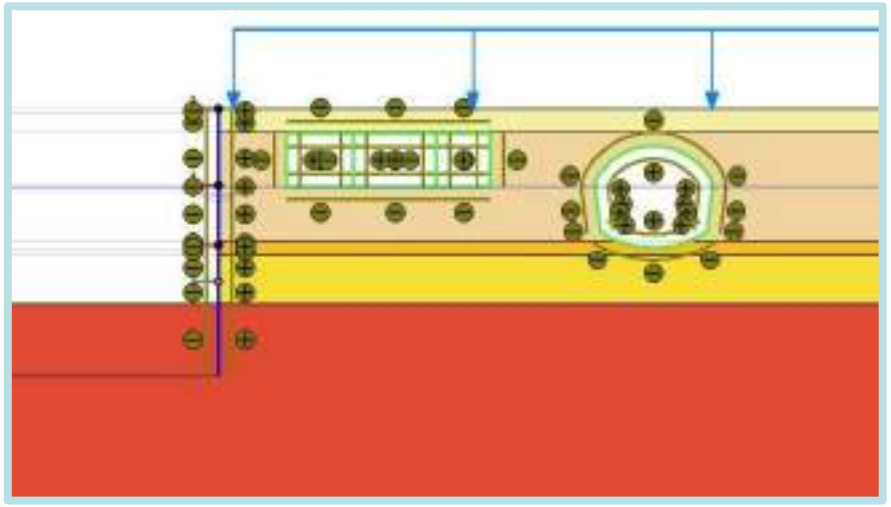
- ✓ Altura 12,5m -> Ficha 4m
- ✓ 3 Níveis de Ancoragens

Secção Tipo 2: Parede Moldada



- ✓ Altura 14m -> Ficha 5m
- ✓ 3 Níveis de Ancoragens

Secção Tipo 3: Parede Moldada



- ✓ Altura 12,5m -> Ficha 5m
- ✓ 3 Níveis de Banda de Laje

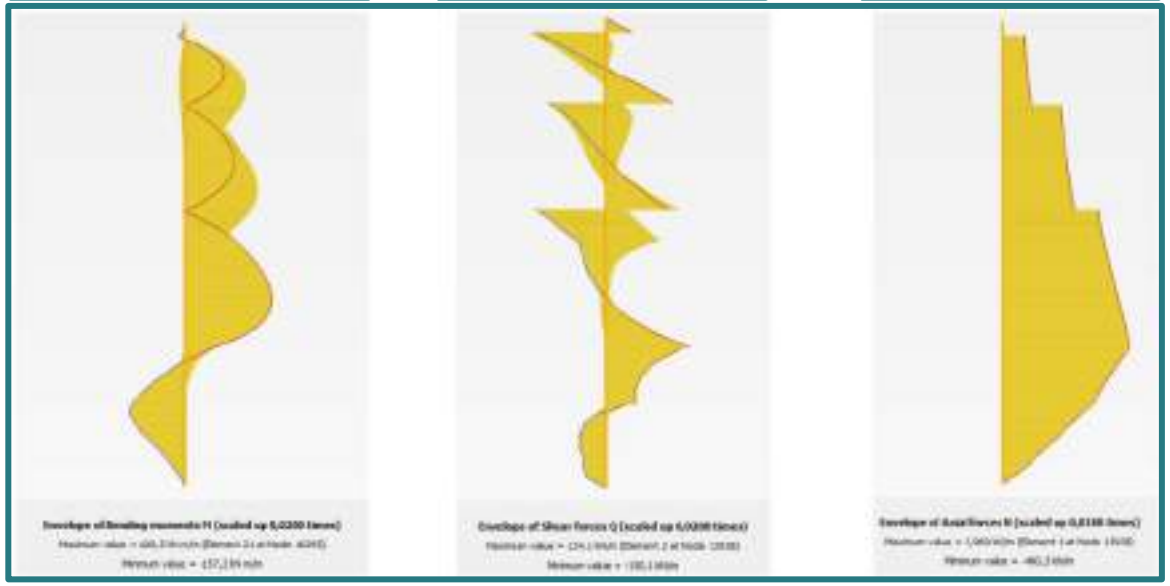
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Resultados PLAXIS 2D

Momento Fletor

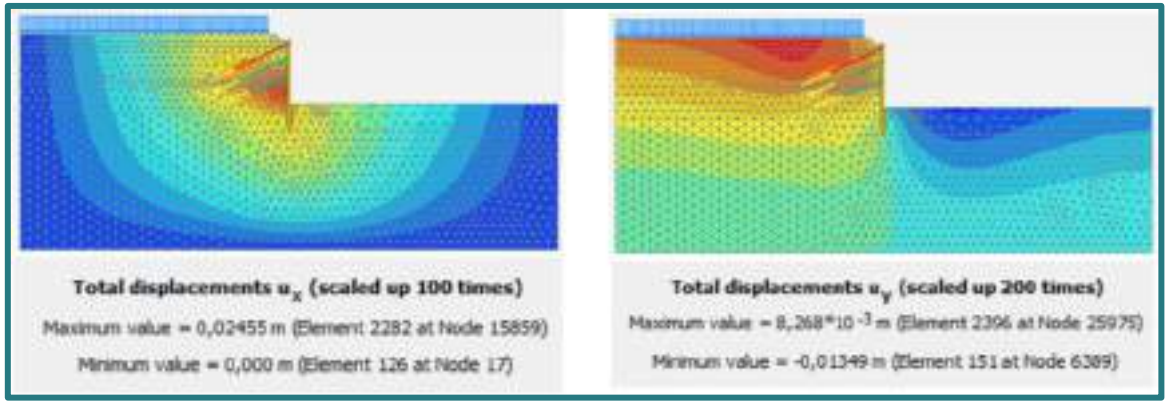
Esforço Transverso

Esforço Normal

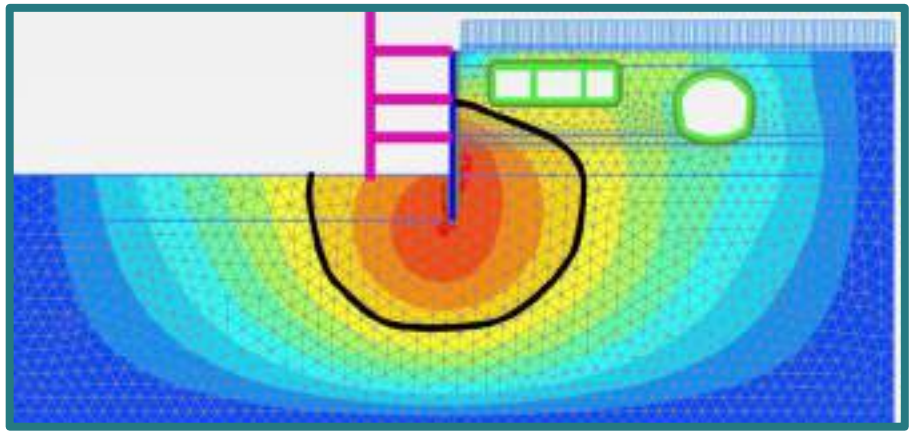


Deformação Horizontal

Deformação Vertical



Deformação Infraestruturas



ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. **Processos Construtivos**
6. Plano de Instrumentação e Observação

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Trabalhos preliminares de escavação e execução de Muros Guia

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Escavação de Paredes Moldadas e Estacas Moldadas

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Colocação de tubos junta em Paredes Moldadas, Betonagem e Caixões de armadura

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Saneamento de Estacas e Montagem da Armadura da Viga de Coroamento

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

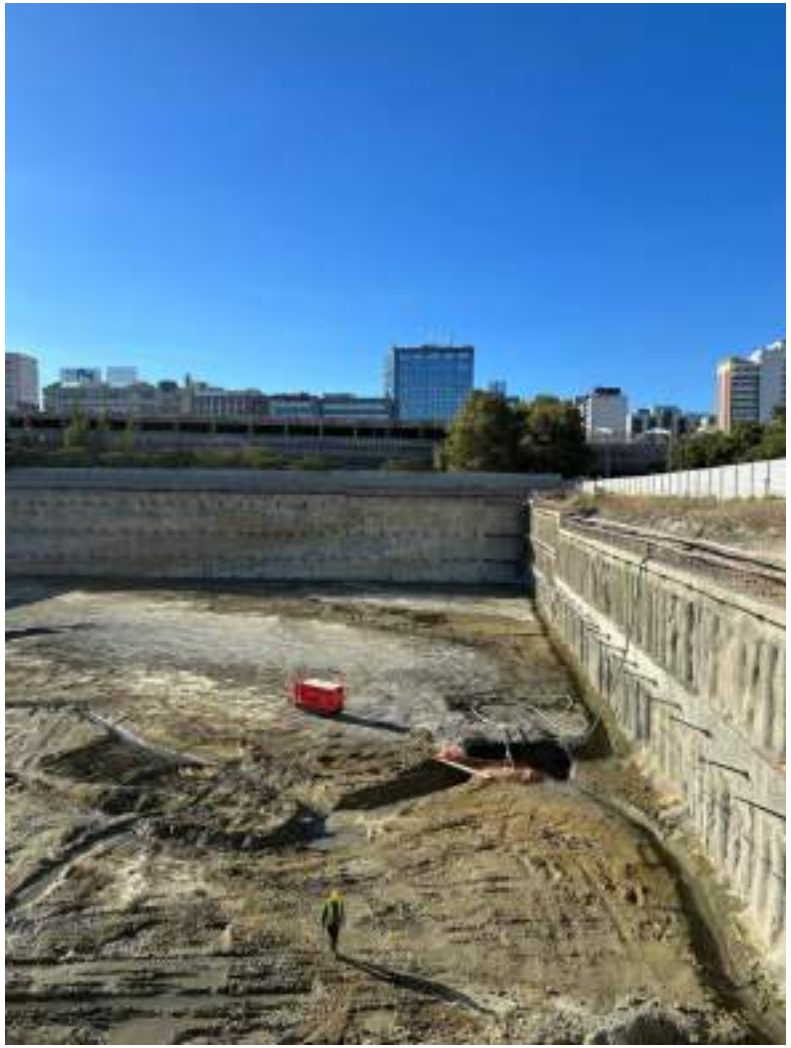
Realização de Ensaios Prévios em Ancoragens

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Trabalhos de Escavação em Profundidade

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Fase Final de Trabalhos: Parcela A



PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Fase Final de Trabalhos: Lote B1

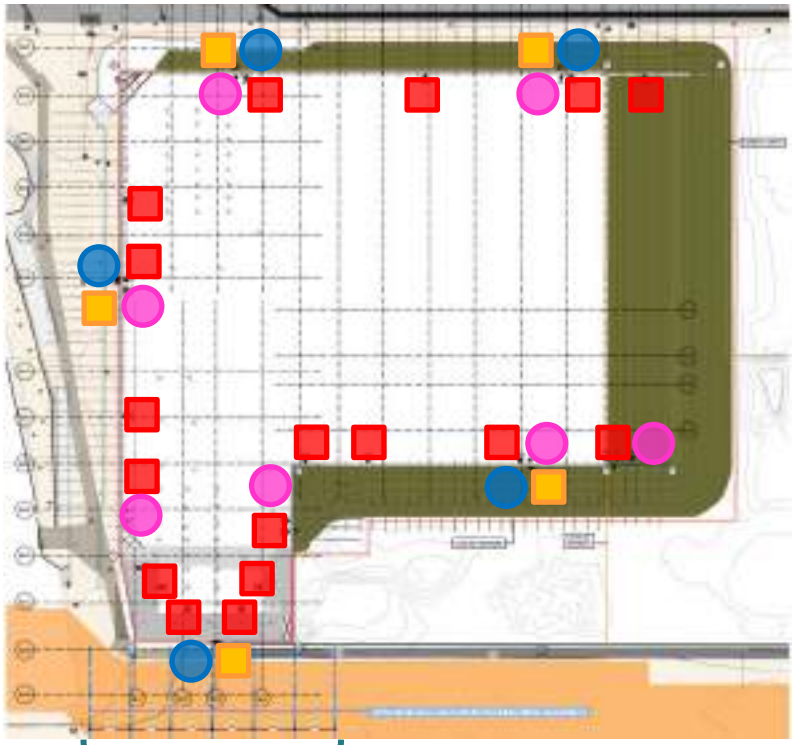
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Processos Construtivos
6. **Plano de Instrumentação e Observação**

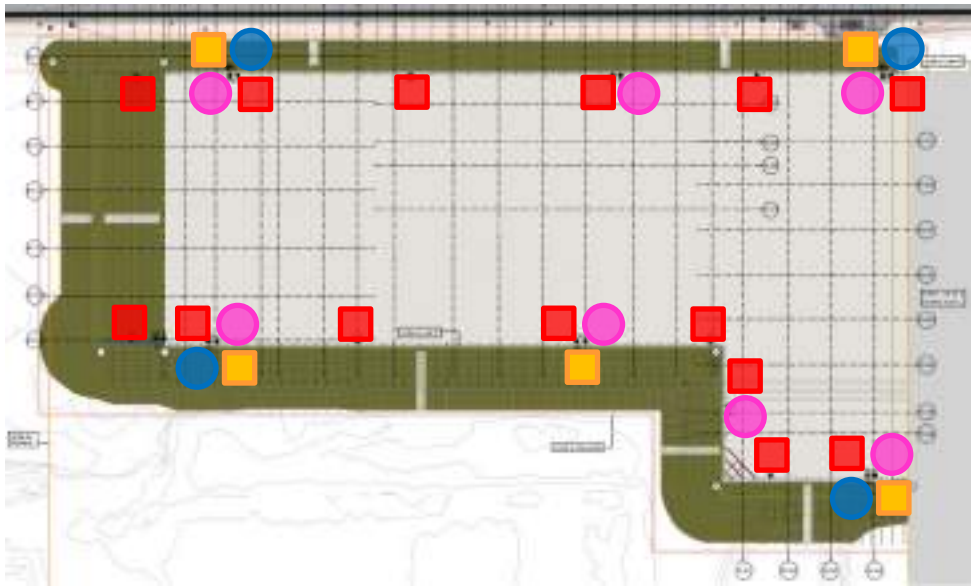
PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Localização dos dispositivos

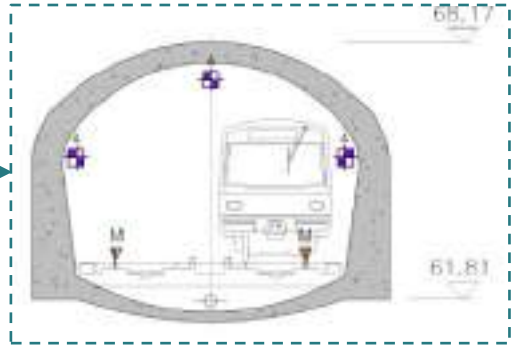
PARCELA A



LOTE B1



7 SECÇÕES DE INSTRUMENTAÇÃO DA GALERIA DO METROPOLITANO
(3 ALVOS E 2 PRISMAS)



- Tiltmeter (x85)

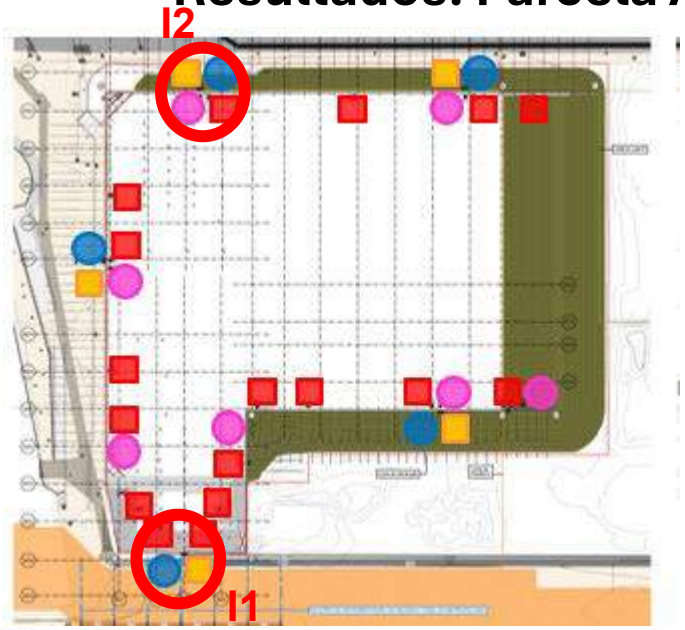
- Inclinómetro (x9)

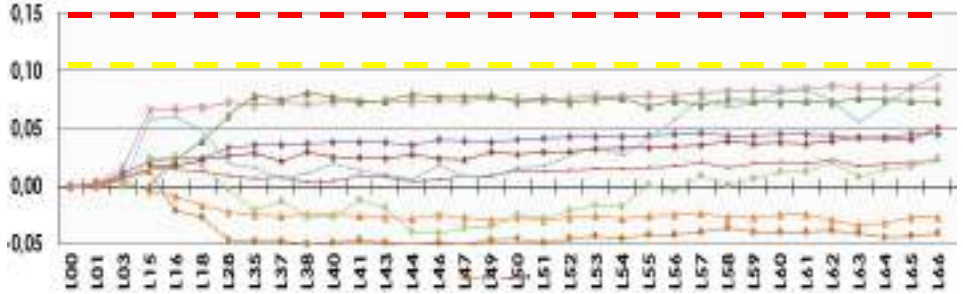
- Piezómetro (x9)

- Célula de Carga (x40)

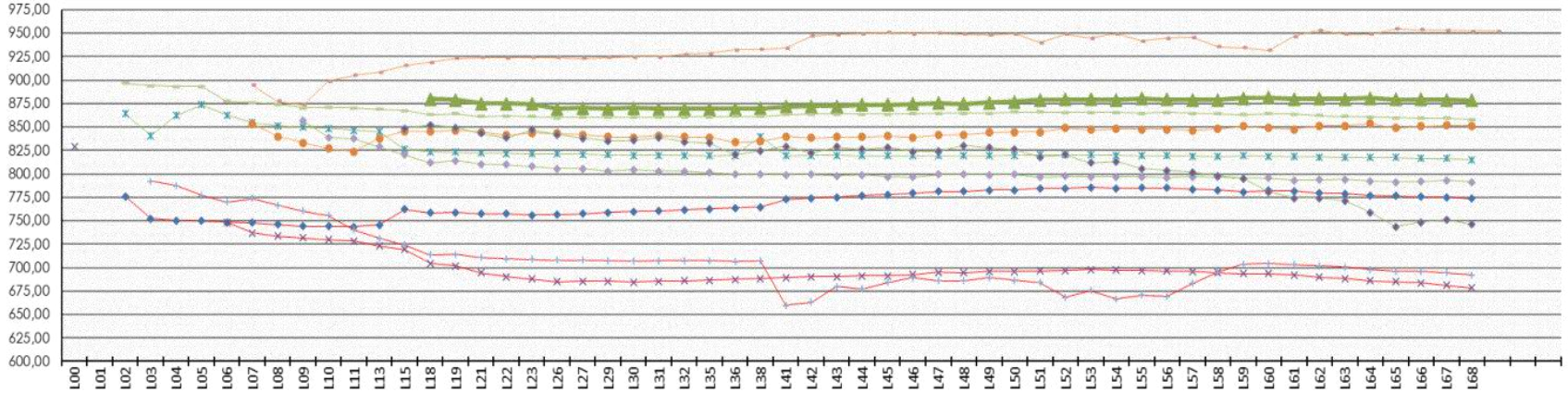
PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Resultados: Parcela A

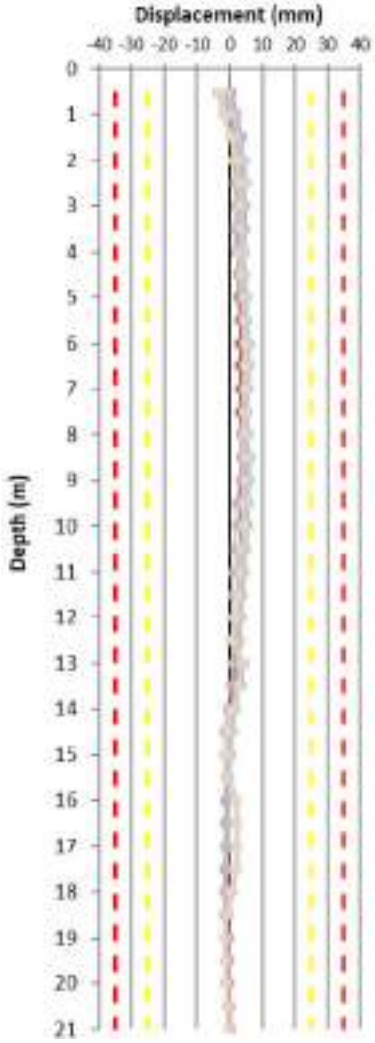




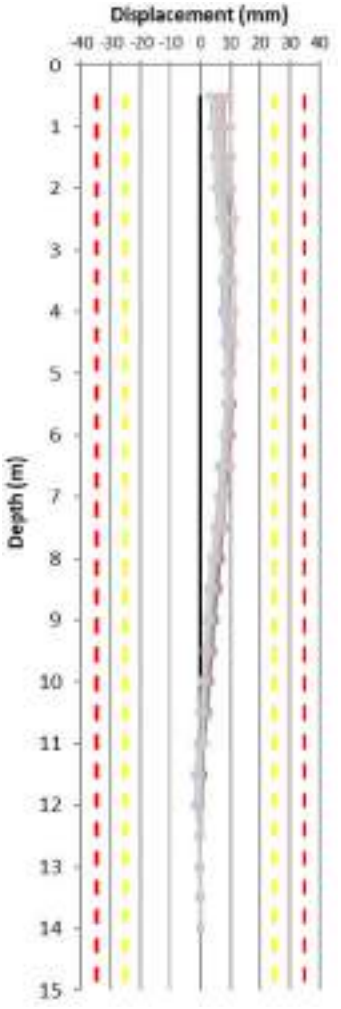
Tiltmeters



Células de Carga



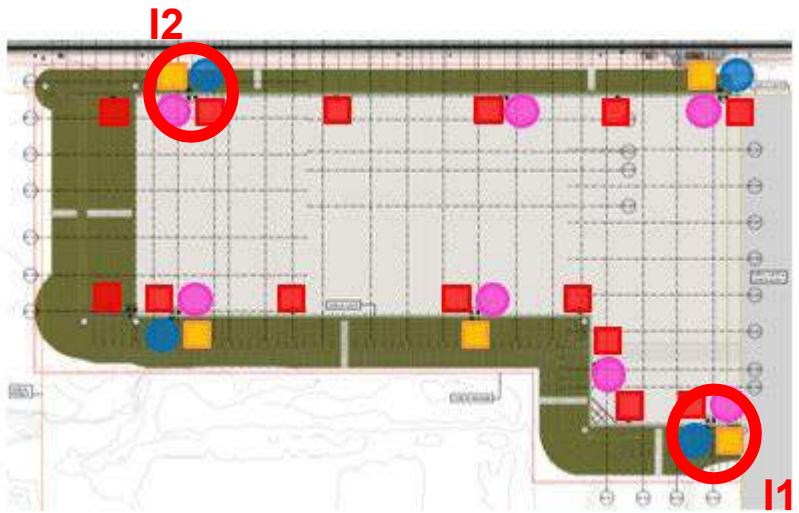
Inclinómetro 1

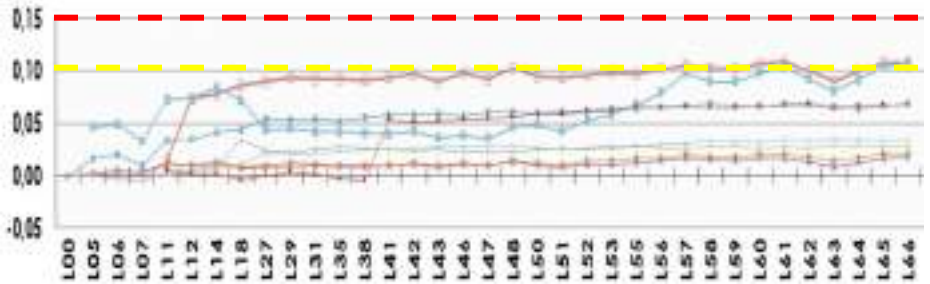


Inclinómetro I2

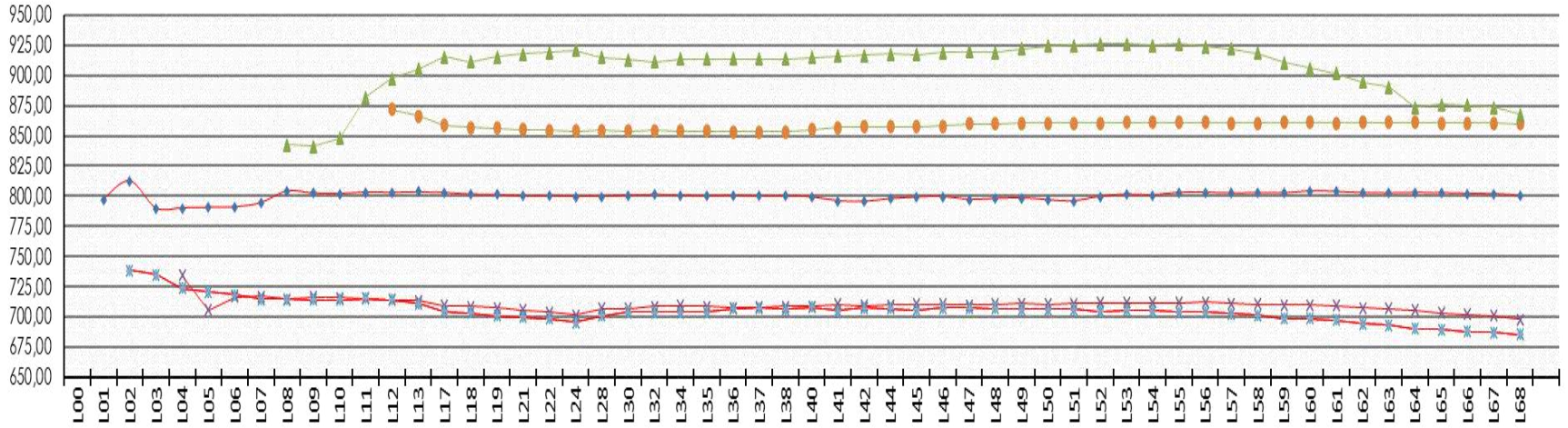
PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Resultados: Lote B1

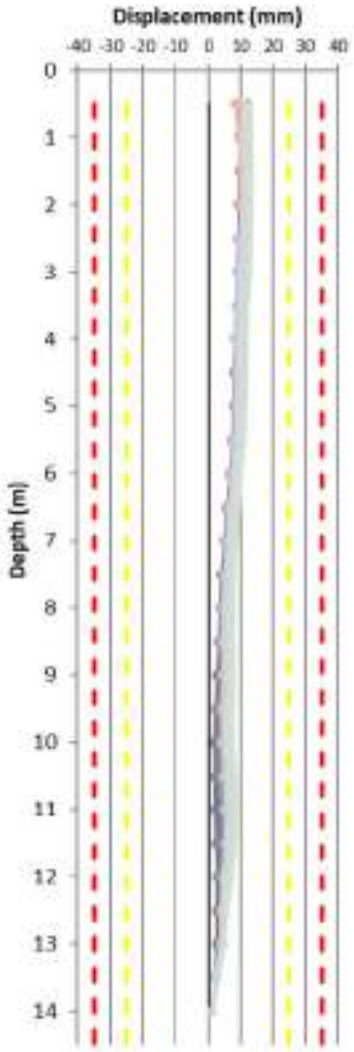




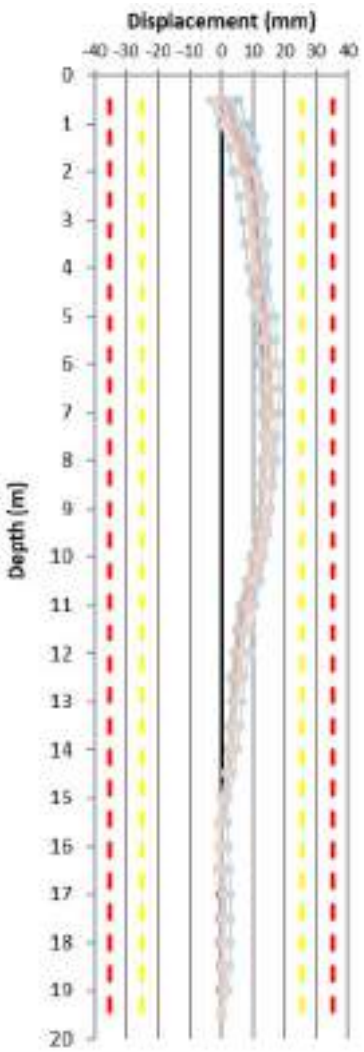
Tiltmeters



Células de Carga



Inclinómetro 1



Inclinómetro I2

Obrigado pela vossa atenção

Agradecimentos

Gestão de Projeto

Rockbuilding
Solid Project Management

Empreiteiro

TEIXEIRA DUARTE

Fiscalização

engexpor

NOVA LINHA CIRCULAR DO METROPOLITANO DE LISBOA: RECALÇAMENTO DE EDIFICIOS DE MEDIO PORTE

Carlos de Oliveira Martins / JETsj Geotecnia
Catarina Fartaria / JETsj Geotecnia
Rui Tomásio / JETsj Geotecnia
Alexandre Pinto / JETsj Geotecnia

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

JETsj

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

ÍNDICE

1. **Introdução**
2. Principais Desafios e Condicionamentos
3. Descrição da Solução
4. Conceção e Dimensionamento
5. Operação de Transferência de Cargas
6. Execução de Trabalhos e Construção

INTRODUÇÃO

NOVA LINHA CIRCULAR DO METROPOLITANO DE LISBOA

TRAÇADO DO LOTE 2 E PRINCIPAIS OBRAS:

- Estação de Santos
- Túnel NATM
- Túnel Cut&Cover
- Poço de Ventilação PV218
- Ligação ao Término do Cais do Sodré
- Remodelação e Ampliação da Estação do Cais do Sodré
- **Recalçamento de Edifícios**

ÍNDICE

1. Introdução
2. **Principais Desafios e Condicionamentos**
3. Descrição da Solução
4. Conceção e Dimensionamento
5. Operação de Transferência de Cargas
6. Execução de Trabalhos e Construção

PRINCIPAIS DESAFIOS E CONDICIONAMENTOS

- **Área Densamente Urbanizada**
  - Densidade de estruturas e infraestruturas

- **Complexidade do cenário geológico, geotécnico e hidrogeológico:**
  - Área de aterro marítimo
  - Nível freático elevado
  - Efeito maré

- **Zona histórica da cidade:**
  - Edifícios Centenários
  - Antigo Convento da Esperança

PRINCIPAIS DESAFIOS E CONDICIONAMENTOS

- **Condicionamentos Geológico e Geotécnicos:**

Materiais Recentes

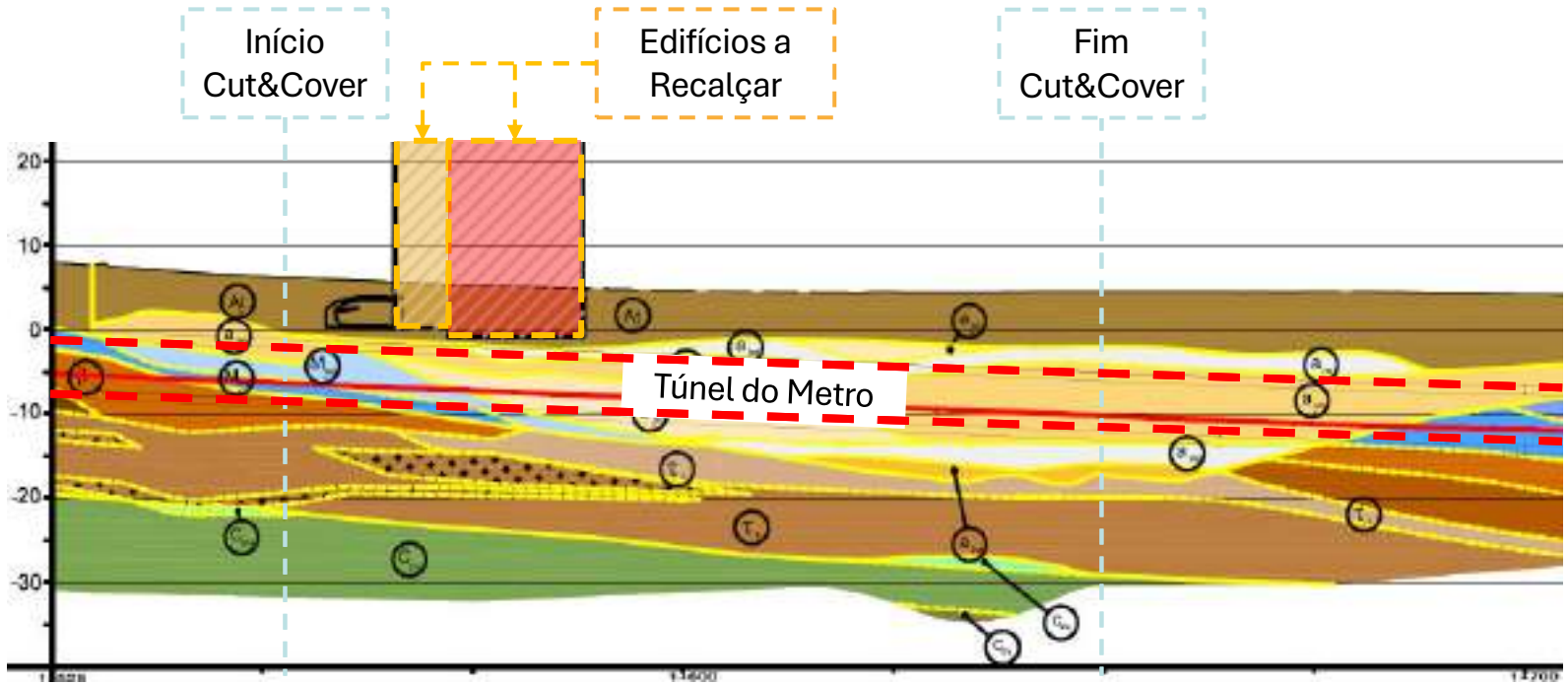
(Aterros e Aluvião – essencialmente arenosos)

Miocénico

(Argilas e Calcários)

Complexo Vulcânico de Lisboa

(Basaltos e Tufos Vulcânicos)



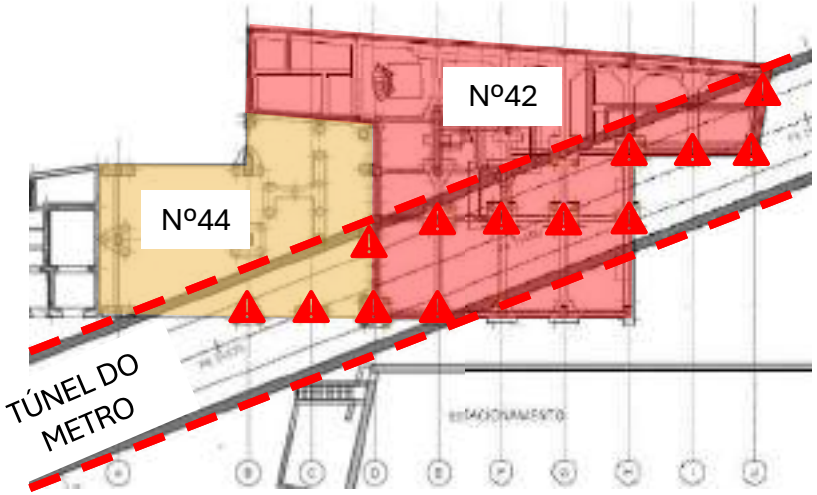
PRINCIPAIS DESAFIOS E CONDICIONAMENTOS

- **Edifícios nº42 e nº44 da Avenida D. Carlos I (século XX):**
  - Estrutura de betão armado
  - Fundações indiretas por estacas
  - 9 pisos elevados e 1 piso enterrado

- **Edifício nº42** foi recentemente alvo de trabalhos de reabilitação e reforço para conversão em uso residencial

- **Edifício nº44** encontra-se em estado original e em aparente bom estado de conservação, com utilização para escritórios

- **Necessidade de recalçar vários pilares** ao longo da área de intervenção:
  - Solução compatível com equipamento que consiga operar dentro das caves do edifício (pé direito máximo de 3,0m)



ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Desafios e Condicionamentos
3. **Descrição da Solução**
4. Conceção e Dimensionamento
5. Operação de Transferência de Cargas
6. Execução de Trabalhos e Construção

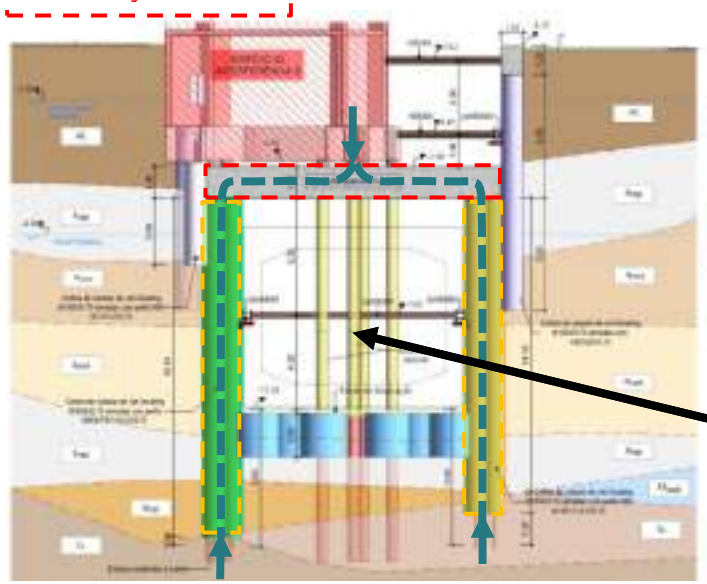
DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

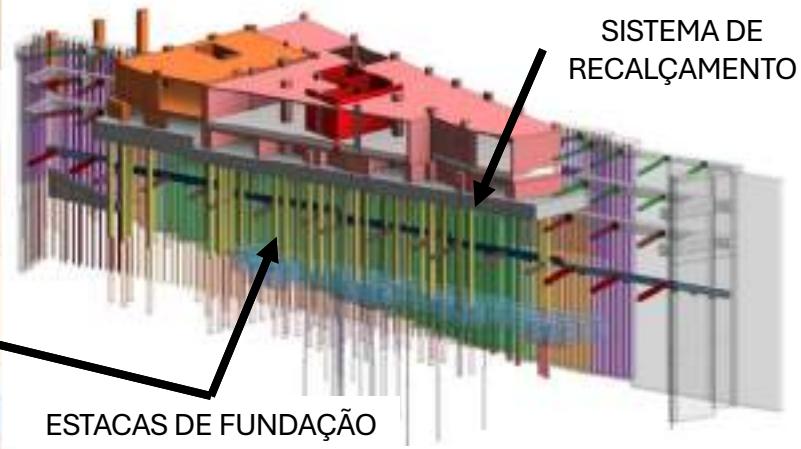
SOLUÇÃO DE RECALÇAMENTO:

- Laje de betão armado, não pré-esforçado:
  - Localizada entre os maciços de estacas existentes e o túnel do metro a construir
  - Geometria de aproximadamente 50,0 x 13,0m
  - Espessura entre 1.40m e1.80m
- Apoiada em dois alinhamentos de colunas de jet-grouting, reforçadas com perfis tubulares metálicos

- Alteração do sistema de fundação dos edifícios e do encaminhamento de cargas:
  - Pilares do Edifício
  - Laje de Recalçamento (flexão cilíndrica)
  - Colunas de Jet-grouting
  - Solo de fundação competente (abaixo do túnel)

- Possibilitar a desativação das estacas existentes sobre a área de intervenção, permitindo a escavação e execução do novo túnel

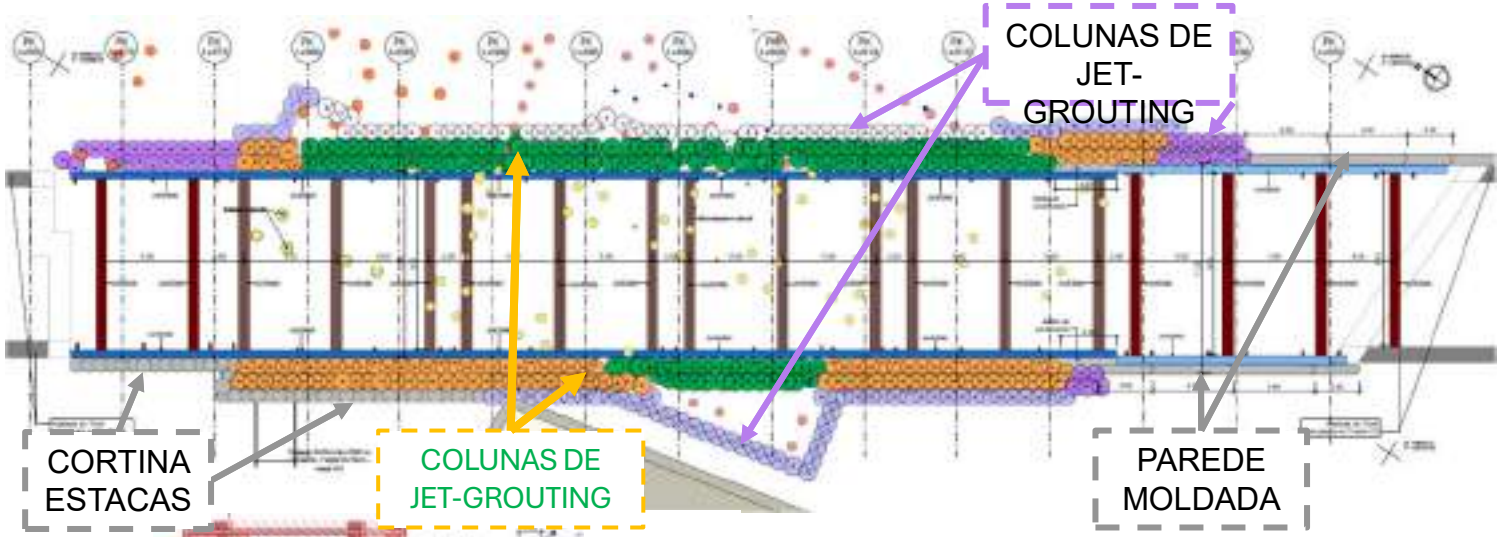


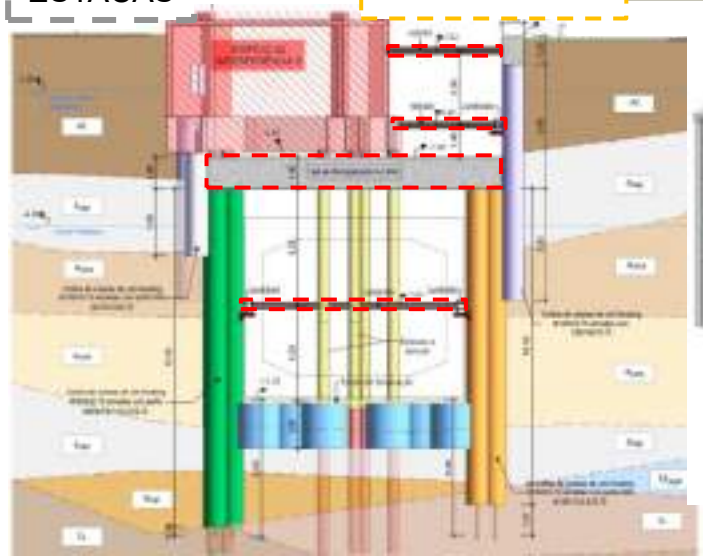


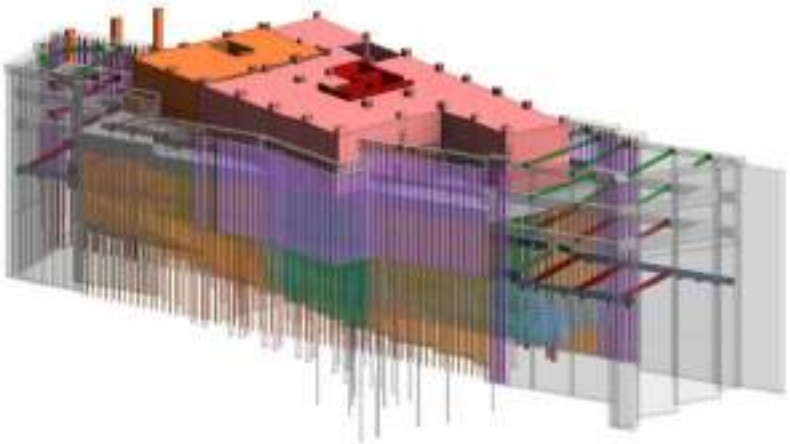
DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

SOLUÇÃO DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA:

- Dupla cortina de colunas de jet-grouting Ø1.0m//700mm
  - Reforçadas com perfis tubulares metálicos
- Zona da laje de recalçamento:
  - Terceiro alinhamento de colunas de jet-grouting, também reforçadas com perfis tubulares metálicos
- Zonas de ligação com as trincheiras vizinhas (Tímpanos):
  - Cortina de Estacas, topo Norte
  - Parede Moldada, topo Sul
- Travamento provisório:
  - 4 níveis de escoras metálicas // 5.0m
  - Vigas de distribuição metálicas e em betão armado
  - Laje de betão armado como 3º nível de travamento







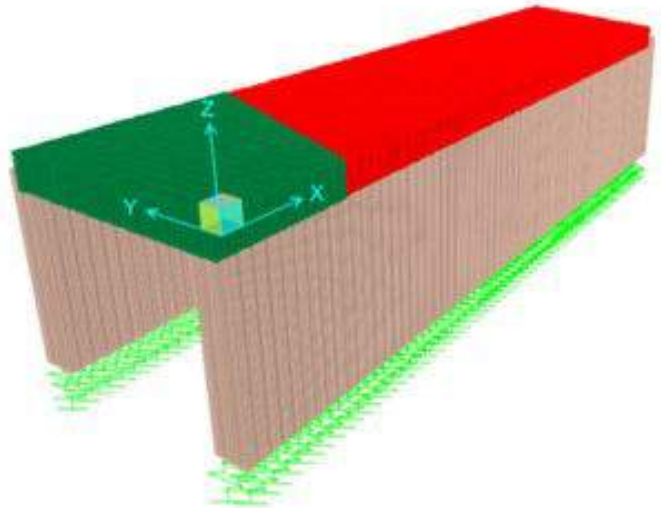
ÍNDICE

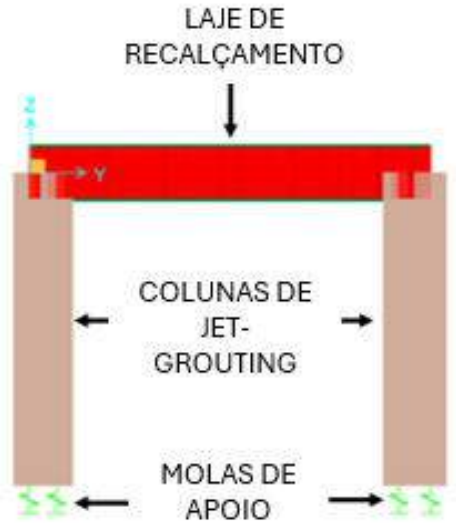
1. Introdução
2. Principais Desafios e Condicionamentos
3. Descrição da Solução
4. **Conceção e Dimensionamento**
5. Operação de Transferência de Cargas
6. Execução de Trabalhos e Construção

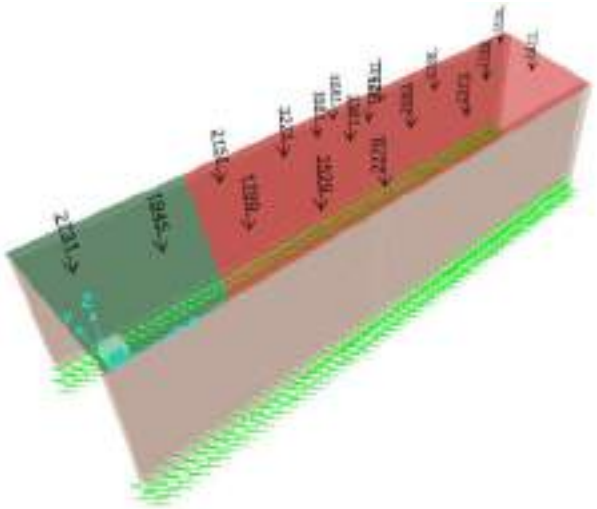
CONCEÇÃO E DIMENSIONAMENTO

LAJE DE RECALÇAMENTO:

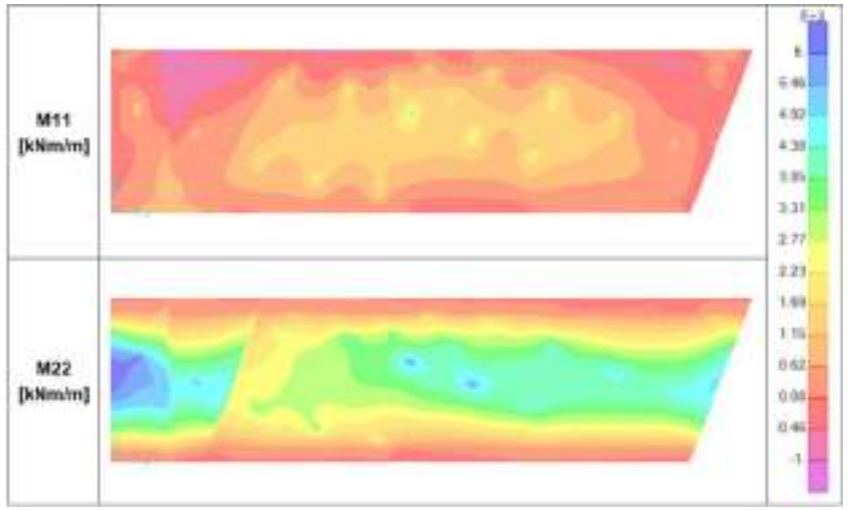
- Dimensionamento recorrendo a software de elementos finitos de análise estrutural *SAP2000*:
  - Elementos tipo Shell
  - Apoios do tipo Spring
  - Estimativa de Esforços e de Deformações Elásticas



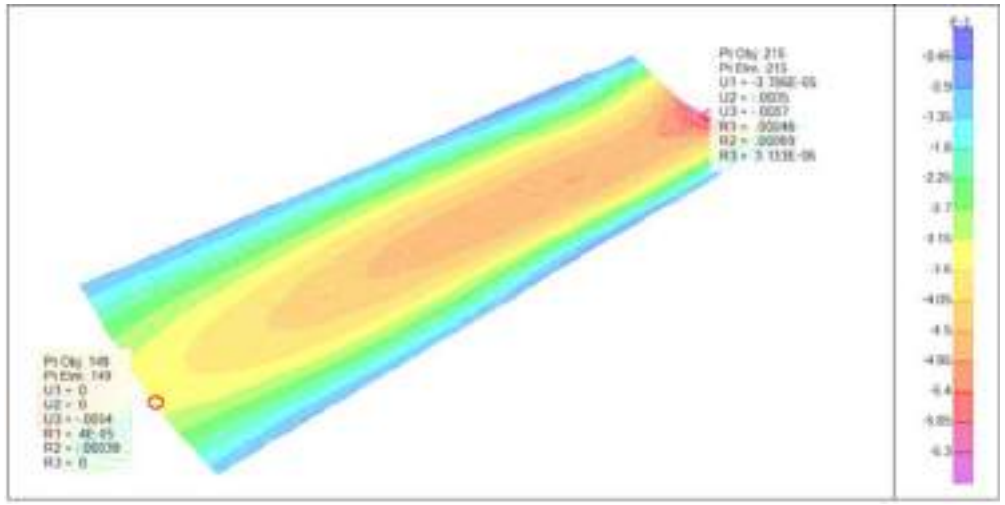




Momentos Fletores (ELU)



Deformações Elásticas (ELS)

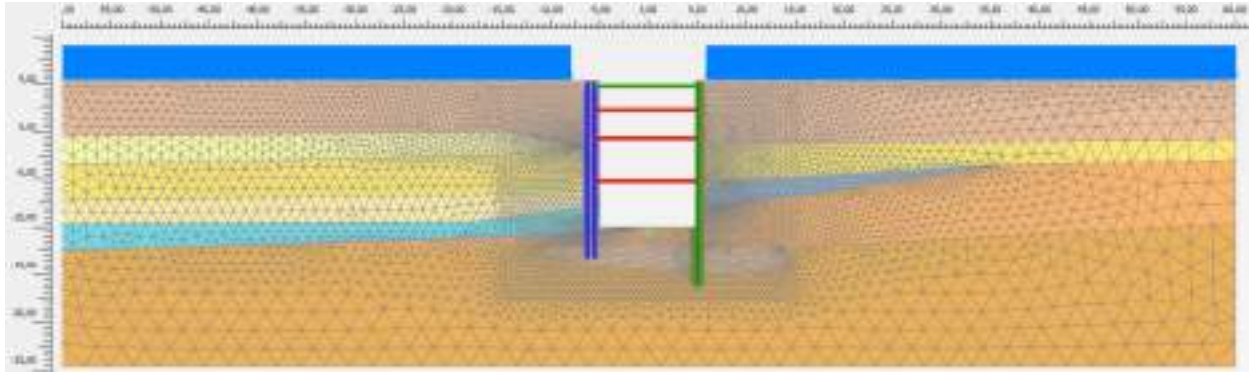


CONCEÇÃO E DIMENSIONAMENTO

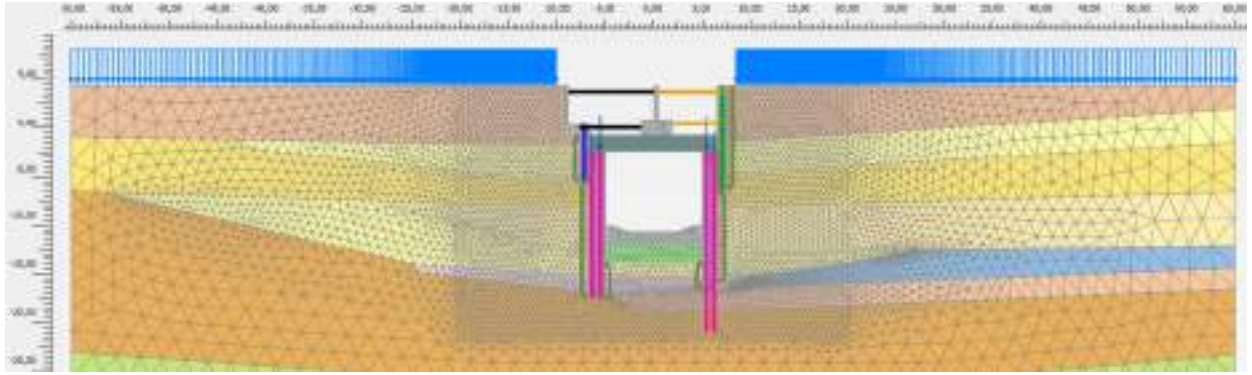
ESTRUTURA DE CONTENÇÃO PERIFÉRICA:

- Dimensionamento recorrendo ao software de elementos finitos de análise geotécnica *PLAXIS 2D*
  - Modelos constitutivos do comportamento mecânico do terreno:
    - Solos: Hardening-Soil
    - Maciços rochosos: Mohr-Coulomb
  - Escoras metálicas: Node-to-Node anchor
  - Jet-grouting: Cluster com comportamento do tipo Mohr Coulomb
  - Microestacas: Embedded Beam Row

Secção PK 1+570 – Fase Escavação Final



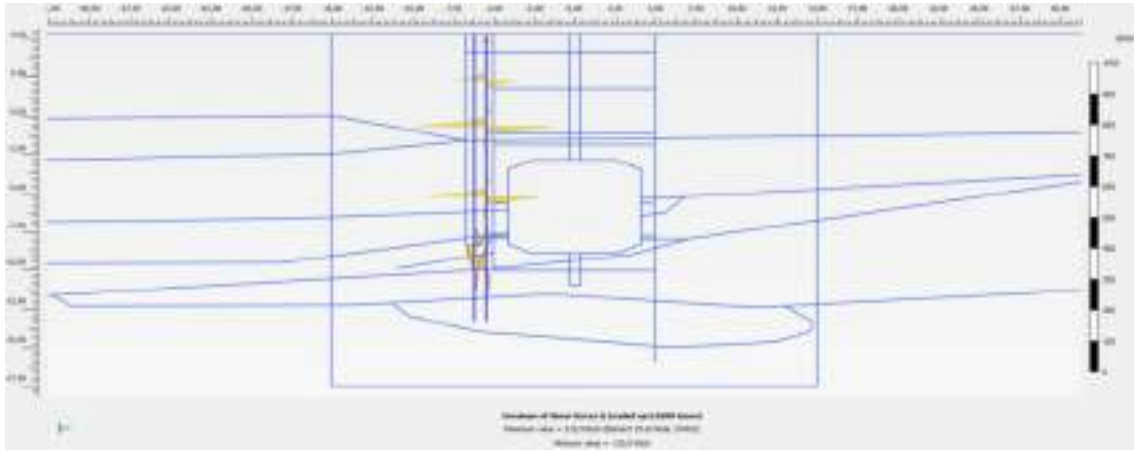
Secção PK 1+615 – Fase Escavação Final



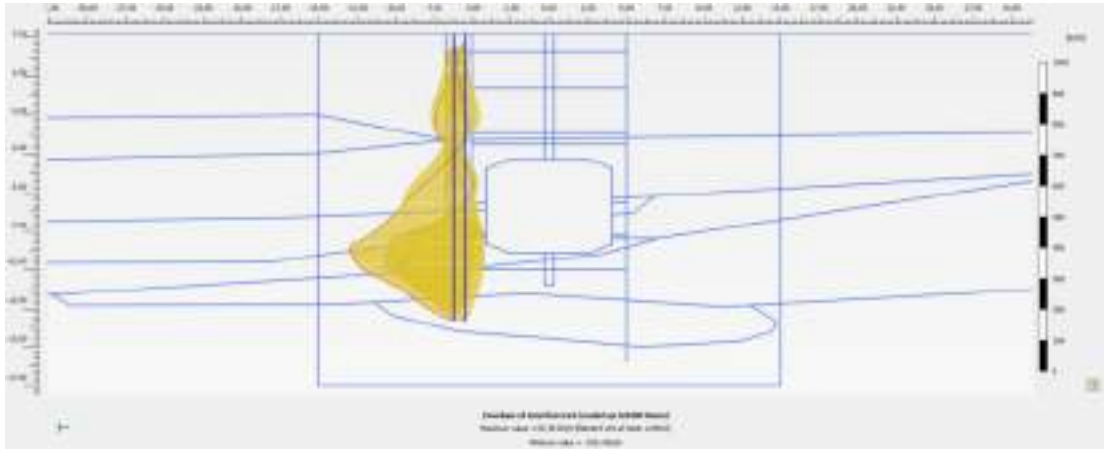
CONCEÇÃO E DIMENSIONAMENTO

LAJE DE RECALÇAMENTO E ESTRUTURA DE CONTENÇÃO PERIFÉRICA: ESFORÇOS E DEFORMAÇÕES

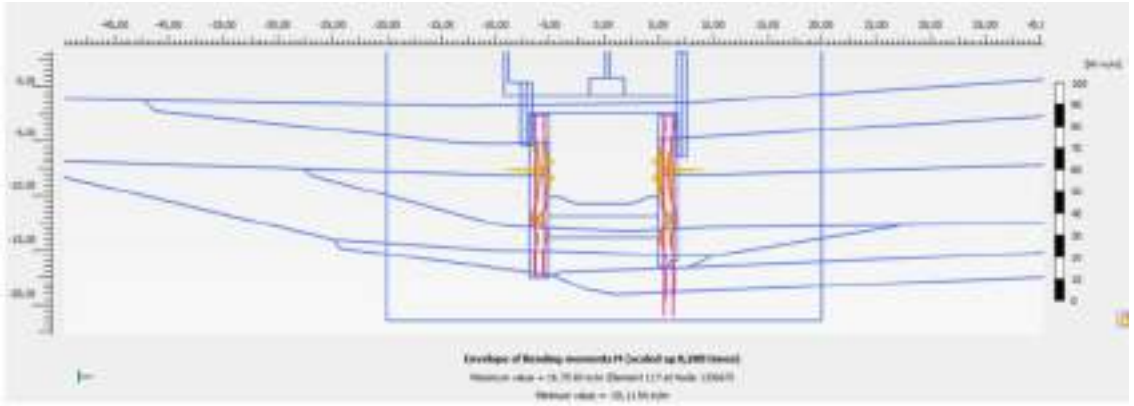
Esforço transverso nos perfis de reforço das colunas de jet-grouting



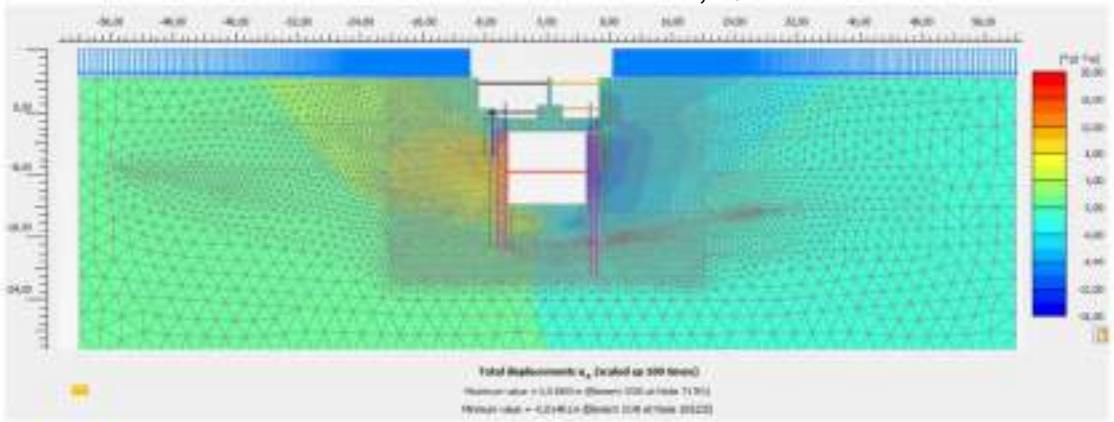
Esforço normal nos perfis de reforço das colunas de jet-grouting



Momento fletor nos perfis de reforço das colunas de jet-grouting



Deformação Horizontal ($U_{x,máx}$=18mm)



ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Desafios e Condicionamentos
3. Descrição da Solução
4. Conceção e Dimensionamento
5. **Operação de Transferência de Cargas**
6. Execução de Trabalhos e Construção

OPERAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE CARGAS

- 18 Pilares e Paredes
- 41 Macacos Hidráulicos (ENERPAC LPL-2002)
- 18 Patamares de Carga (20 a 50 bars)
- Dispositivos de Instrumentação:
  - Sensores de nível líquido
  - Extensómetros
- Critérios de deformação para cada etapa

ENERPAC LPL-2002

Dispositivos de Instrumentação

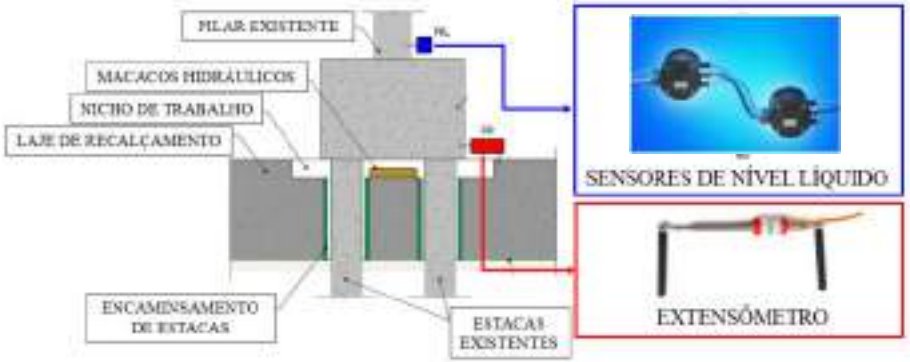


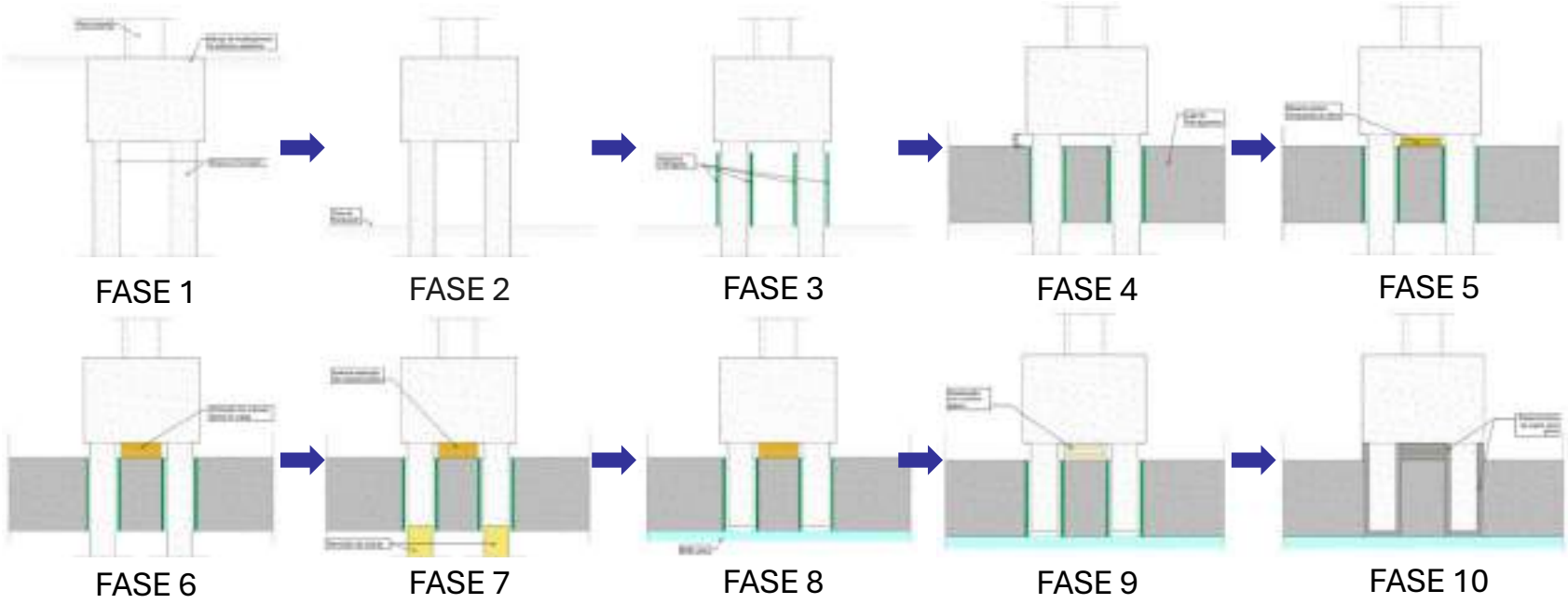
Tabela de critérios de controlo da deformação

Macaco	Carga máxima estimada (ação permanente)	Quantidade de Cilindros	Patamar de pressão	Pressão / cil (bar)	Pressão (bar)	Carga instalada (kN)	Percentagem de carga instalada (%)	Deformação vertical (mm)		
								Limite de alerta	Limite de referência	Limite de alarme
1	3220.0	2	1	50	100	401,3	12,5%	0,42	0,53	0,69
			2	100	200	802,5	24,9%	0,73	0,91	1,19
			3	150	450	1.771,0	55,0%	1,04	1,30	1,69
			4	170	510	1.845,0	57,3%	1,18	1,48	1,92
			5	180	540	1.910,0	59,3%	1,22	1,53	1,98
			6	200	600	1.701,0	52,8%	1,34	1,68	2,18
			7	220	660	1.871,1	58,1%	1,47	1,83	2,38
			8	240	720	2.041,2	63,3%	1,59	1,99	2,58
			9	250	750	2.126,3	66,0%	1,65	2,06	2,68
			10	270	810	2.296,4	71,3%	1,77	2,22	2,88
			11	300	900	2.552,5	79,2%	1,96	2,45	3,18
			12	310	930	2.637,6	81,9%	2,05	2,57	3,34
			13	350	1.050	2.978,8	92,4%	2,18	2,74	3,56
			14	380	1.140	3.234,9	100,3%	2,33	2,90	3,77
			15					2,34	2,93	3,80
			16					2,36	2,95	3,83
			17					2,37	2,96	3,85
			18					2,38	2,98	3,88

OPERAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE CARGAS

FASEAMENTO DO PROCEDIMENTO DE TRANSFERÊNCIA DE CARGAS

- **Fase 1:** Situação existente. Instalação do sistema de instrumentação nos pilares;
- **Fase 2:** Escavação até à base da laje de recalçamento
- **Fase 3:** Encamisamento das estacas
- **Fase 4:** Construção da laje de recalçamento
- **Fase 5:** Instalação dos macacos hidráulicos e escavação sob a laje
- **Fase 6:** Ativação dos macacos hidráulicos e aplicação do procedimento transferência de carga
- **Fase 7:** Demolição das estacas
- **Fase 8:** Restantes trabalhos de escavação e construção do túnel
- **Fase 9:** Colocação de calços provisórios e remoção dos macacos
- **Fase 10:** Ligação definitiva da laje de recalçamento às fundações do edifício



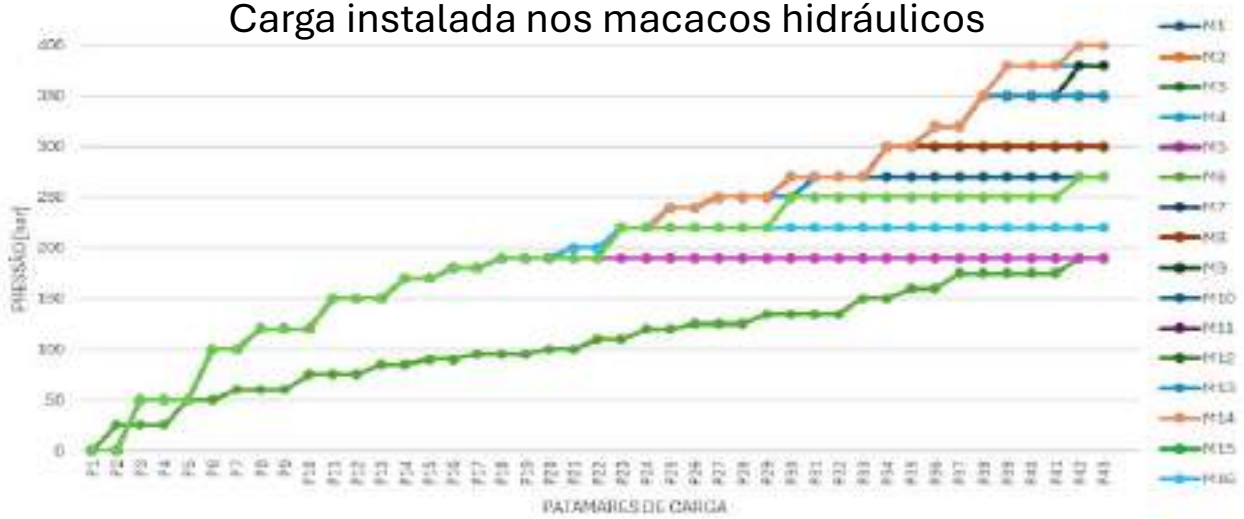
OPERAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE CARGAS

FASE 6: ATIVAÇÃO DOS MACACOS HIDRÁULICOS E APLICAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE CARGA

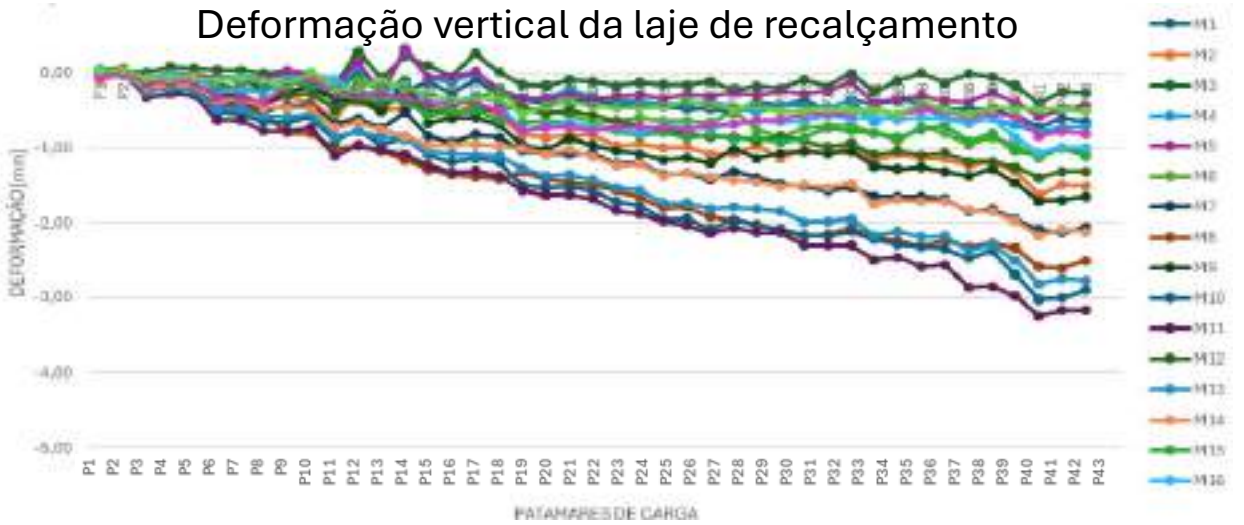
- **Estimativa de Cargas:**
  - Geralmente adequada e consistente com as registadas
  - Pontualmente algumas cargas aplicadas foram inferiores ou superiores ao valor estimado (ajustadas para evitar assentamentos diferenciais)
  - Pilar P10: Carga instalada inferior à estimada (67,5% de carga aplicada com uma deformação vertical de 1,3mm);
  - Pilares P11, P12 e P13: Carga instalada superior à estimada (118,1% de carga aplicada com uma deformação vertical de 1,3mm a 3,1mm);

- **Estimativa de Deformações:**
  - Geralmente superior aos valores registados
  - Próxima dos valores registados nos pilares P2 (1,50mm), P10 (3,00mm) e P14 (2,09mm)

Carga instalada nos macacos hidráulicos



Deformação vertical da laje de recalçamento



OPERAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE CARGAS

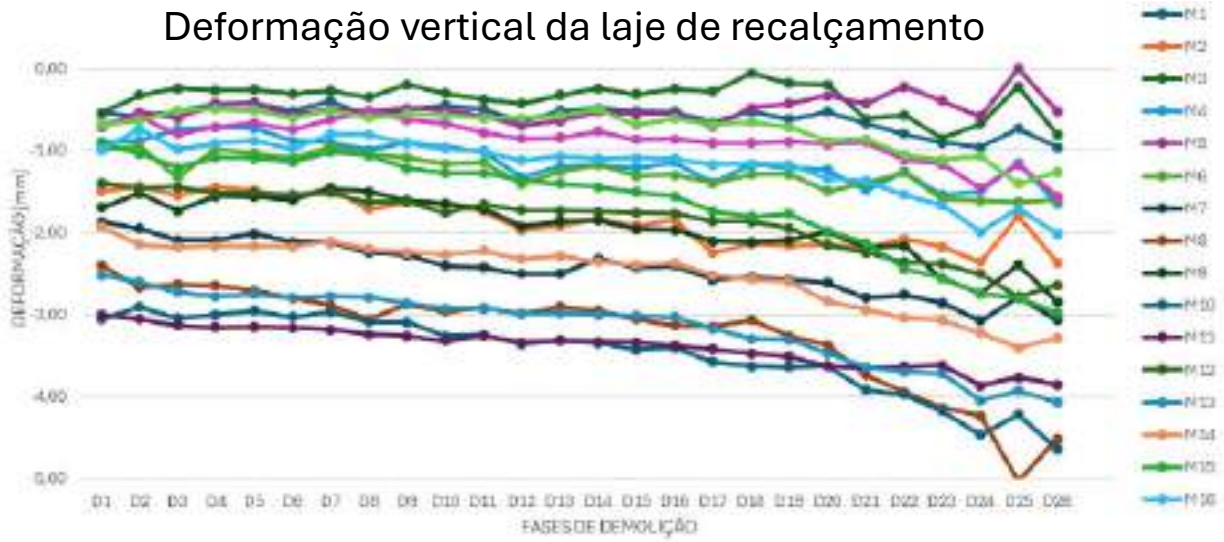
FASE 7: DEMOLIÇÃO DAS ESTACAS

- **Estimativa de Cargas:**
  - Ocorreram aumentos de carga em todos os macacos:
    - Cargas não foram totalmente transferidas de forma ativa na Fase 6
    - Evitou-se o tensionamento das estacas pela aplicação de cargas excessivas, minimizando os efeitos dinâmicos resultantes da libertação dessa energia na fase de demolição

- **Estimativa de Deformações:**
  - Abaixo dos critérios limite definidos para eventual reativação dos macacos hidráulicos (assentamentos inferiores a 5mm)

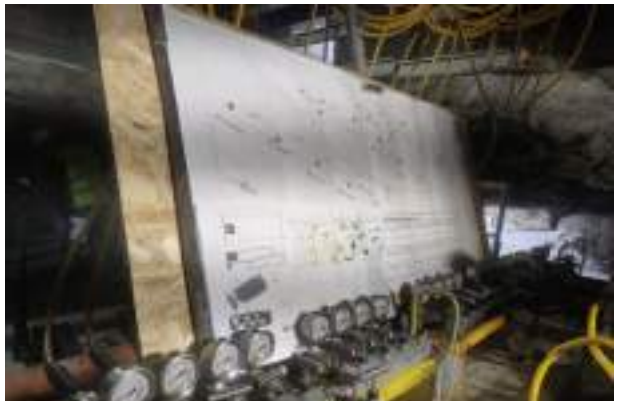
Carga instalada nos macacos hidráulicos

Deformação vertical da laje de recalçamento



OPERAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE CARGAS

PROCEDIMENTO DE TRANSFERÊNCIA DE CARGAS



Mesa de controlo de pressão nos macacos

Macacos hidráulicos

Instalação de calços provisórios

Ativação de macacos hidráulicos e procedimento de transferência de cargas

Encamisamento de estacas

Demolição de estacas

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Desafios e Condicionamentos
3. Descrição da Solução
4. Conceção e Dimensionamento
5. Operação de Transferência de Cargas
6. **Execução de Trabalhos e Construção**

EXECUÇÃO DE TRABALHOS E CONSTRUÇÃO

Execução de colunas de jet-grouting

Instalação do 1º nível de escoras metálicas de travamento

Trabalhos de escavação geral na zona de fundações por estacas existentes a recalçar

EXECUÇÃO DE TRABALHOS E CONSTRUÇÃO

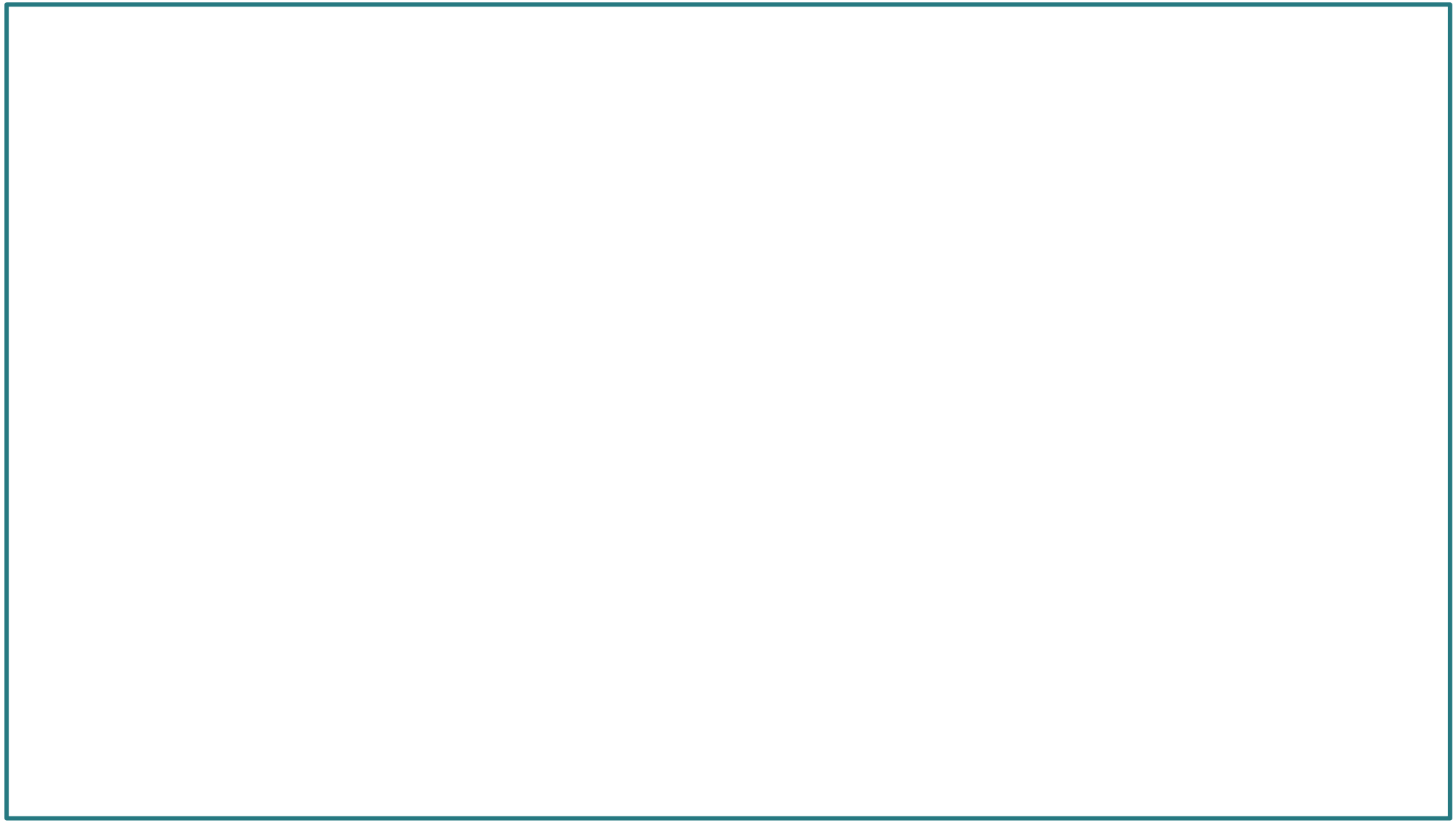
Instalação do 2º e 3º nível de escoras metálicas na zona de cortina de estacas (topo Norte) e de parede moldada (topo Sul)

Montagem da armadura da laje de recalçamento

Instalação do 4º nível de escoras metálicas de travamento

EXECUÇÃO DE TRABALHOS E CONSTRUÇÃO

EXECUÇÃO DE TRABALHOS E CONSTRUÇÃO



Obrigado pela vossa atenção

Agradecimentos

Consórcio Projetista

Empreiteiro Geral

Dono de Obra

Transferência de cargas

Jet Grouting

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFERICA NAS ANTIGAS INSTALAÇÕES DO QUARTEL DA GNR CABEÇO DA BOLA, LISBOA

Rui Tomásio / JETsj Geotecnia*, Lisboa, Portugal*
Carlos de Oliveira Martins / JETsj Geotecnia
Diogo Cordeiro / JETsj Geotecnia
Adriana Azevedo / JETsj Geotecnia

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

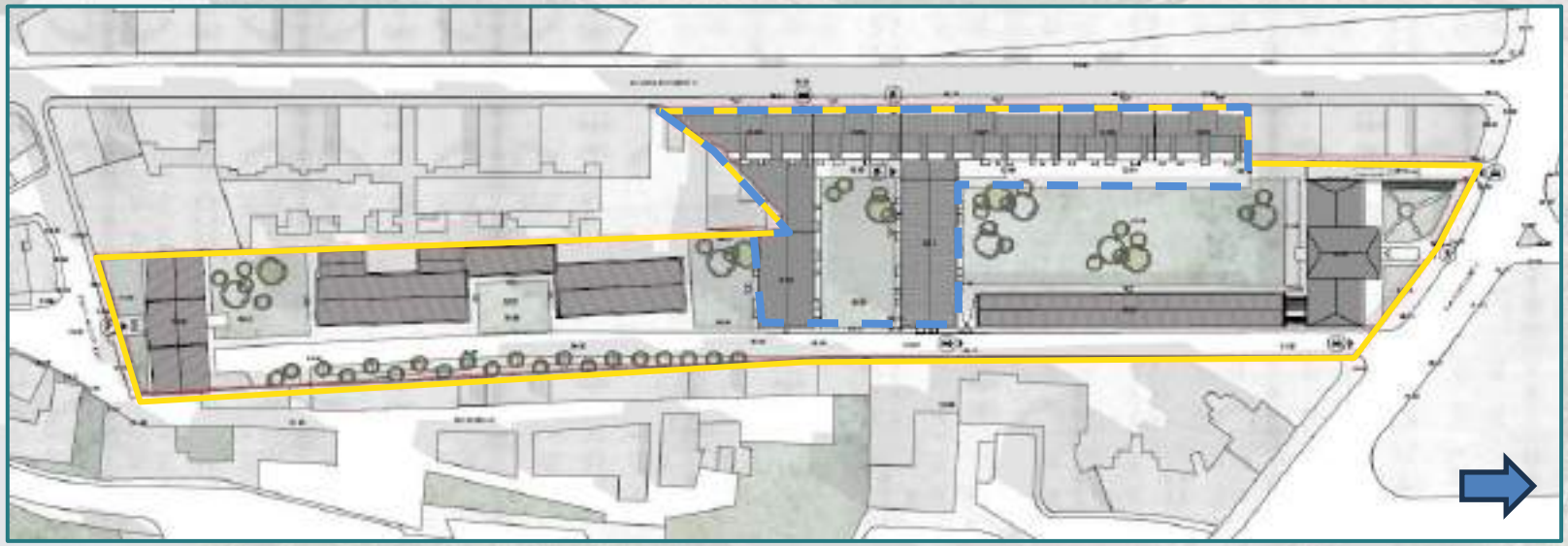
ÍNDICE

1. **Introdução**
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Faseamento e Processos Construtivos

INTRODUÇÃO

EDIFÍCIOS DE COMÉRCIO E HABITAÇÃO (225 FOGOS), ARROIOS, LISBOA

LOTE	ESCAVAÇÃO			
Perímetro: 775 m	Perímetro: 375 m	Altura máxima: 14,0 m	Altura mínima: 9,0 m	Escavação: 45 000 m^3
Área: 13 400m^2	Área: 3 870m^2	4 pisos enterrados	3 pisos enterrados	



ÍNDICE

1. Introdução
2. **Principais Condicionamentos**
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Faseamento e Processos Construtivos

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

Escavação em Meio Urbano

Multiplicidade de Condicionantes

Vias Circundantes
- Rua Escola do Exército
- Largo Cabeço da Bola
- Rua Jacinta Marto
- Rua Barracas

Infraestruturas no subsolo

Arquitetónicos

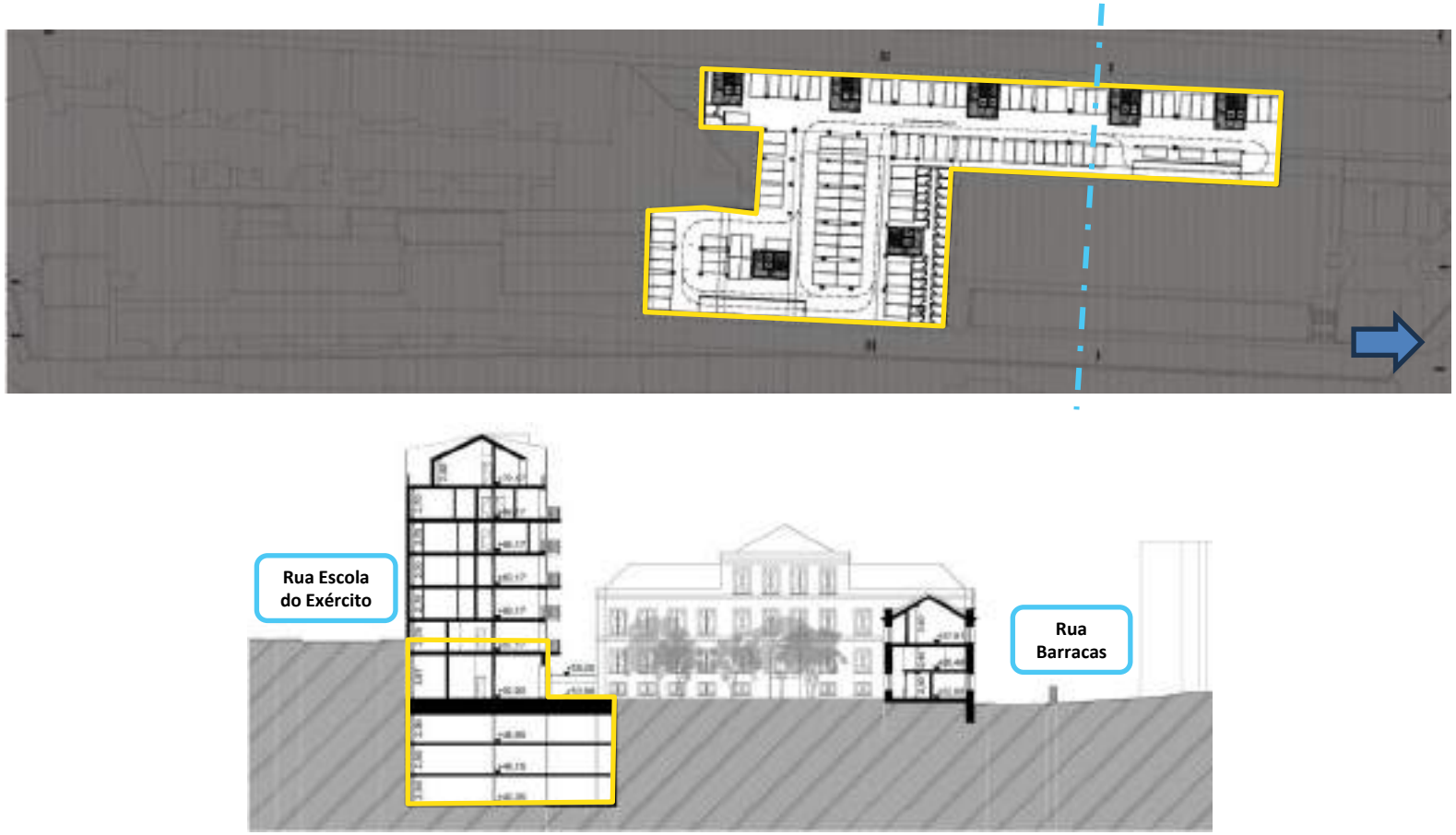
Edifícios vizinhos

Edificado existente a demolir e a preservar

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

CONDICIONAMENTOS ARQUITETÓNICOS:

- Geometria e profundidade para execução pisos enterrados
- Espessura de parede da solução de contenção a adotar



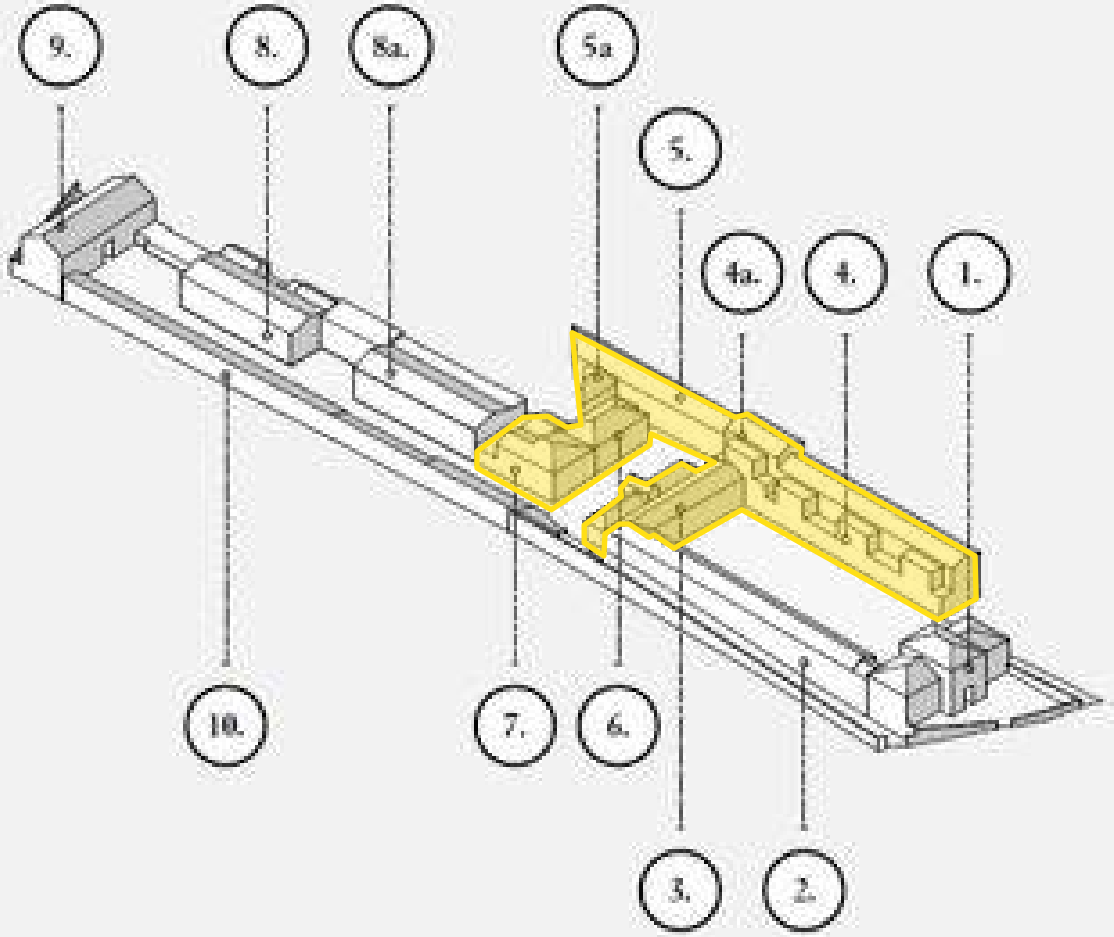
PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

CONDICIONAMENTOS ASSOCIADOS AO EDIFICADO EXISTENTE:

- Edificado existente a demolir e a preservar

Edifícios existentes e usos actuais

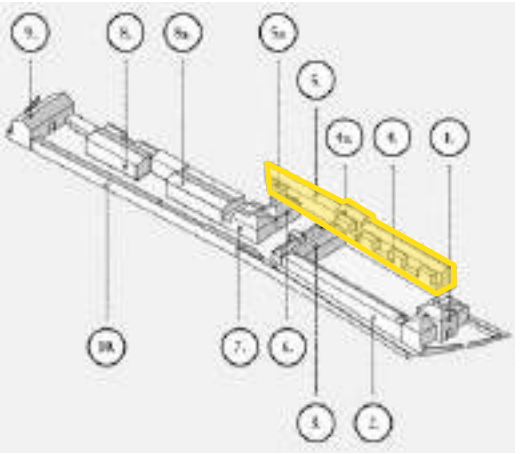
1. Escritórios (1.666 m²)
2. Camaratas e balneários (2.388 m²)
3. Escritórios (524 m²)
4. Garagem e oficinas (1.935 m²)
4.a Apartamentos e escritórios (2.051 m²)
5. Cavalariça, camaratas e balneários (882
5.a Escritórios e balneários
6. Escritórios e balneários
7. Escritórios e balneários
8. Garagem e ginásio
8.a Garagem, dormitórios e balneários
9. Escritórios (1.562 m²)
10. Oficinas (755 m²)

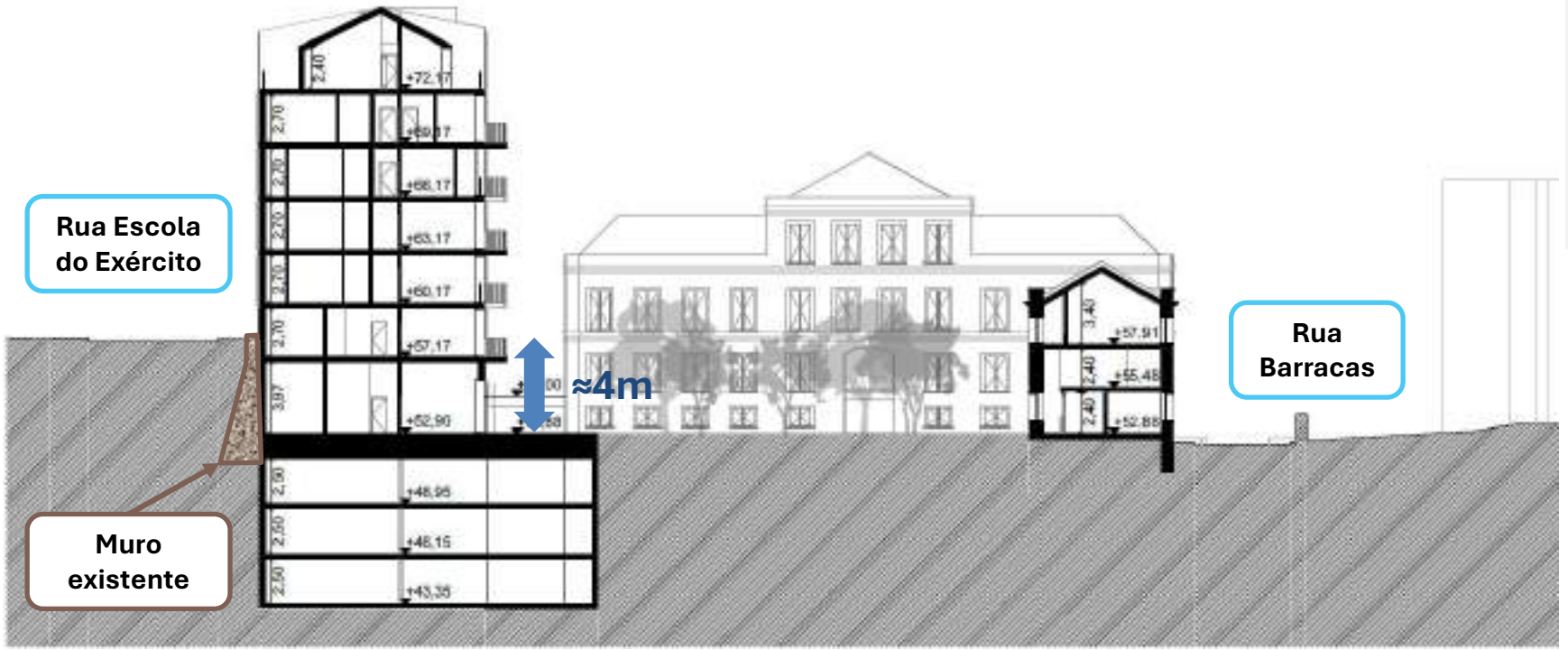


PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

CONDICIONAMENTOS ASSOCIADOS AO EDIFICADO EXISTENTE:

- Diferença de cota de cerca de 4m, entre Rua Escola do Exército e interior do Lote;
  - Muro de gravidade autoportante a preservar;





PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

CONDICIONAMENTOS ASSOCIADOS AO EDIFICADO VIZINHO:

- Edifício com:
  - 3 pisos e 1 sub-cave
  - Fundações diretas
- Edifício com:
  - 1 piso e 0 caves
  - Fundações diretas
- Edifício com:
  - 5 pisos e 0 caves
  - Fundações diretas
- Edifício com:
  - 7 pisos e 2 caves
  - Fundações diretas
- Edifício com:
  - 5 pisos e 0 caves:
  - Fundações profundas

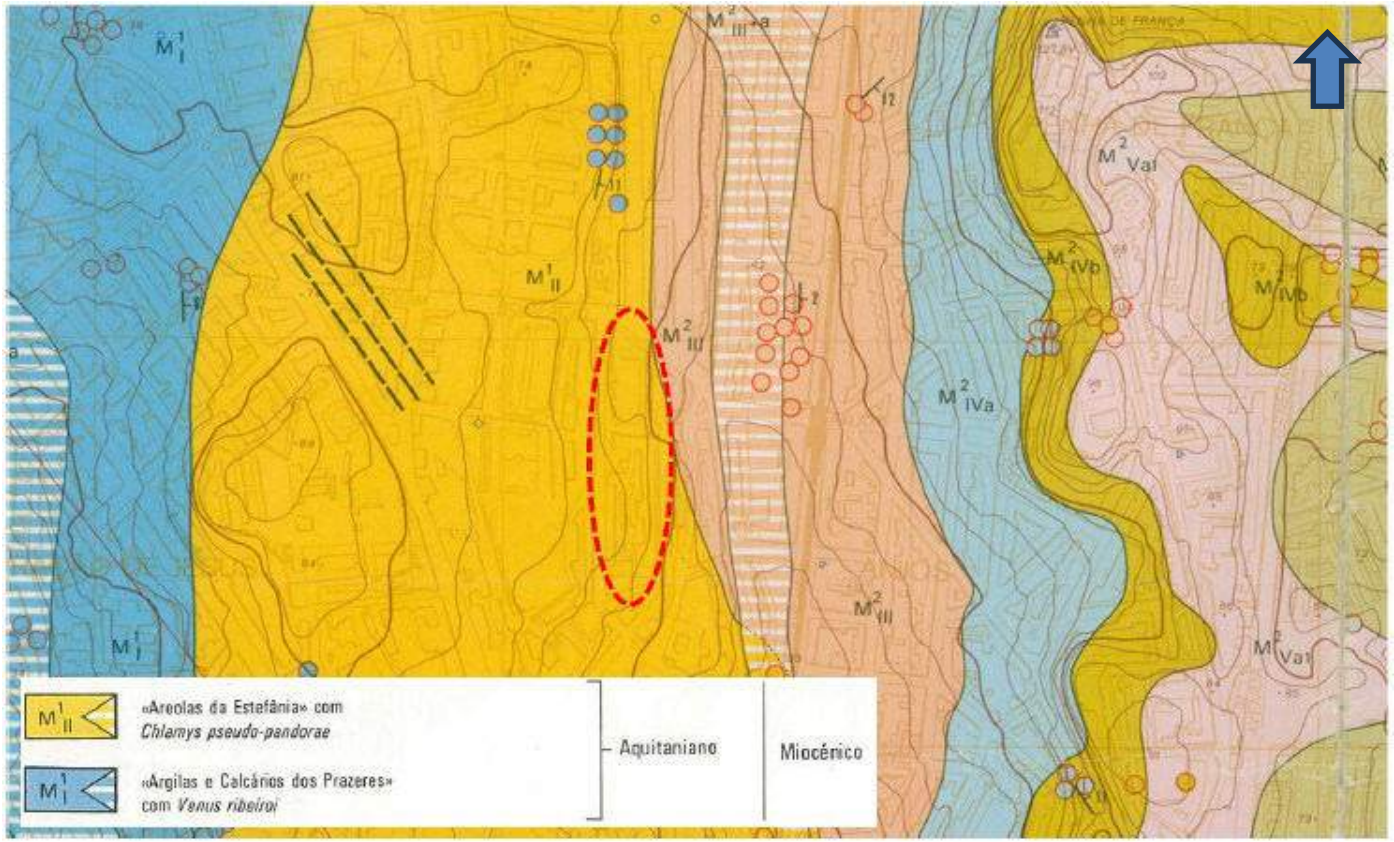
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. **Estudo Geológico-Geotécnico**
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Faseamento e Processos Construtivos

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL À ESCALA 1:50.000

- Formações do Miocénico marinho de Lisboa:
  - Areolas da Estefânia (M_{ES})
  - Argilas e Calcários dos Prazeres (M_{PR})



ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

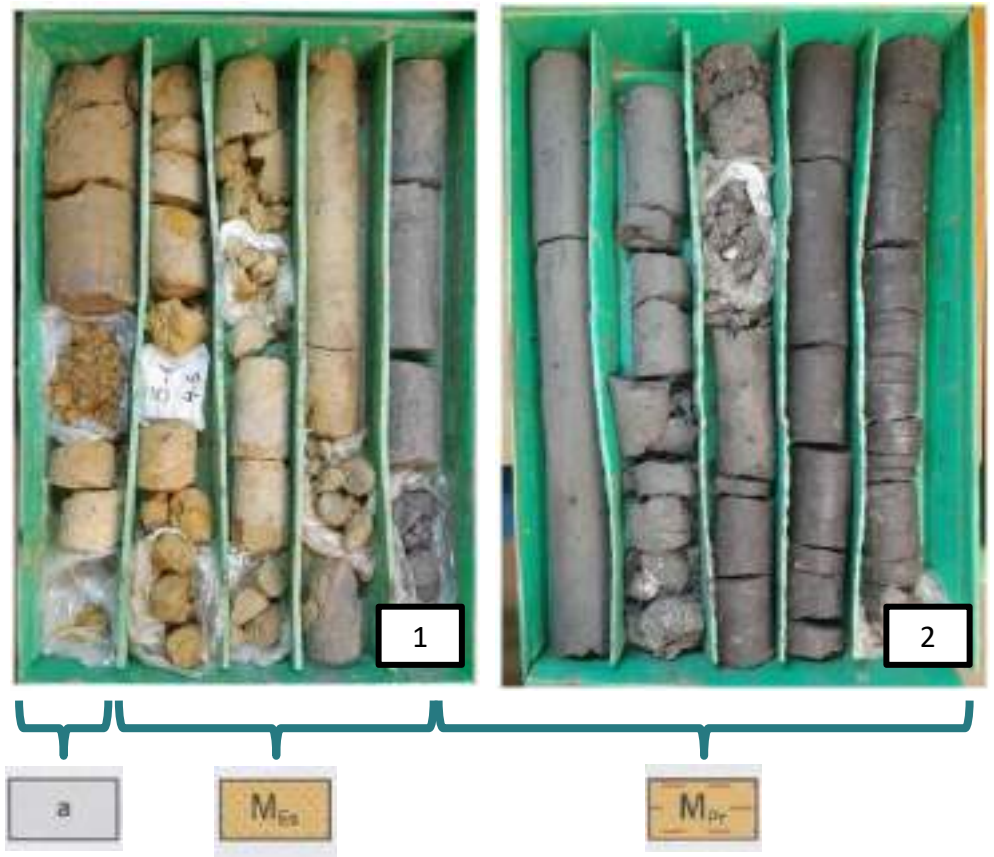
PLANO DE PROSPEÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO (OUTUBRO 2022)

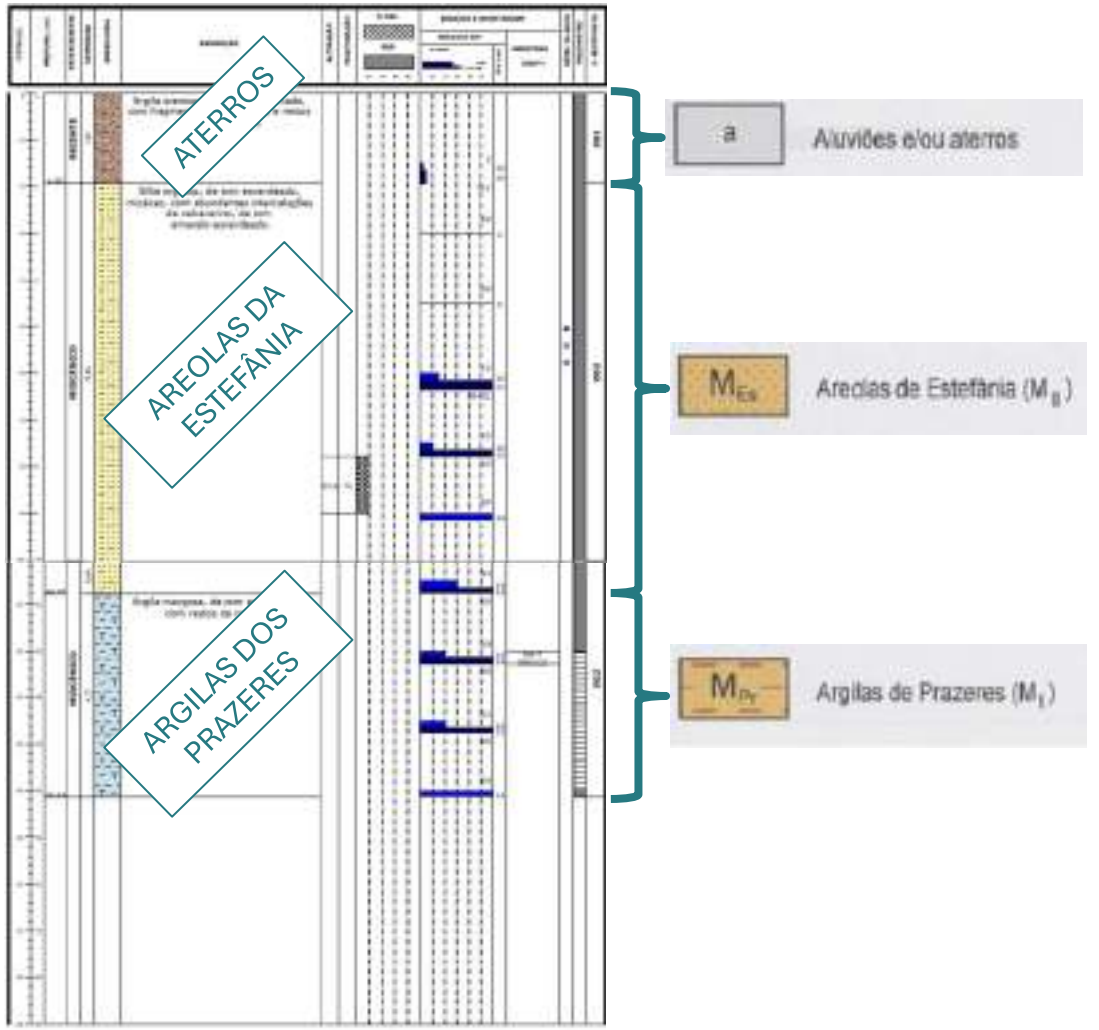
- 8 Sondagens à rotação com amostragem contínua
  - 4 com instalação de piezómetros
- Ensaios SPT em profundidade
- Ensaios de permeabilidade:
  - Tipo Lefranc
  - Tipo Slug Test
- Ensaios Laboratoriais
  - Análise granulométrica
  - Limites de consistência de Atterberg (LL e IP)
  - Determinação do teor de água

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

SONDAGENS GEOTÉCNICAS:

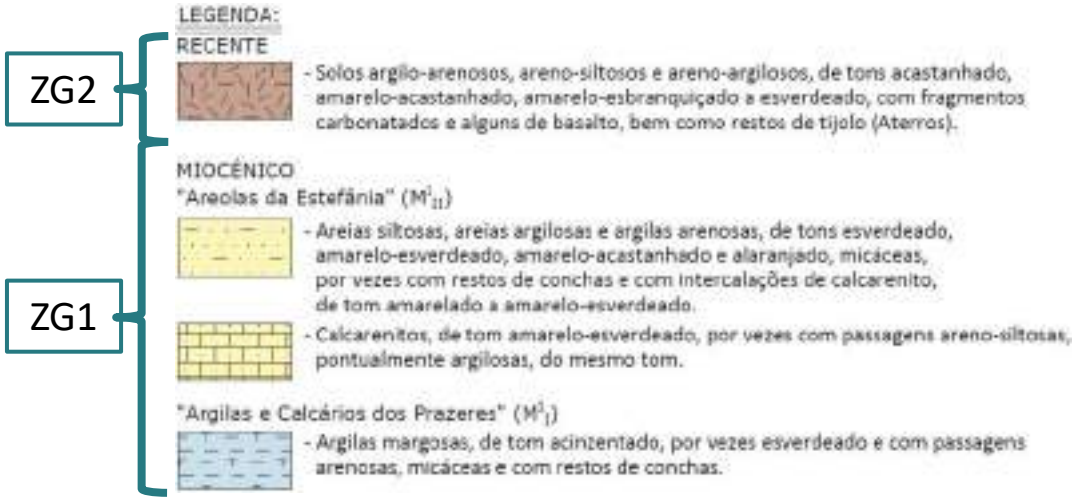
- O caso da sondagem S1

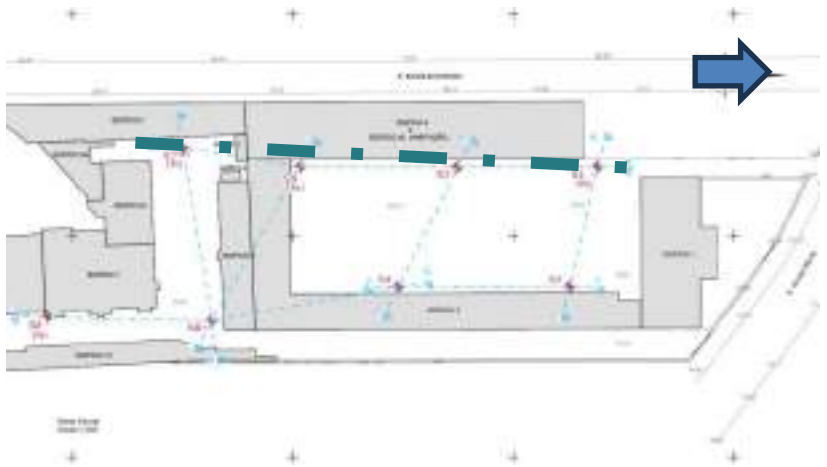


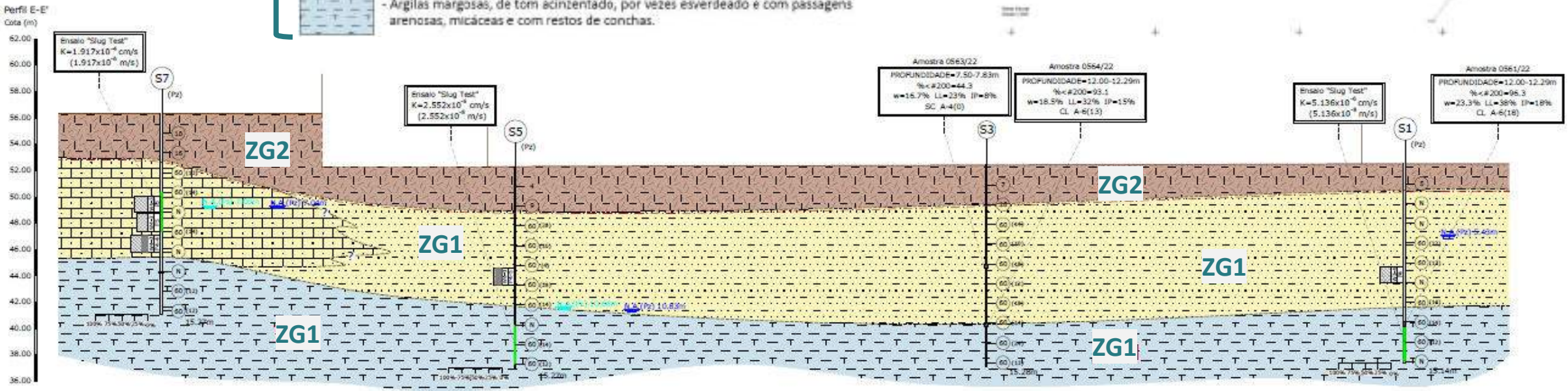


ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

ZONAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO







ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA

- Parâmetros de resistência e de deformabilidade estimados por correlações com base nos resultados dos ensaios laboratoriais e dos ensaios in situ

Zona Geotécnica	Formação Geológica	Nspt	ϕ' [°]	RQD [%]	E' [MPa]
ZG2	Recente: Aterro	4-18	25-28	-	5-15
ZG1	Miocénico: "Areolas da Estefânia" e Argilas e Calcários dos Prazeres"	>60 (pontualmente 18, 19, 26 e 37)	33-38	0-20	60-120

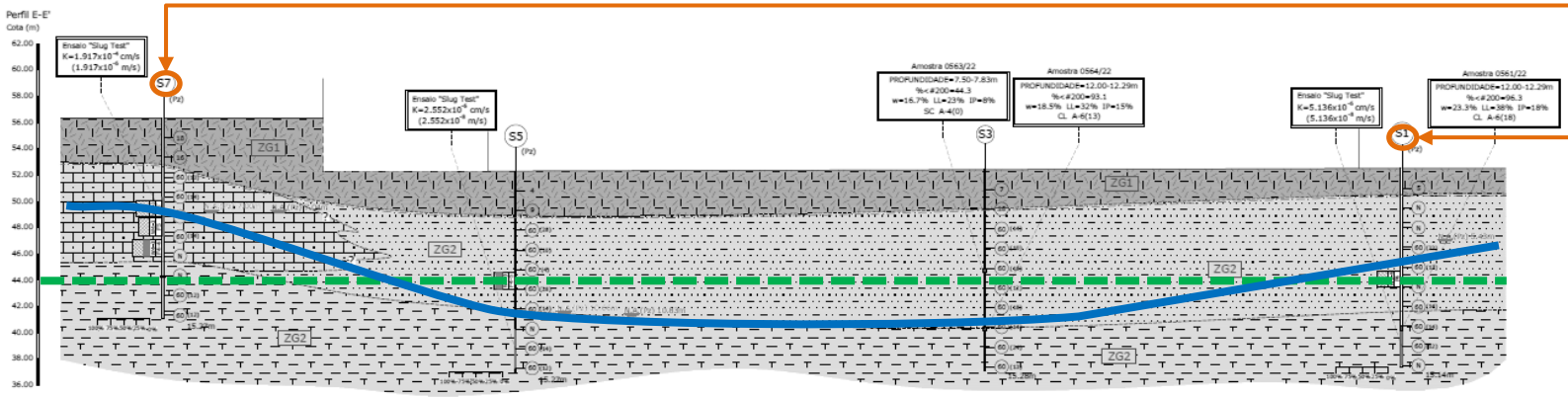
- Parâmetros de resistência e de deformabilidade considerados no projeto

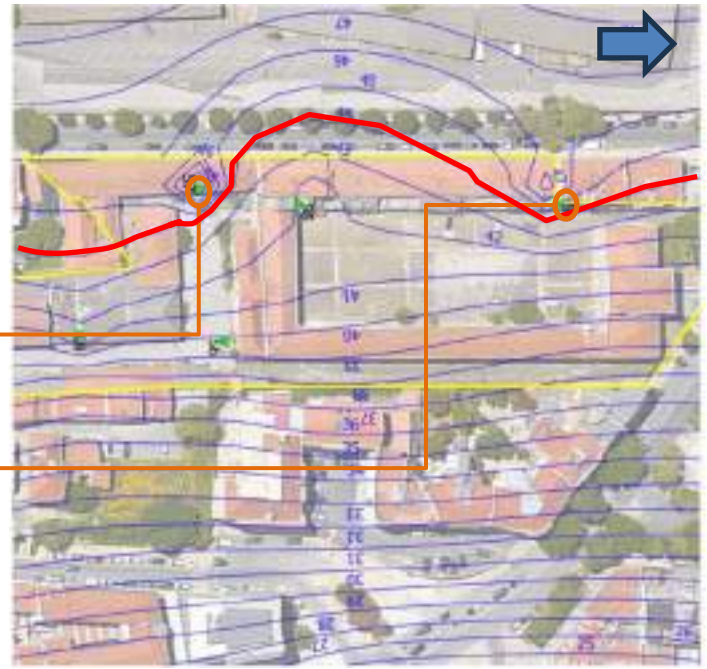
Zona Geotécnica	Formação Geológica	Nspt	γ [kN/m^3]	ϕ' [°]	c' [kPa]	E' [MPa]
ZG2	Recente: Aterro	4-18	17	25	1	5
ZG1B	Miocénico: "Areolas da Estefânia"	>60 (pontualmente 18, 19, 26 e 37)	19	35	20	60
ZG1A	Miocénico: "Argilas e Calcários dos Prazeres"	>60 (pontualmente 18, 19, 26 e 37)	20	28	40	100

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

HIDROGEOLOGIA

- Globalmente o nível de água encontra-se abaixo do fundo de escavação (+44)
- Localmente ocorre empolamento do nível de água nas sondagens S1 (+47) e S7 (+49)
  - Aquífero suspenso;
  - Fugas da rede de abastecimento;
  - Existência de barreira subsuperficial.
- Pouco impacto no rebaixamento:
  - Pontos interiores à área de escavação



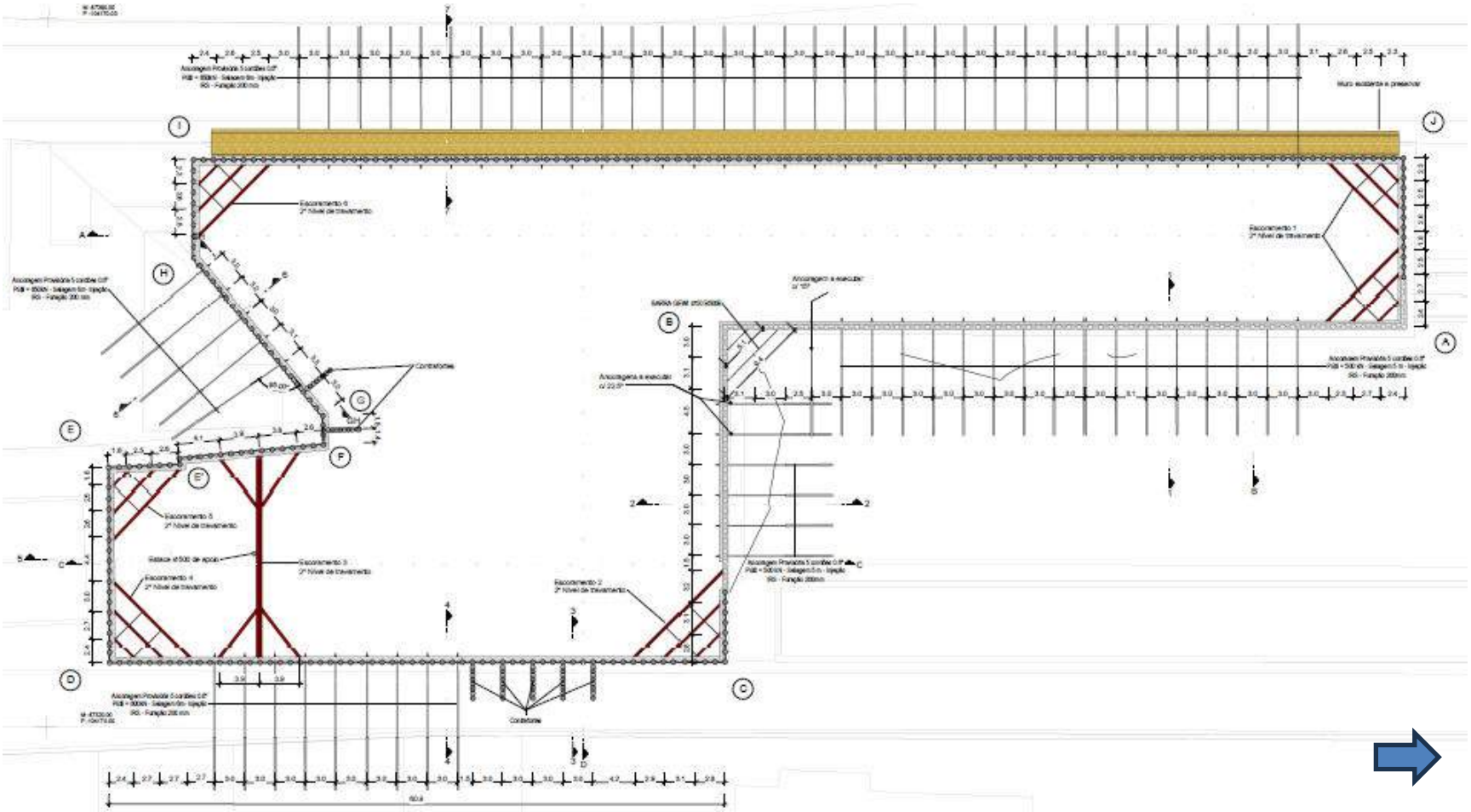


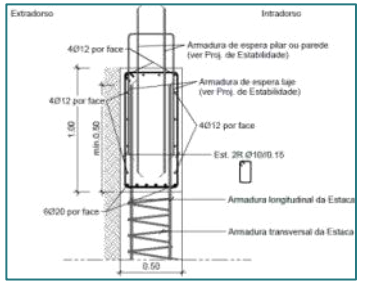
ÍNDICE

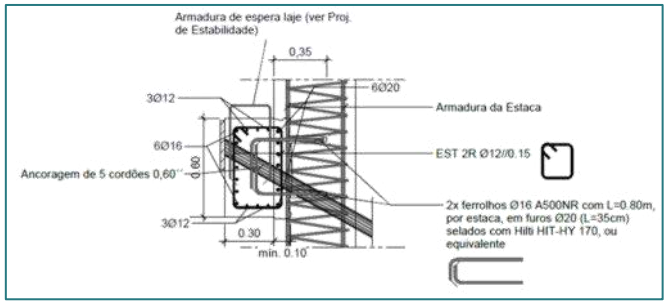
1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. **Soluções de Escavação e Contenção Periférica**
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Faseamento e Processos Construtivos

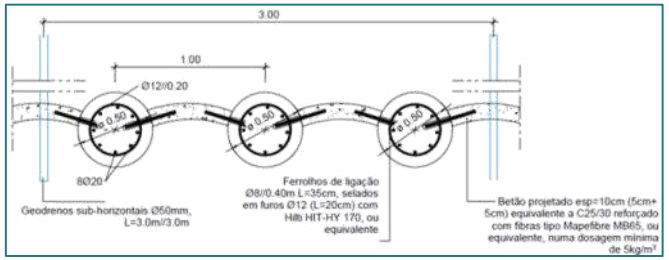
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

CORTINA DE ESTACAS 500mm//1.00m COM BETÃO PROJETADO 10cm:





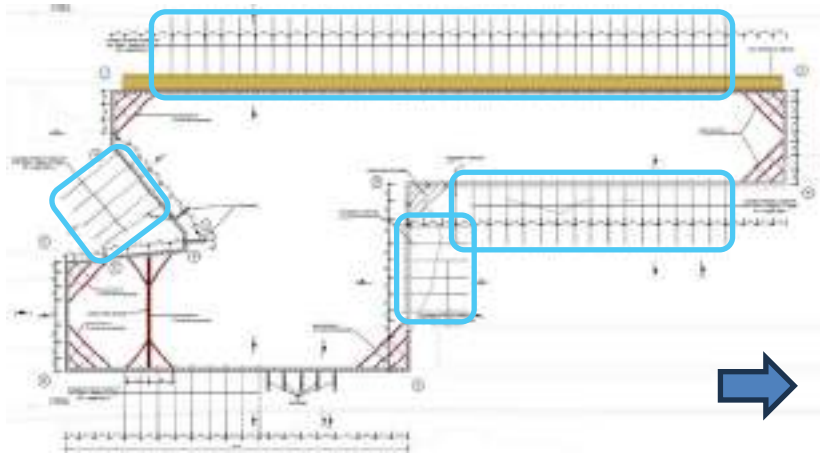


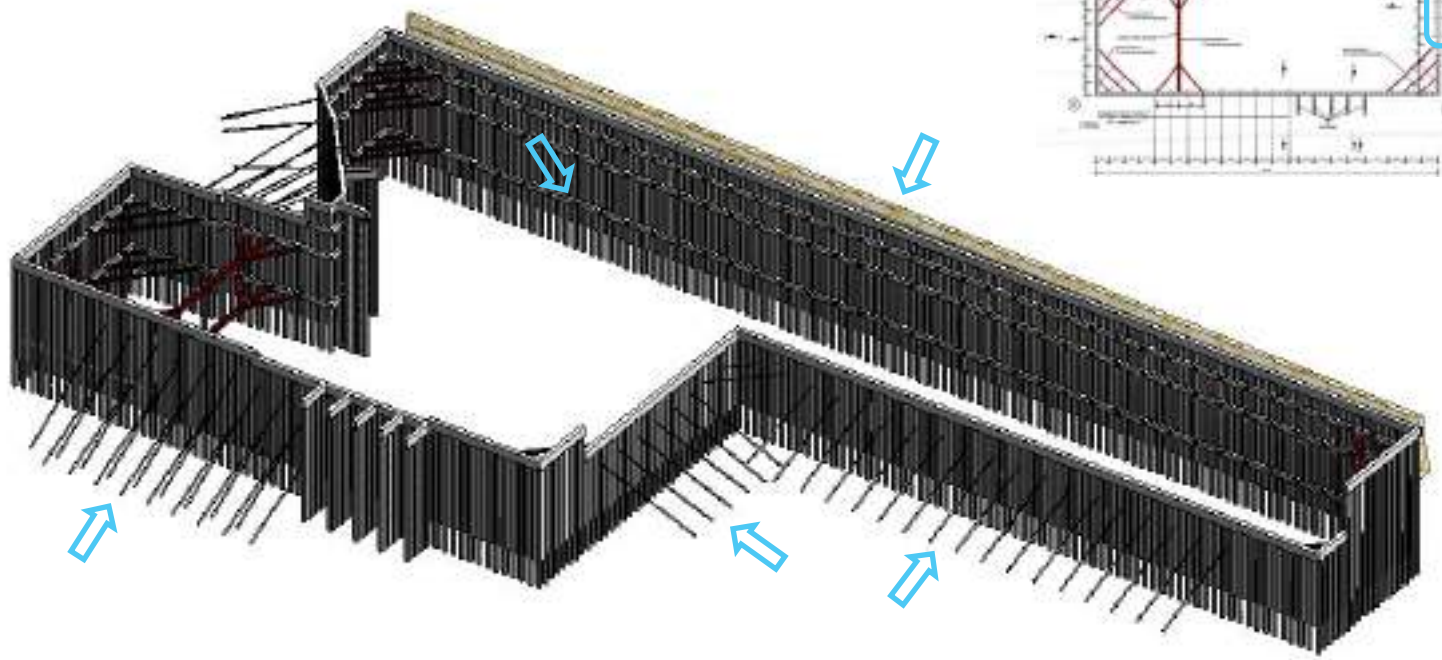


SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

CORTINA DE ESTACAS 500mm//1.00m: TRAVAMENTOS

- Ancoragens provisórias
  - 5 cordões com:
    - 500kN
    - 600kN
    - 650kN

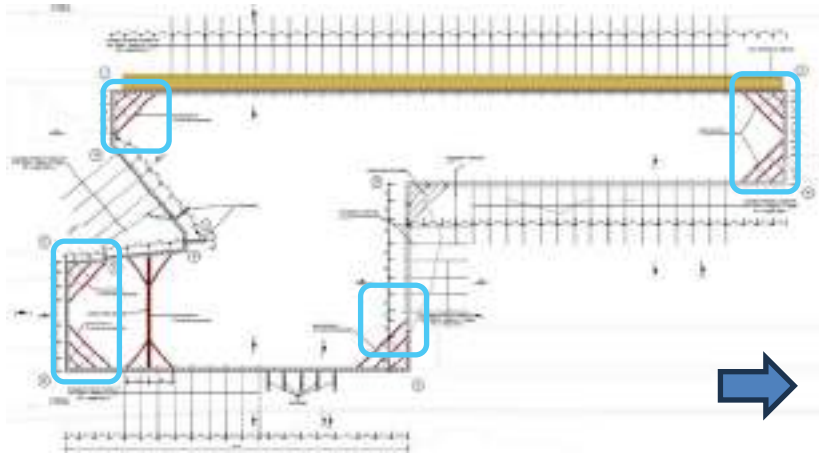


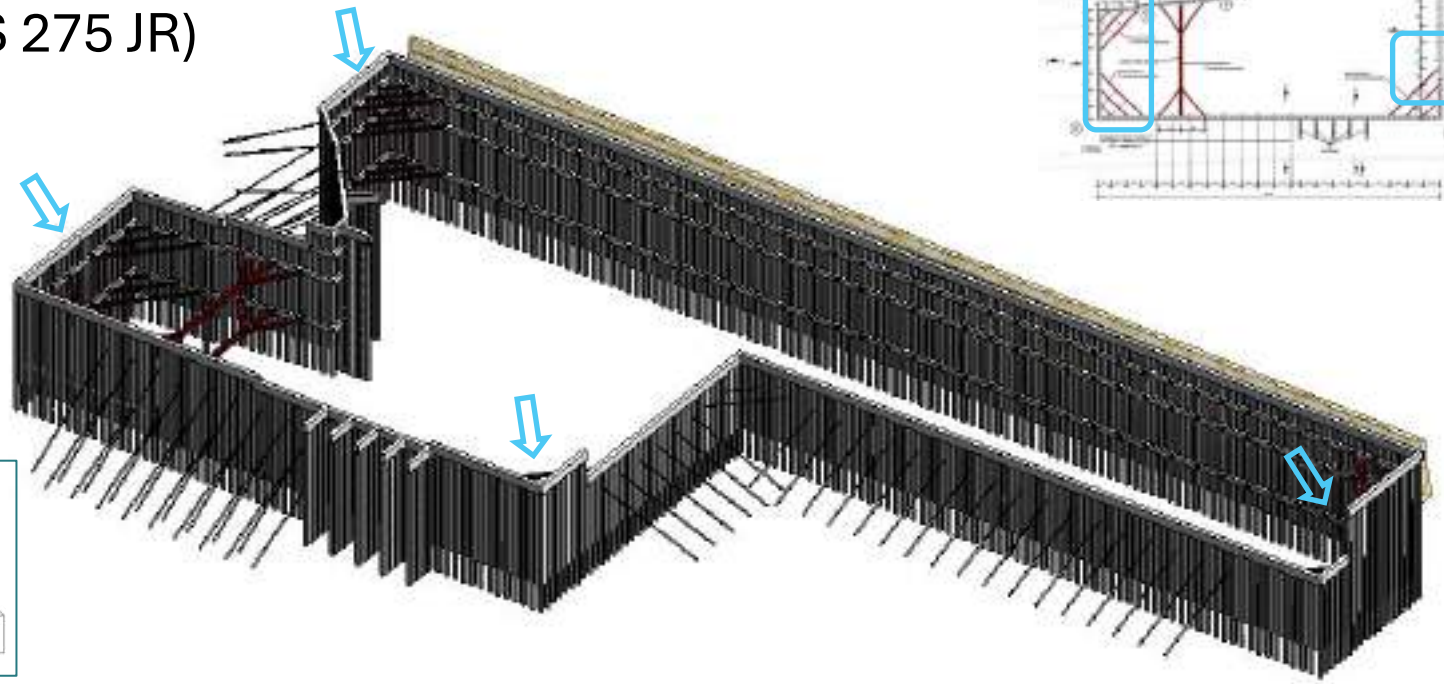


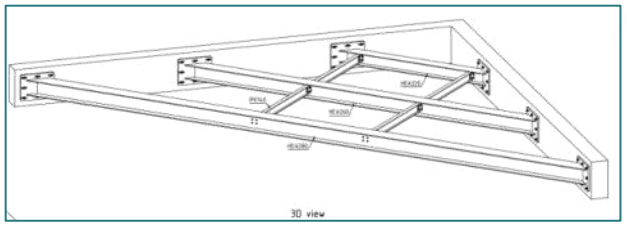
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

CORTINA DE ESTACAS 500mm//1.00m: TRAVAMENTOS

- Escoras metálicas de canto:
  - HEA 220 (S 275 JR)
  - HEA 260 (S 275 JR)
  - HEA 280 (S 275 JR)



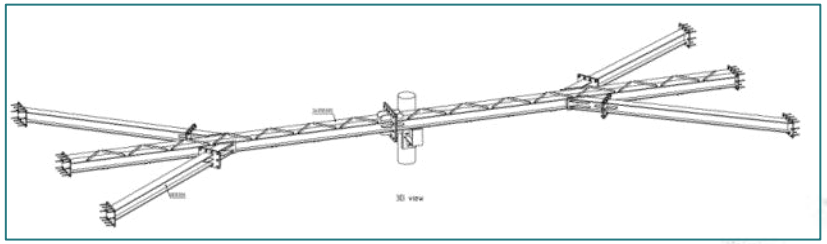


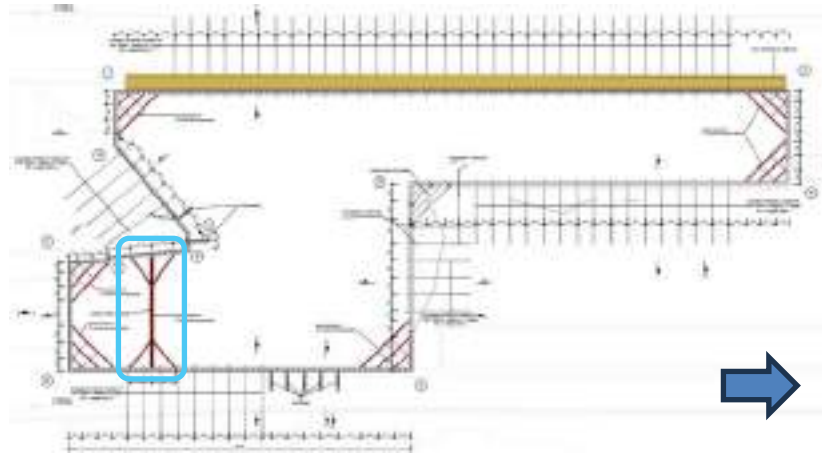


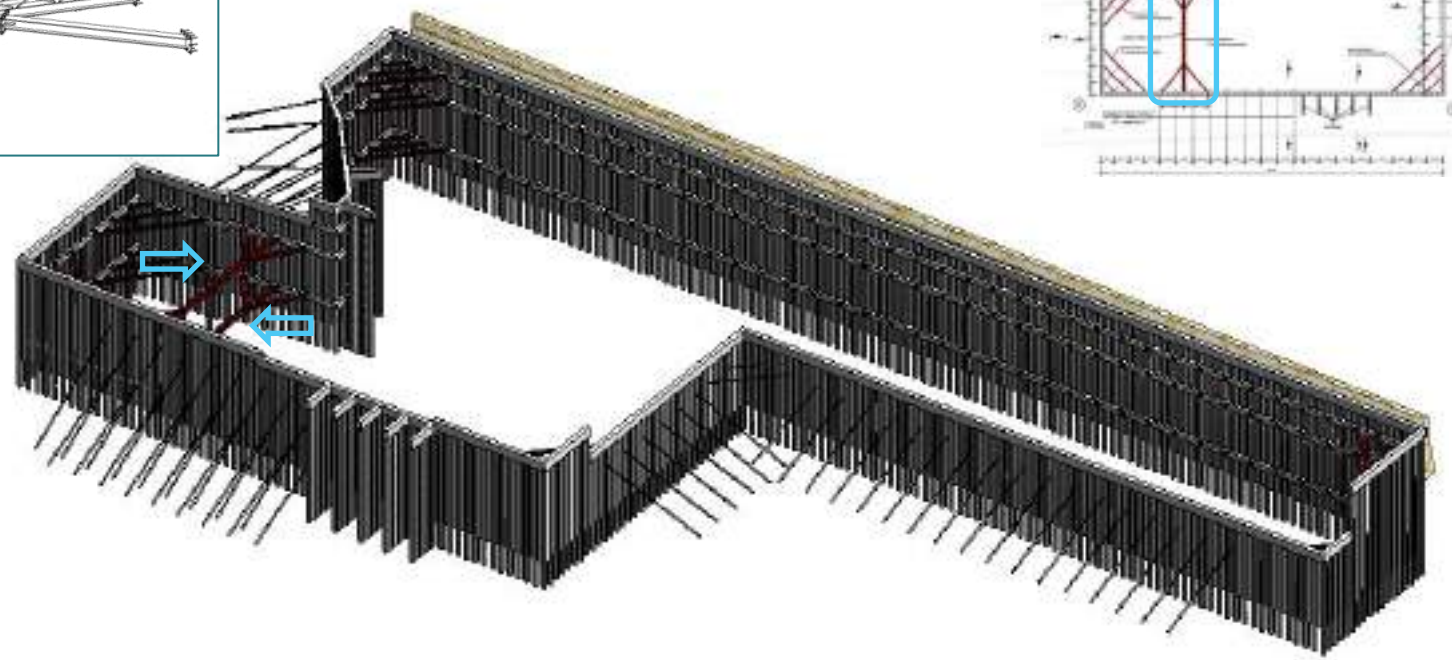
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

CORTINA DE ESTACAS 500mm//1.00m: TRAVAMENTOS

- Escoras metálicas pé-de-galinha
  - HEB 300 (S 275 JR)



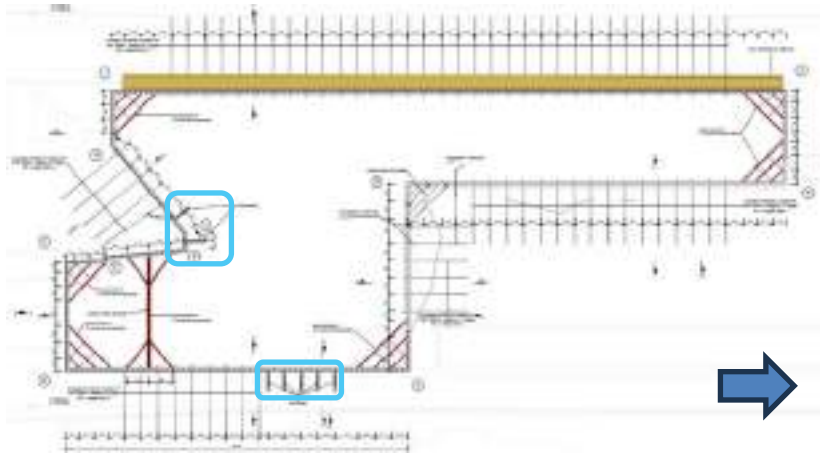


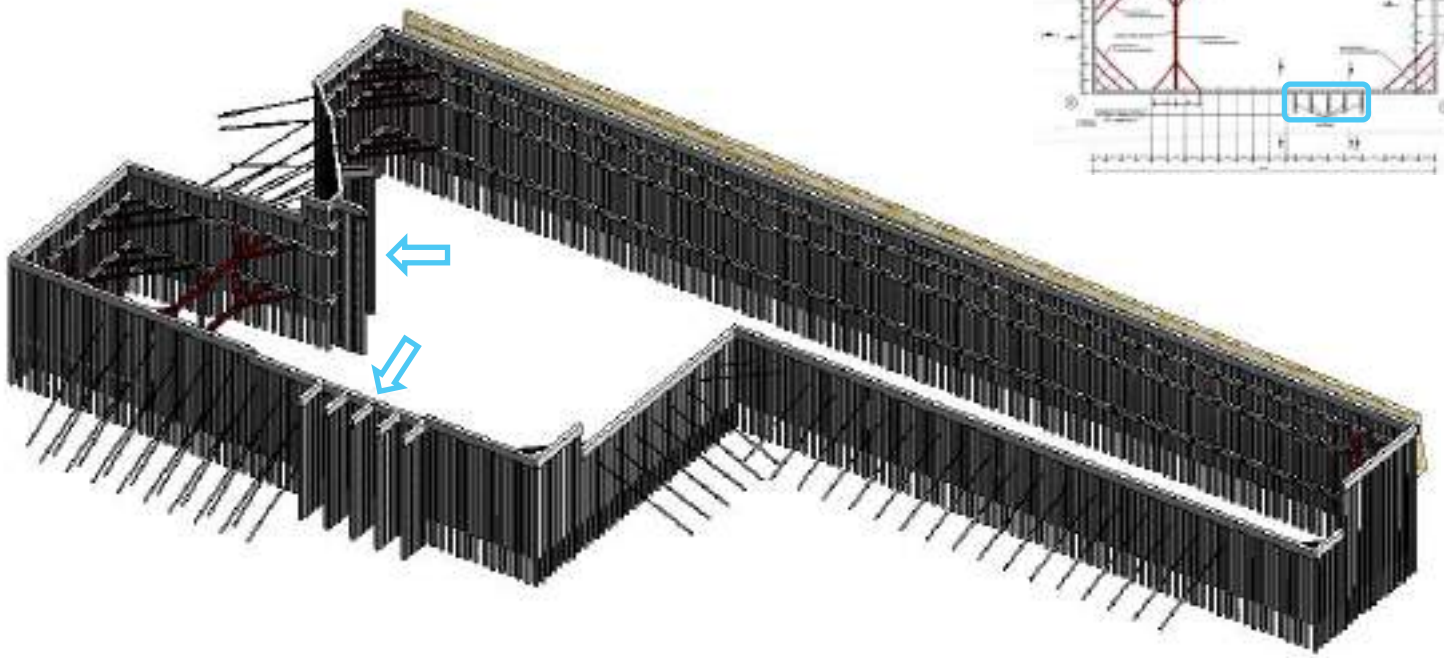


SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

CORTINA DE ESTACAS 500mm//1.00m: TRAVAMENTOS

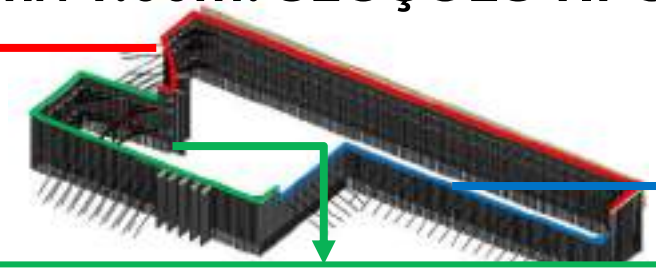
- Contrafortes de estacas
  - Estacas 500mm secantes



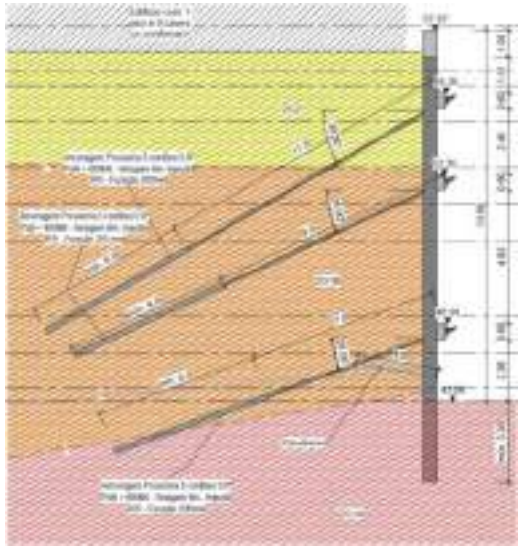


SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

CORTINA DE ESTACAS 500mm//1.00m: SECÇÕES TIPO

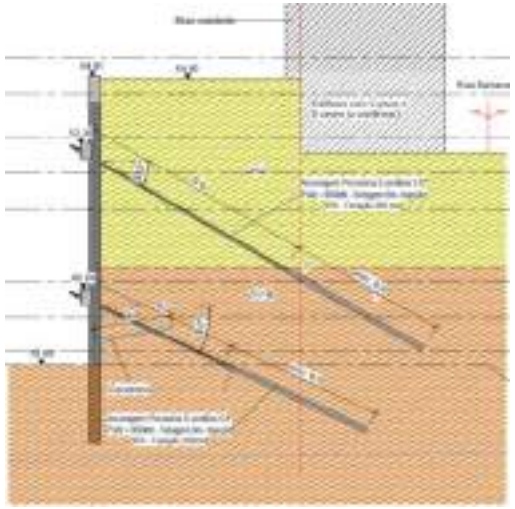


Secção Tipo 1:



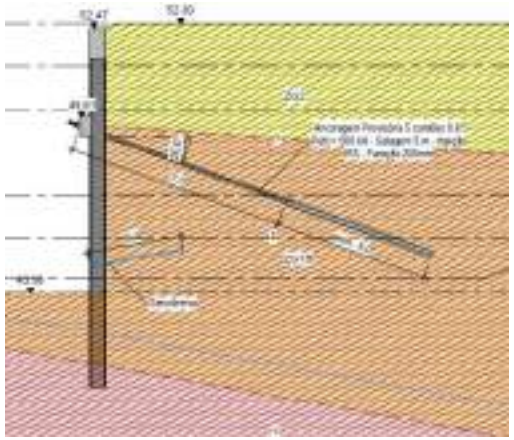
- ✓ Altura 14,0m -> Ficha 3m
- ✓ 3 Níveis de Ancoragens

Secção Tipo 2:



- ✓ Altura 11,0m -> Ficha 3m
- ✓ 2 Níveis de Ancoragens

Secção Tipo 3:

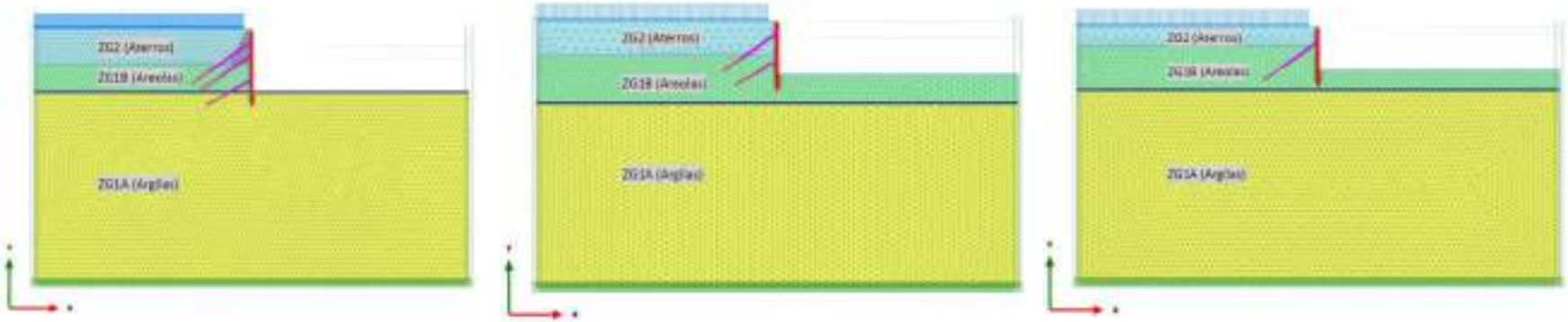


- ✓ Altura 9,0m -> Ficha 3m
- ✓ 1 Nível de Ancoragens

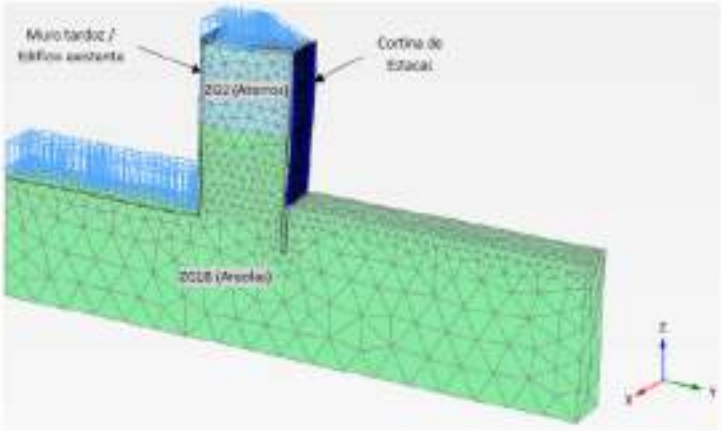
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

CORTINA DE ESTACAS 500mm//1.00m: MODELOS DE ANÁLISE

- Modelos planos elementos finitos *PLAXIS 2D*: 3 secções representativas



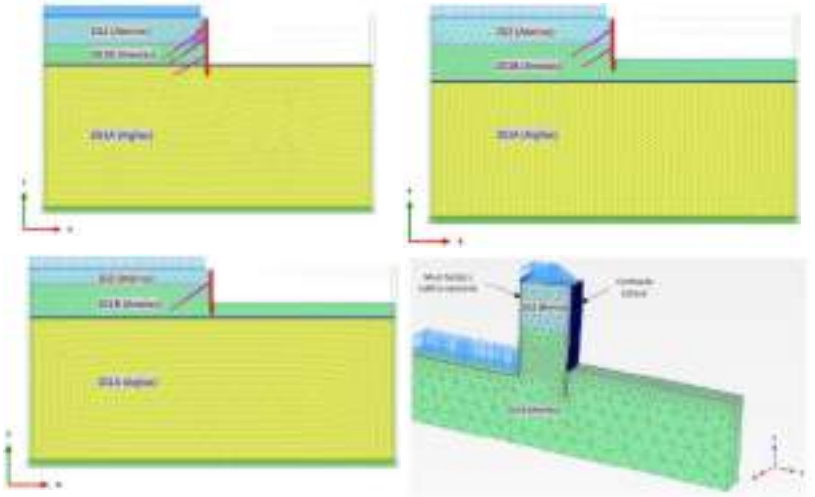
- Modelos tridimensionais elementos finitos *PLAXIS 3D*: Zona de contrafortes de estacas



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

CORTINA DE ESTACAS 500mm//1.00m ESPAÇADAS: MODELOS ANÁLISE

- Interação solo-estrutura em tensões e deformações
- Modelação das fases construtivas
- Modelo constitutivo Hardening-Soil (HS)



- Parametrização de terrenos:

Zona/Material		γ_{unsat}	γ_{sat}	ϕ'	c'	E_{50}	E_{oed}	E_{ur}	m	k
[-]		[kN/m^3]	[kN/m^3]	[°]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[m/s]
ZG2 (Aterros)	Drained	17	18	25	1	5	5	15	0.8	$1x10^{-5}$
ZG1B (Areolas Estefânia)	Drained	19	20	35	20	60	60	180	0.8	$1x10^{-6}$
ZG1A (Argilas Prazeres)	Undrained A	20	21	28	40	100	100	300	1.0	$1x10^{-8}$

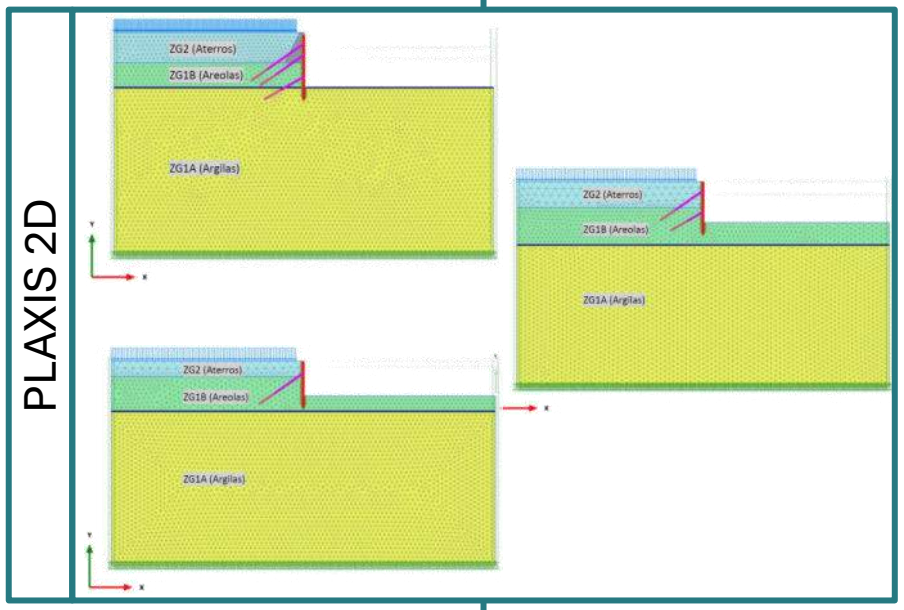
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

CORTINA DE ESTACAS 500mm//1.00m ESPAÇADAS: MODELOS *PLAXIS 2D*

- Esforços e Deformações

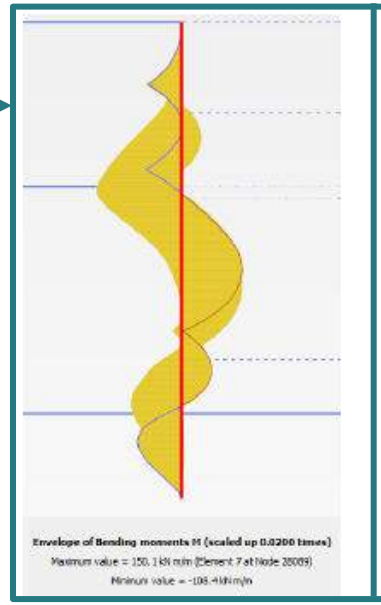
Esforços

PLAXIS 2D

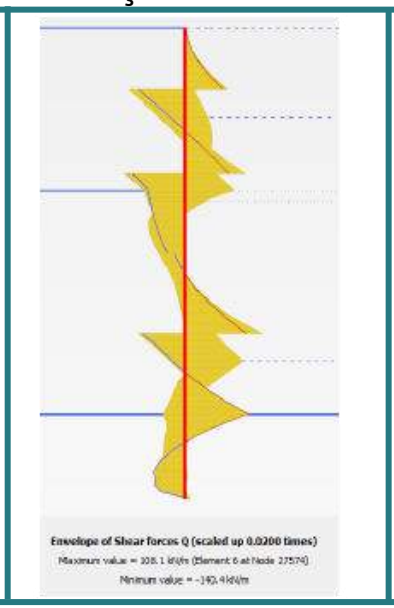


Deformações

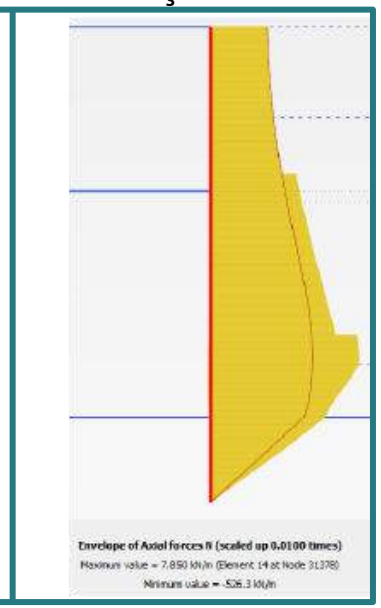
Momento Fletor



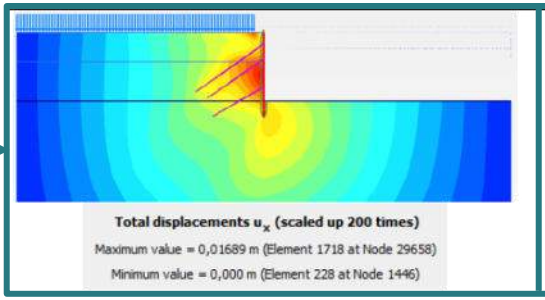
Esforço Transverso



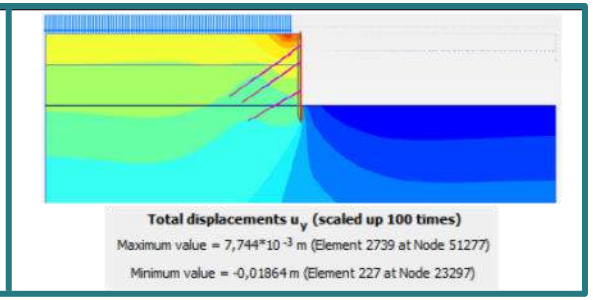
Esforço Normal



Deformação Horizontal



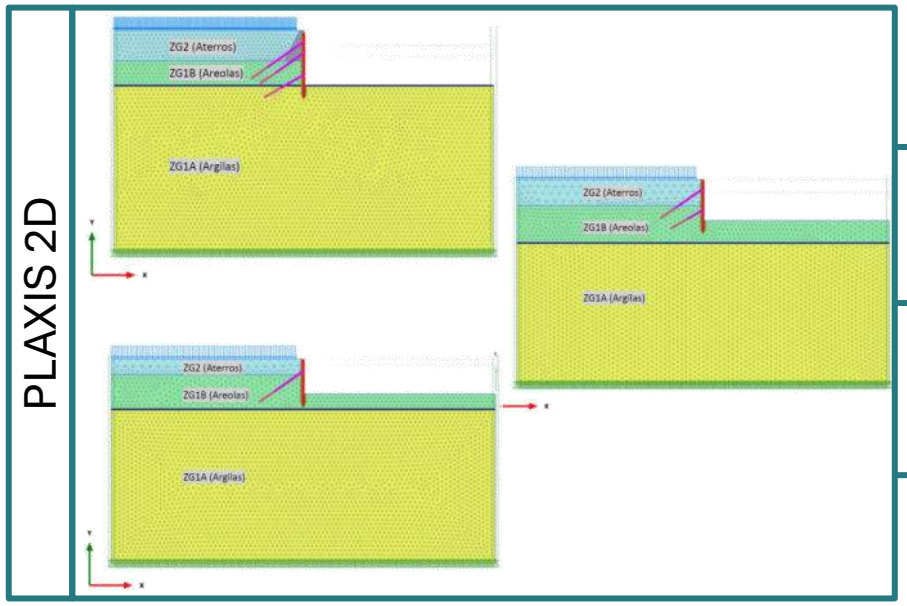
Deformação Vertical

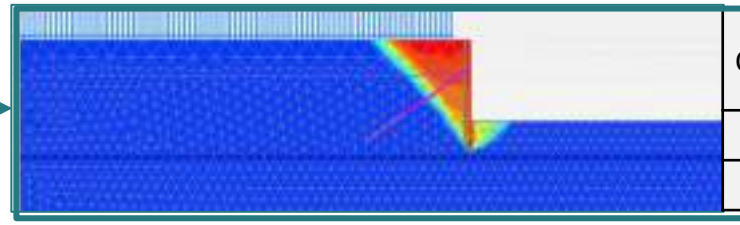


SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

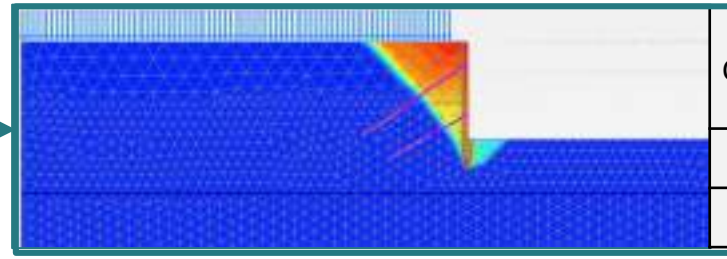
CORTINA DE ESTACAS 500mm//1.00m ESPAÇADAS: MODELOS *PLAXIS 2D*

- Análise *Safety Factor*

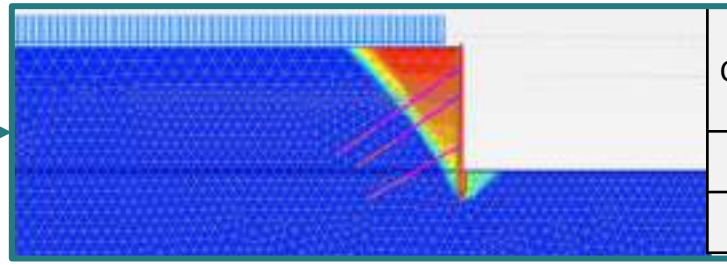




Combinação	*Design Factor* (DF)
AC1-C1	2.24
AC1-C2	1.72



Combinação	*Design Factor* (DF)
AC1-C1	1.96
AC1-C2	1.51



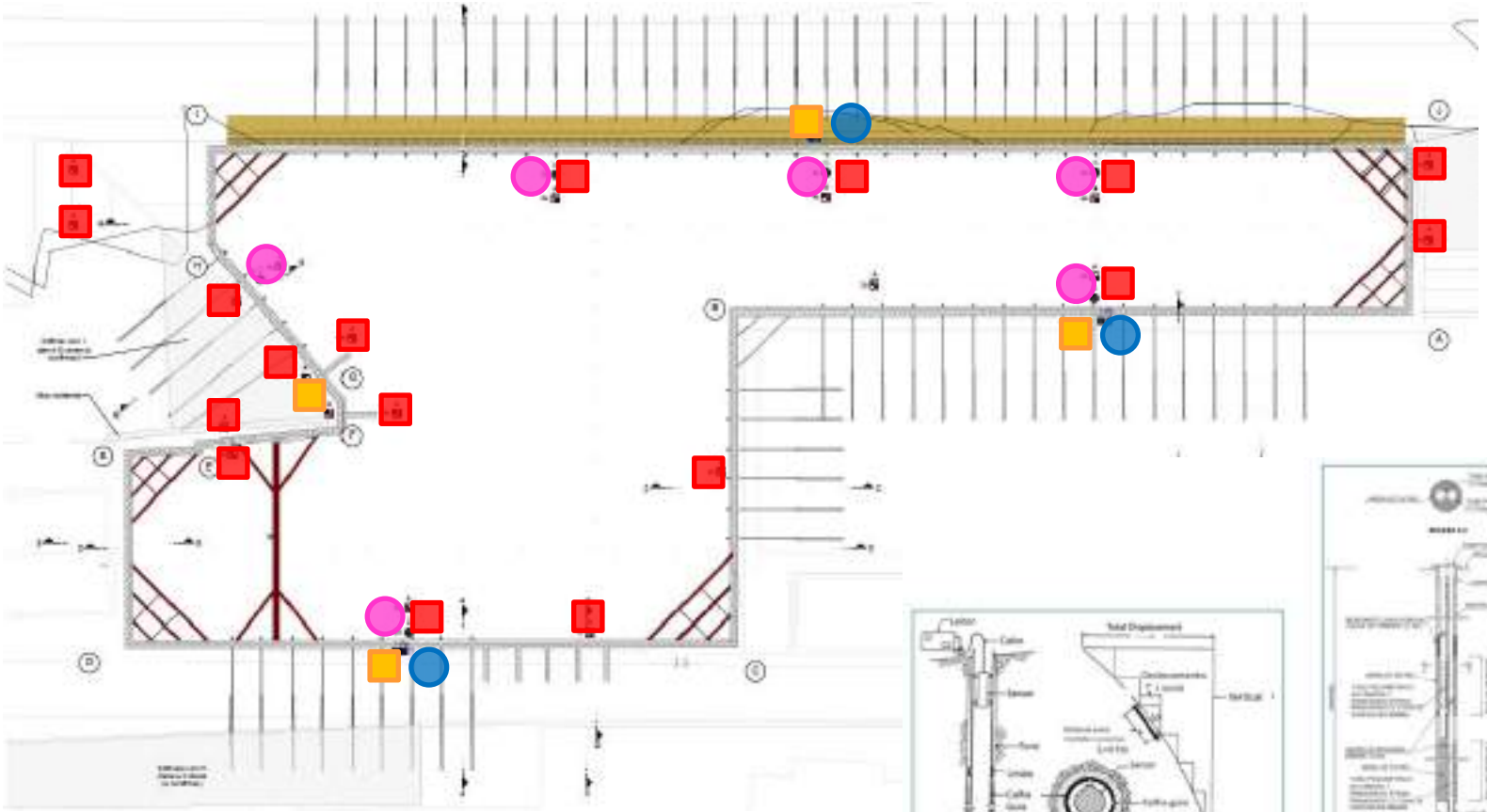
Combinação	*Design Factor* (DF)
AC1-C1	1.83
AC1-C2	1.42

ÍNDICE

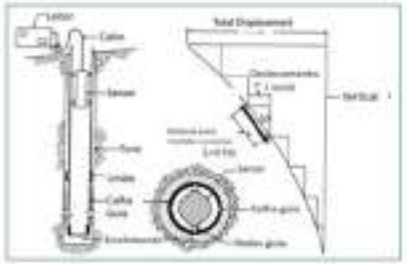
1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. **Plano de Instrumentação e Observação**
6. Faseamento e Processos Construtivos

PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

DISPOSITIVOS E LOCALIZAÇÃO



- Alvo Topográfico
- Inclinómetro
- Piezómetro
- Célula de Carga



Inclinómetro

Piezómetro

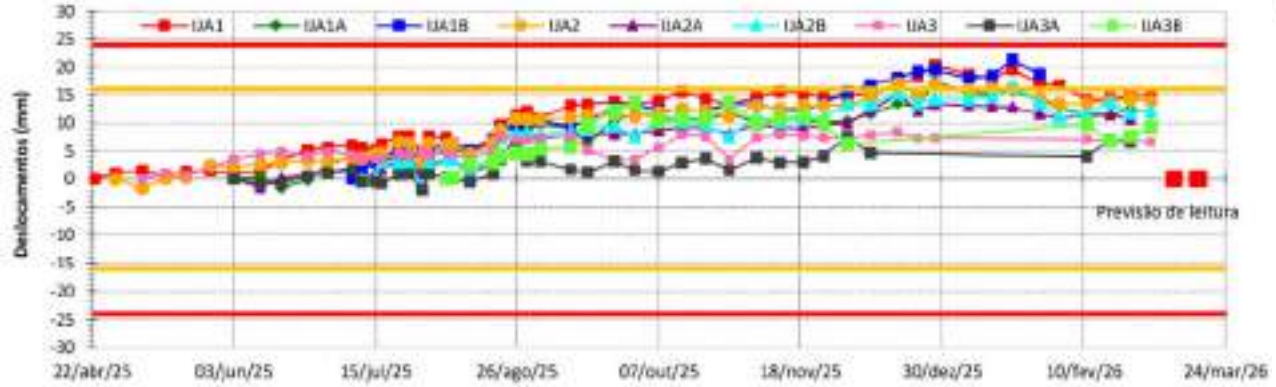
Célula de Carga

Alvo Topográfico

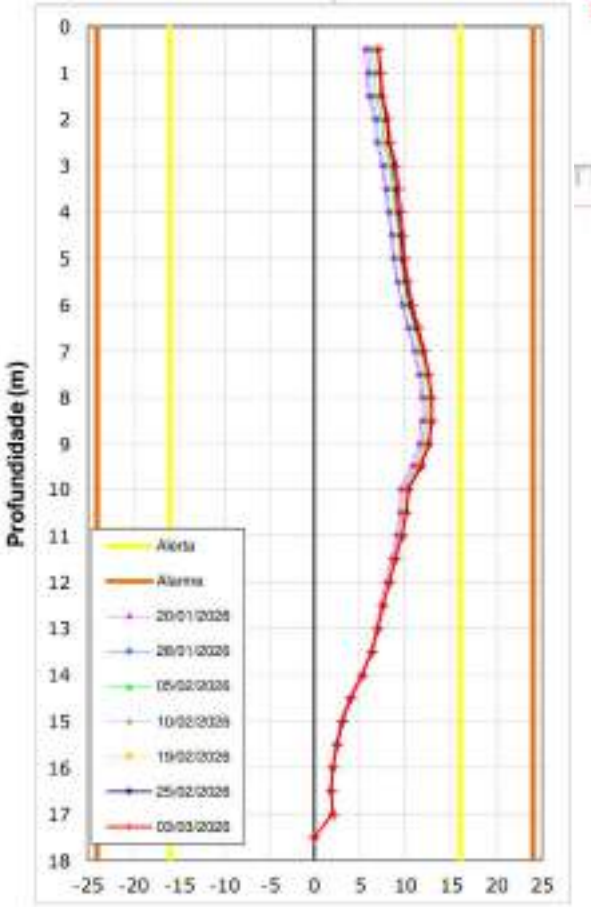
PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

RESULTADOS (ABRIL 2026)

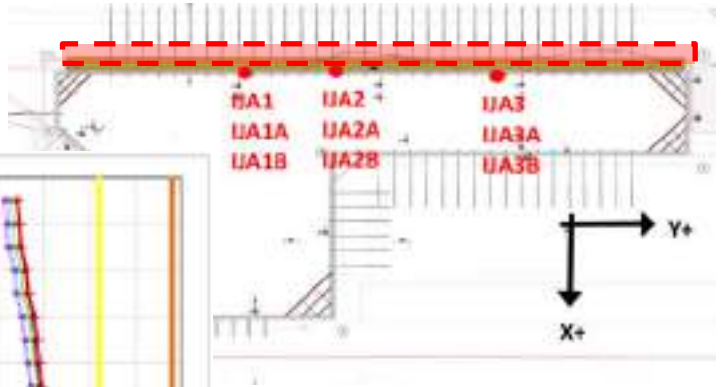
Piezómetro



Alvos Topográficos



Inclinómetro



ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. **Faseamento e Processos Construtivos**

FASEAMENTO E PROCESSOS CONSTRUTIVOS

1. Preparação da plataforma de trabalho:
   - Execução de Demolições/Escavações

FASEAMENTO E PROCESSOS CONSTRUTIVOS

2A. Execução de estacas moldadas – Método "**Trado Contínuo**"

- Perfuração até a cota de projeto
- Betonagem em simultâneo com a retirada do trado
- Colocação da armadura da estaca

2B. Execução de estacas moldadas – Método "**Vara Kelly**"

- Perfuração por etapas com retirada do solo
- Colocação da armadura da estaca
- Betonagem

FASEAMENTO E PROCESSOS CONSTRUTIVOS

3. Sanemanento da cabeça das estacas

FASEAMENTO E PROCESSOS CONSTRUTIVOS

4. Execução da viga de coroamento e instalação da instrumentação prevista

FASEAMENTO E PROCESSOS CONSTRUTIVOS

5. Escavação no interior do recinto até à cotas das vigas de distribuição acompanhada de eventual bombagem da água

FASEAMENTO E PROCESSOS CONSTRUTIVOS

6. Execução da viga de distribuição acompanhada da execução de betão projetado

FASEAMENTO E PROCESSOS CONSTRUTIVOS

7. Execução e tensionamento das ancoragens provisórias e instalação de escoras metálicas

8. Escavação no interior do recinto acompanhada da leitura de instrumentação e bombagem da água, até ao fundo de escavação.

FASEAMENTO E PROCESSOS CONSTRUTIVOS

9. Final de escavação

FASEAMENTO E PROCESSOS CONSTRUTIVOS

9. Final de escavação

JET SJ

Obrigado pela vossa atenção

Agradecimentos

Empreiteiro Geotecnia

drill GO GEOTECNIA E OBRAS SUBTERRÂNEAS

MOTA-ENGIL

Empreiteiro Geral

TECNORÉM ENGENHARIA E CONSTRUÇÕES, S.A.

Promotor

FUNDIESTAMO SOCIEDADE GESTORA DE FUNDOS DE INVESTIMENTO IMOBILIÁRIO

SOLUÇÃO DE ESTABILIZAÇÃO PARA O ESCORREGAMENTO DO TALUDE: CASO DE TORRES VEDRAS

Cleberson da Silva Matos / JETsj Geotecnia
Ricardo Justiniano / JETsj Geotecnia

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

JETsJ

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

ÍNDICE

1. Introdução
2. Estudo Geológico-Geotécnico
3. Solução de Estabilização Provisória
4. Solução de Estabilização Definitiva
5. Processos Construtivos
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

ÍNDICE

1. **Introdução**
2. Estudo Geológico-Geotécnico
3. Solução de Estabilização Provisória
4. Solução de Estabilização Definitiva
5. Processos Construtivos
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

INTRODUÇÃO

Caso de estudo:

- Ocorrência de instabilidade num talude em meio urbano
- Desenvolvimento de deslocamentos nas edificações a montante
- Necessidade de intervenção urgente para garantia de segurança
- Condicionamentos geotécnicos e construtivos relevantes

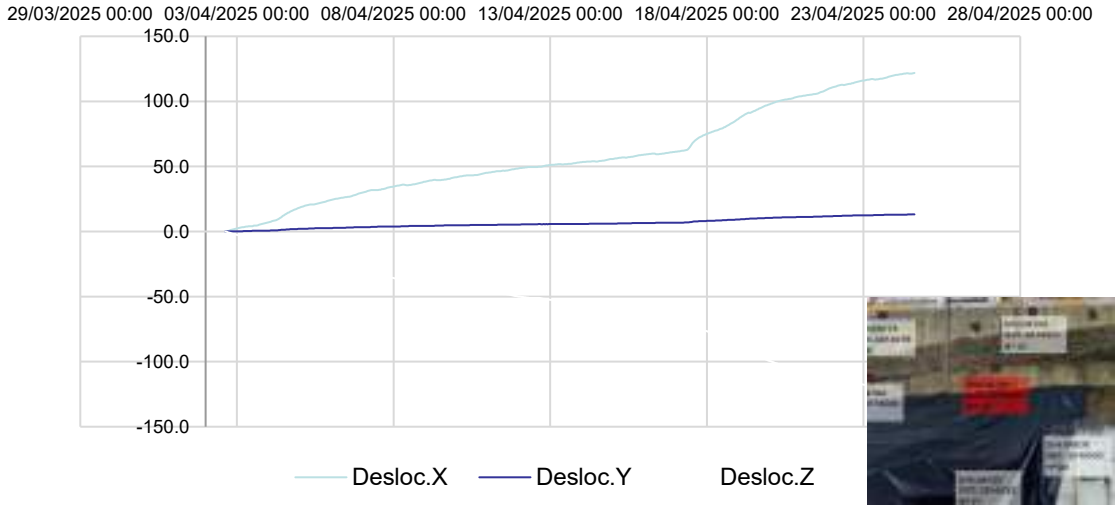
INTRODUÇÃO

Instrumentação:

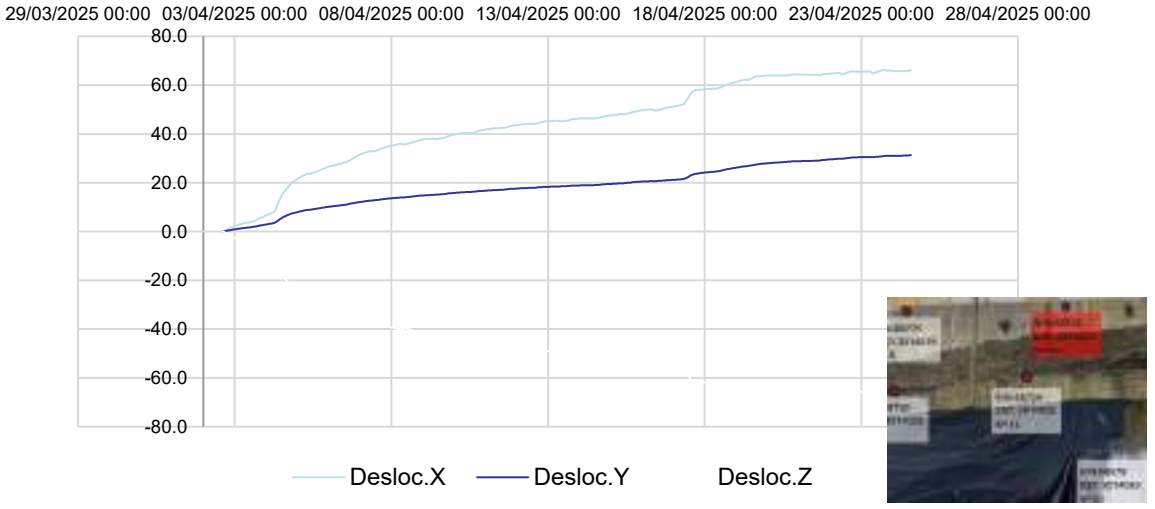
Com o objetivo de monitorizar os deslocamentos do talude e os efeitos nos edifícios adjacentes, foi instalado um sistema de instrumentação composto por tiltmeters.

INTRODUÇÃO

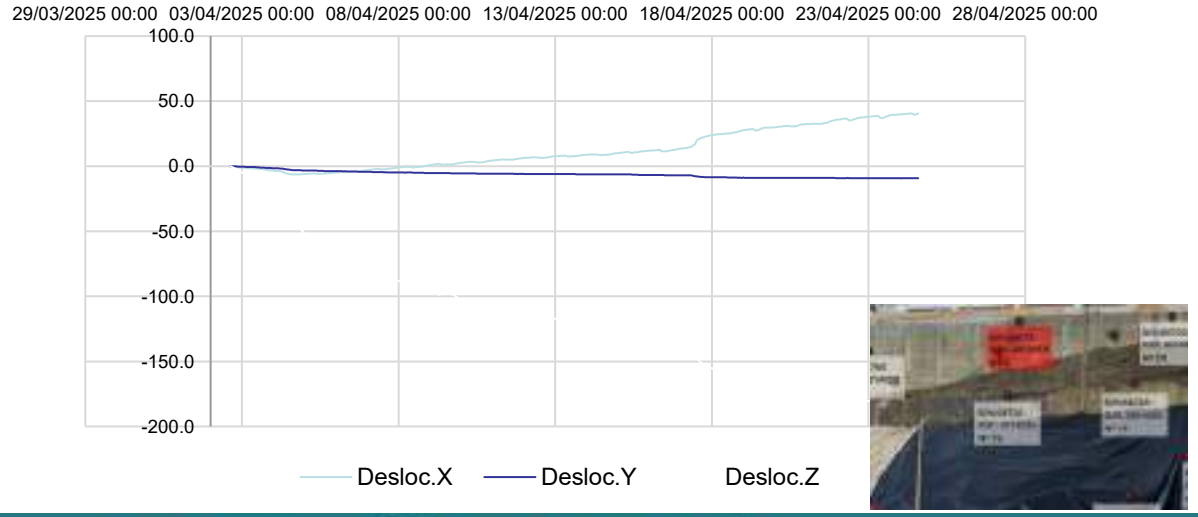
68739-N14



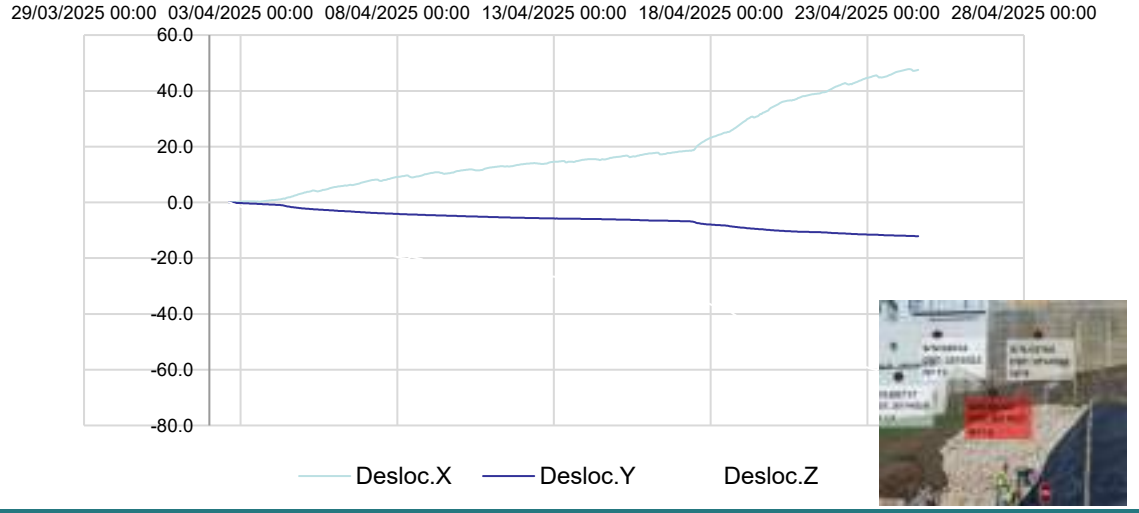
68700-N20



68775-N08



68725-N16



ÍNDICE

1. Introdução
2. **Estudo Geológico-Geotécnico**
3. Solução de Estabilização Provisória
4. Solução de Estabilização Definitiva
5. Processos Construtivos
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

- Consulta da Carta Geológica de Portugal — Folha 30C (Torres Vedras)
- Área implantada sobre formações jurássicas das Margas de Abadia (J3C)
- Presença predominante de:
  - Margas
  - Argilas arenosas
  - Grés micáceos

Fonte: Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, Folha 30C – Torres Vedras

- Intercalações arenosas de espessura variável;
- Predomínio local de fácies margosas e argilo-margosas;
- Evolução em profundidade para materiais margo-calcários;
- Materiais com menor consistência nos níveis superficiais;
- Aumento da rigidez e competência geomecânica em profundidade.

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

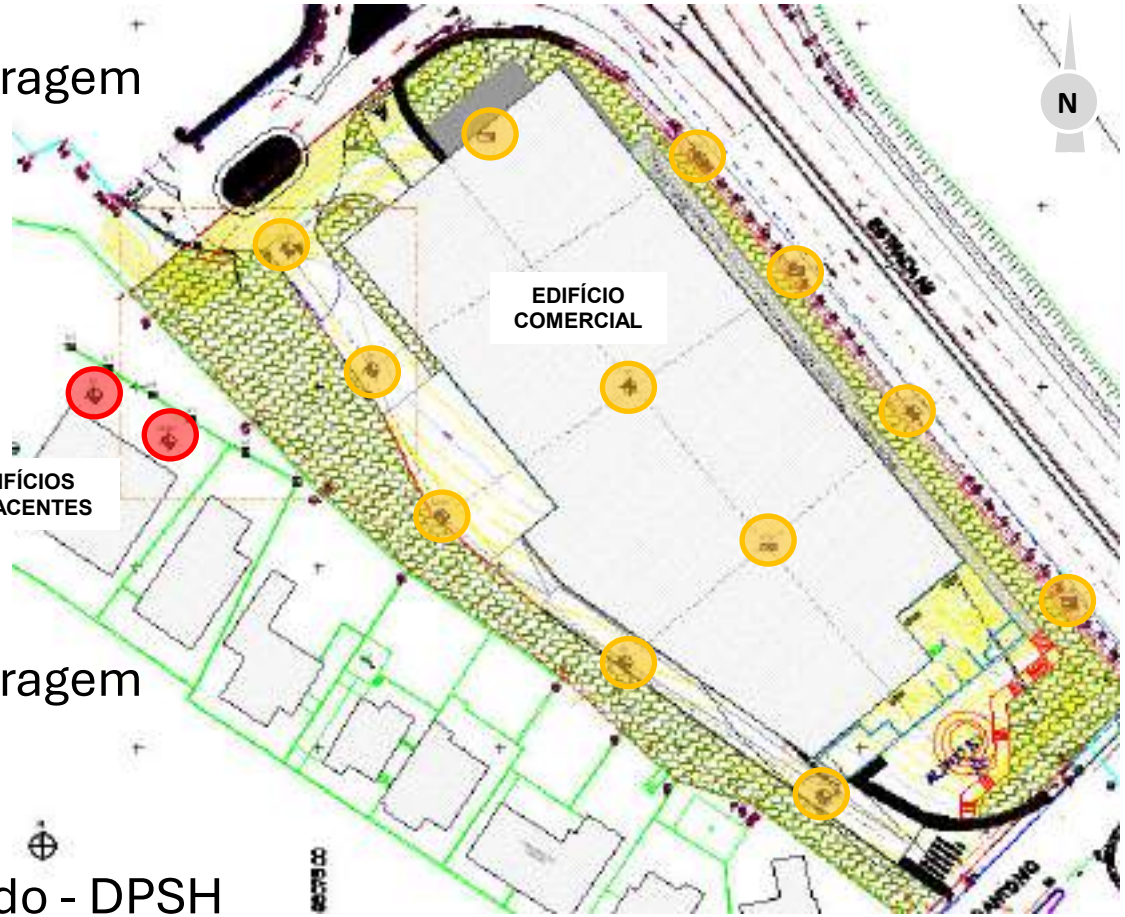
Plano de Prospeção Geológico-Geotécnico

Agosto de 2022: 🟡

- ✓ 8 Sondagens Geotécnicas à rotação com amostragem contínua
- ✓ Ensaios SPT em profundidade
- ✓ 4 Poços de reconhecimento geotécnico
- ✓ 2 Piezómetros
- ✓ Ensaios Laboratoriais

Abril de 2025: 🔴

- ✓ 1 Sondagens Geotécnicas à rotação com amostragem contínua
- ✓ Ensaios SPT em profundidade
- ✓ 1 Ensaio de Penetrómetro dinâmico super-pesado - DPSH



ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

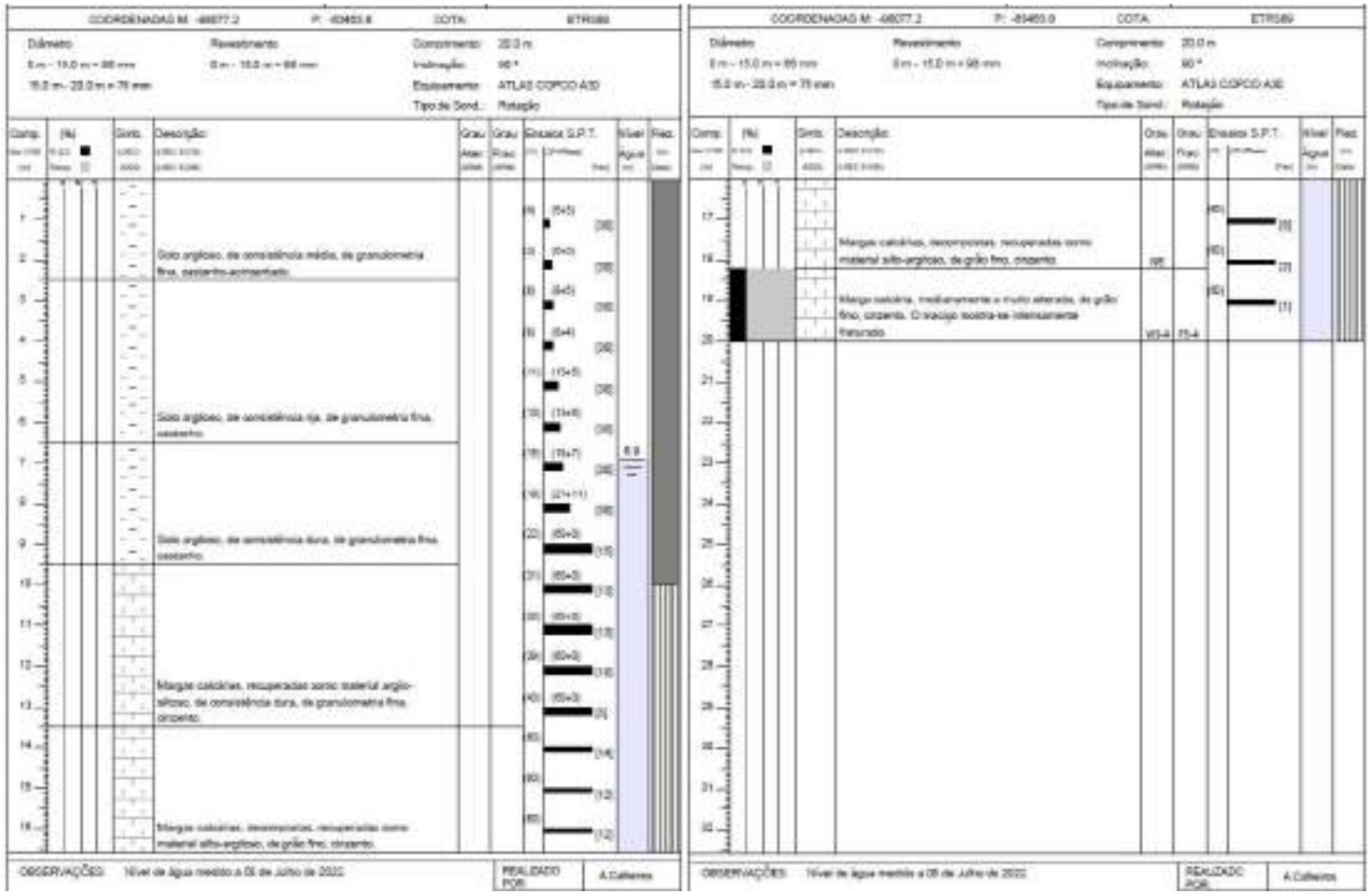
Estratigrafia Observada

LITOLOGIA E ESTRATIGRAFIA		
DEPÓSITOS RECENTES		
	ZG1	Aterros heterogéneos, constituídos por solos areno-argilosos, entulho e fragmentos rochosos.
PLIO-PLISTOCÉNICO		
	ZG2	Horizonte H1 - Solo argiloso acastanhado, de consistência média a dura , (N_{SPT} <18).
	ZG3	Horizonte H2 - Solo argiloso acastanhado, de consistência muito dura a rija, (N_{SPT} entre18 e 42).
	ZG4	Horizonte H3 - Argilas margosas acinzentadas, rijas, com N_{SPT} >60, (com nega a ser atingida na 2ªfase do ensaio.
	ZG5	Horizonte H4 - Margas acinzentadas, rijas, com N_{SPT} >60, (com nega a ser atingida na 1ªfase do ensaio).
	ZG6	Horizonte H5 - Margas calcárias acinzentadas, medianamente a muito alteradas (W_{3-4}) e muito fracturadas (F_{5-4}).

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Sondagens Geotécnicas:

O exemplo da Sondagem 1



0.0m - 20.0m

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Caracterização Geomecânica

- Parâmetros geotécnicos definidos com base em:
  - Ensaios de campo (SPT)
  - Correlações empíricas da literatura
  - Experiência em formações geológicas análogas

Zonas geo-técnicas	Formações	NSPT	γ_d [kN/m³]	c' [kPa]	φ' [°]	E' [MPa]
ZG1	Aterros heterogé-neos	-	18	0	18	10
ZG2	Solo argiloso acasta-nhado, consistência média a dura	NSPT<18	15	5	21	35
ZG3	Solo argiloso acasta-nhado, consistência muito dura a rija	18<NSPT<42	16,5	15	22	65
ZG4	Argilas margosas acinzentadas, rijas	NSPT>60	19	25	25	75
ZG5	Argilas margosas acinzentadas, rijas	NSPT>60	20	30	28	80

ÍNDICE

1. Introdução
2. Estudo Geológico-Geotécnico
3. **Solução de Estabilização Provisória**
4. Solução de Estabilização Definitiva
5. Processos Construtivos
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

SOLUÇÃO DE ESTABILIZAÇÃO PROVISÓRIA

Objetivo:

- Reduzir os deslocamentos e garantir condições mínimas de segurança para a implementação da solução definitiva.

Solução adotada:

- Execução de um aterro de contrapeso na base do talude.

Base da solução:

- Interpretação do modelo geológico-geotécnico e identificação das zonas mais suscetíveis à instabilidade (ZG1 a ZG3).

Efeito pretendido:

- Aumento das tensões resistentes na base do talude e melhoria das condições de equilíbrio global.

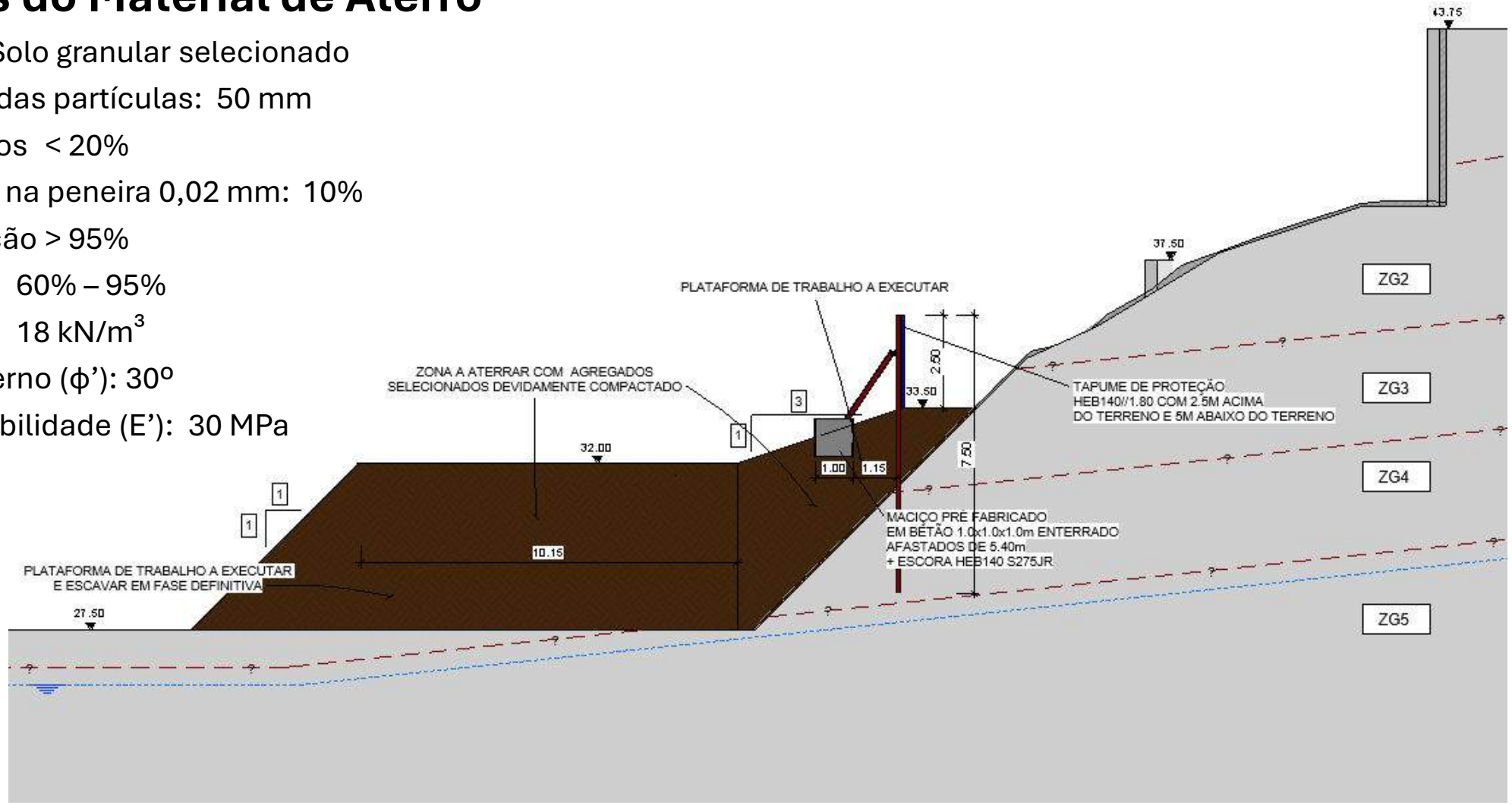
Estrutura de proteção:

- Perfis metálicos HEB 140, espaçados de 1,80 m, ligados a escoras ao chão e maciços de reação.

SOLUÇÃO DE ESTABILIZAÇÃO PROVISÓRIA

Características do Material de Aterro

- Tipo de material: Solo granular selecionado
- Dimensão máxima das partículas: 50 mm
- Percentagem de finos < 20%
- Percentagem retida na peneira 0,02 mm: 10%
- Grau de compactação > 95%
- Grau de saturação: 60% – 95%
- Peso específico (γ): 18 kN/m^3
- Ângulo de atrito interno (ϕ'): 30º
- Módulo de deformabilidade (E'): 30 MPa



ÍNDICE

1. Introdução
2. Estudo Geológico-Geotécnico
3. Solução de Estabilização Provisória
4. **Solução de Estabilização Definitiva**
5. Processos Construtivos
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

SOLUÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO DEFINITIVA

Estrutura principal:

- Cortina de estacas secantes em betão armado.

Características das estacas:

- Diâmetro: 600 mm.
- Espaçamento entre eixos: 0,90 m.
- Estacas armadas intercaladas com estacas não armadas (plásticas) de igual diâmetro.

Ficha:

- Estacas armadas: mín. 4,0 m nas argilas margosas rijas (ZG5, NSPT > 60).
- Estacas não armadas: mín. 0,50 m abaixo do fundo de escavação.

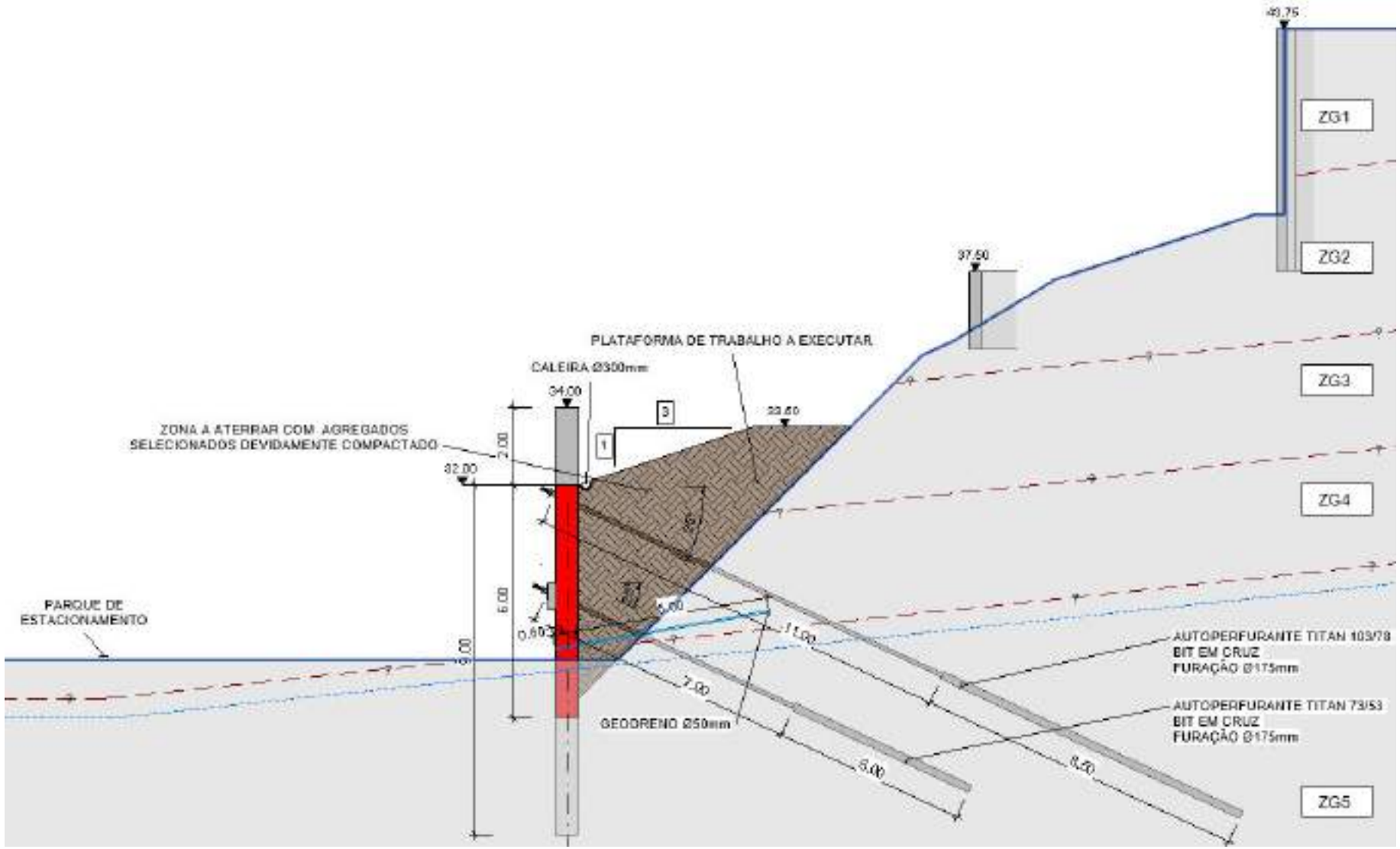
Travamento:

- Pregagens definitivas (microestacas autoperfurantes tipo ANP) seladas nas ZG5 (NSPT > 60).
- Esforços transmitidos por vigas de distribuição em betão armado, com chapa e cabeça embutidas.

Intervenções a montante:

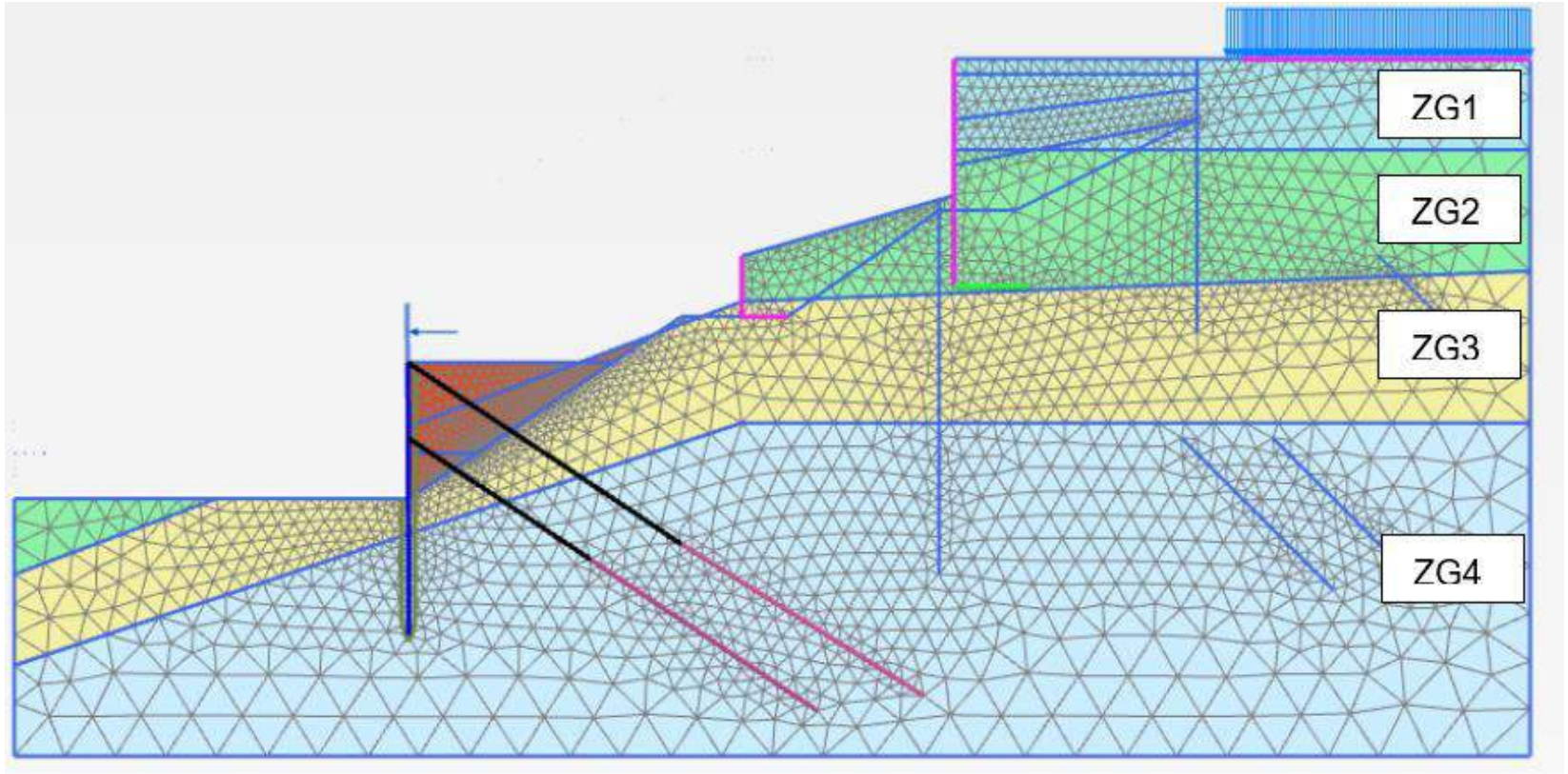
- Reperfilamento do talude e medidas de drenagem para melhorar o comportamento global.

SOLUÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO DEFINITIVA



SOLUÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO DEFINITIVA

Modelos de Elementos Finitos: Secção Representativa de Cálculo PLAXIS 2D



Sobrecargas consideradas:

10 kN/m^2/piso para arruamentos e edifícios vizinhos

Carga acidental de colapso:

400 kN/ml no topo da contenção, simulando agravamento do talude

Elementos estruturais utilizados:

Estacas: elementos "Plate"

Bolbos de selagem: elementos "Embedded Beam"

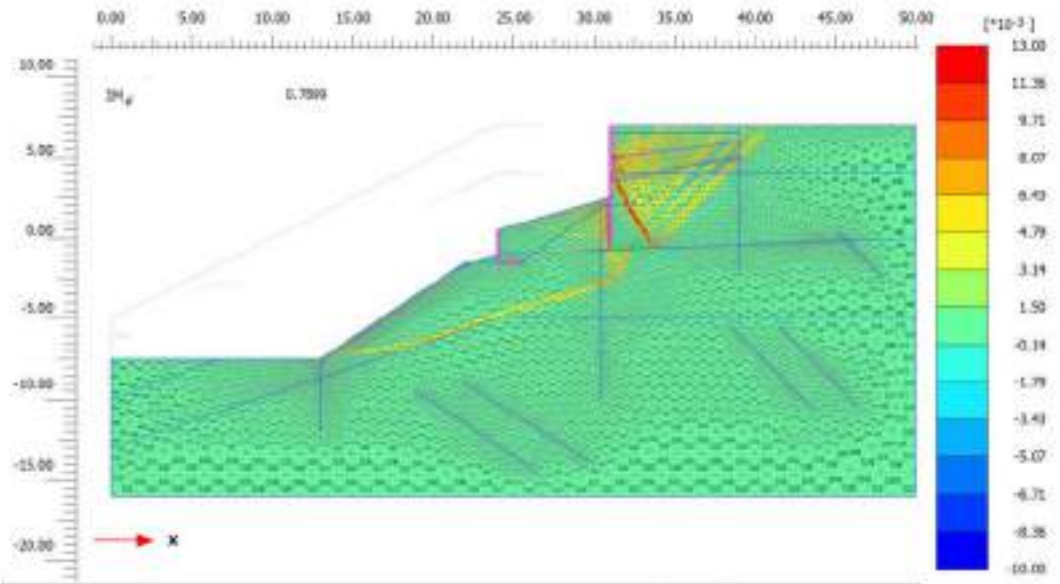
Modelação do solo:

Modelo constitutivo: **Hardening Soil**

Propriedades geomecânicas: Tabela 1 do artigo

SOLUÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO DEFINITIVA

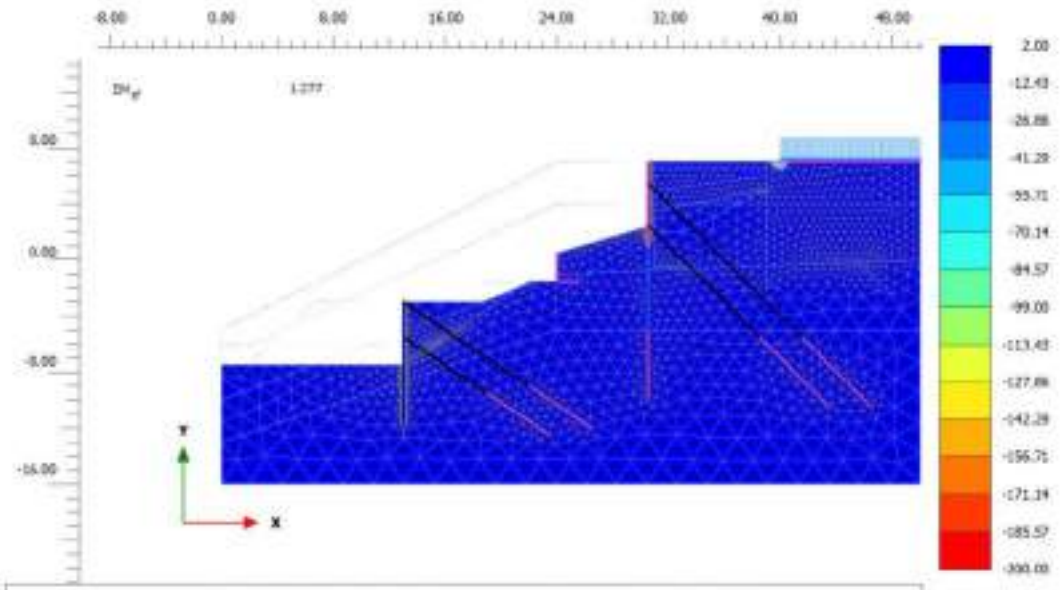
Modelos de Elementos Finitos: Resultados PLAXIS 2D



Incremental deviatoric strain $\Delta\gamma_s$ (scaled up 10.0 times)

Maximum value = 0.1244 (Element 105 at Node 13960)

Minimum value = $0.2641*10^{-9}$ (Element 5132 at Node 19052)



Incremental deviatoric strain $\Delta\gamma_s$ (scaled up $0.500*10^{-3}$ times)

Maximum value = 2498 (Element 297 at Node 3194)

Minimum value = 0.000 (Element 2751 at Node 25808)

ÍNDICE

1. Introdução
2. Estudo Geológico-Geotécnico
3. Solução de Estabilização Provisória
4. Solução de Estabilização Definitiva
5. **Processos Construtivos**
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

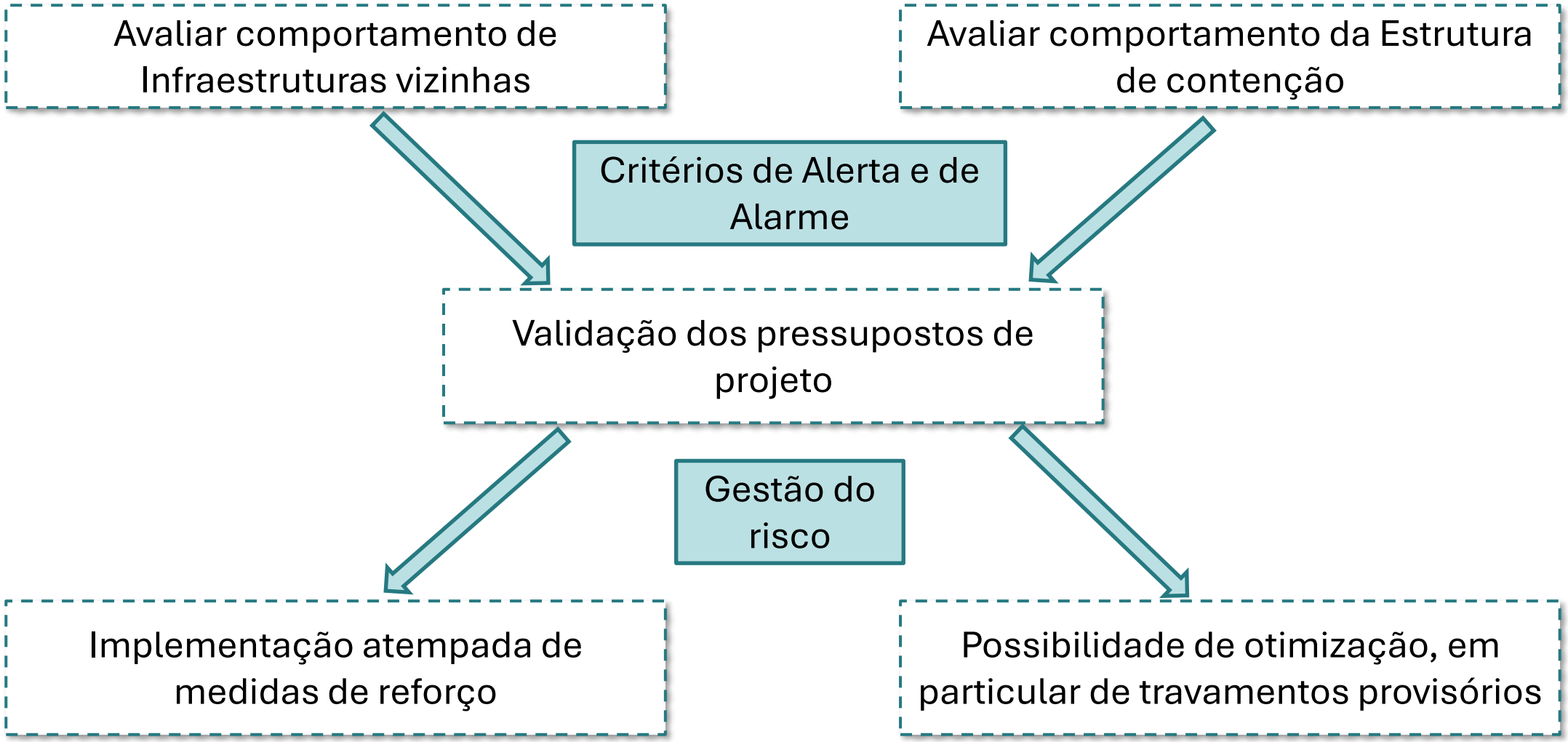
Início dos trabalhos de estabilização (a esquerda) e fim dos trabalhos de estabilização (a direita)

ÍNDICE

1. Introdução
2. Estudo Geológico-Geotécnico
3. Solução de Estabilização Provisória
4. Solução de Estabilização Definitiva
5. Processos Construtivos
6. **Plano de Instrumentação e Observação**
7. Considerações Finais

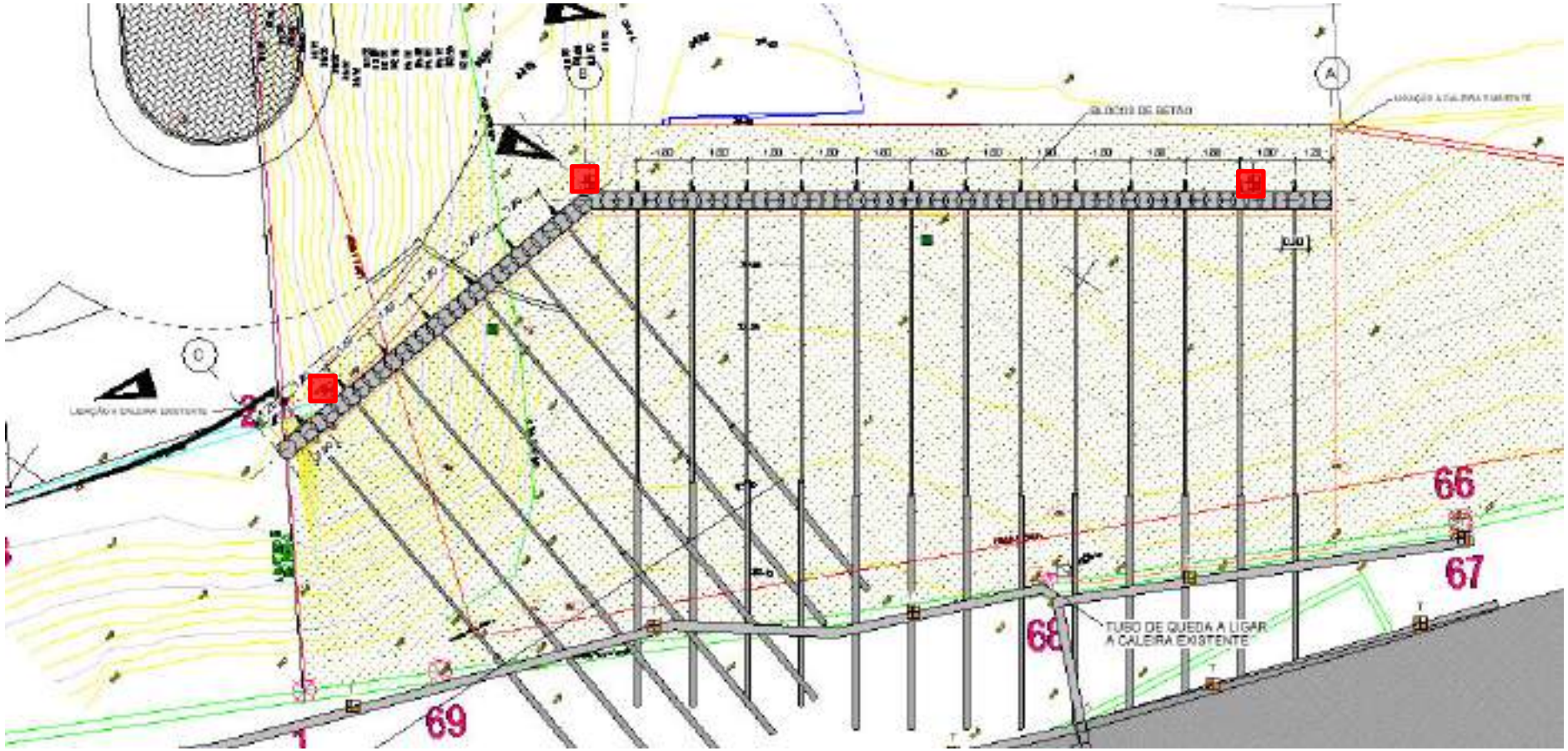
PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Objetivos do Plano de Instrumentação e Observação



PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Localização dos dispositivos



Foi definido um plano de instrumentação composto por:

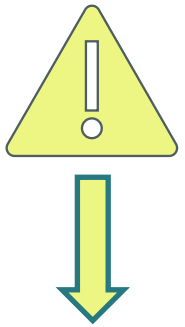
- Tiltmeter (x3)

Os novos instrumentos foram combinados com os previamente instalados.

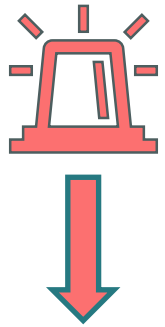
PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Critérios de Alerta e de Alarme

ELEMENTO	CRITÉRIO DE ALERTA	CRITÉRIO DE ALARME
ESTRUTURA DE CONTENÇÃO	Δh =20mm	Δh =25mm
	Δv =10mm	Δv =15mm



Acompanhar instrumentação de forma mais próxima



Adotar Medidas de Mitigação e Reforço

ÍNDICE

1. Introdução
2. Estudo Geológico-Geotécnico
3. Solução de Estabilização Provisória
4. Solução de Estabilização Definitiva
5. Processos Construtivos
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. **Considerações Finais**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O caso de Torres Vedras evidencia a elevada complexidade das intervenções geotécnicas em cenários de instabilidade ativa

1.ª fase – Provisória:
Aterro selecionado e compactado + estrutura metálica de proteção.
→ Controlo imediato dos movimentos e garantia de segurança para a obra definitiva

2.ª fase – Definitiva:
Cortina de estacas secantes ancoradas.
→ Solução robusta, com elevada rigidez flexional, limitando deformações e protegendo as edificações vizinhas

Obrigado pela vossa atenção

utad

19.º Congresso Nacional

Geotecnia

11-14 Maio 2026

JET SJ

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

SOLUÇÕES DE REPERFILAMENTO DE TALUDES NUM EMPREENDIMENTO LOGÍSTICO SITUADO NA MALVEIRA

Adriana Azevedo/ JETsj Geotecnia
Miriam Lopes/ JETsj Geotecnia
Nuno Silva/ JETsj Geotecnia

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

JETsj

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Reperfilamento de Taludes
4. Plano de Instrumentação e Observação
5. Verificação da Segurança
6. Considerações Finais

ÍNDICE

1. **Introdução**
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Reperfilamento de Taludes
4. Plano de Instrumentação e Observação
5. Verificação da Segurança
6. Considerações Finais

INTRODUÇÃO

ENQUADRAMENTO

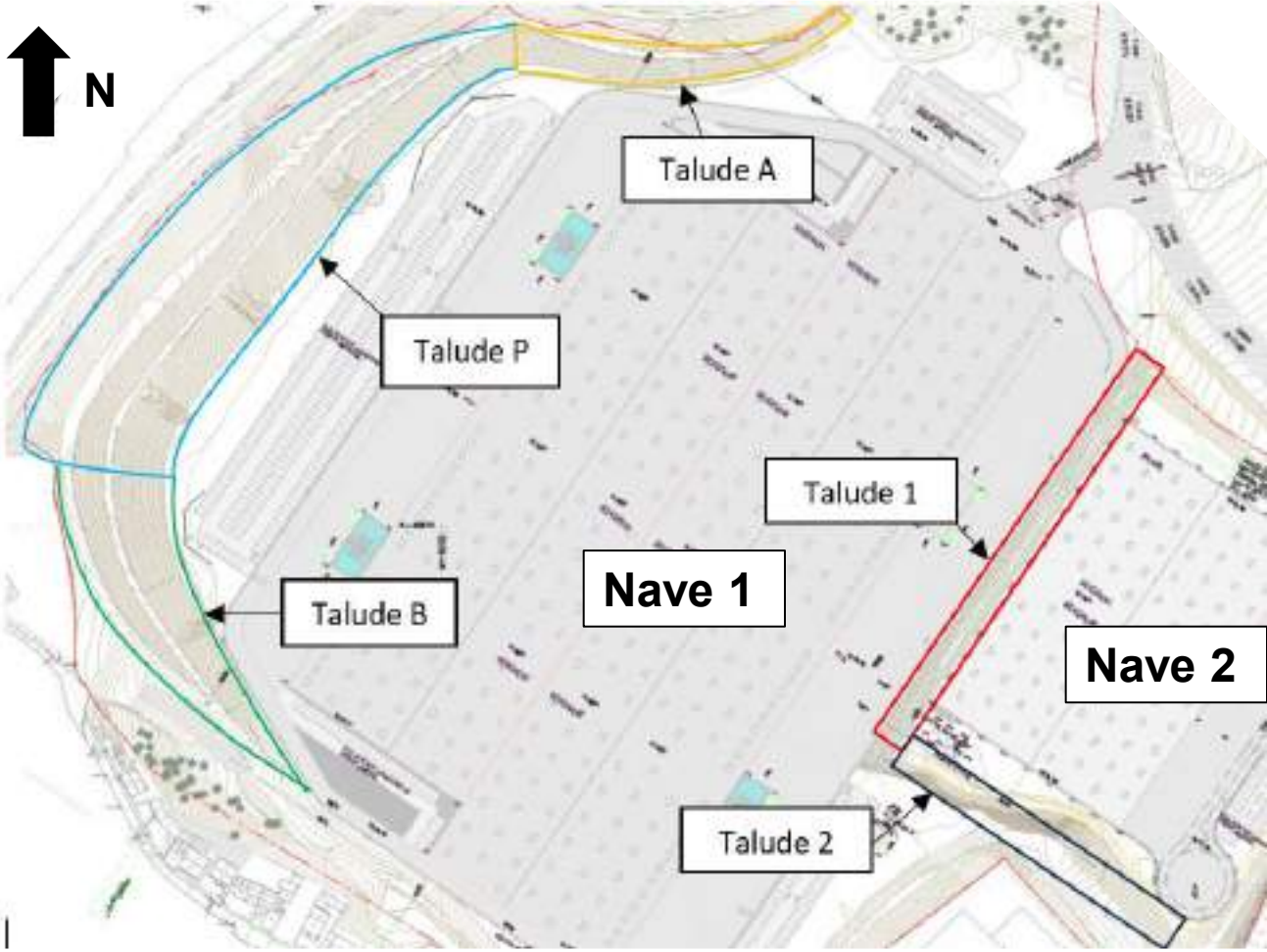
Construção de plataforma logística – Malveira

Terreno com sucessivos depósitos de aterro ao longo do tempo

Estado anterior à obra – roturas locais do aterro

Devido a

- **ausência de drenagem**
- **Inclinações excessivas dos taludes**



INTRODUÇÃO

OBJETIVOS

1. Avaliar a estabilidade dos taludes existentes

2. Propor soluções de estabilização adequadas a cada zona

ÍNDICE

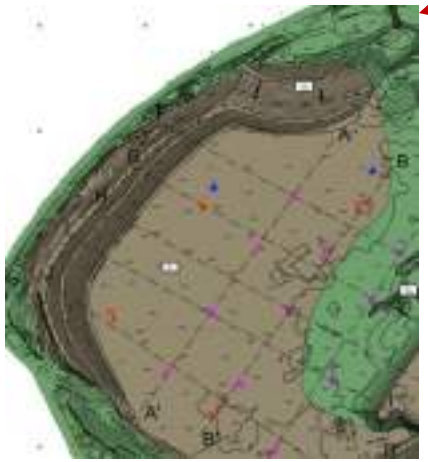
1. Introdução
2. **Principais Condicionamentos**
3. Soluções de Reperfilamento de Taludes
4. Plano de Instrumentação e Observação
5. Verificação da Segurança
6. Considerações Finais

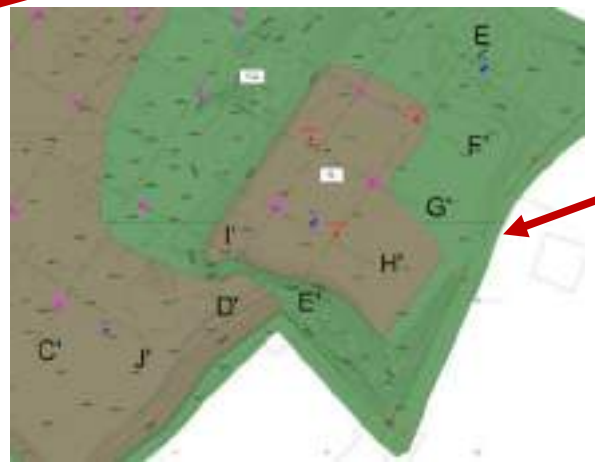
PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

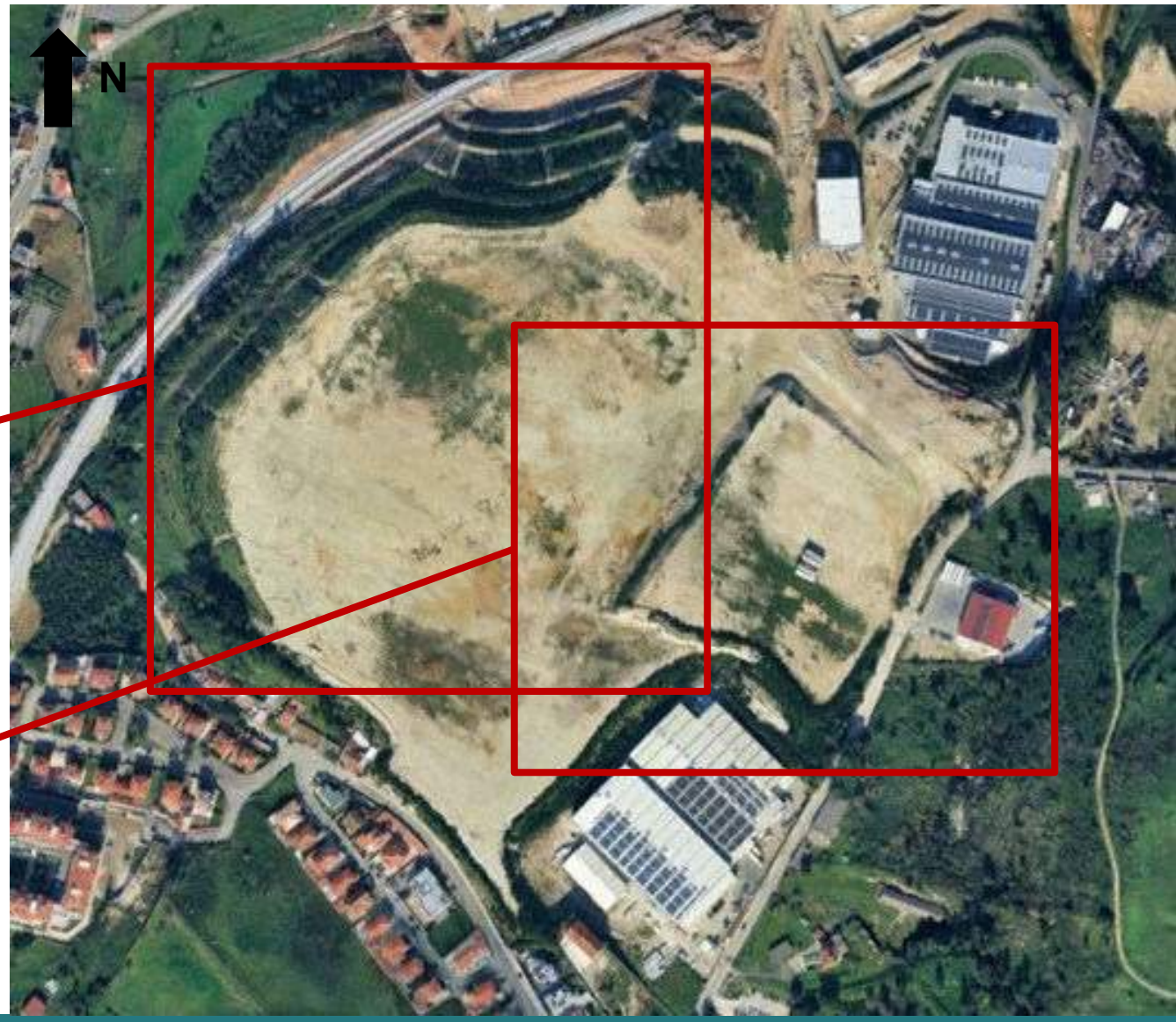
ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO

ZG1 – Depósitos de aterro (antigo vazadouro)

ZG2 – Calcários e margas







PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

CONFRONTAMENTOS

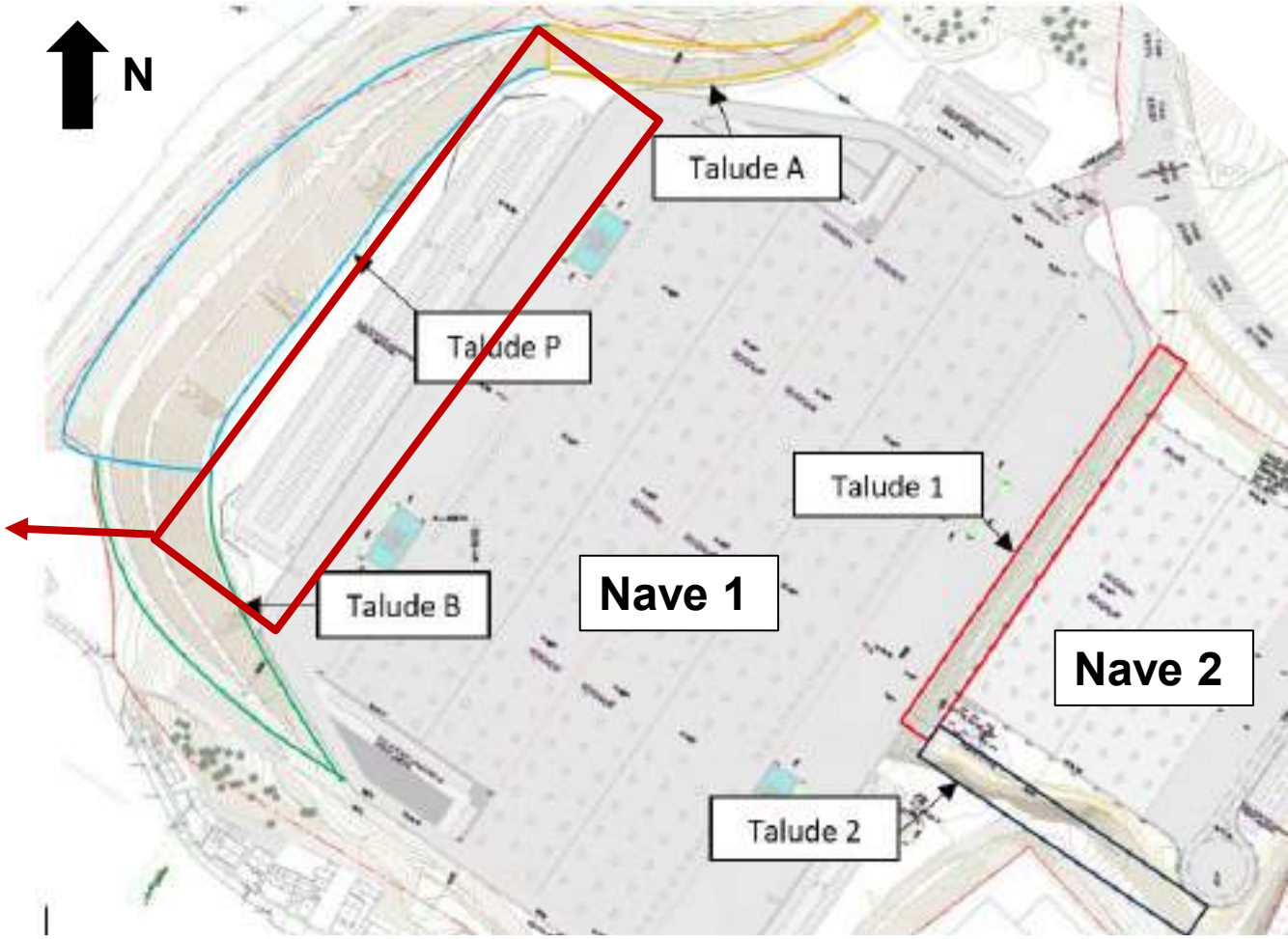
Linha do Oeste (linha férrea) localizada no limite inferior dos taludes, a uma cota aproximadamente 25 m inferior à crista dos taludes

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

CONFRONTAMENTOS

Linha do Oeste (linha férrea) localizada no **limite inferior** dos taludes

Parque de estacionamento previsto para o **topo do talude**

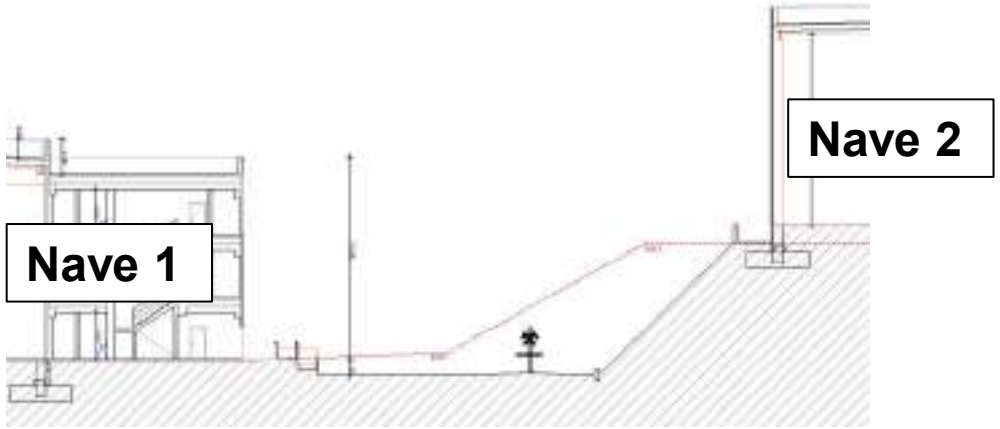


PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

GEOMETRIA DOS TALUDES

Inclinação proposta pela arquitetura 1(V):1(H)

Sobrecarga da Nave localizada no topo dos taludes



ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. **Soluções de Reperfilamento de Taludes**
4. Plano de Instrumentação e Observação
5. Verificação da Segurança
6. Considerações Finais

SOLUÇÕES DE REPERFILAMENTO DE TALUDES

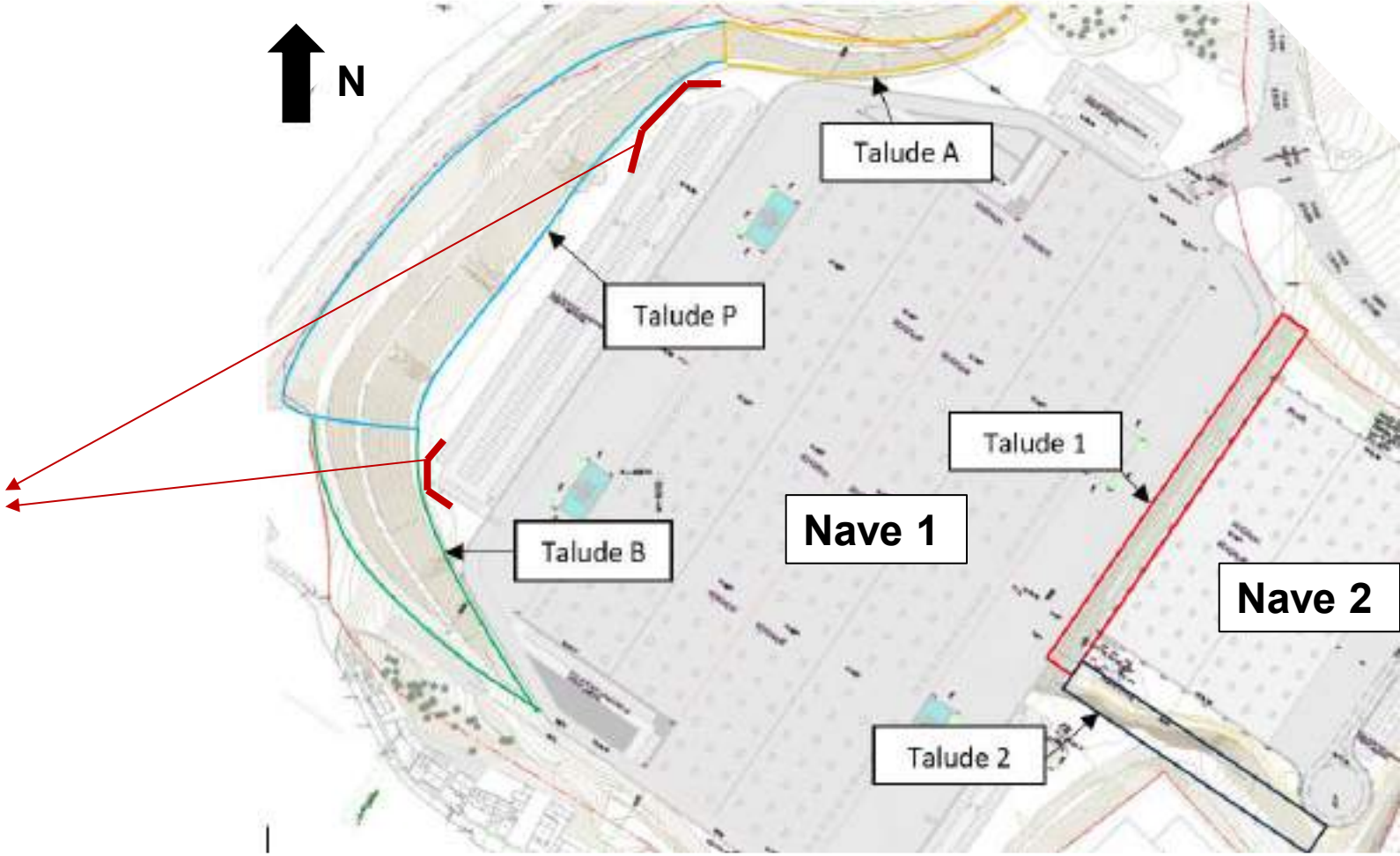
TALUDES A, B, P

Reperfilamento de taludes:

- **Inclinação geral de 2.5(H):1.0(V)**
- **Banquetas com 3 metros**

Taludes próximos a estacionamento:

- **Muros de Geotexteis (geogrelhas)**

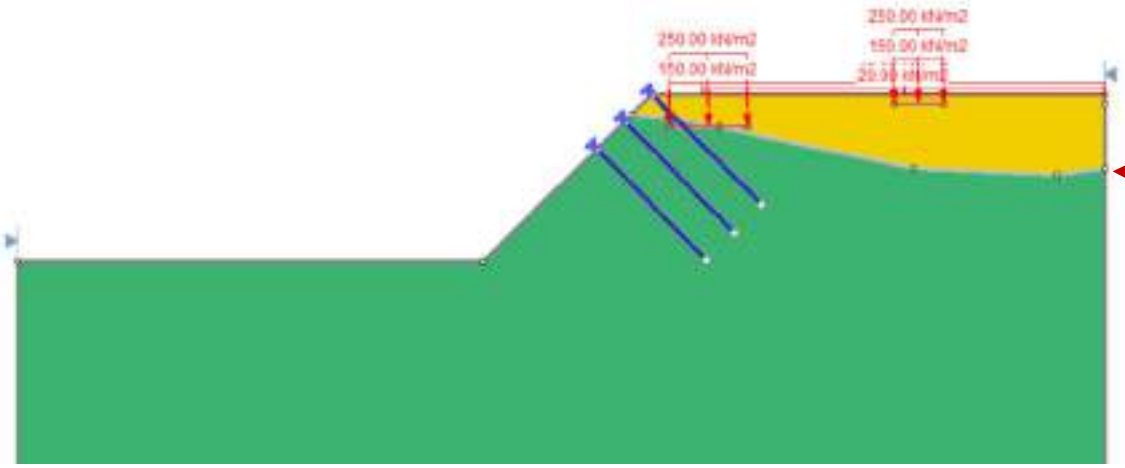


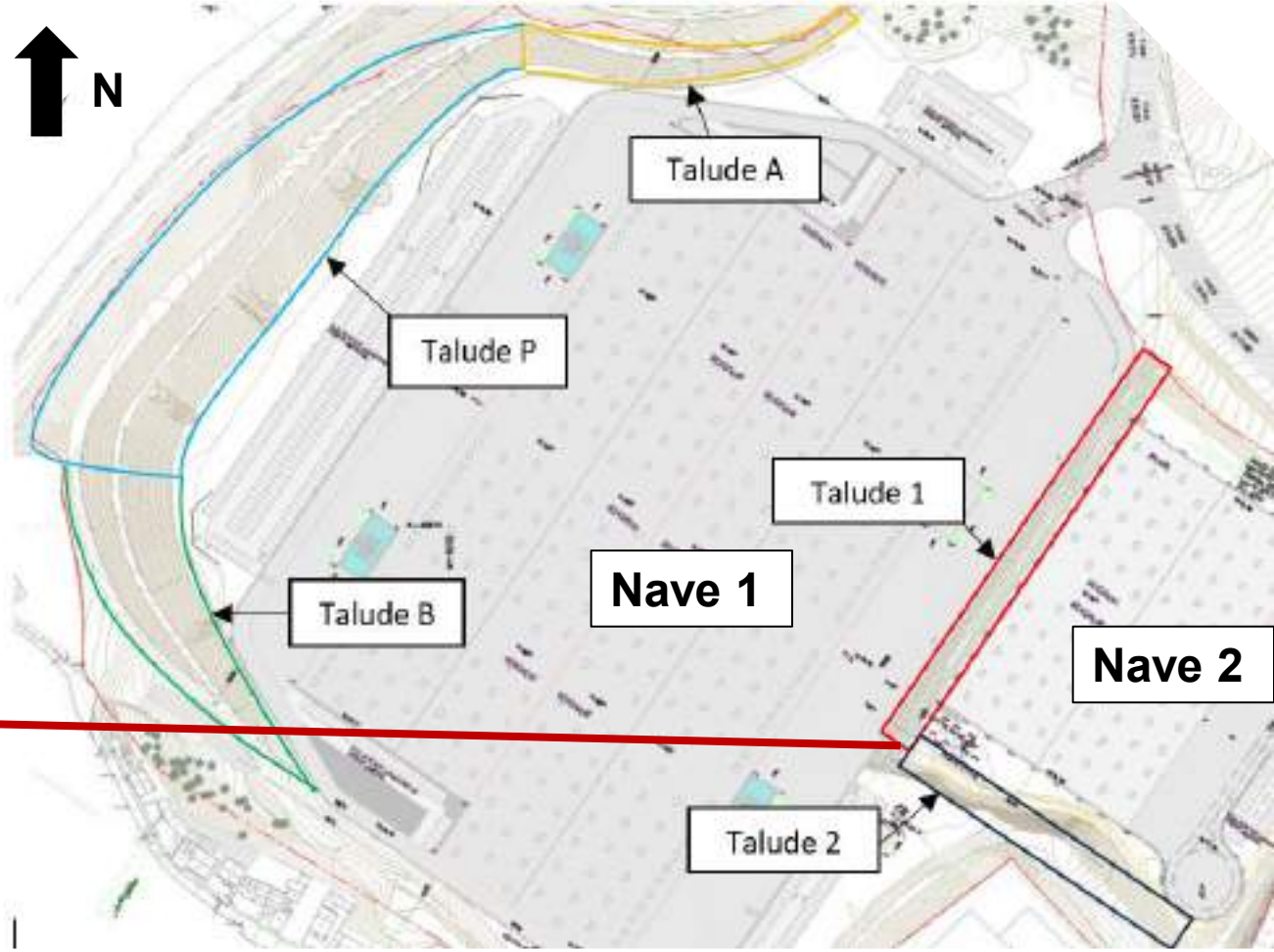
SOLUÇÕES DE REPERFILAMENTO DE TALUDES

TALUDES 1, 2

Reperfilamento de taludes:

- **Inclinação geral de 1.0(H):1.0(V)**
- **Reforço com pregagens**

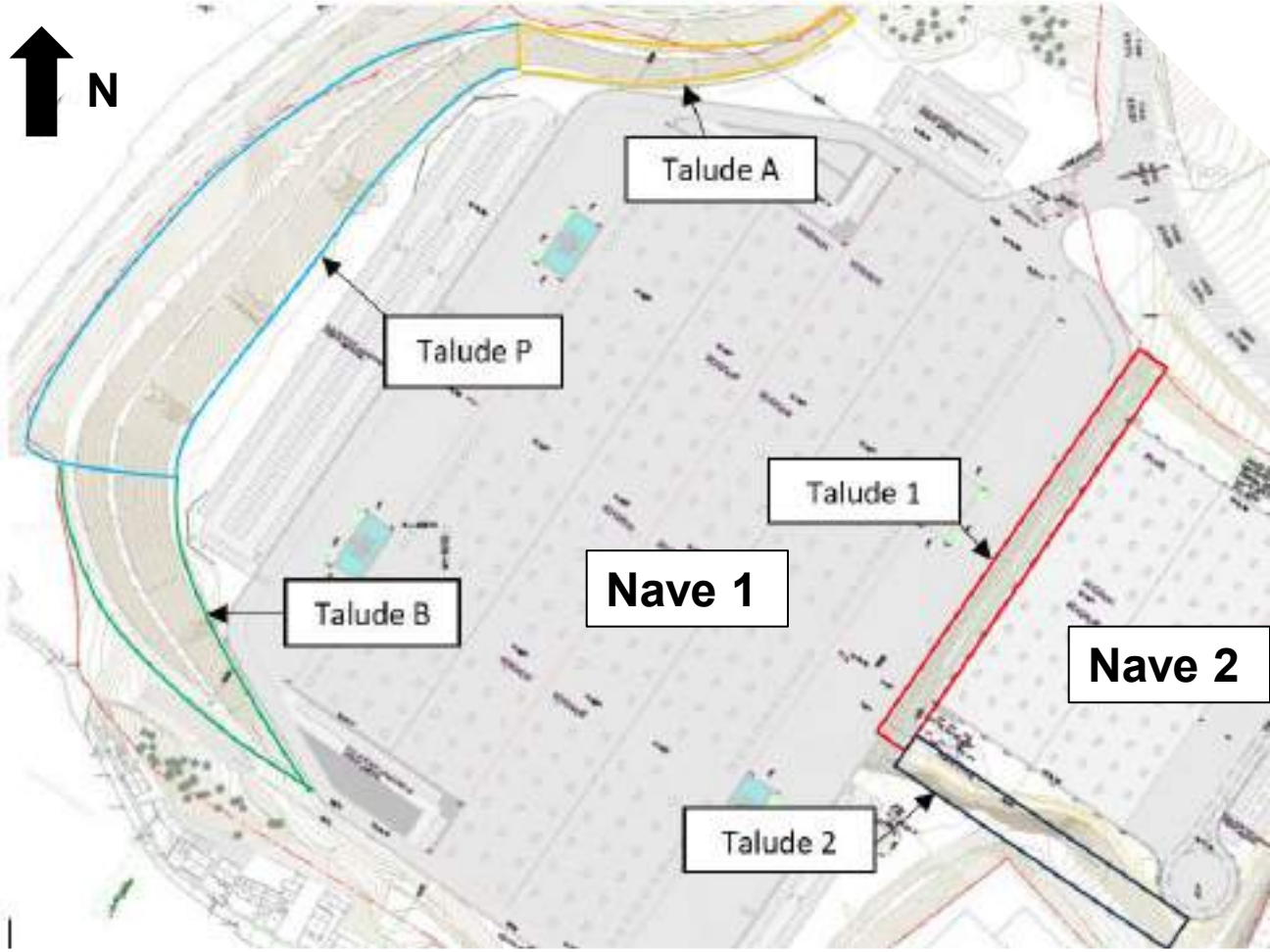




SOLUÇÕES DE REPERFILAMENTO DE TALUDES

SOLUÇÃO GERAL

- **Definição de sistema de drenagem – escoamento superficial**
- **Aplicação de geotêxteis – redução de erosão superficial**



ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Reperfilamento de Taludes
4. **Plano de Instrumentação e Observação**
5. Verificação da Segurança
6. Considerações Finais

PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

OBJETIVO

Permitir a monitorização do comportamento dos taludes e estruturas durante a vida útil da obra

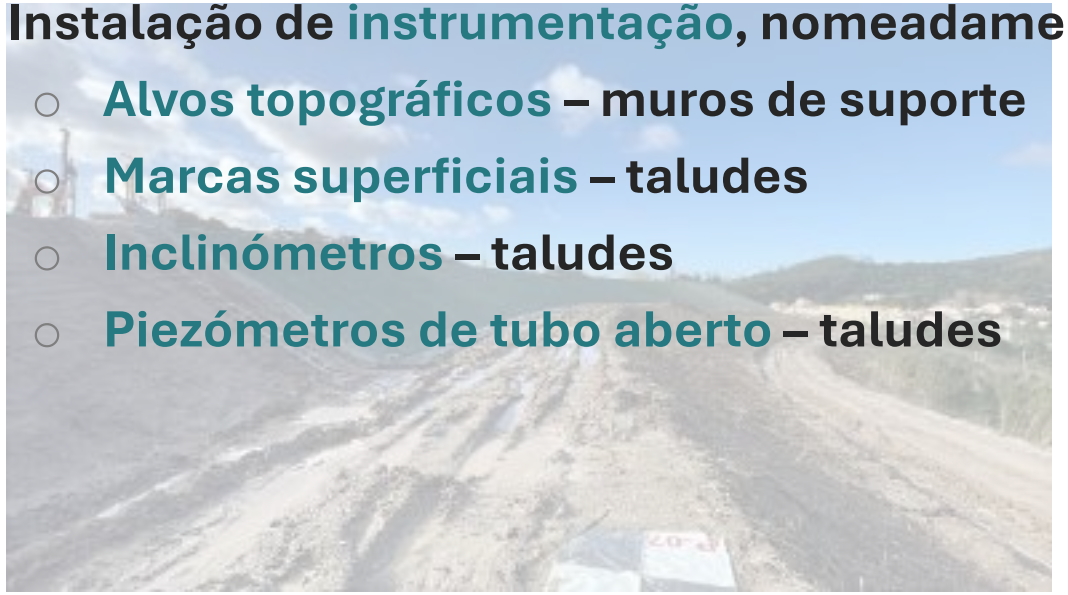
PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

OBJETIVO

Permitir a monitorização do comportamento dos taludes e estruturas durante a vida útil da obra

Medidas implementadas:

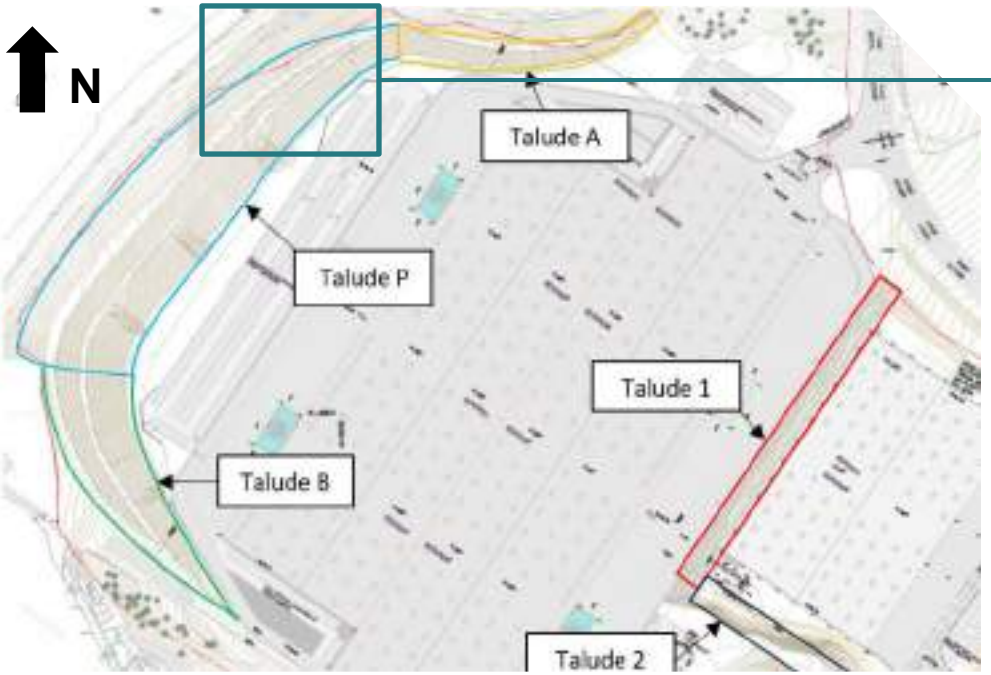
- **Instalação de instrumentação, nomeadamente:**
  - **Alvos topográficos – muros de suporte**
  - **Marcas superficiais – taludes**
  - **Inclinómetros – taludes**
  - **Piezómetros de tubo aberto – taludes**

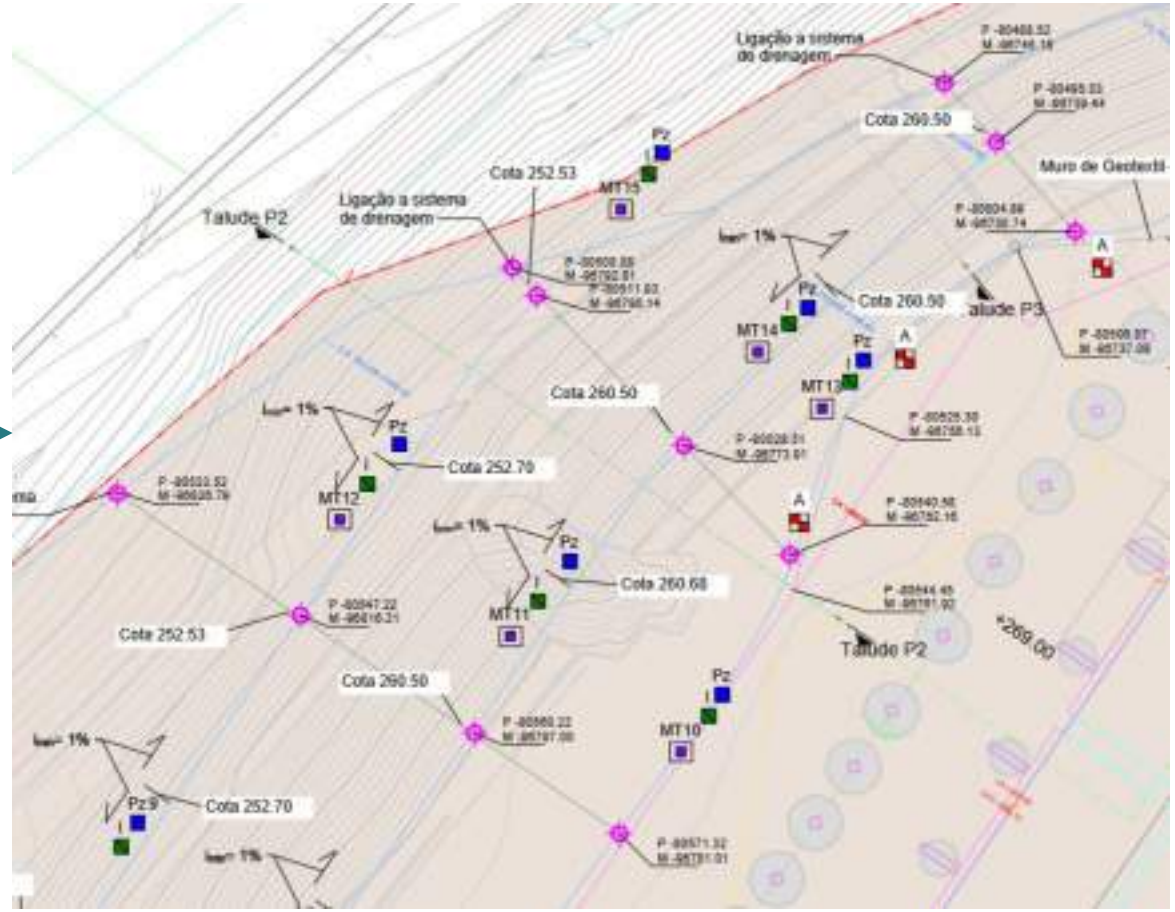


PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

OBJETIVO

- **Instalação de instrumentação, nomeadamente:**
  - **Alvos topográficos – muros de suporte**
  - **Marcas superficiais – taludes**
  - **Inclinómetros – taludes**

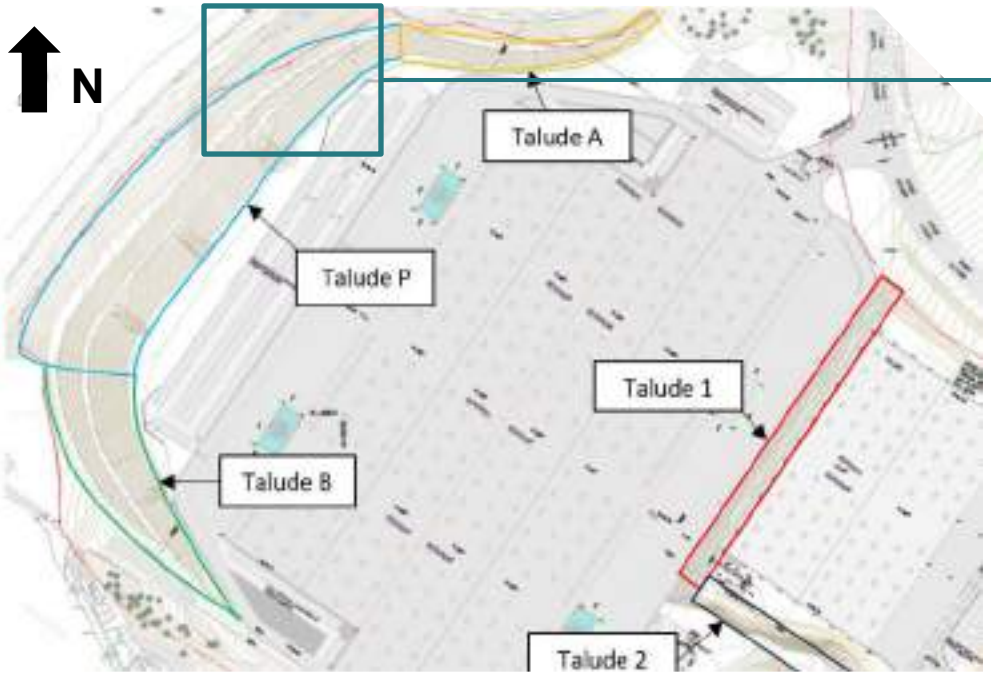


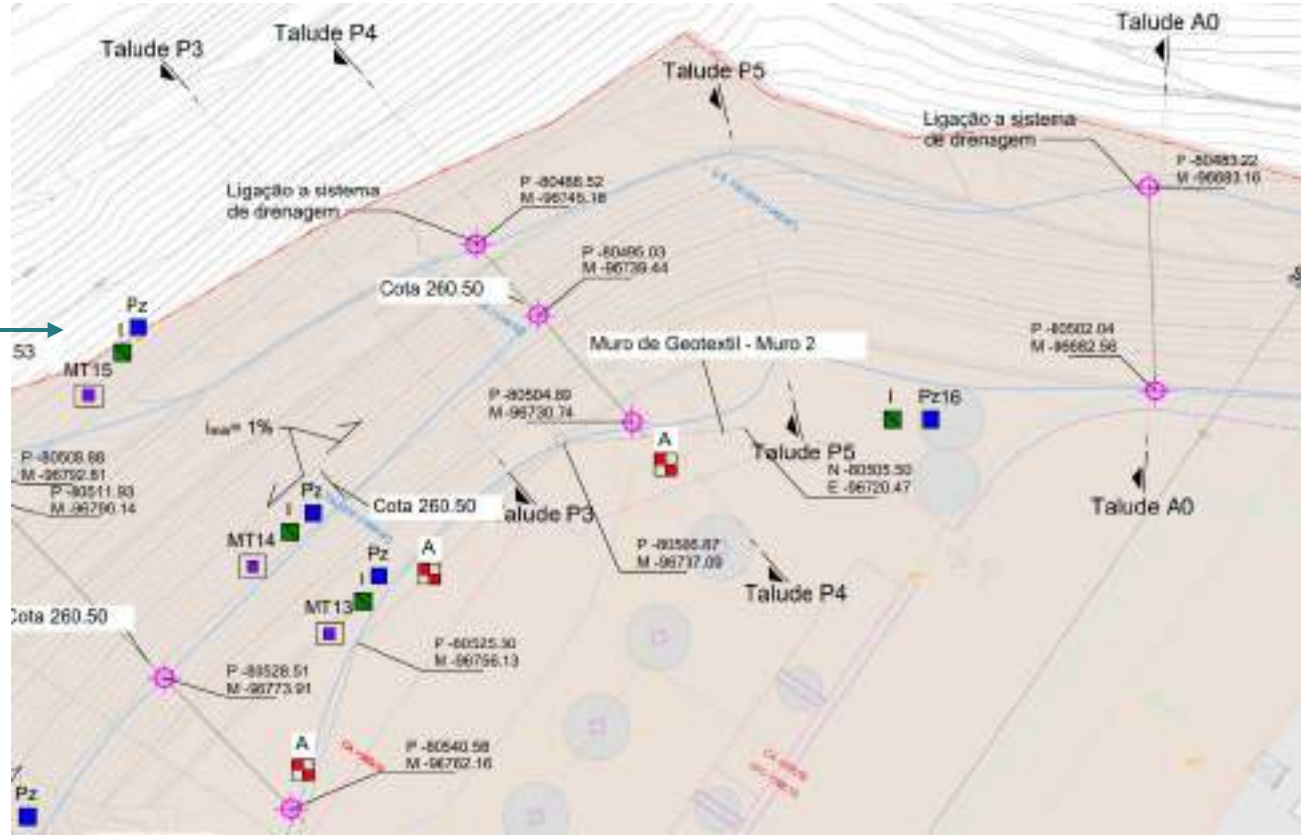


PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

OBJETIVO

- **Instalação de instrumentação, nomeadamente:**
  - **Alvos topográficos – muros de suporte**
  - **Marcas superficiais – taludes**
  - **Inclinómetros – taludes**

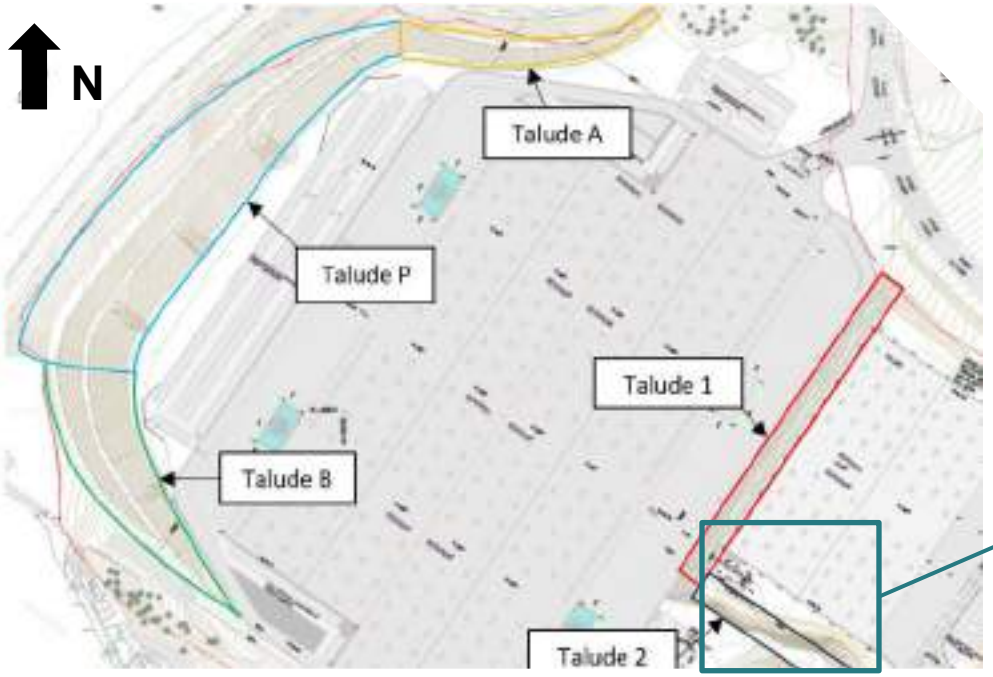


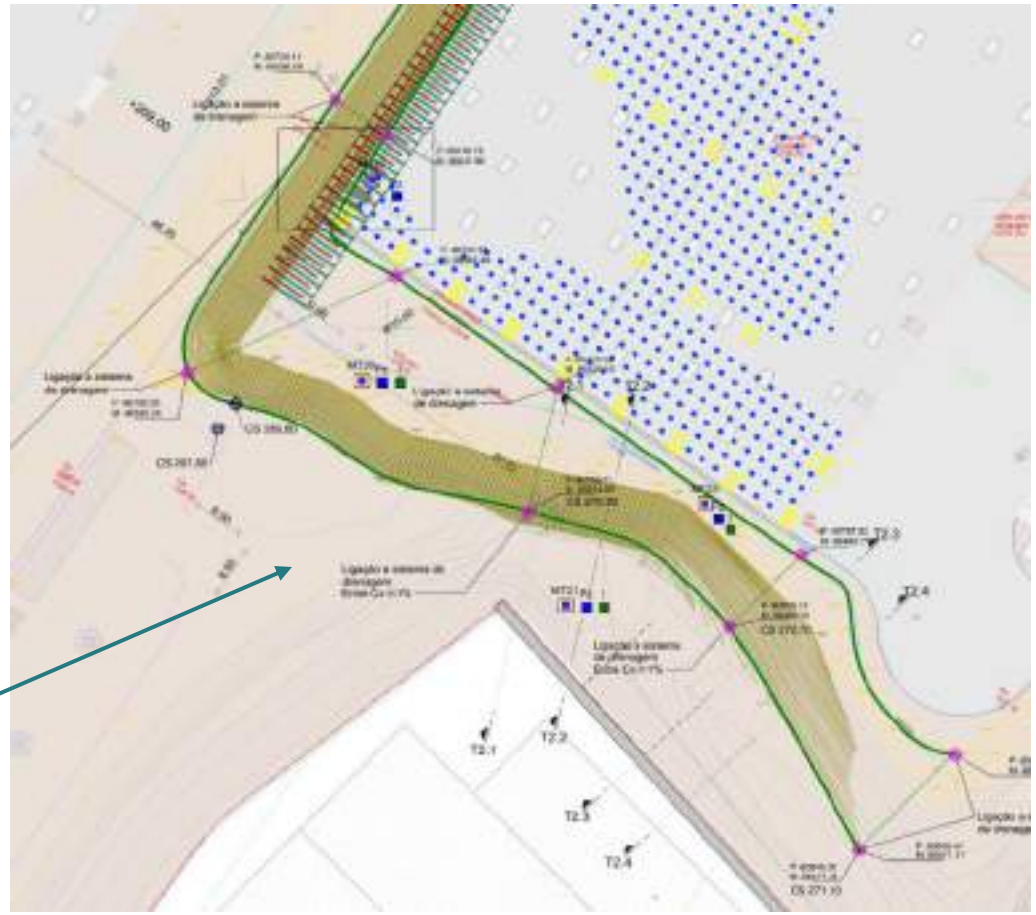


PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

OBJETIVO

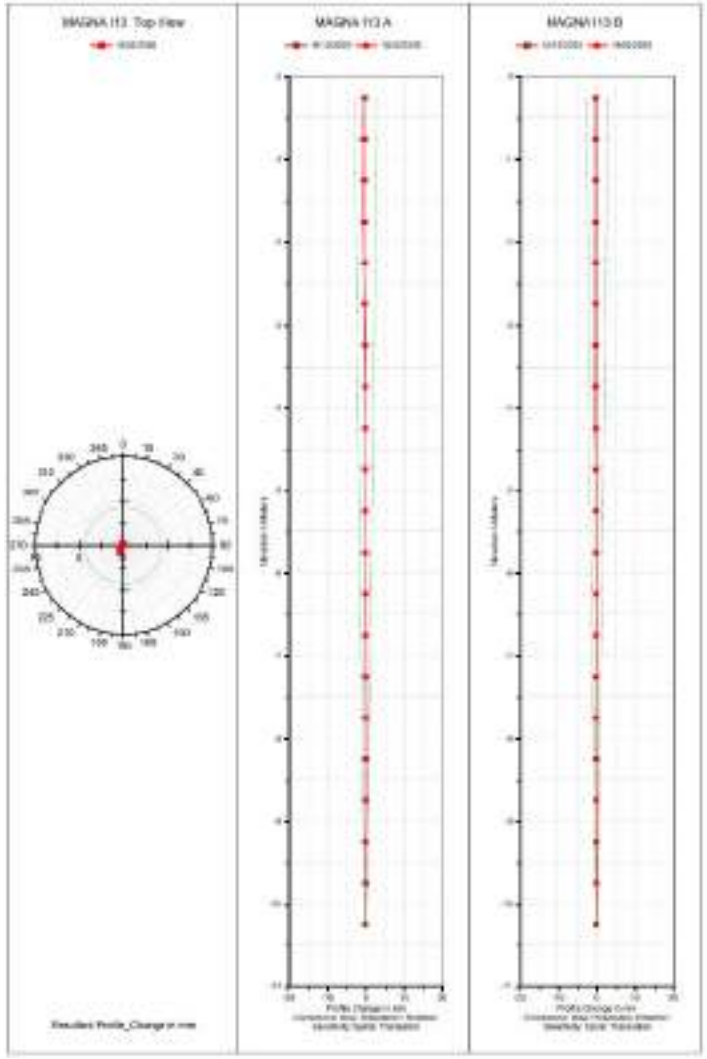
- **Instalação de instrumentação, nomeadamente:**
  - A — **Alvos topográficos – muros de suporte**
  - MT… — **Marcas superficiais – taludes**
  - **Inclinómetros – taludes**

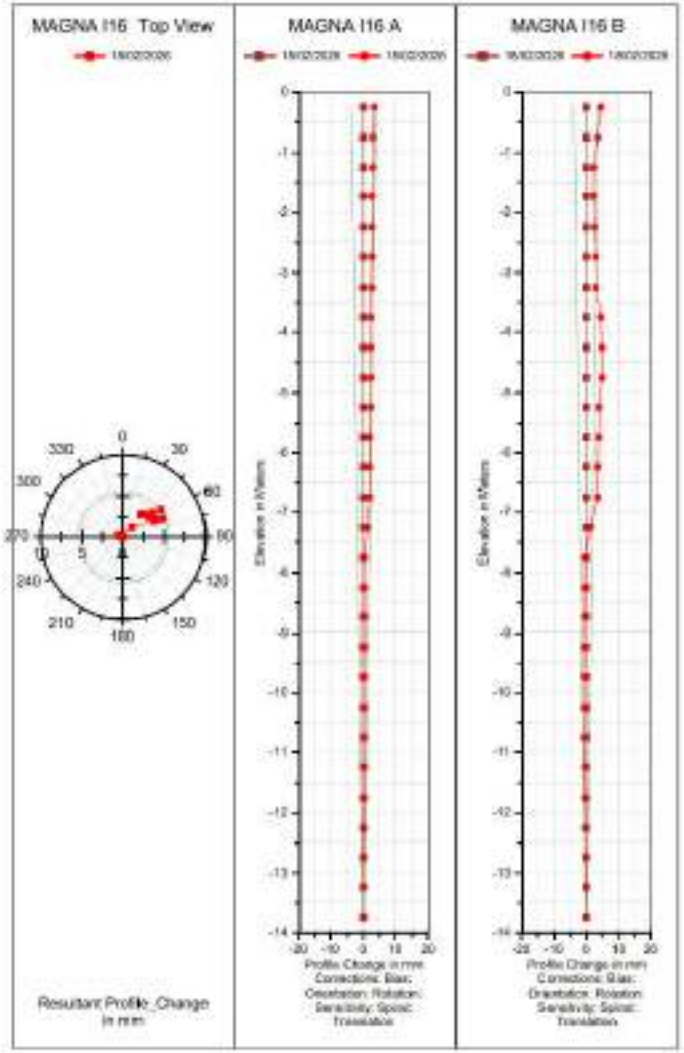


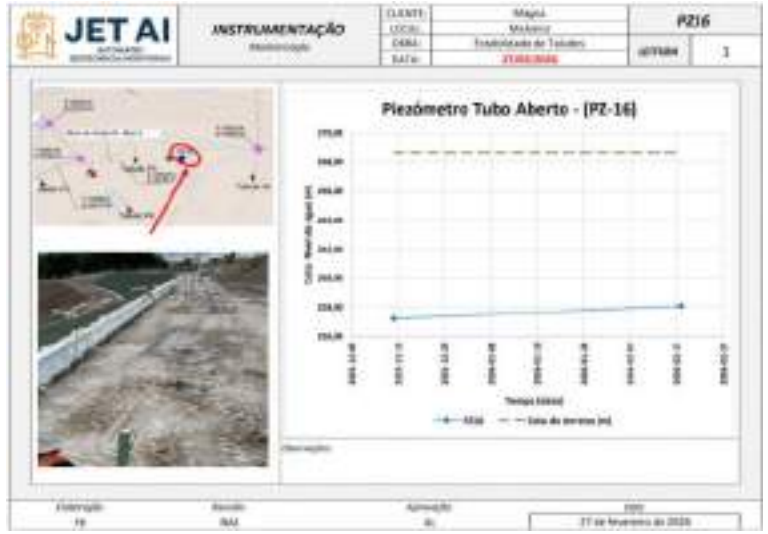


PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

RESULTADOS – Talude inferior

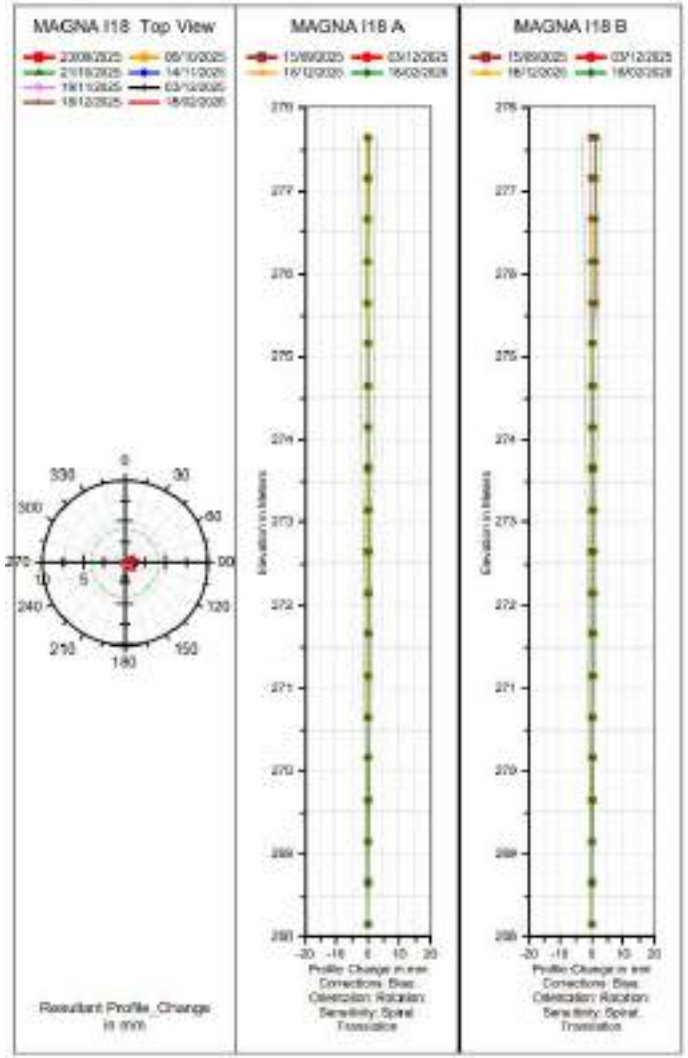


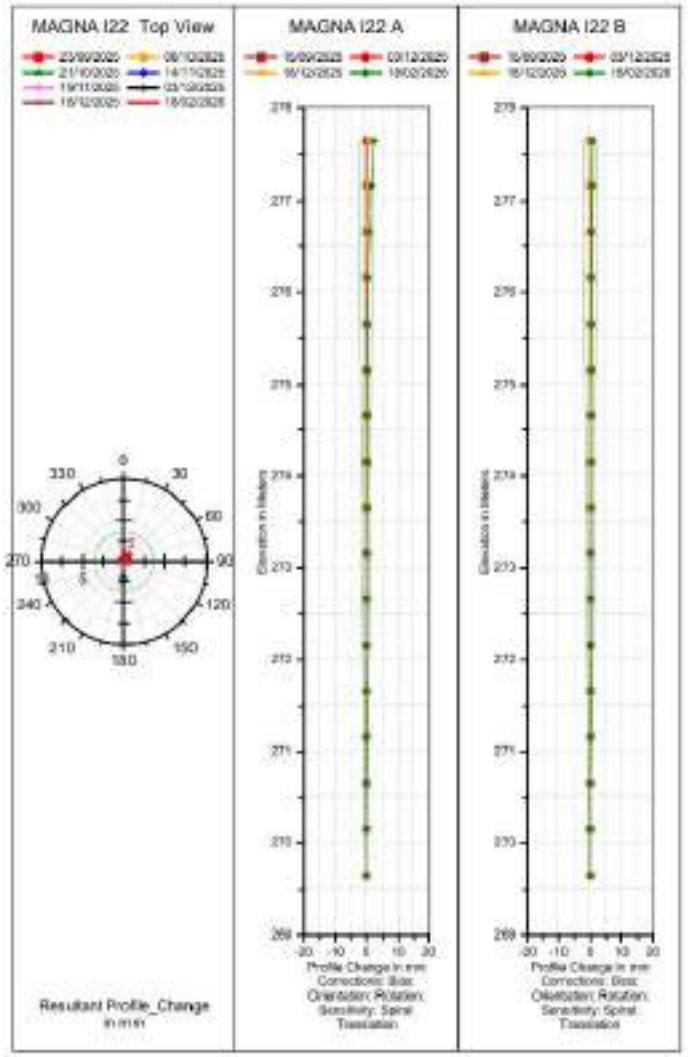


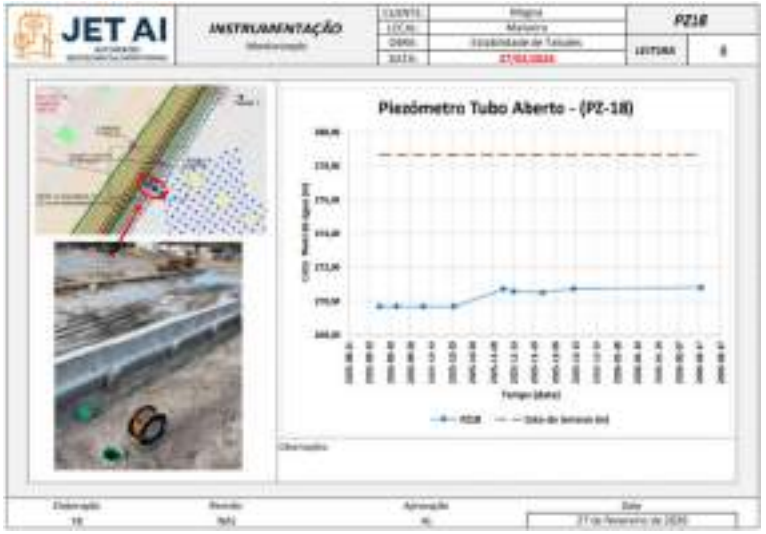


PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

RESULTADOS – Talude superior







PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME

ELEMENTO	CRITÉRIO DE ALERTA	CRITÉRIO DE ALARME
Alvos topográficos	Δ =15mm	Δ =25mm
Marcas superficiais	Δ =10mm	Δ =20mm
Inclinómetros	Δ =15mm	Δ =35mm

Acompanhar instrumentação de forma mais próxima

Adotar Medidas de Mitigação e Reforço

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Reperfilamento de Taludes
4. Plano de Instrumentação e Observação
5. **Verificação da Segurança**
6. Considerações Finais

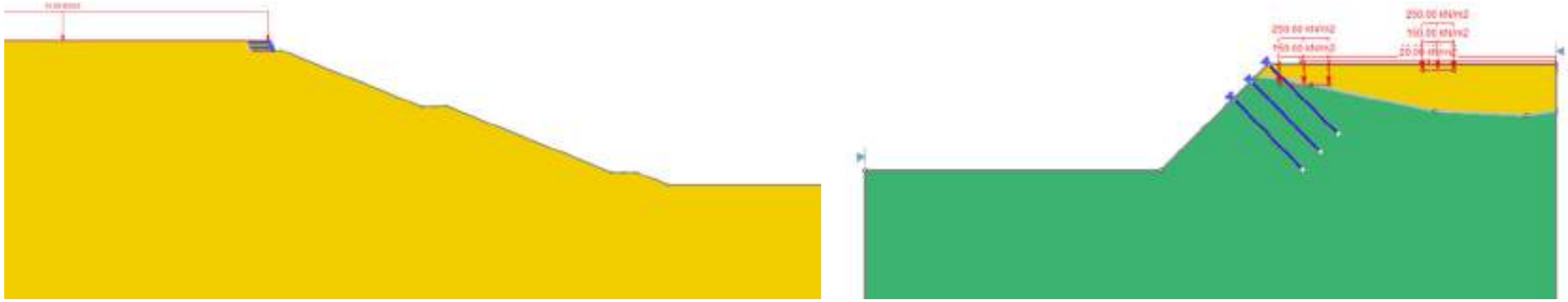
VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA

ESTABILIDADE GLOBAL

1. **Estados limites últimos (GEO e STR) - NP EN 1997**
2. **Estados limites últimos para a combinação sísmica**
3. **Estado limite último para combinação acidental – efeito das pressões intersticiais com coeficiente *Ru* de 20% da tensão efetiva vertical**

$$Ru = \frac{u}{\sigma v}$$

Adimensional e varia entre 0 e 1, sendo que:
Ru = 0: significa que não há pressão de poros (solo completamente seco ou ausência de água intersticial);
Ru = 1: significa que toda a tensão vertical é contrabalanceada pela pressão de poros (situação saturada máxima).



Modelos representativos dos taludes P e 1

VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA

RESULTADOS OBTIDOS

- **Todos os taludes apresentam fatores de segurança iguais ou superiores a 1 em todas as combinações**
- **Para a combinação acidental os fatores de segurança reduzem-se, refletindo a sensibilidade dos taludes à presença de água**
- **Nas combinações sísmicas observam-se, em geral os fatores de segurança mais baixos, no entanto esta situação corresponde a uma condição de natureza excecional**

	Combinação 1	Combinação 2	Combinação acidental	Combinação sísmica (-)	Combinação sísmica (+)
Talude A	1,60	1,31	1,17	1,11	1,08
Talude B	1,60	1,30	1,19	1,10	1,08
Talude P	1,39	1,15	1,03	1,08	1,05
Talude 1	1,64	1,47	1,69	1,64	1,66
Talude 2	1,33	1,15	1,01	1,11	1,09

VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA

RESULTADOS OBTIDOS

- **Todos os taludes apresentam fatores de segurança iguais ou superiores a 1 em todas as combinações**
- **Para a combinação acidental os fatores de segurança reduzem-se, refletindo a sensibilidade dos taludes à presença de água**

	Combinação 1	Combinação 2	Combinação acidental	Combinação sísmica (-)	Combinação sísmica (+)
Talude A	1,60	1,31	1,17	1,11	1,08
Talude B	1,60	1,30	1,19	1,10	1,08
Talude P	1,39	1,15	1,03	1,08	1,05
Talude 1	1,64	1,47	1,69	1,64	1,66
Talude 2	1,33	1,15	1,01	1,11	1,09
Talude 3	1,35	1,16	1,05	1,02	1,00

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Reperfilamento de Taludes
4. Plano de Instrumentação e Observação
5. Verificação da Segurança
6. **Considerações Finais**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Importância da avaliação prévia das **Condicionantes Locais**

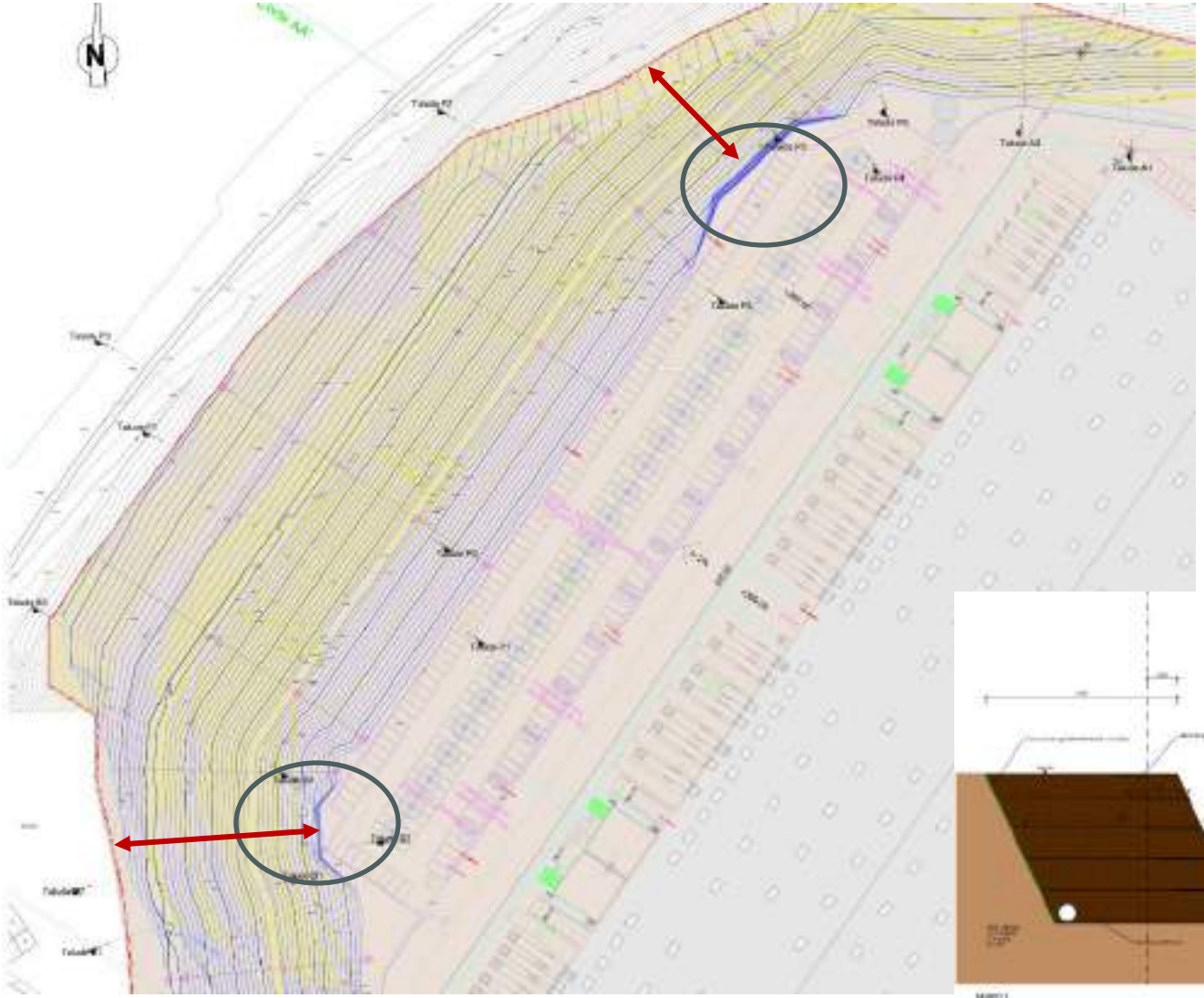
Importância da realização de um **Estudo Geológico Geotécnico** que caracterize os terrenos adequadamente

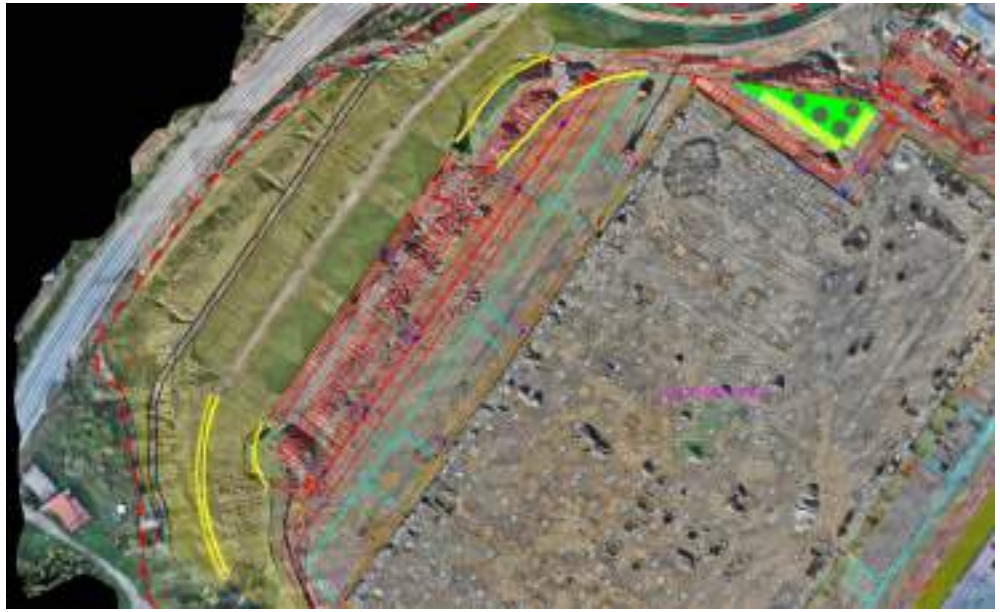
Importância de **Soluções Sustentáveis**, dispensando, sempre que possível, estruturas de contenção

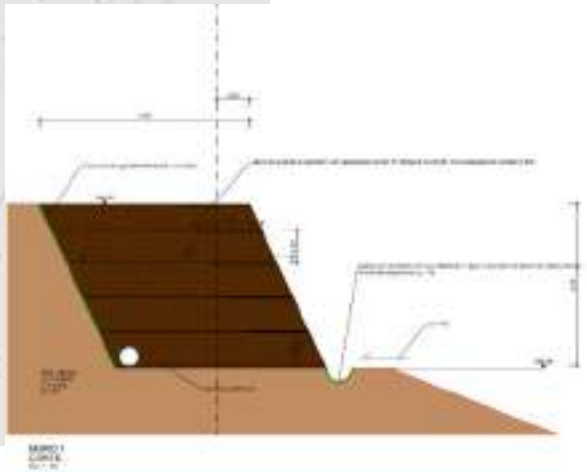
Importância do **Plano de Instrumentação de Observação**, ferramenta indispensável para a gestão do risco

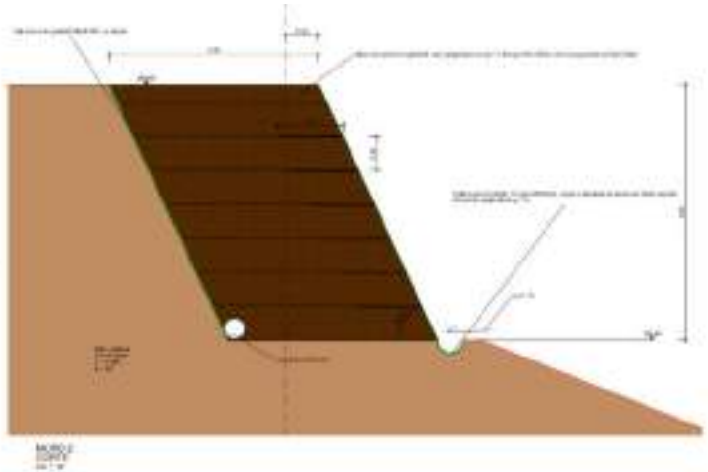
Importância da definição de **Sistemas de Drenagem e de Mitigação da Erosão Superficial**, de forma a reduzir a influência hidrológoca

CONSIDERAÇÕES FINAIS









CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Obrigado pela vossa atenção

Agradecimentos

SOLUÇÕES DE RECALÇAMENTO, ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA PARA REABILITAÇÃO DE UM EDIFÍCIO CENTENÁRIO NA ESTRELA, LISBOA

Pedro Marques / JETsj Geotecnia

Rui Tomásio / JETsj Geotecnia

utad

19.º Congresso Nacional Geotecnia

11-14 Maio 2026

JETsj

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

ÍNDICE

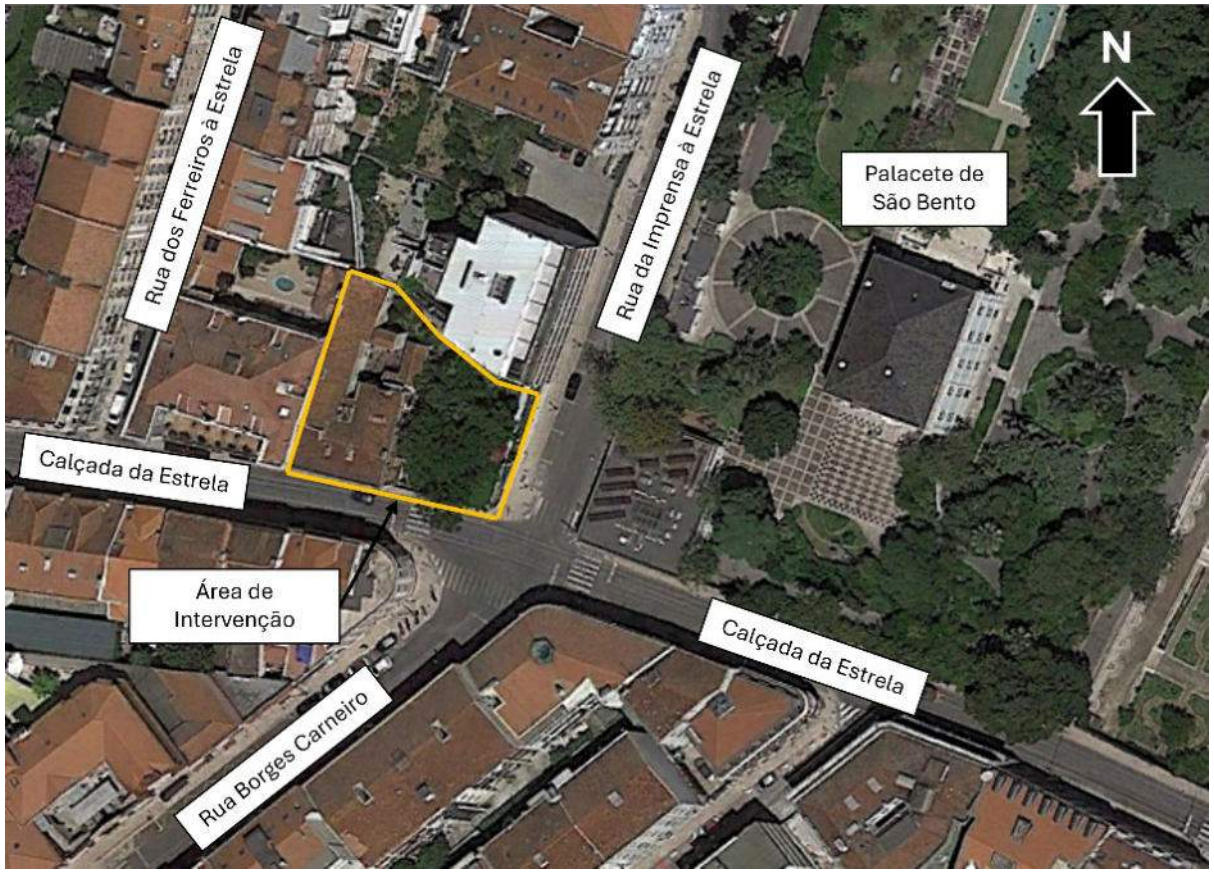
1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento
4. Análise Numérica e Dimensionamento
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

ÍNDICE

1. **Introdução**
2. Principais Condicionamentos
3. Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento
4. Análise Numérica e Dimensionamento
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

INTRODUÇÃO

- **Reabilitação** de Edifício centenário com **preservação** da **fachada Principal Sul e fachada Este**
- Sito no cruzamento entre a **Calçada da Estrela** e a **Rua da Imprensa à Estrela**
- Área ≈ 360 m2 (50% edificada, 50% verde)
- Edifício **Existente**: 2 pisos elevados, R/C e semi cave
- **Nova Construção**: **R/C, 3 pisos elevados, 2 pisos enterrados**
- **Profundidade da escavação ≈ 8 metros**



ÍNDICE

1. Introdução
2. **Principais Condicionamentos**
3. Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento
4. Análise Numérica e Dimensionamento
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

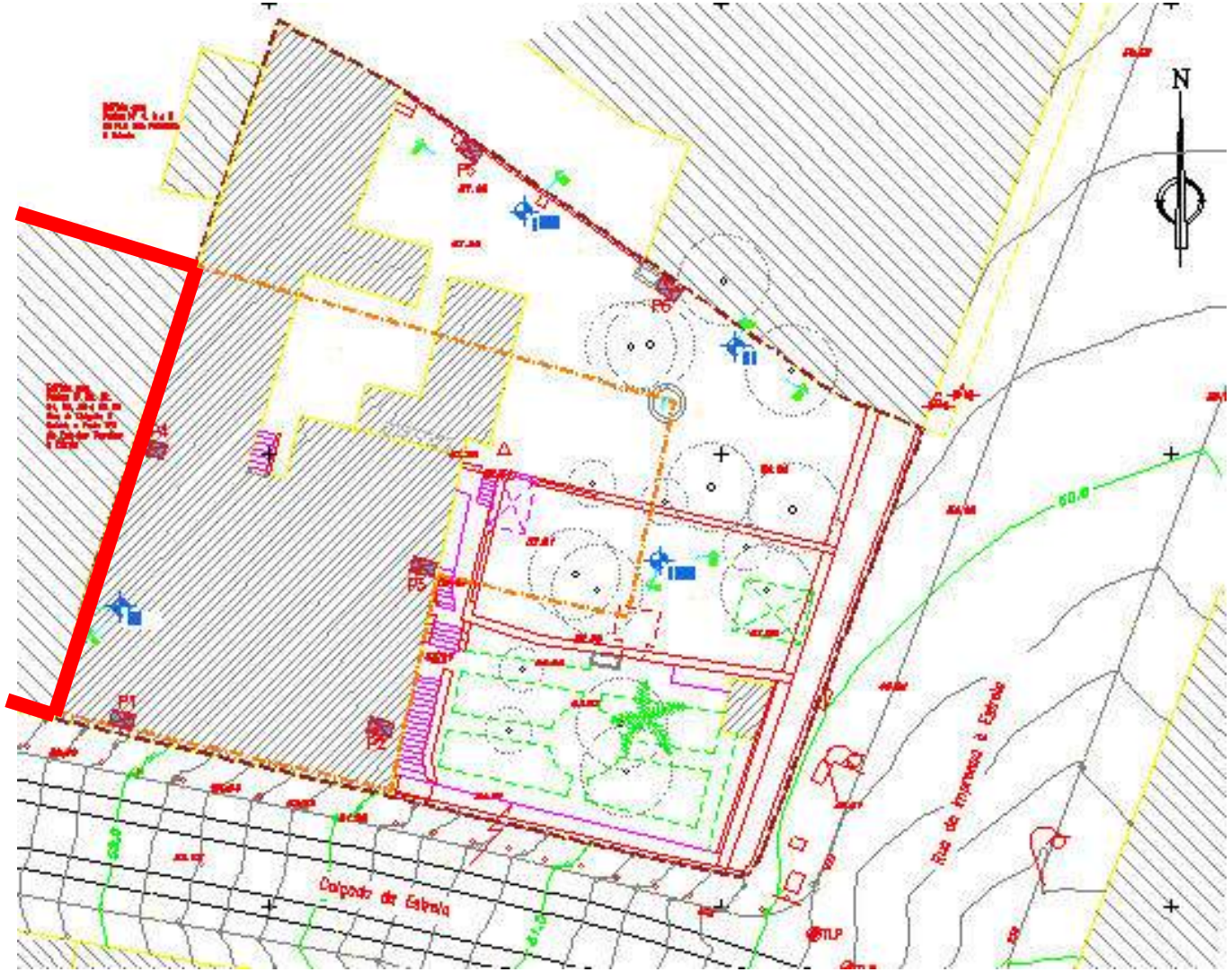
LOCALIZAÇÃO:

- Zona histórica com malha urbana densa
- Calçada da Estrela – Passagem do elétrico
- Rua da Imprensa à Estrela

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

EDIFÍCIO A REABILITAR E VIZINHOS:

- Edifícios centenário – Mais sensíveis



PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

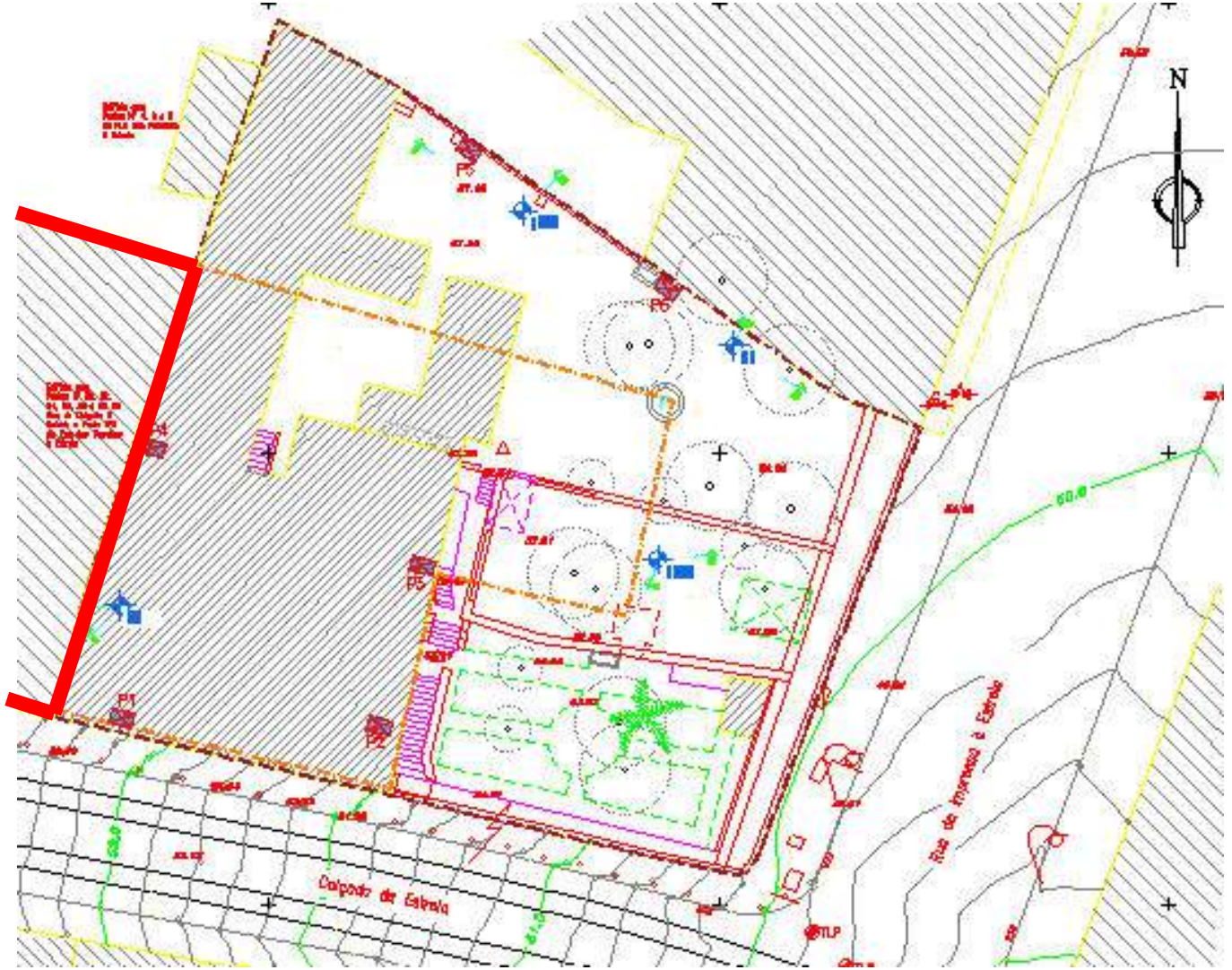
EDIFÍCIO A REABILITAR E VIZINHOS:

- Edifícios centenário – Mais sensíveis
- **Logradouro com cotas altimétricas do terreno muito variáveis**

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

EDIFÍCIO A REABILITAR E VIZINHOS:

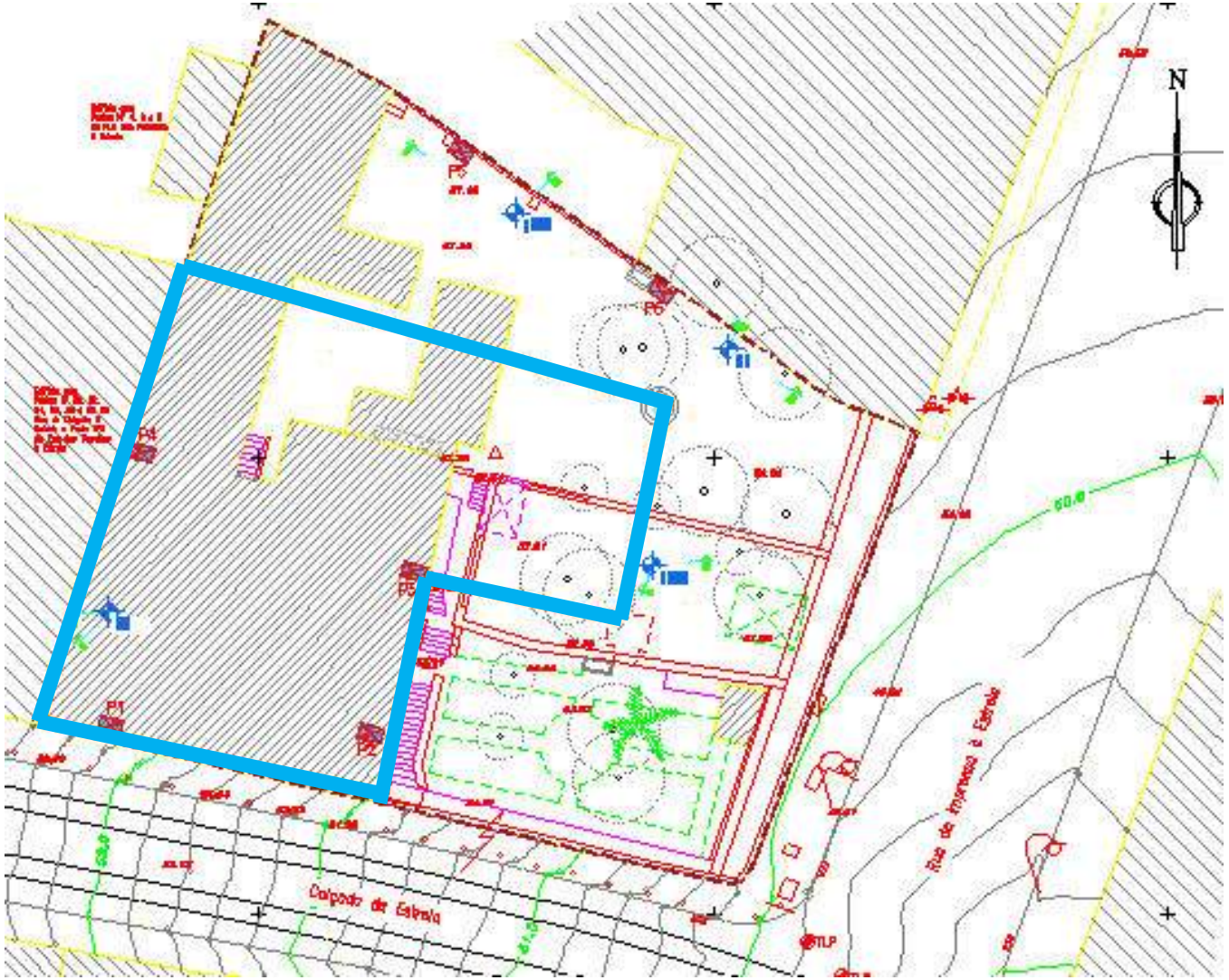
- Edifícios centenário – Mais sensíveis
- Logradouro com cotas altimétricas do terreno muito variáveis
- **Semi cave no edifício vizinho**



PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

ARQUITETÓNICOS:

- Execução de 2 pisos em cave



PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

ARQUITETÓNICOS:

- Execução de 2 pisos em cave
- Alinhamentos interiores das paredes das caves coincidentes com os atuai: (Recalçamento)
  - **Recalçamento da fachada principal da Calçada da Estrela**
  - Recalçamento da fachada Nascente

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

ARQUITETÓNICOS:

- Execução de 2 pisos em cave
- Alinhamentos interiores das paredes das caves coincidentes com os atuai: (Recalçamento)
  - Recalçamento da fachada principal da Calçada da Estrela
  - **Recalçamento da fachada Nascente**

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS:

- 4 Sondagens à rotação
  - ≈ 3 metros de depósitos de aterro
  - ≈ 5 metros de “Argilas e Argilas Arenosas descomprimidas
  - Calcarenitos, argilas e siltes do Miocénico

- 6 Poços de prospeção para aferição de fundações

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS:

- 4 Sondagens à rotação
  - ≈ 3 metros de depósitos de aterro
  - ≈ 5 metros de "Argilas e Argilas Arenosas descomprimidas
  - Calcarenitos, argilas e siltes do Miocénico

- 6 Poços de prospeção para aferição de fundações

Horizonte e Formações	N_{SPT}	γ [kN/m³]	c' [kPa]	Ø [°]	E [MPa]
ZG1 Aterro heterogéneo	15-16	19	--	25-28	5-15
ZG2 Argilas e Argilas arenosas	16-21	19	--	28-30	15-20
ZG3A Miocénico – Argilas Siltosa e arenosas	42-60	20	200	-	75-120
ZG3B Miocénico - Calcarenitos, muito a mediamente fraturados	>60	21	200-300	35-38	120-150

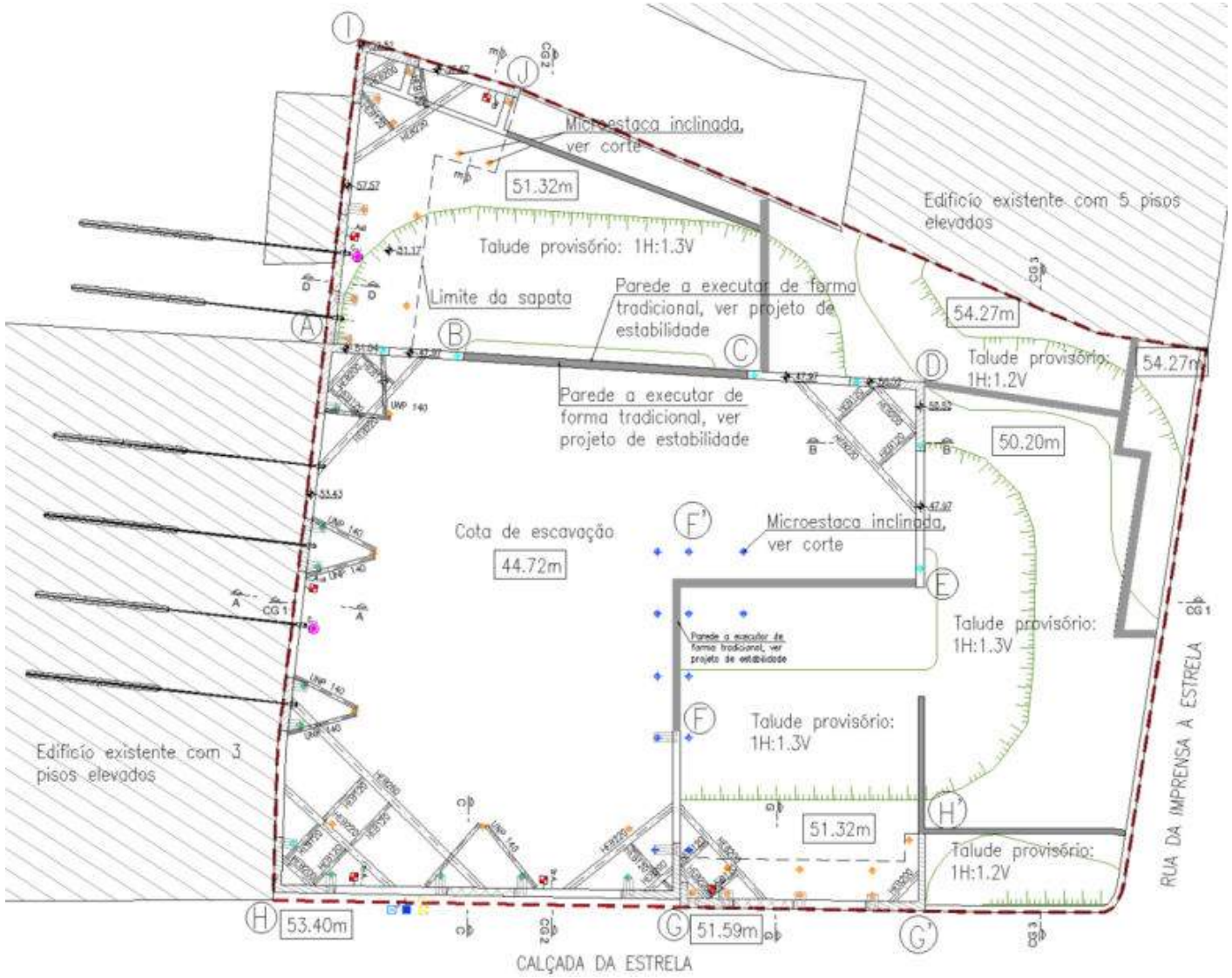
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. **Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento**
4. Análise Numérica e Dimensionamento
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento

CONTENÇÃO PERIFÉRICA INTERIOR:

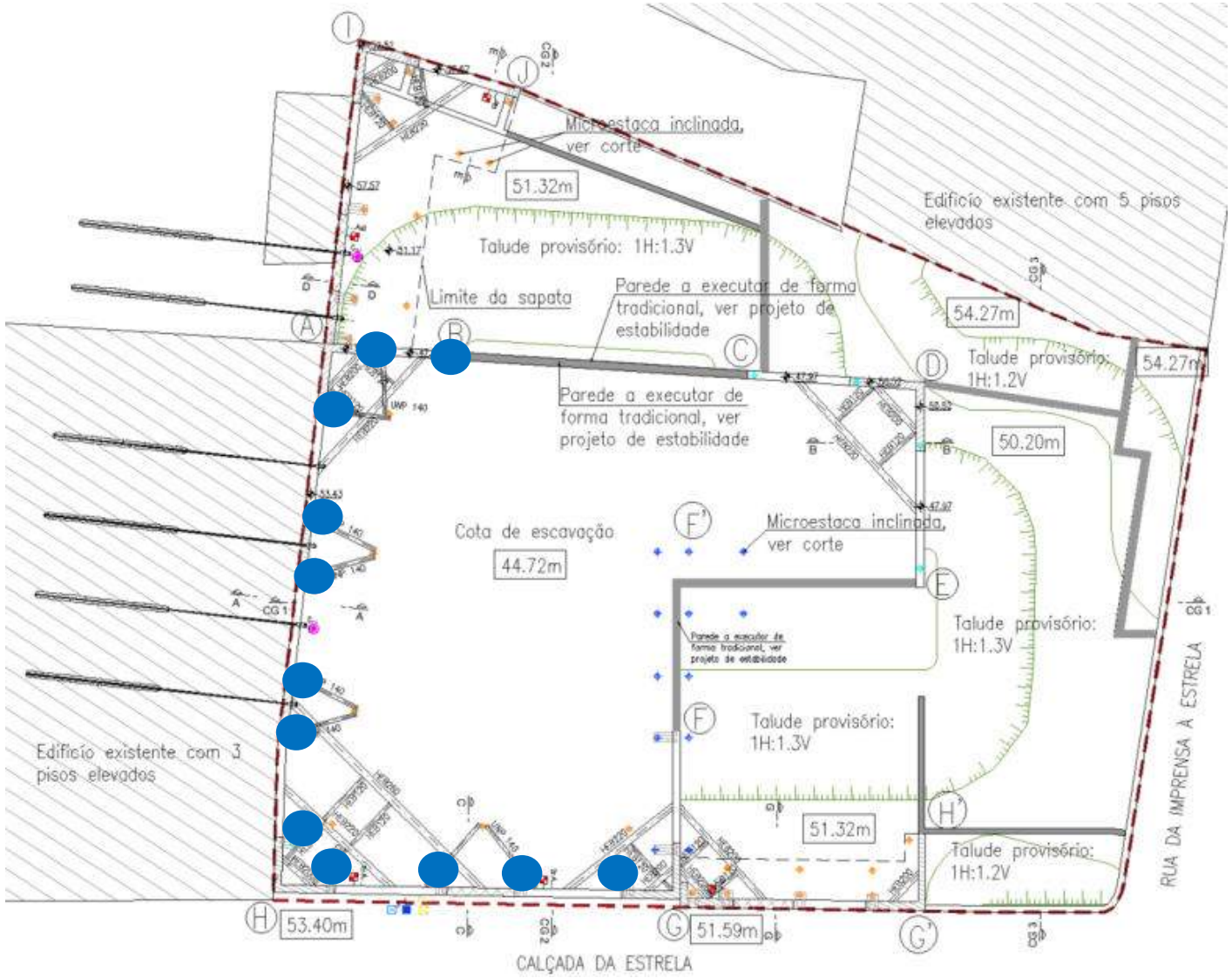
- **Berlim Definitivo (e=0,30m)**



Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento

CONTENÇÃO PERIFÉRICA INTERIOR:

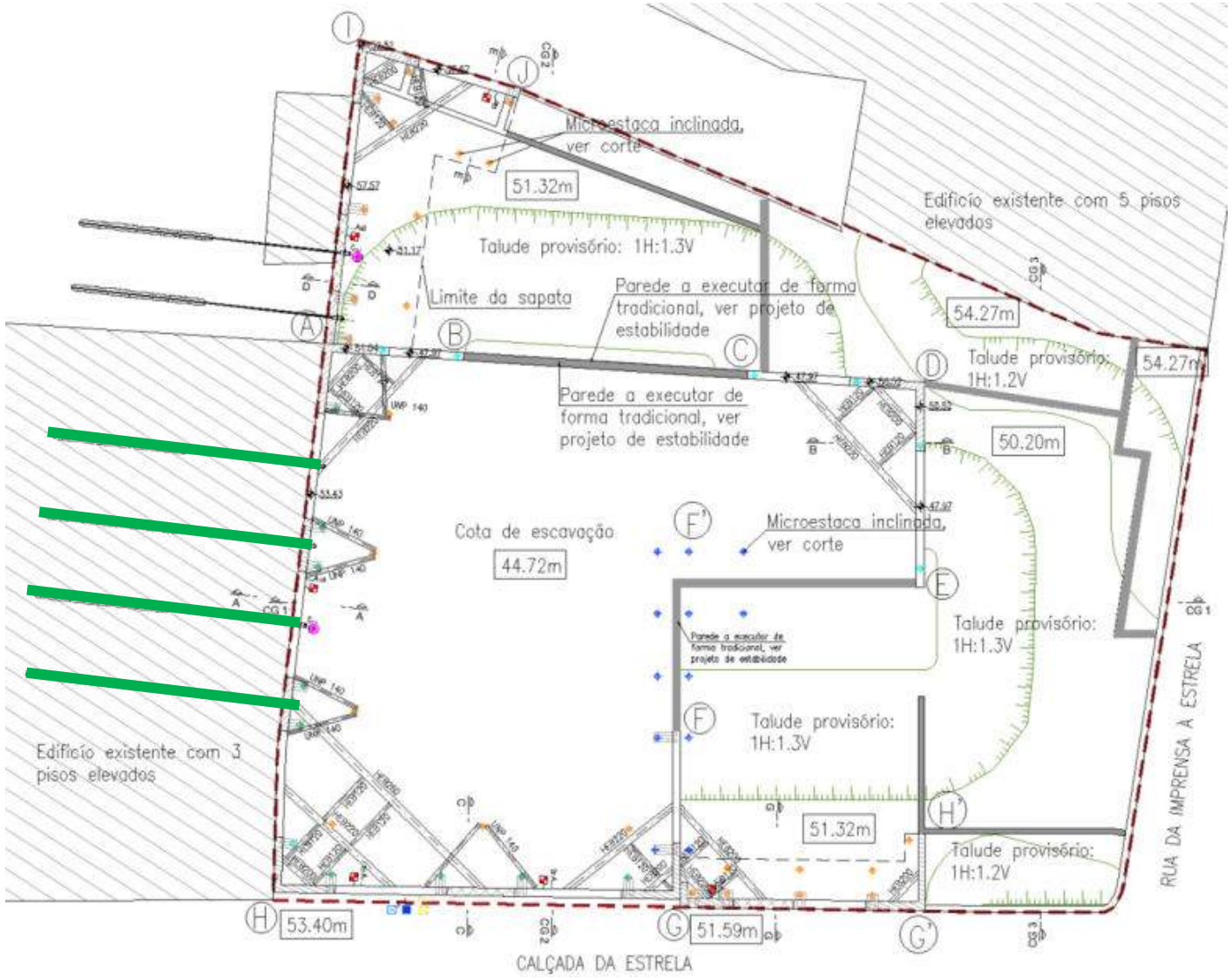
- Berlim Definitivo (e=0,30m)
- Microestacas N80 (API5A): **Ø88,9x9mm** e **Ø177,8x12,5mm**, furação **Ø200**mm e **Ø250mm** injetadas com sistema **IRS** (CS≈3m e 9m)



Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento

CONTENÇÃO PERIFÉRICA INTERIOR:

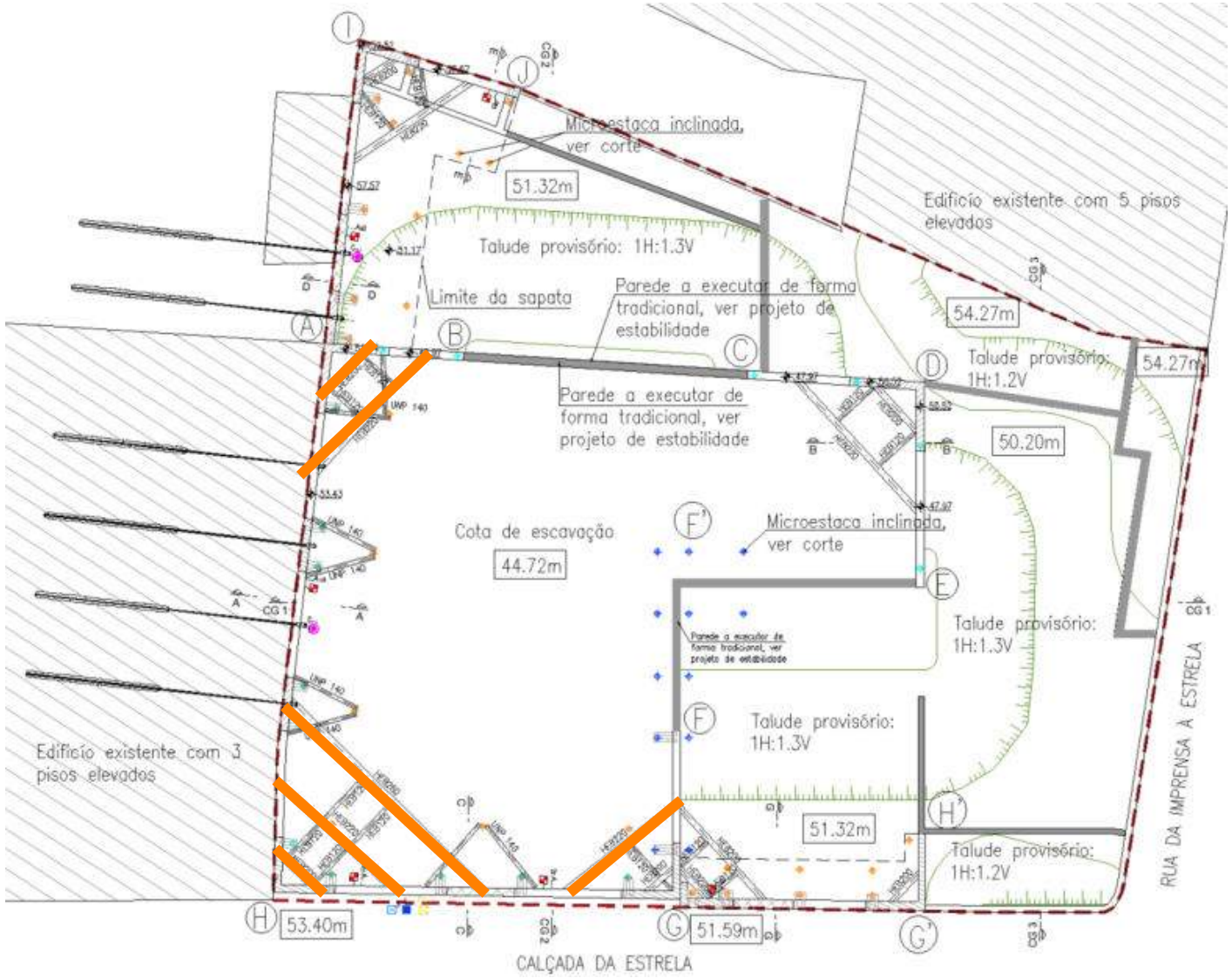
- Berlim Definitivo (e=0,30m)
- Microestacas N80 (API5A): Ø88,9x9mm e Ø177,8x12,5mm, furação Ø200mm e Ø250mm injetadas com sistema IRS (CS≈3m e 9m)
- Ancoragens: **2 níveis**, **5 cordões**, Pré esforço útil de **650kN**, furação **Ø200**mm injetadas com sistema IRS (CL≈8m e 7m; CS≈6m)



Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento

CONTENÇÃO PERIFÉRICA INTERIOR:

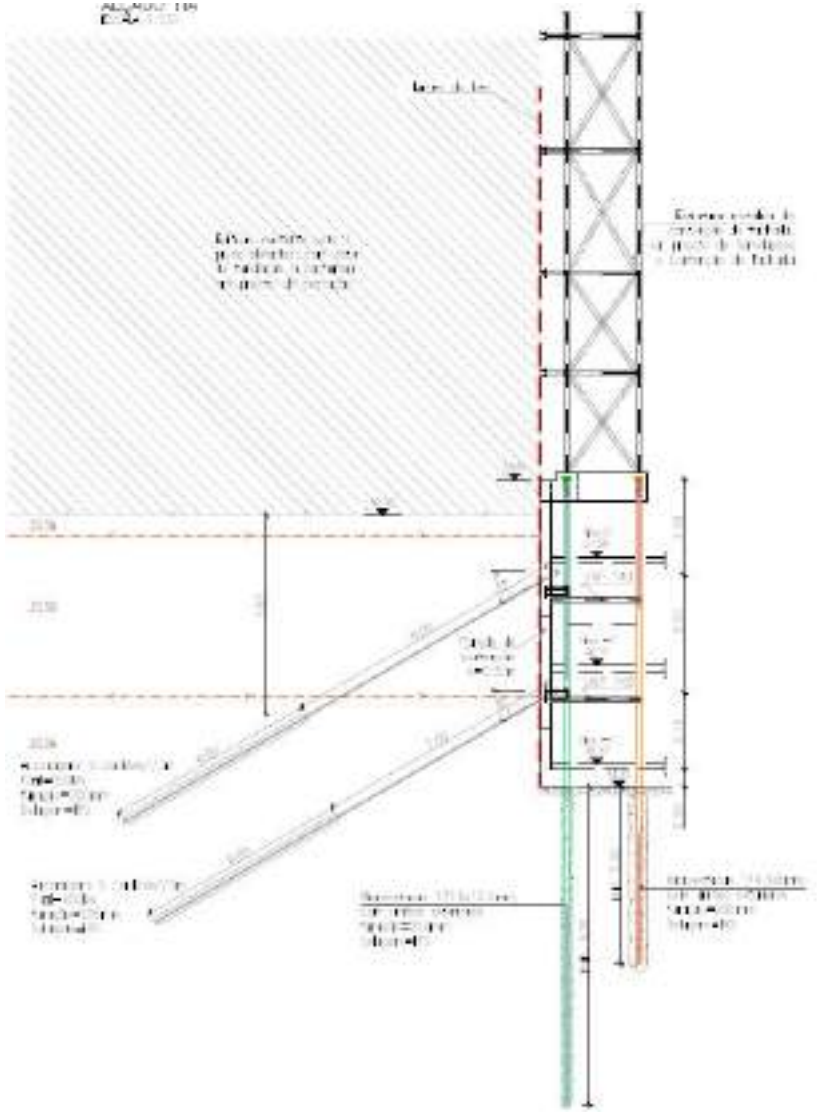
- Berlim Definitivo (e=0,30m)
- Microestacas N80 (API5A): Ø88,9x9mm e Ø177,8x12,5mm, furação Ø200mm e Ø250mm injetadas com sistema IRS (CS≈3m e 9m)
- Ancoragens: 2 níveis, 5 cordões, Pré esforço útil de 650kN, furação Ø200mm injetadas com sistema IRS (CL≈8m e 7m; CS≈6m)
- Escoras: **HEB 200**, **220** e **260** em aço **S275 JR**



Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento

CONTENÇÃO PERIFÉRICA:

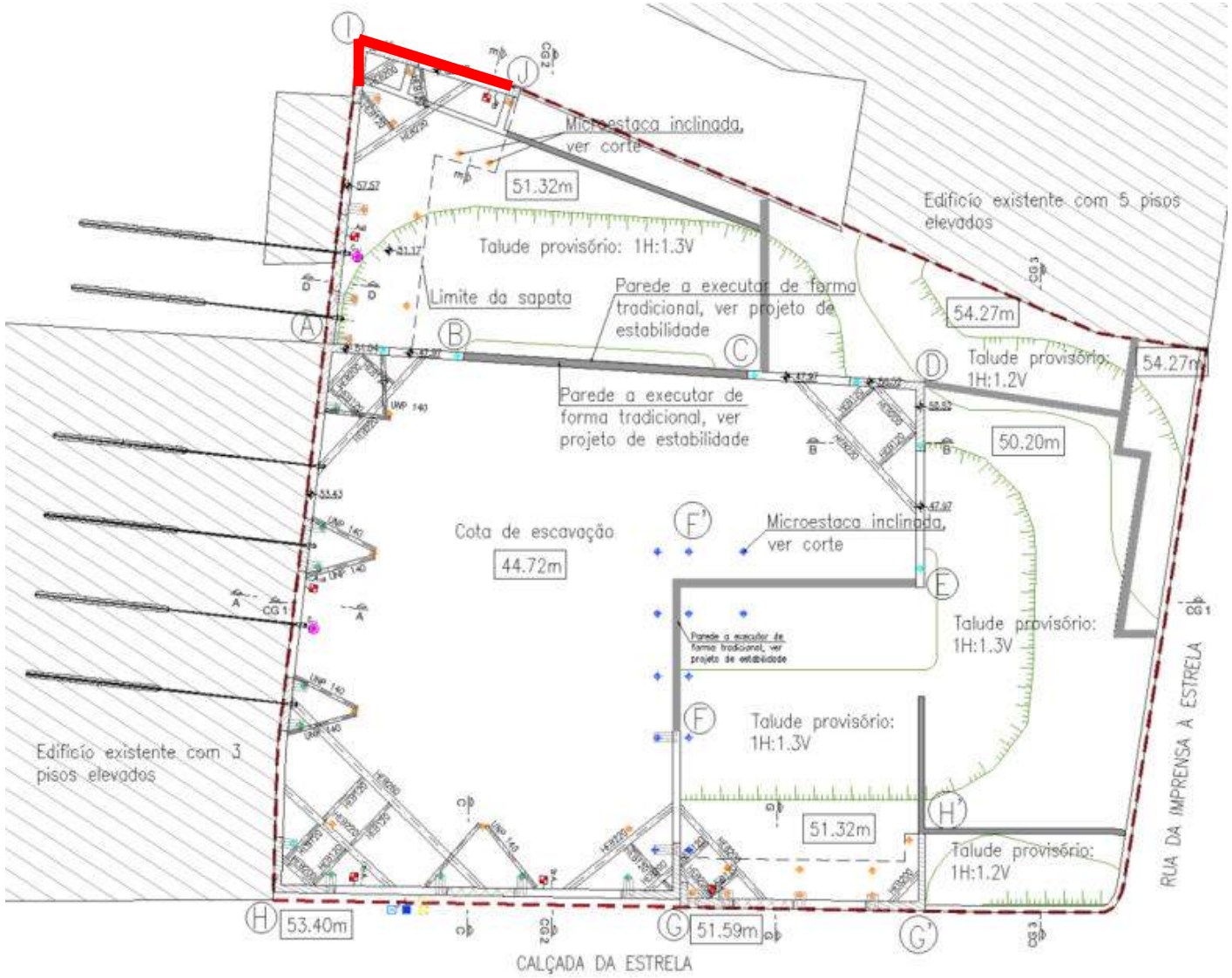
- Berlim Definitivo (e=0,30m)
- 4 dimensões de Microestacas N80 (API5A): Ø88,9x9mm, Ø114,3x8mm, Ø139,7x11mm e Ø177,8x12,5mm, furação Ø200mm e Ø250mm injetadas com sistema IRS (CS≈3m,4m, 5m, e 9m)
- **Ancoragens: 2 níveis, 5 cordões, Pré esforço útil de 650kN, furação Ø200mm injetadas com sistema IRS (CL≈8m e 7m; CS≈6m)**
- **Escoras: HEB 200, 220 e 260 em aço S275 JR**



Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento

CONTENÇÃO PERIFÉRICA LOGRADOURO “FASE PROVISÓRIA”:

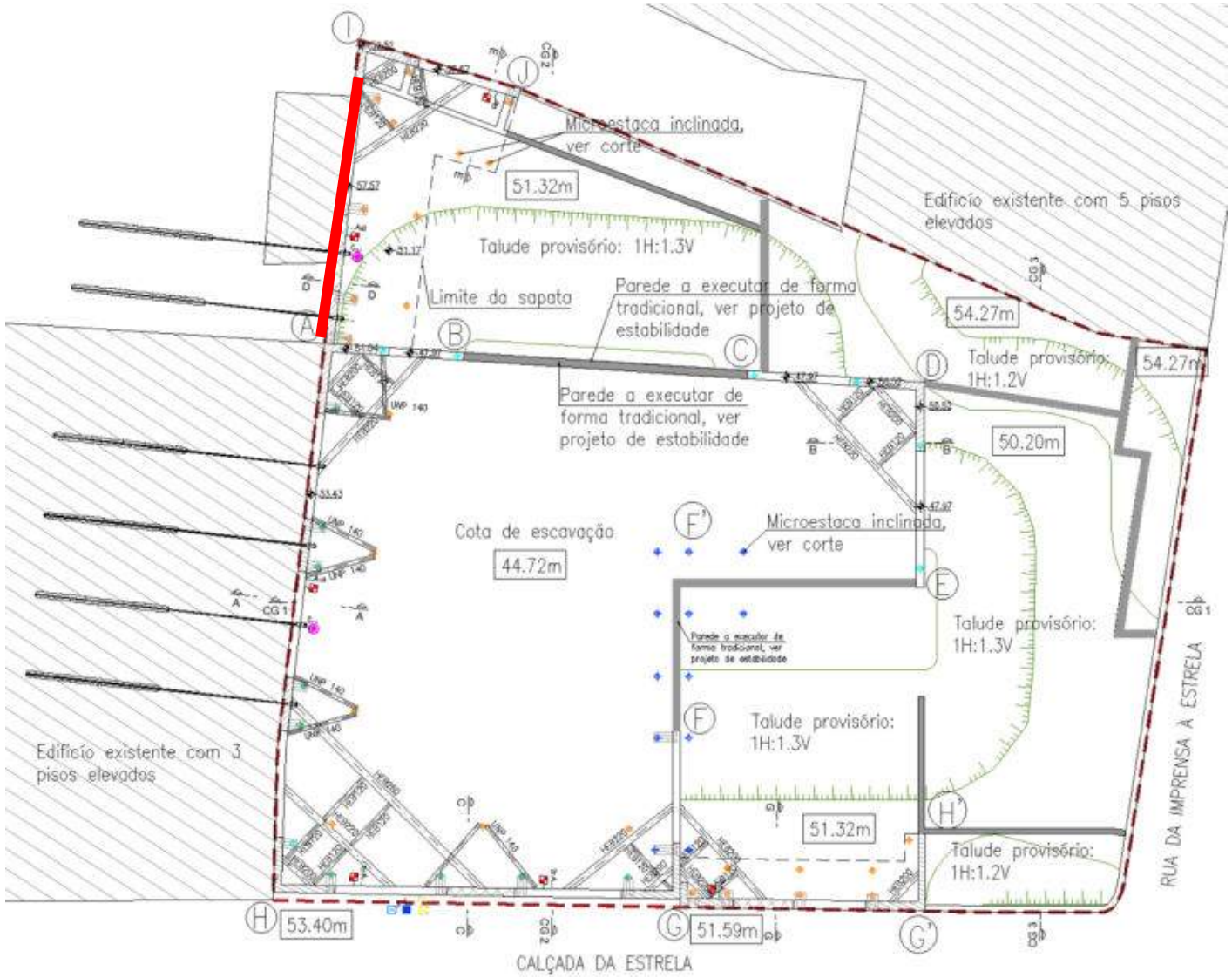
- Berlim Definitivo (**e=0,35** e variável entre 0,30 e 0,75m)



Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento

CONTENÇÃO PERIFÉRICA LOGRADOURO "FASE PROVISÓRIA":

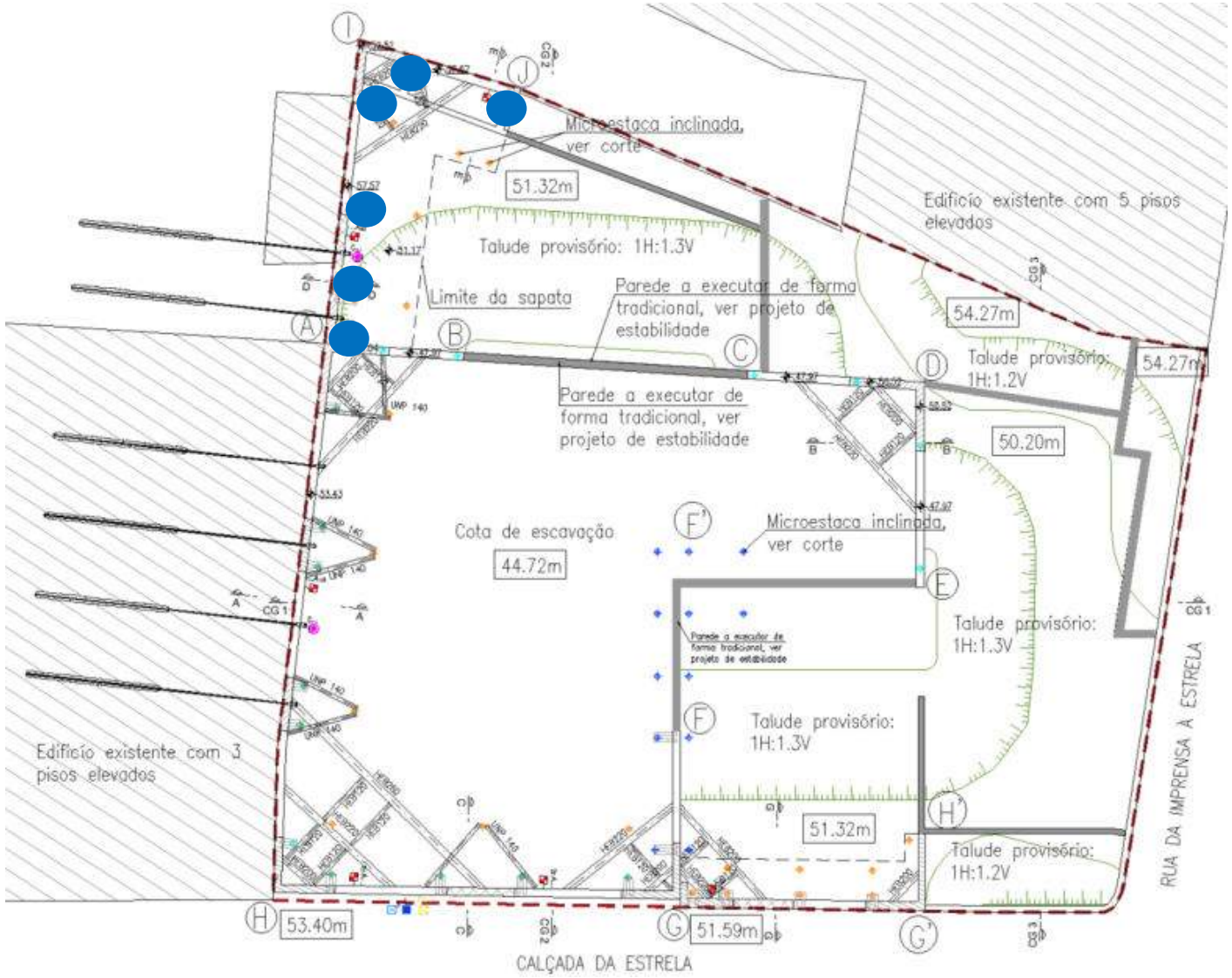
- Berlim Definitivo (e=0,35 e **variável entre 0,30 e 0,75m**)



Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento

CONTENÇÃO PERIFÉRICA LOGRADOURO "FASE PROVISÓRIA":

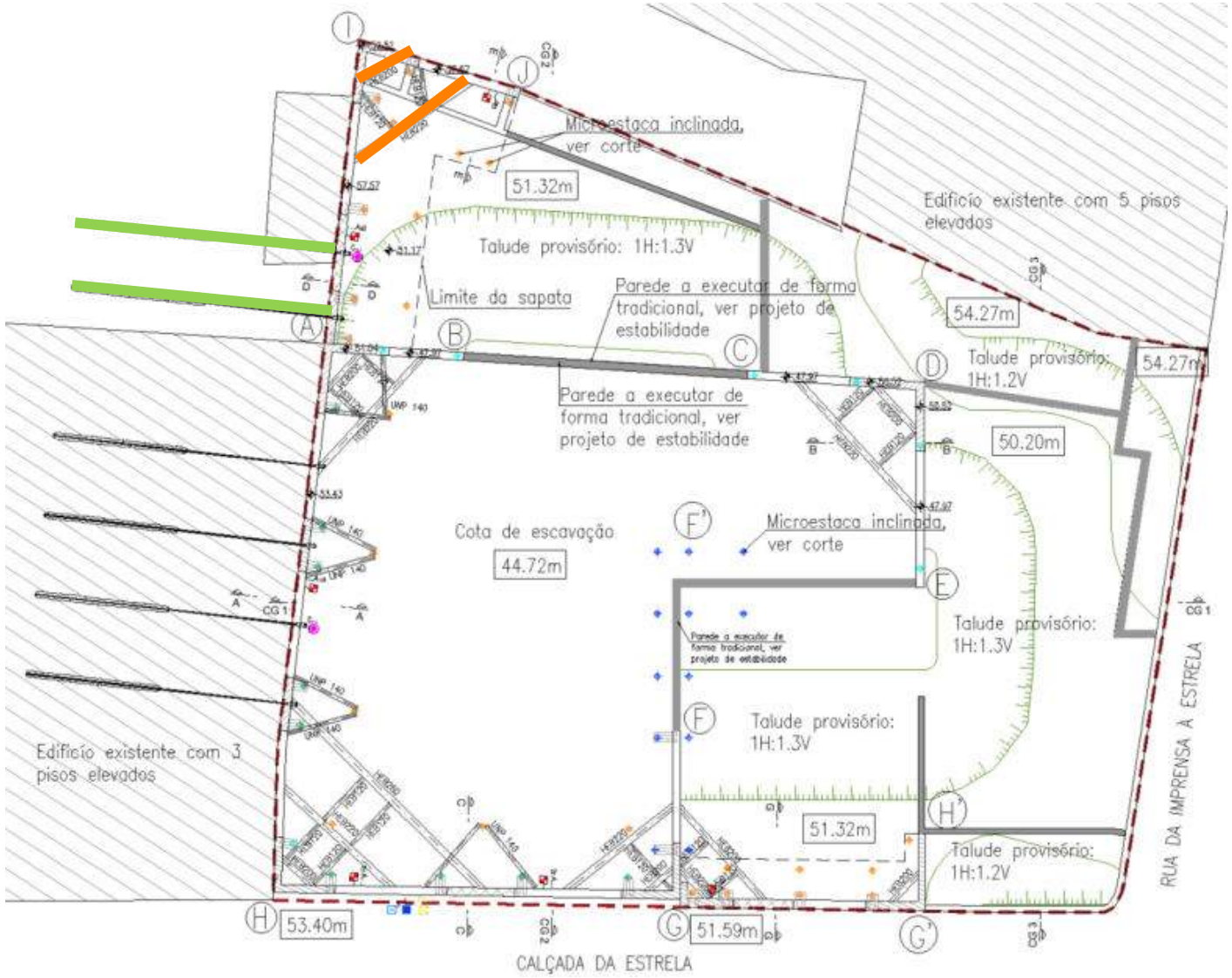
- Berlim Definitivo (e=0,35 e variável entre 0,30 e 0,75m)
- **Microestacas N80 (API5A): Ø114,3x8mm, furação Ø200mm injetadas com sistema IRS (CS≈5m)**



Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento

CONTENÇÃO PERIFÉRICA LOGRADOURO "FASE PROVISÓRIA":

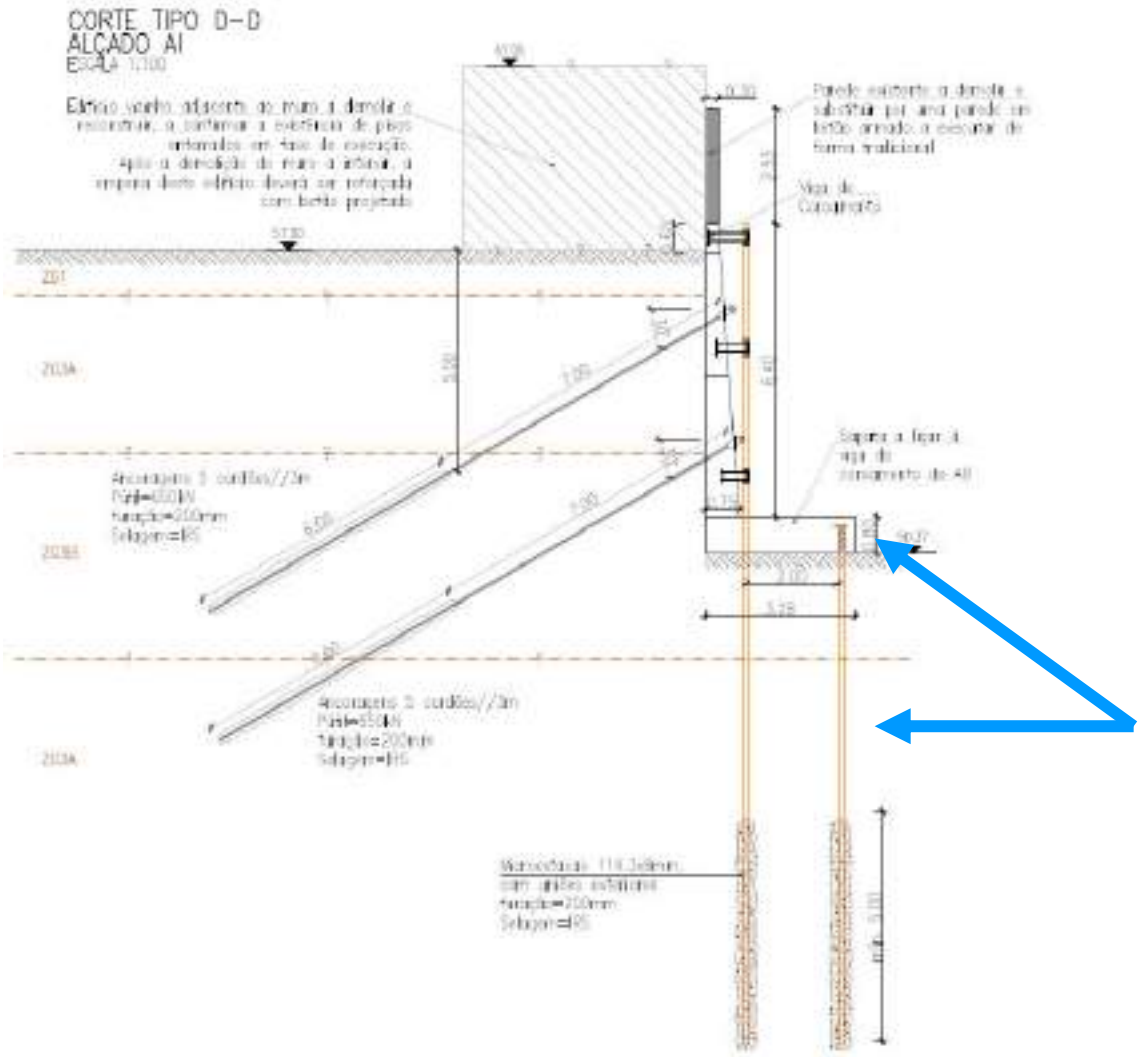
- Berlim Definitivo (e=0,35 e variável entre 0,30 e 0,75m)
- Microestacas N80 (API5A): Ø114,3x8mm, furação Ø200mm injetadas com sistema IRS (CS≈5m)
- **Ancoragens: 2 níveis, 5 cordões, Pré esforço útil de 650kN, furação Ø200mm injetadas com sistema IRS (CL≈7m; CS≈6m)**
- **Escoras: HEB 200 e 220 em aço S275 JR**



Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento

CONTENÇÃO PERIFÉRICA LOGRADOURO “FASE DEFINITIVA”:

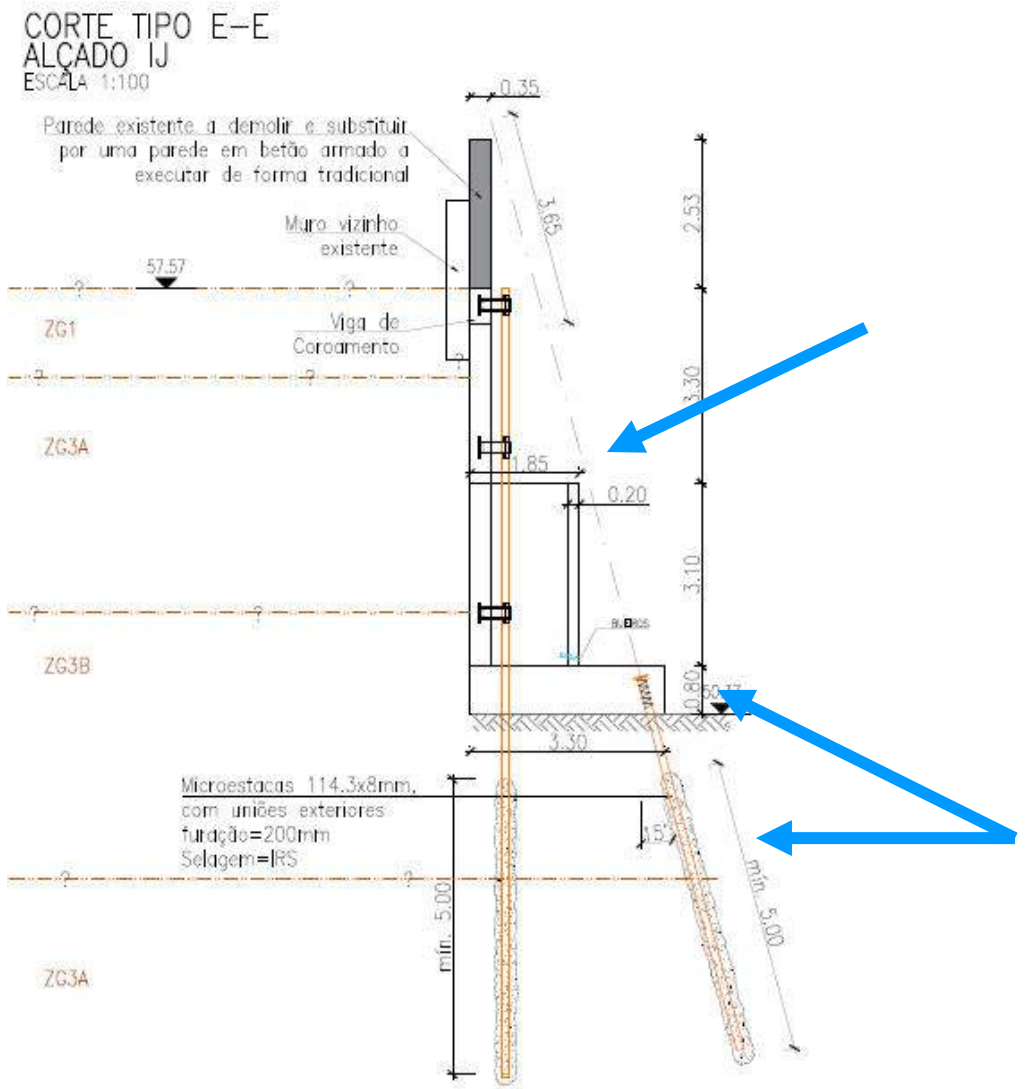
- Berlim Definitivo (e=0,35 e **variável entre 0,30 e 0,75m**)
- Funcionamento através de **binário** de **Microestacas** N80 (API5A): **Ø114,3x8mm**, furação Ø200mm injetadas com sistema IRS (CS≈5m)
- **Muro em consola 6,5**
- Microestacas inclinadas na base
- Parede travada por contrafortes “canteiros”



Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento

CONTENÇÃO PERIFÉRICA LOGRADOURO “FASE DEFINITIVA”:

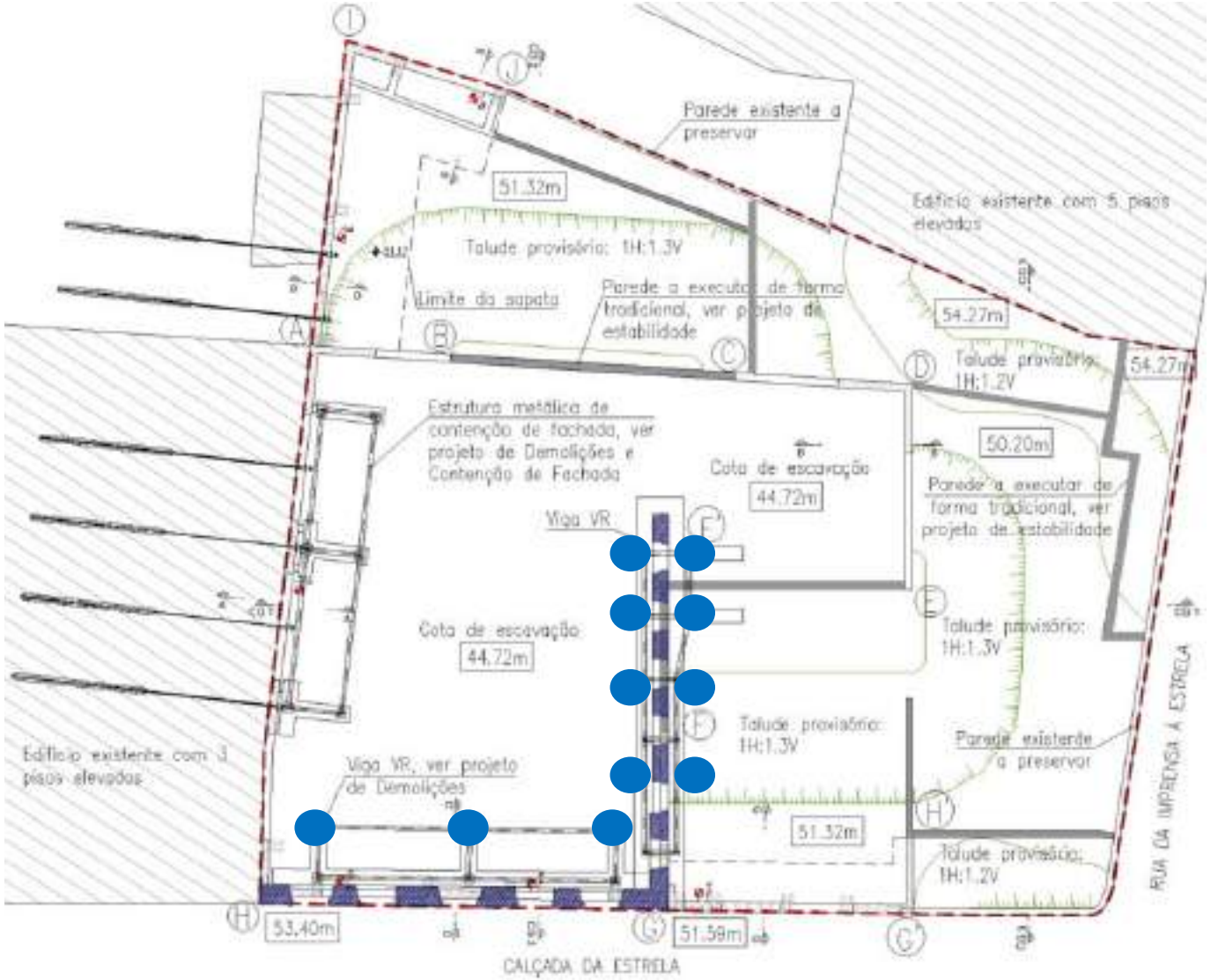
- Berlim Definitivo (**e=0,35** e variável entre 0,30 e 0,75m)
- Funcionamento através de **binário** de **Microestacas** N80 (API5A): **Ø114,3x8mm**, furação Ø200mm injetadas com sistema IRS (CS≈5m)
- Muro em consola 6,5
- **Microestacas inclinadas na base**
- **Parede travada por contrafortes “canteiros”**



Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento

RECALÇAMENTO DE FACHADA E FUNDAÇÃO DE CONTENÇÃO DE FACHADA:

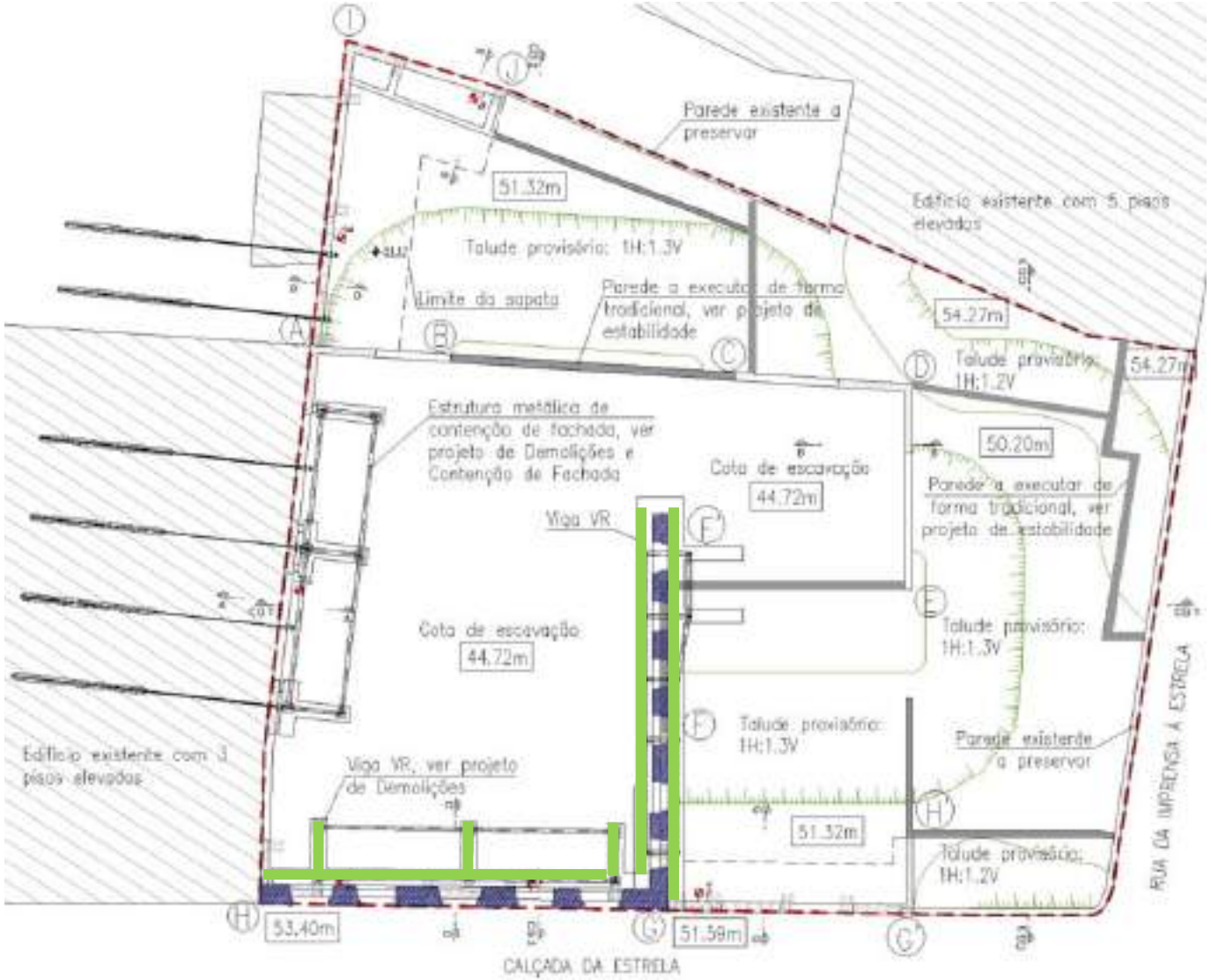
- **Utilização** das **Microestacas da contenção periférica** e **adição**: **Ø114,3x8mm** e **Ø139,7x11mm**, furação **Ø200**mm injetadas com sistema **IRS** (CS≈4m e 5m)



Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento

RECALÇAMENTO DE FACHADA E FUNDAÇÃO DE CONTENÇÃO DE FACHADA:

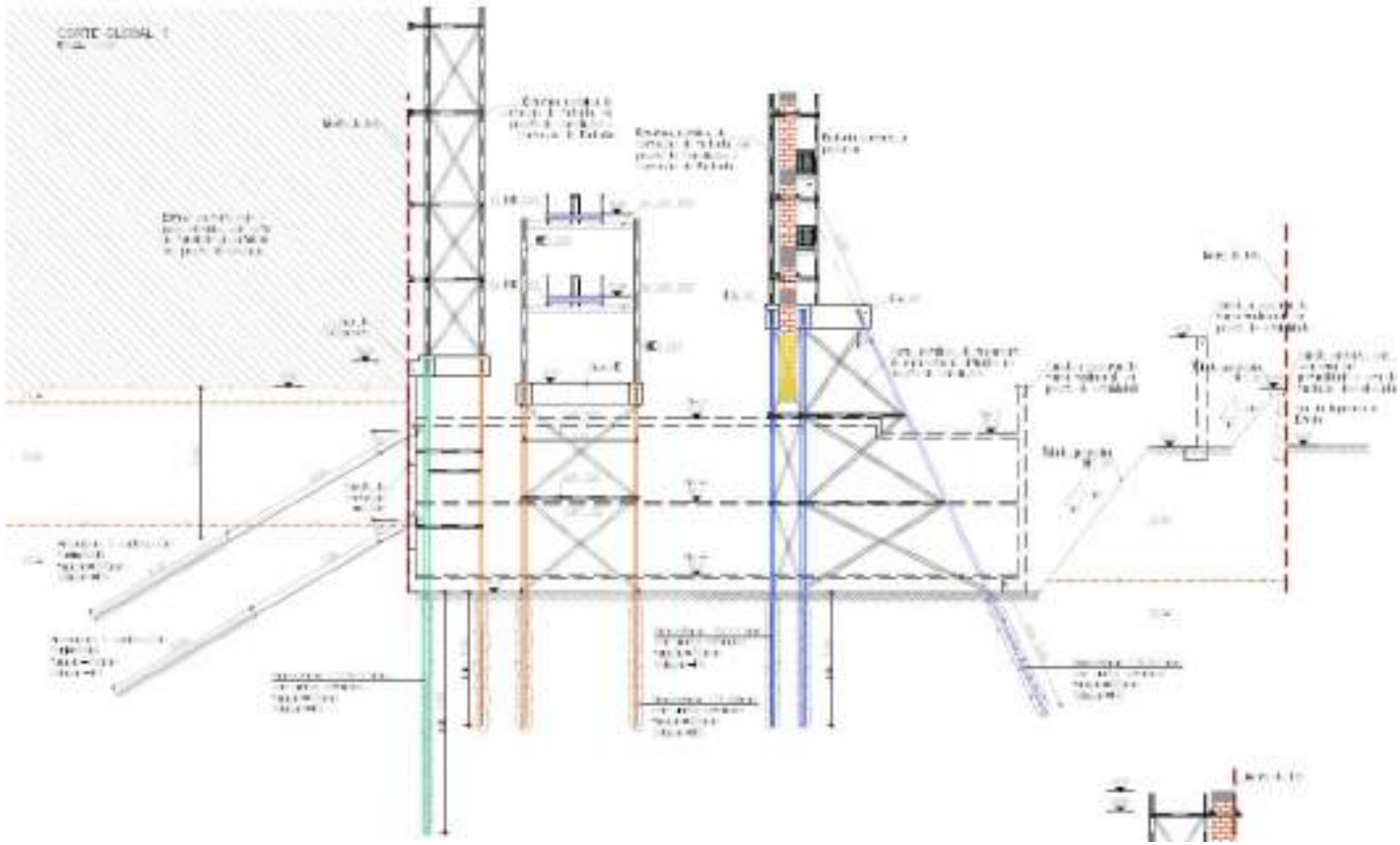
- Utilização das Microestacas da contenção periférica e adição: Ø114,3x8mm e Ø139,7x11mm, furação Ø200mm injetadas com sistema IRS (CS≈4m e 5m)
- **Vigas de recalçamento: 0,60x0,80m**
- **Binário: 1,85m**
- **Ferrolhos Ø12mm//0,2m selados com bucha química e Barras Gewi Ø25**



Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento

RECALÇAMENTO DE FACHADA E FUNDAÇÃO DE CONTENÇÃO DE FACHADA:

- Utilização das Microestacas da contenção periférica e adição: Ø114,3x8mm e Ø139,7x11mm, furação Ø200mm injetadas com sistema IRS (CS≈4m e 5m)
- Vigas de recalçamento: 0,60x0,80m
- Binário: 1,85m
- Ferrolhos Ø12mm//0,2m selados com bucha química e Barras Gewi Ø25

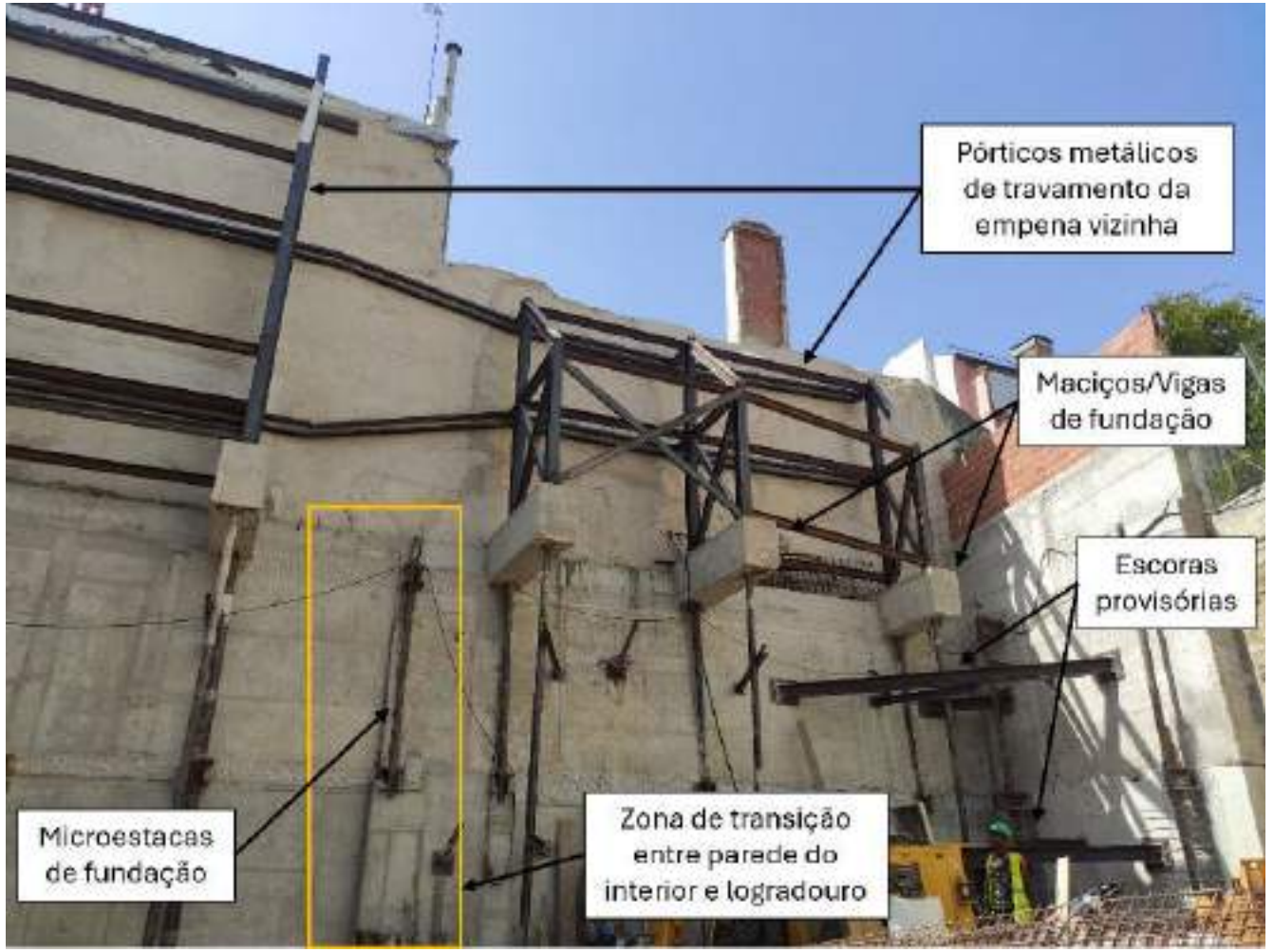


Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento

CONTENÇÃO E RECALÇAMENTO:

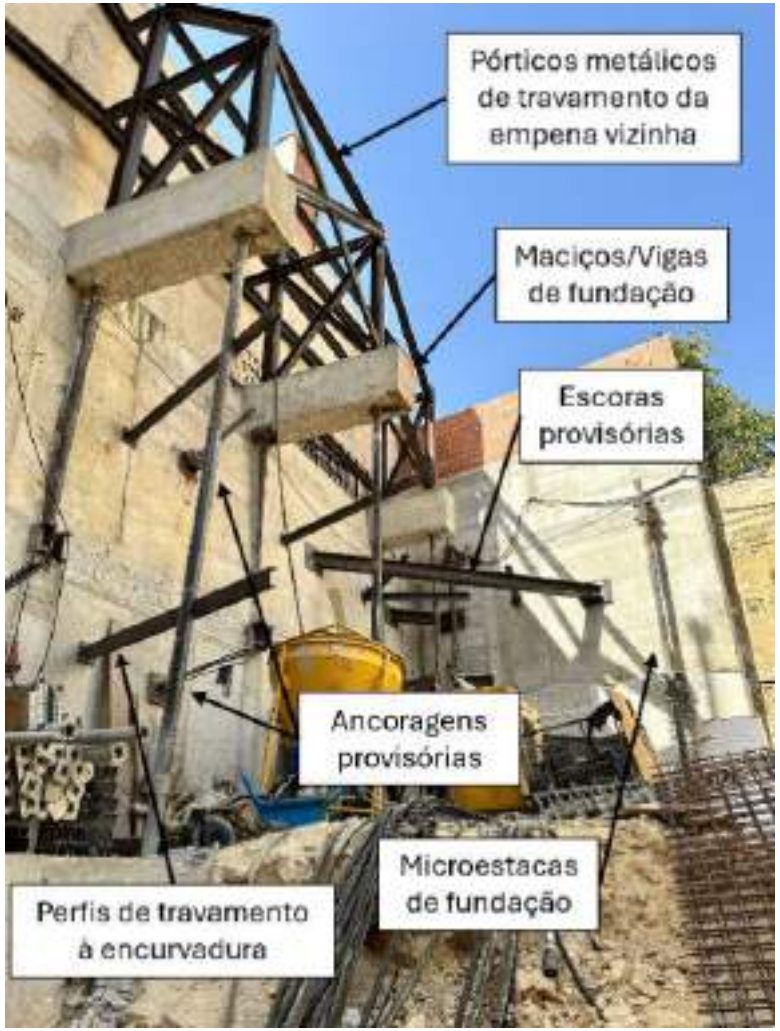
Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento

CONTENÇÃO E RECALÇAMENTO:



Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento

CONTENÇÃO E RECALÇAMENTO:



Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento

CONTENÇÃO E RECALÇAMENTO:

Solução de Escavação, Contenção Periférica e Recalçamento

CONTENÇÃO E RECALÇAMENTO:

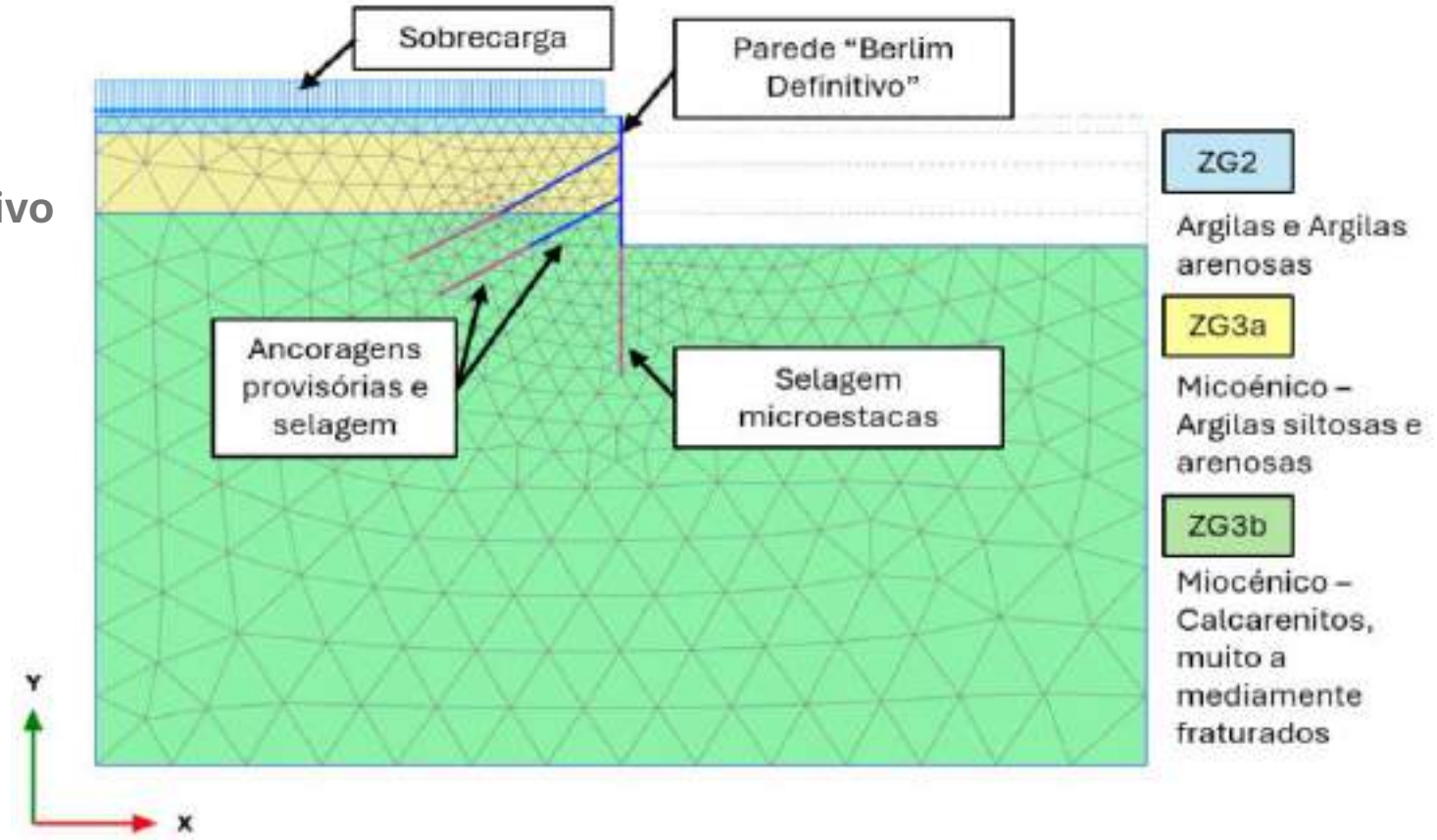
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Descrição da Solução
4. **Análise Numérica e Dimensionamento**
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

ANÁLISE NUMÉRICA E DIMENSIONAMENTO

MODELAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE CONTENÇÕES PROVISÓRIAS:

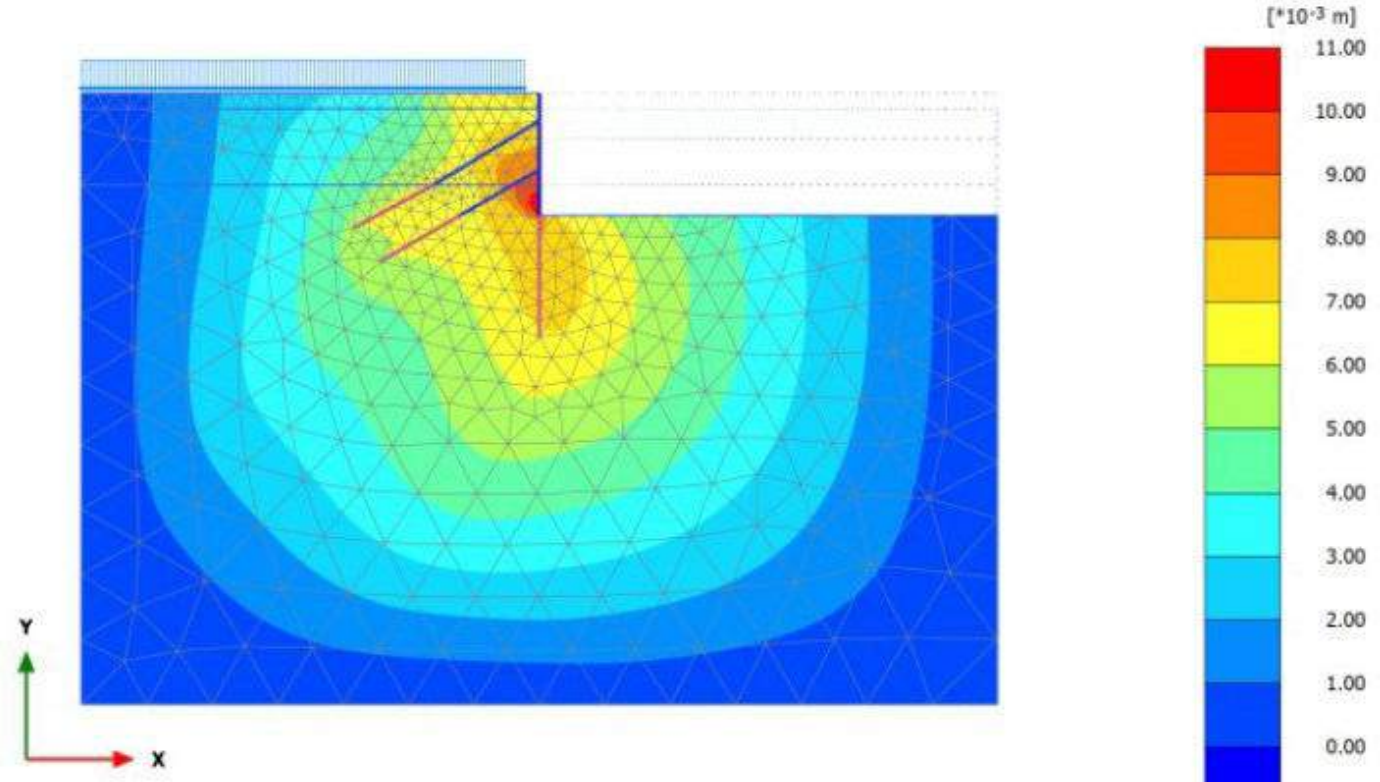
- Modelos Bidimensionais de elementos finitos em *Plaxis 2D*
- Modelação de faseamento construtivo



ANÁLISE NUMÉRICA E DIMENSIONAMENTO

MODELAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE CONTENÇÕES PROVISÓRIAS:

- Modelos Bidimensionais de elementos finitos em *Plaxis 2D*
- Modelação de faseamento construtivo
- **Estimativa de esforços**
- **Estimativa de deformações**



Total displacements u_x (scaled up 200 times)

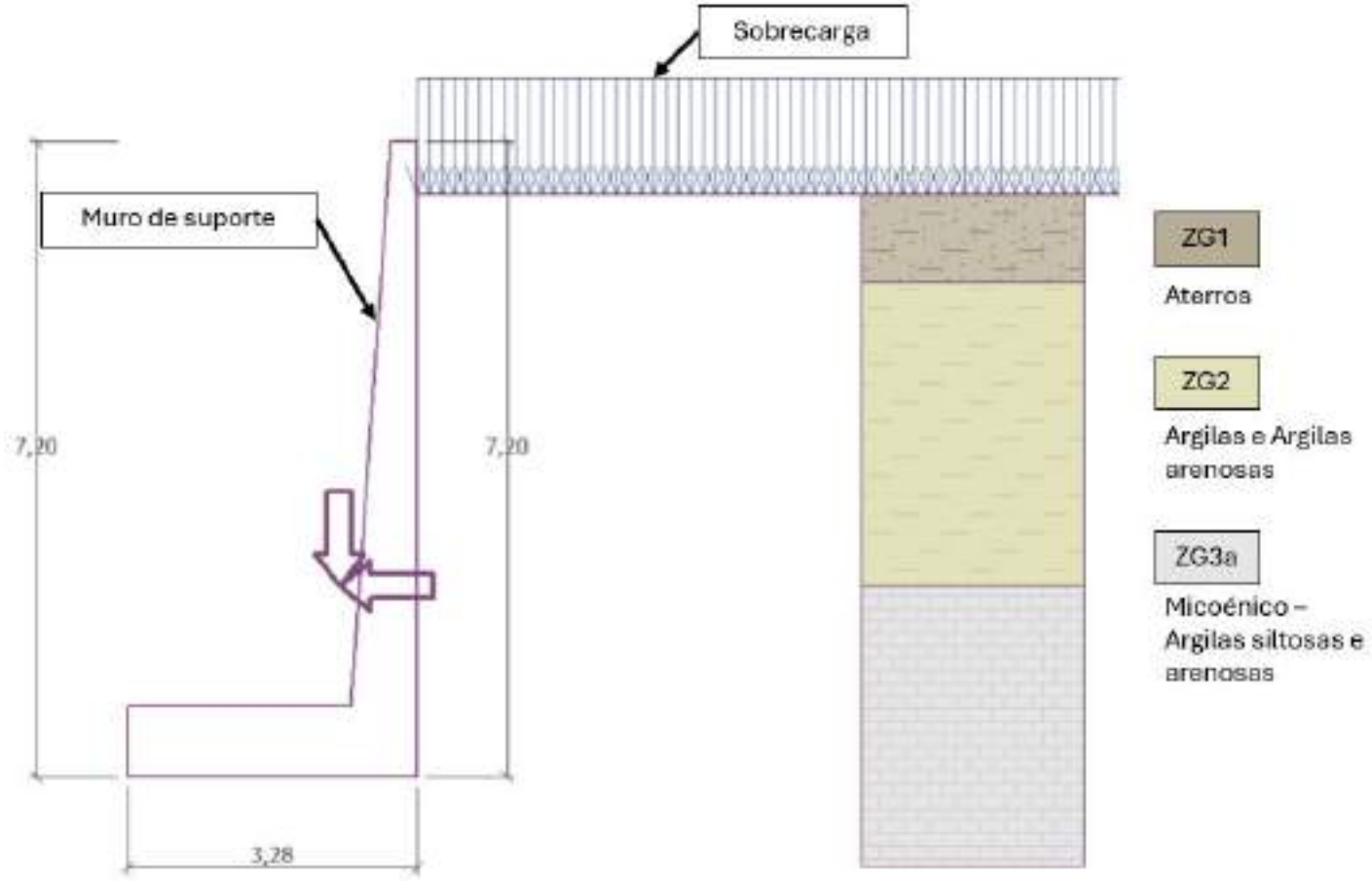
Maximum value = 0.01066 m (Element 893 at Node 4258)

Minimum value = 0.000 m (Element 7 at Node 494)

ANÁLISE NUMÉRICA E DIMENSIONAMENTO

MODELAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DOS MUROS DEFINITIVOS DO LOGRADOURO:

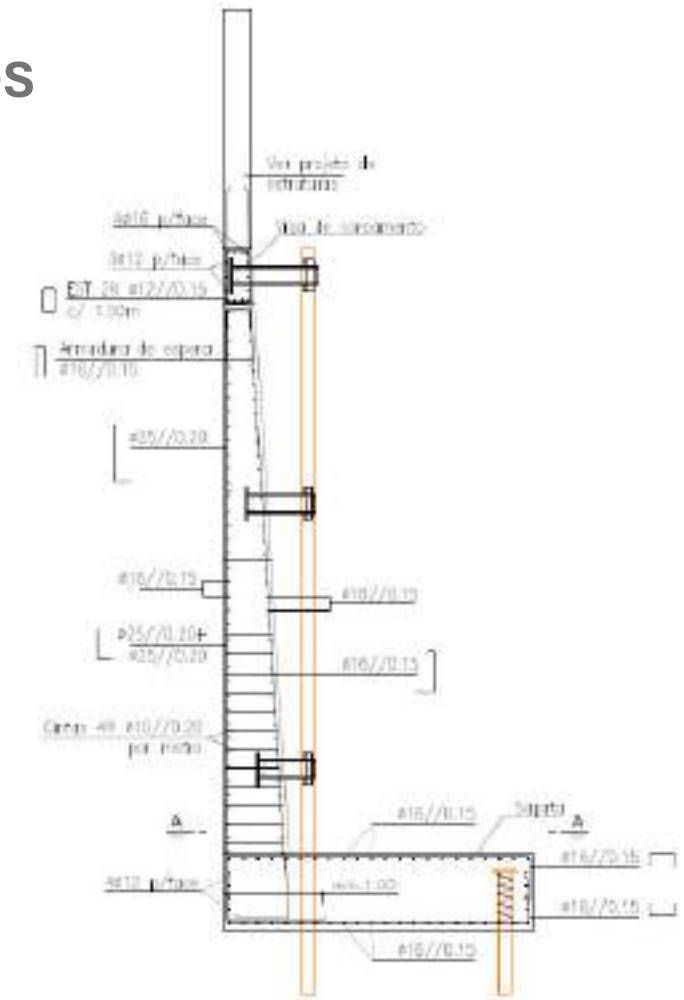
- Modelos geotécnicos analíticos *GEO 5*
- Verificação da estabilidade e capacidade resistente
- Estimativa de assentamentos

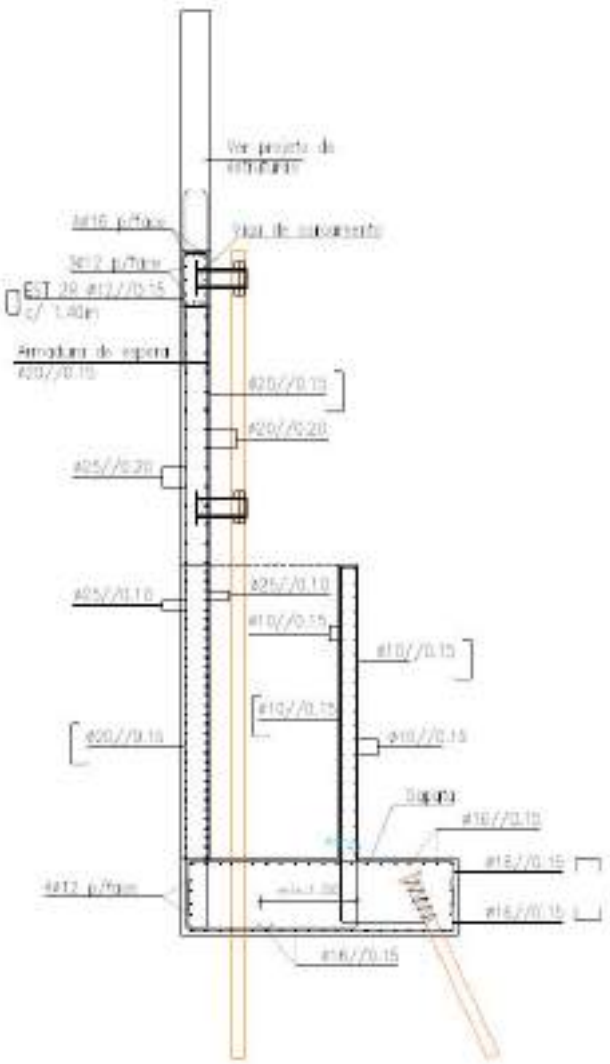


ANÁLISE NUMÉRICA E DIMENSIONAMENTO

MODELAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DOS MUROS DEFINITIVOS DO LOGRADOURO:

- Modelos geotécnicos analíticos *GEO 5*
- Verificação da estabilidade e capacidade resistente
- Estimativa de assentamentos

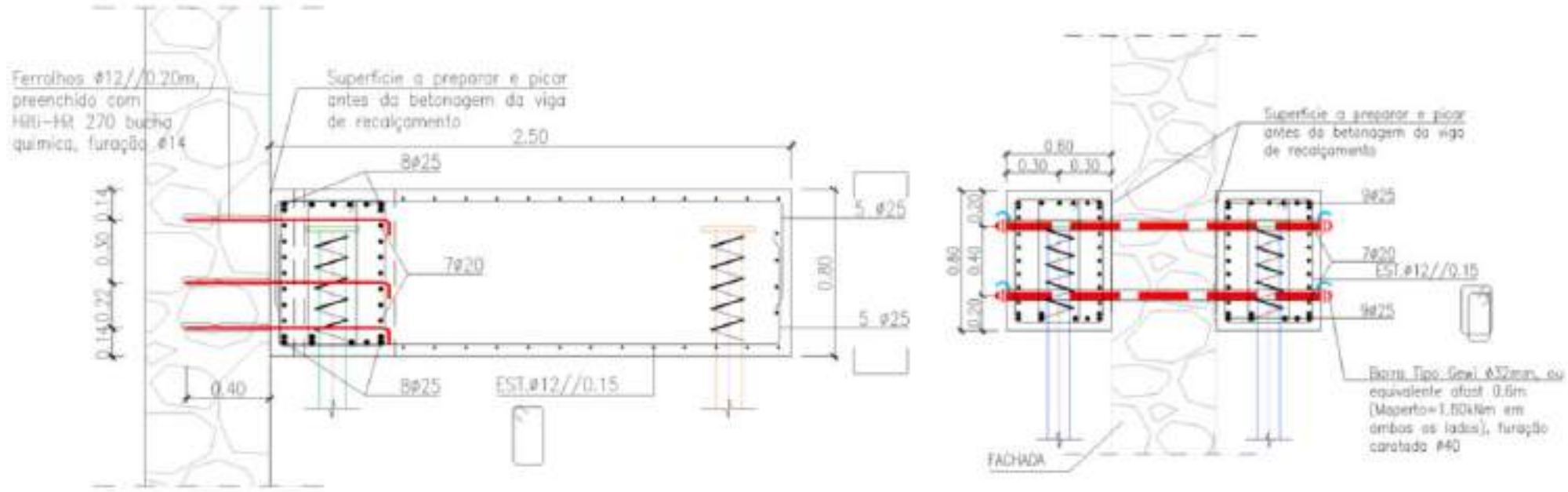




ANÁLISE NUMÉRICA E DIMENSIONAMENTO

MODELAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS DE RECALÇAMENTO:

- Modelos simplificados de barras
- Teoria das peças lineares
- Modelos de escoras e tirantes
- Estimativa de esforços e deformações



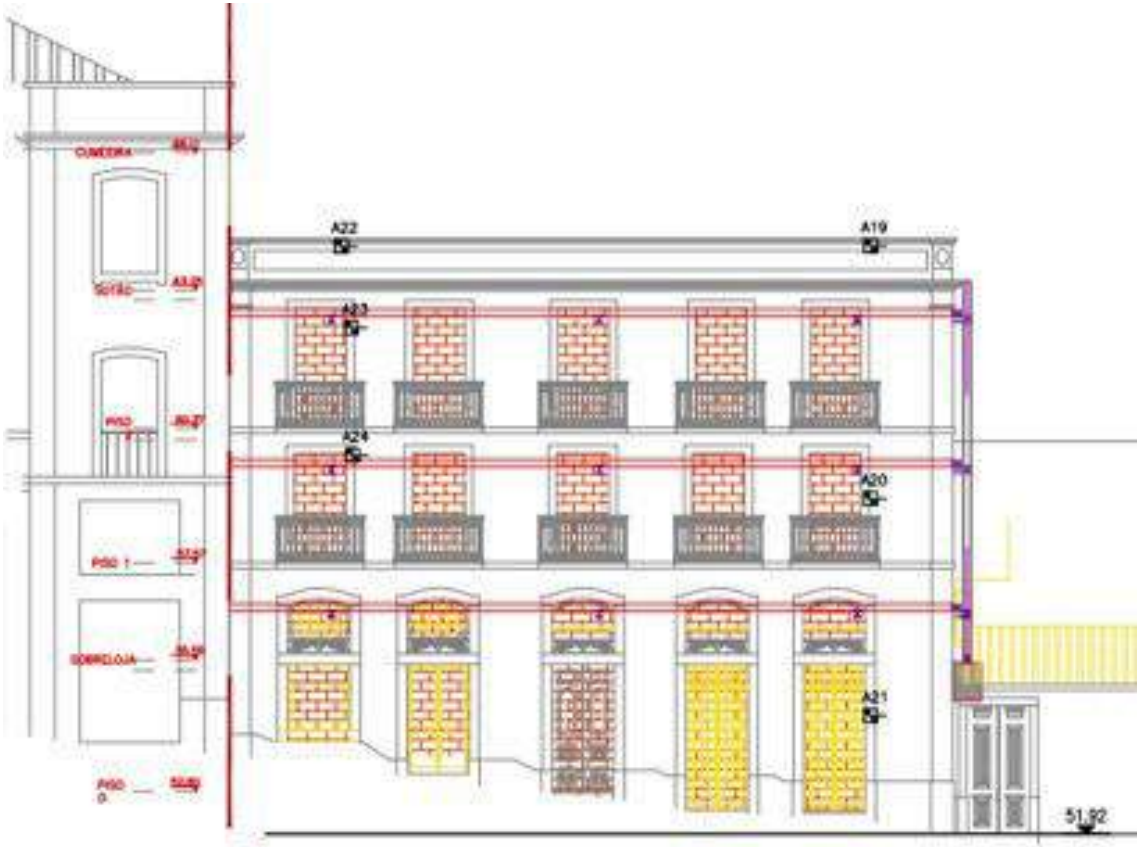
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Descrição da Solução
4. Análise Numérica e Dimensionamento
5. **Plano de Instrumentação e Observação**
6. Considerações Finais

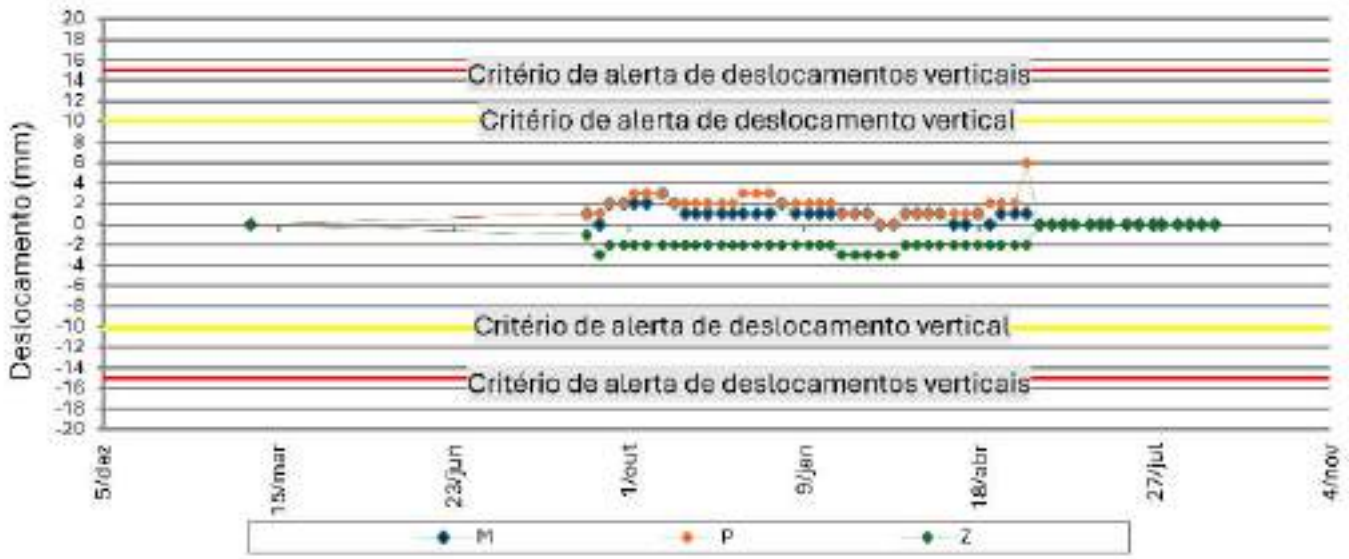
PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

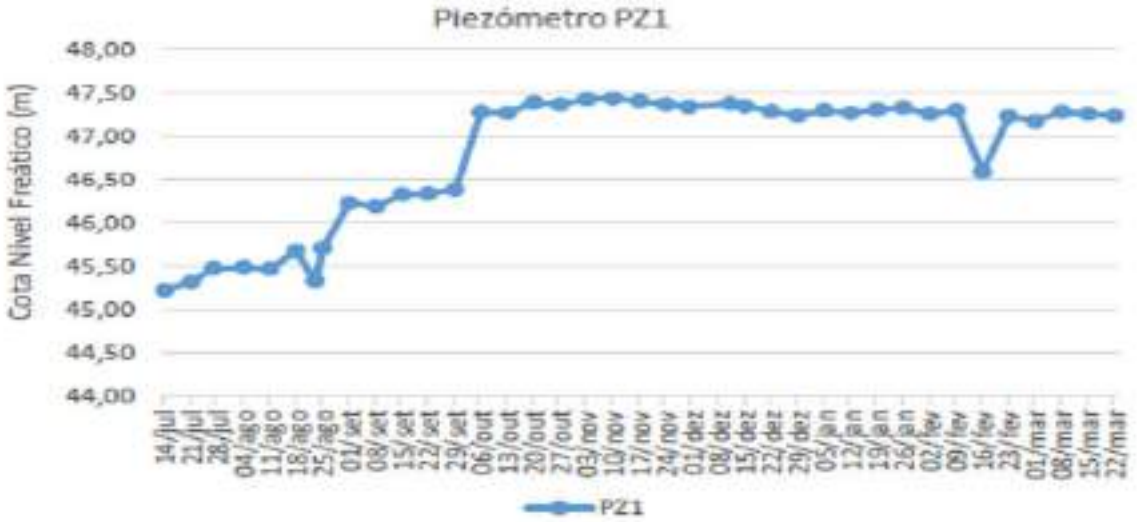
MONITORIZAÇÃO:

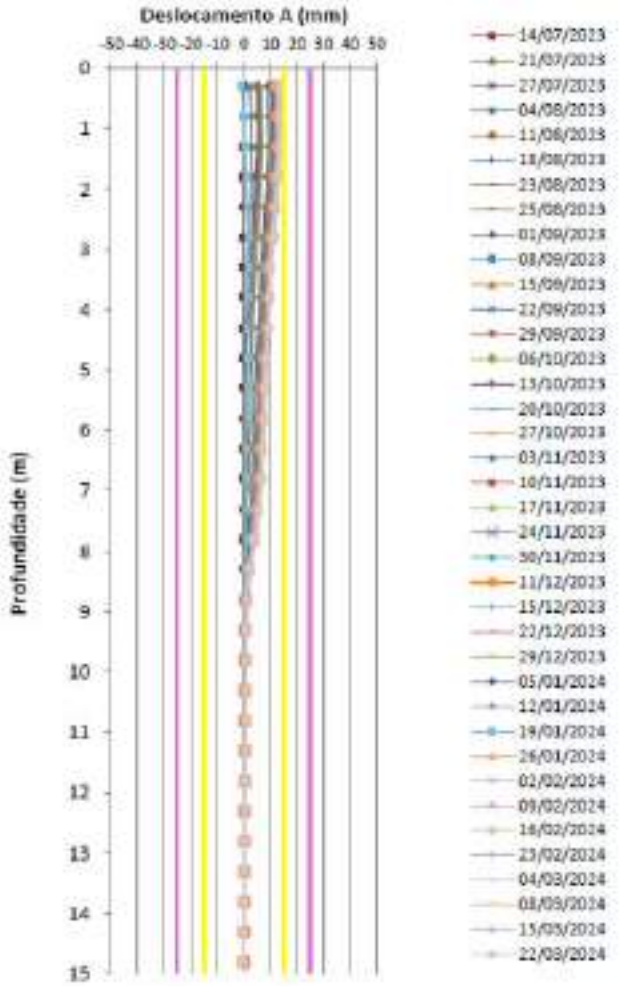
- **12 alvos topográficos**, distribuídos pelos vários **alçados da contenção periférica**;
- **23 alvos topográficos**, distribuídos pelos elementos existentes a preservar, incluindo **fachadas existentes vizinhas, empenas e muros meeiros**;
- **1 inclinómetro** junto à **fachada** a preservar na **Calçada da Estrela**;
- **1 piezómetro** junto à **fachada** a preservar na **Calçada da Estrela**;
- **2 células de carga** ao longo dos alçados a poente;



PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO







OBSERVAÇÃO: Não considerar as leituras até 1.0m devido ao topo da calha inclinométrica estar acima do terreno

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Descrição da Solução
4. Análise Numérica e Dimensionamento
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. **Considerações Finais**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A solução concebida permitiu ultrapassar as condicionantes gerais da obra e ainda otimizar e gerir o espaço em obra

Importância do Estudo Geológico-Geotécnico

Importância da Geotecnia nas construções em meio urbano

Obrigado pela vossa atenção

Agradecimentos

Dono de Obra
e Fiscalização

Empreiteiro
Geral

SOLUÇÃO DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA DO EDIFÍCIO MIMA NA PARCELA 3.21 DO PARQUE DAS NAÇÕES, LISBOA

Carla Pereira / JETsj Geotecnia
Carlos de Oliveira Martins / JETsj Geotecnia
Rui Tomásio / JETsj Geotecnia

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

JETsJ

ÍNDICE

1. **Introdução**
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Processos Construtivos

INTRODUÇÃO

EDIFÍCIOS HABITAÇÃO, TURISMO E COMÉRCIO

Parque das Nações: Parcela 3.21

2/3 pisos enterrados

Área:
5 900 m^2

Perímetro:
310 m

Altura máxima:
12 m

Escavação:
70 000 m^3

ÍNDICE

1. Introdução
2. **Principais Condicionamentos**
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Processos Construtivos
6. Plano de Instrumentação e Observação

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

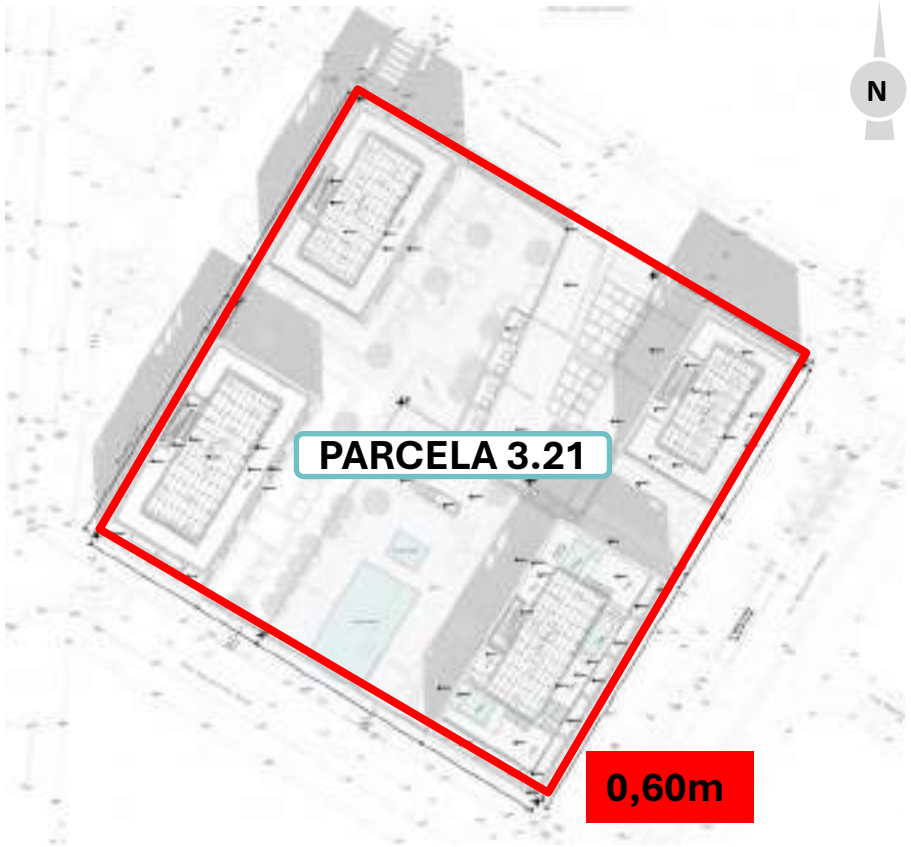
Escavação em Meio Urbano

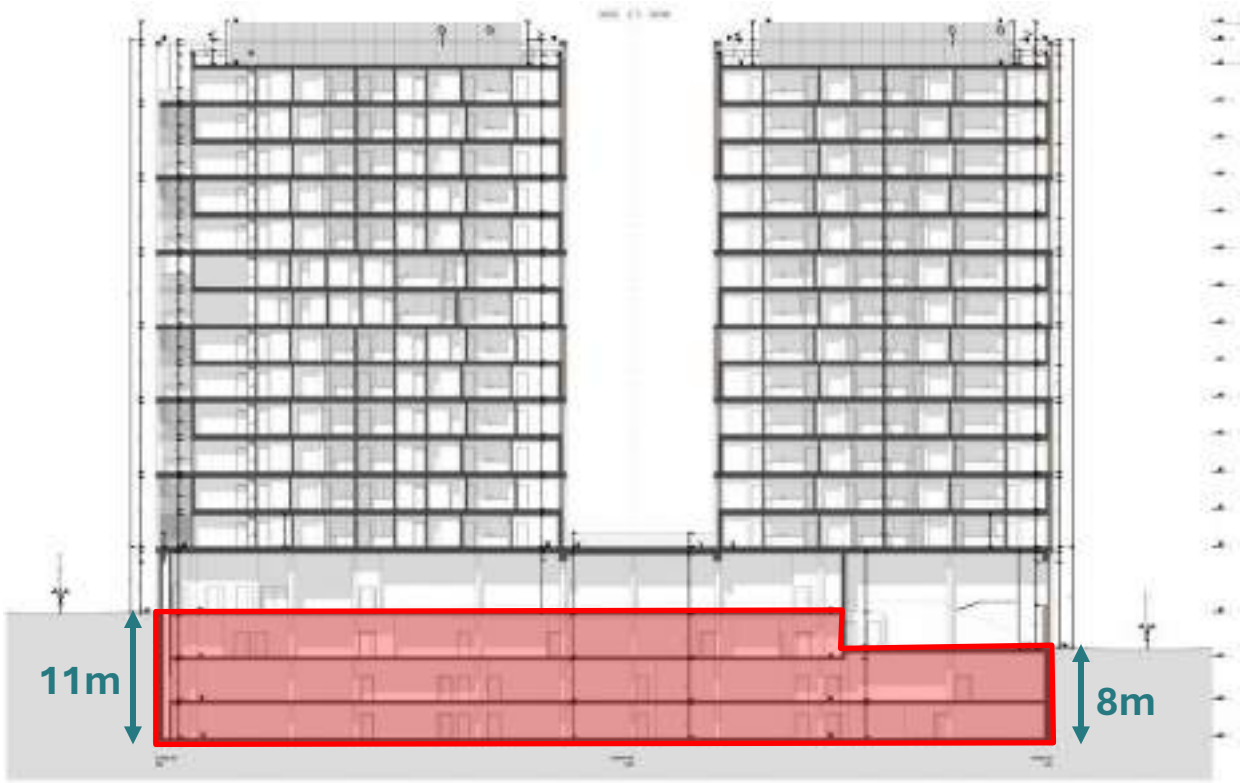
Multiplicidade de Condicionantes

- Arquitetónicos
- Vias Circundantes
  - Rua Gaivotas em Terras
  - Passeio do Báltico
  - Rua dos Argonautas
  - Av. Fernando Pessoa
- Infraestruturas no subsolo
- Linha Ferroviária IP

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

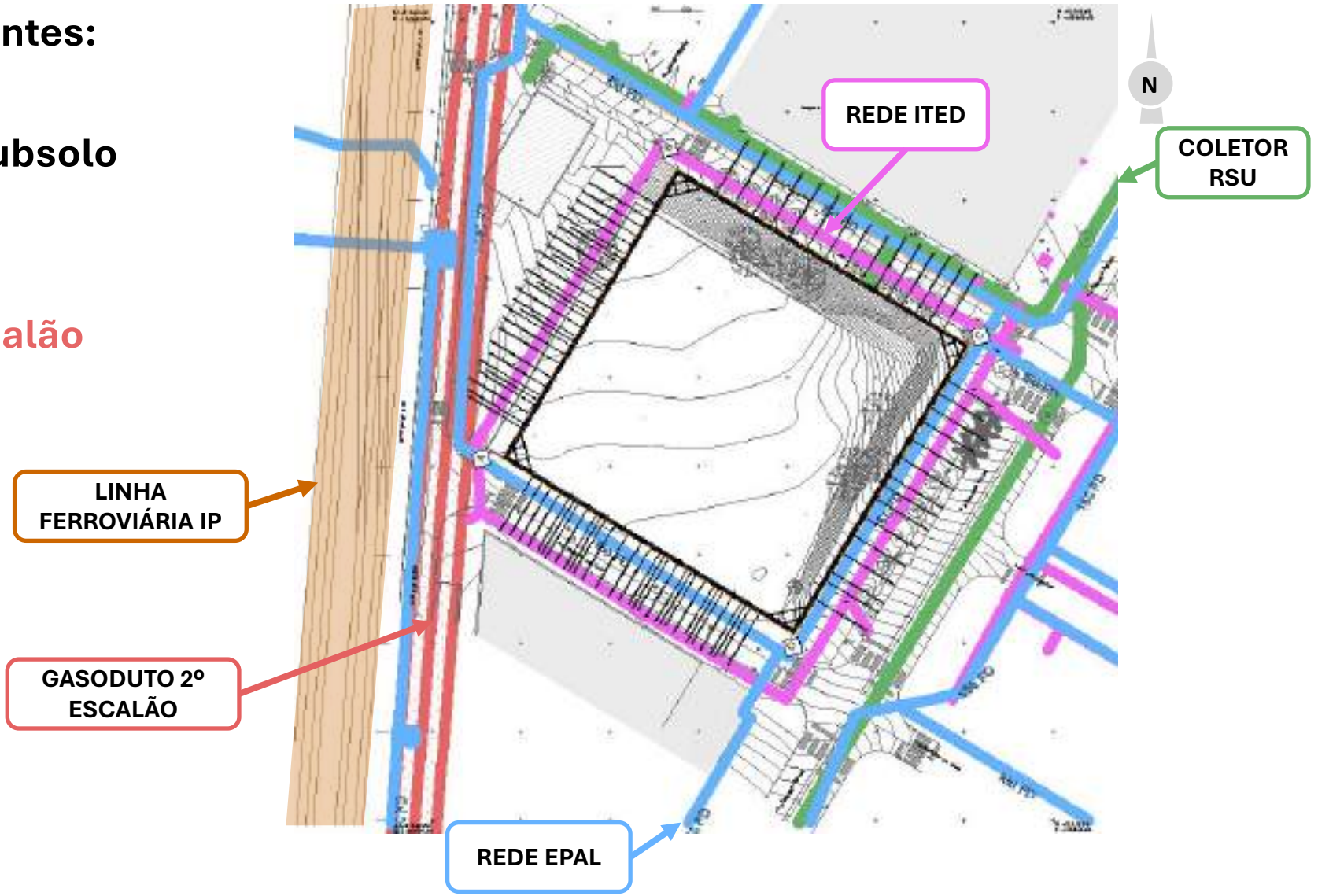
- ✓ **Condicionamentos construtivos e arquitetónicos:**
  - Espaço disponível para a estrutura de contenção ao nível dos pisos enterrados
  - Desnível de cotas do embasamento





PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

- ✓ **Infraestruturas circundantes:**
  - **Infraestruturas no subsolo**
    - Rede EPAL
    - Rede ITED
    - Gasoduto 2º escalão
    - Coletor RSU
  - Linha Ferroviária IP



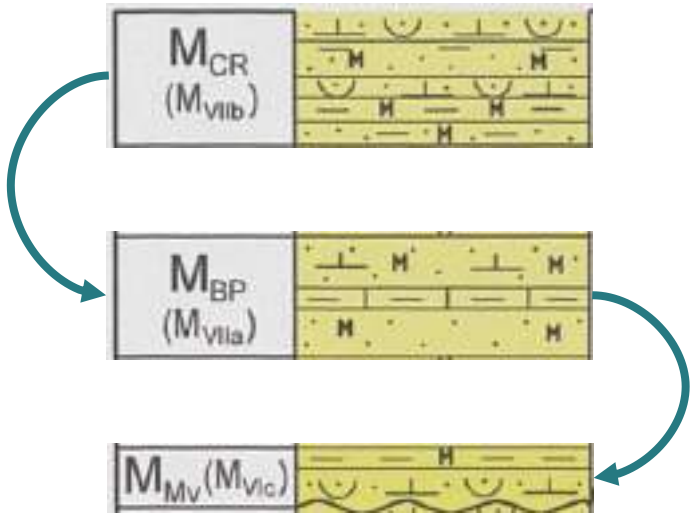
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. **Estudo Geológico-Geotécnico**
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Processos Construtivos

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

No local de implantação da obra afloram:

- Aluviões (superficialmente);
- Solos do Miocénico:
  - Areolas do Cabo Ruivo (M_{CR});
  - Areolas do Braço de Prata (M_{BP});
  - Calcários de Marvila (M_{MV})



Fonte: Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, Folha 34D - Lisboa

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

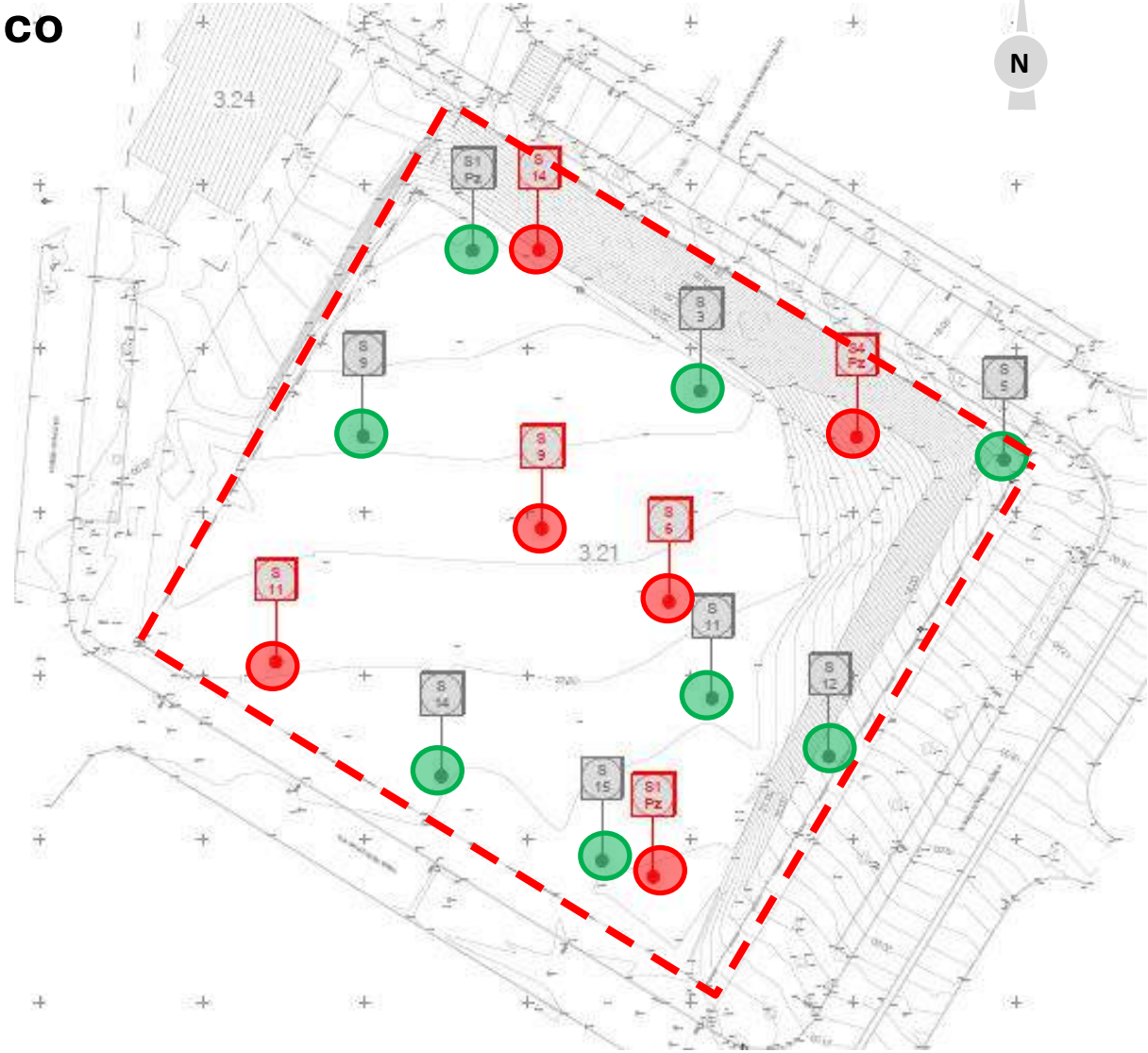
Plano de Prospeção Geológico-Geotécnico

Maio de 2019 (Dono de Obra): 🟢

- ✓ 8 Sondagens Geotécnicas à rotação com amostragem contínua
- ✓ Ensaios SPT em profundidade
- ✓ 1 Piezómetro

Julho de 2022 (Dono de Obra): 🔴

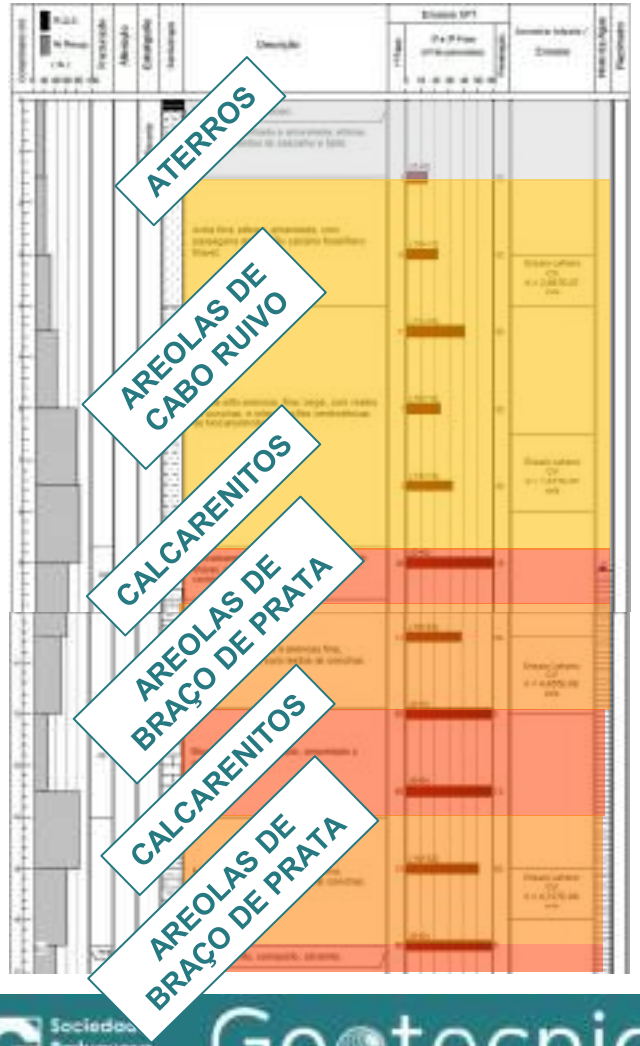
- ✓ 6 Sondagens Geotécnicas à rotação com amostragem contínua
- ✓ Ensaios SPT em profundidade
- ✓ 2 Piezómetros
- ✓ Ensaios Laboratoriais
  - ✓ **Análises químicas à agressividade da água subterrânea**
  - ✓ **Ensaios de permeabilidade Lefranc**



ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Sondagens Geotécnicas:

O exemplo da Sondagem 11



0,00 m – 7,65 m **1**

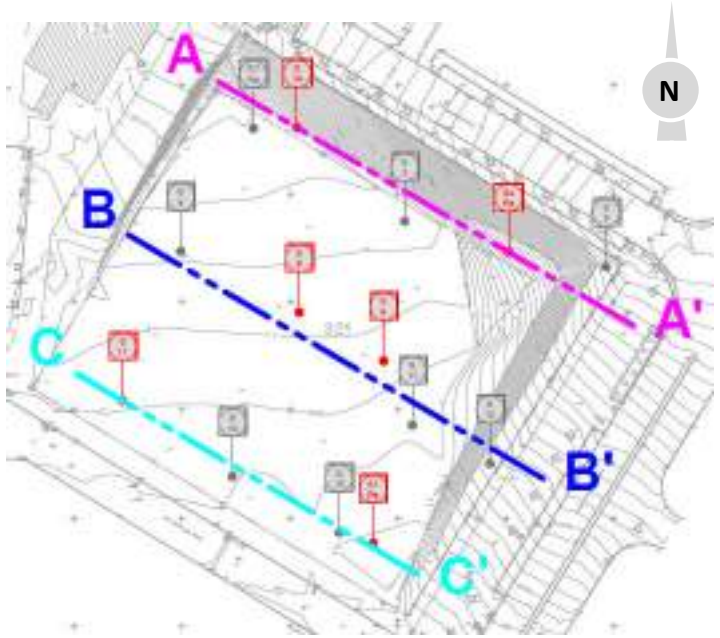
7,65 m – 12,10 m **2**

12,10 m – 16,85 m **3**

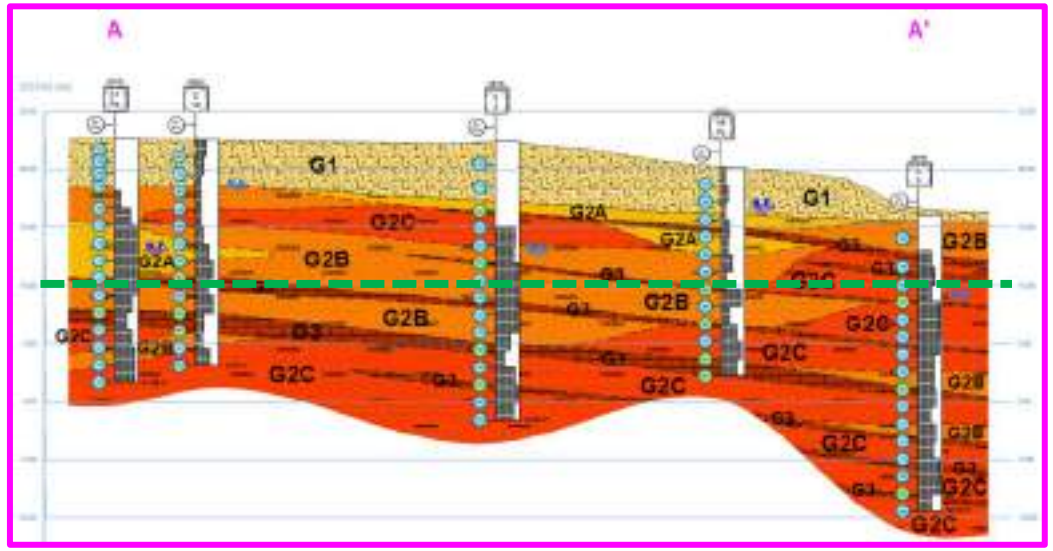
ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

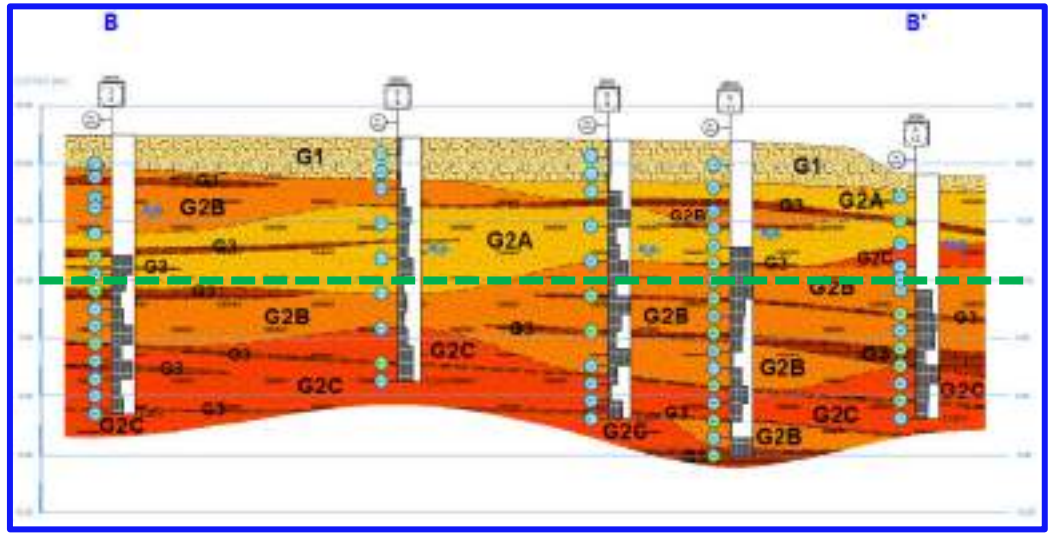
Zonamento Geológico-Geotécnico

Zona	Formações	Intervalos N_{SPT}
G1	Aterro arenoso medianamente compacto	$8<N_{SPT}<25$
G2A	Solos areno-siltosos medianamente compactos	$8<N_{SPT}<25$
G2B	Solos areno-siltosos compactos	$25<N_{SPT}<42$
G2C	Solos areno-siltosos muito compactos	$42<N_{SPT}<60$
G3	Biocalcarenito	$N_{SPT}>60$



Cota de fundo de escavação

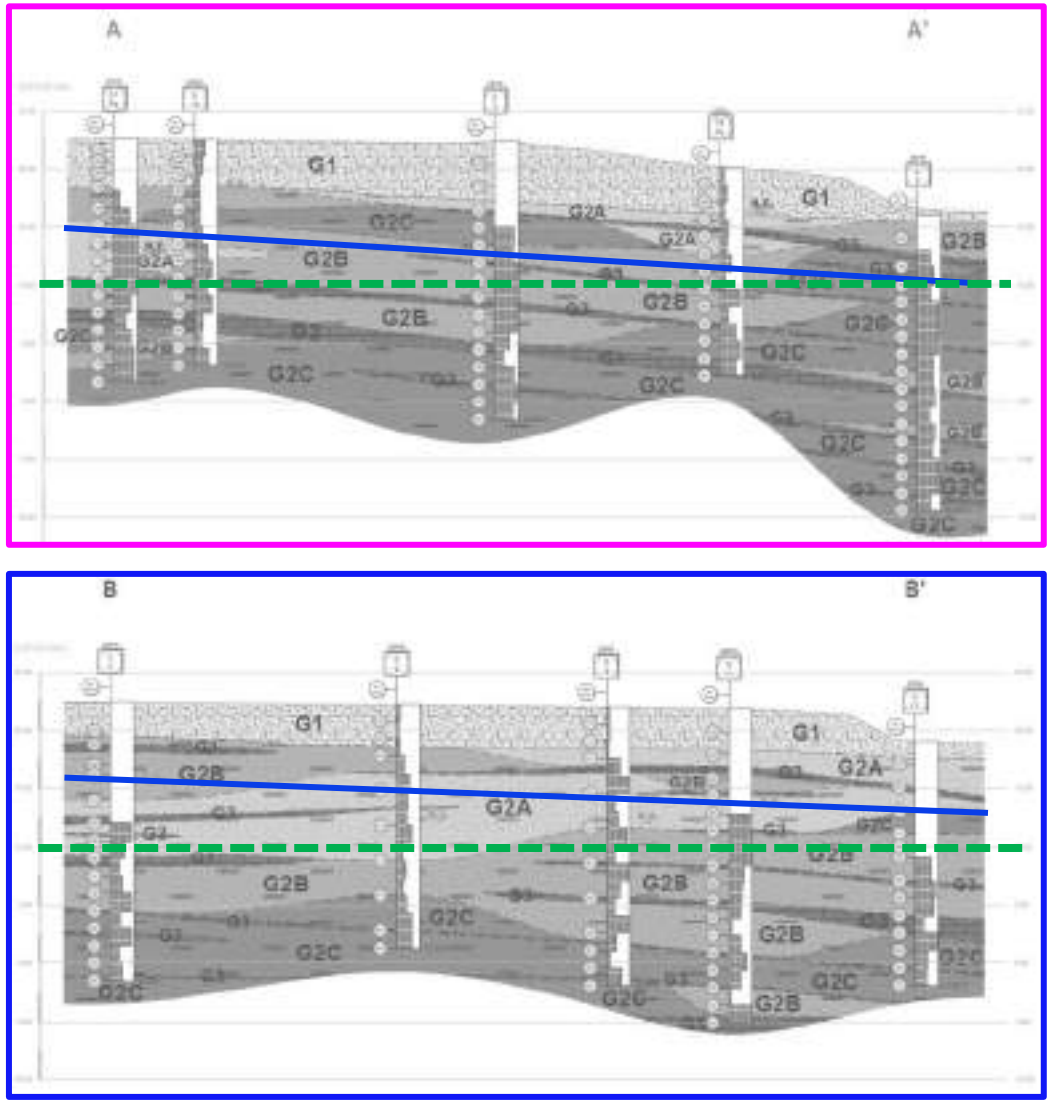




ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Hidrogeologia

- ✓ Níveis de água entre a cota 12 e 10m.
- ✓ Permeabilidades:
  - ✓ Depósitos Arenosos:
    - ✓ Muito baixa (10-9 m/s);
  - ✓ Areias siltosas:
    - ✓ Baixa (10-7 a 10-6 m/s);
  - ✓ Areolas:
    - ✓ Muito Baixa (10-8 a 10-7 m/s);
  - ✓ Biocalcarenitos:
    - ✓ Muito Baixa (10-9 a 10-7 m/s);
- ✓ Comportamento químico de águas: Classe de exposição XA1



Cota de fundo de escavação — Nível de água

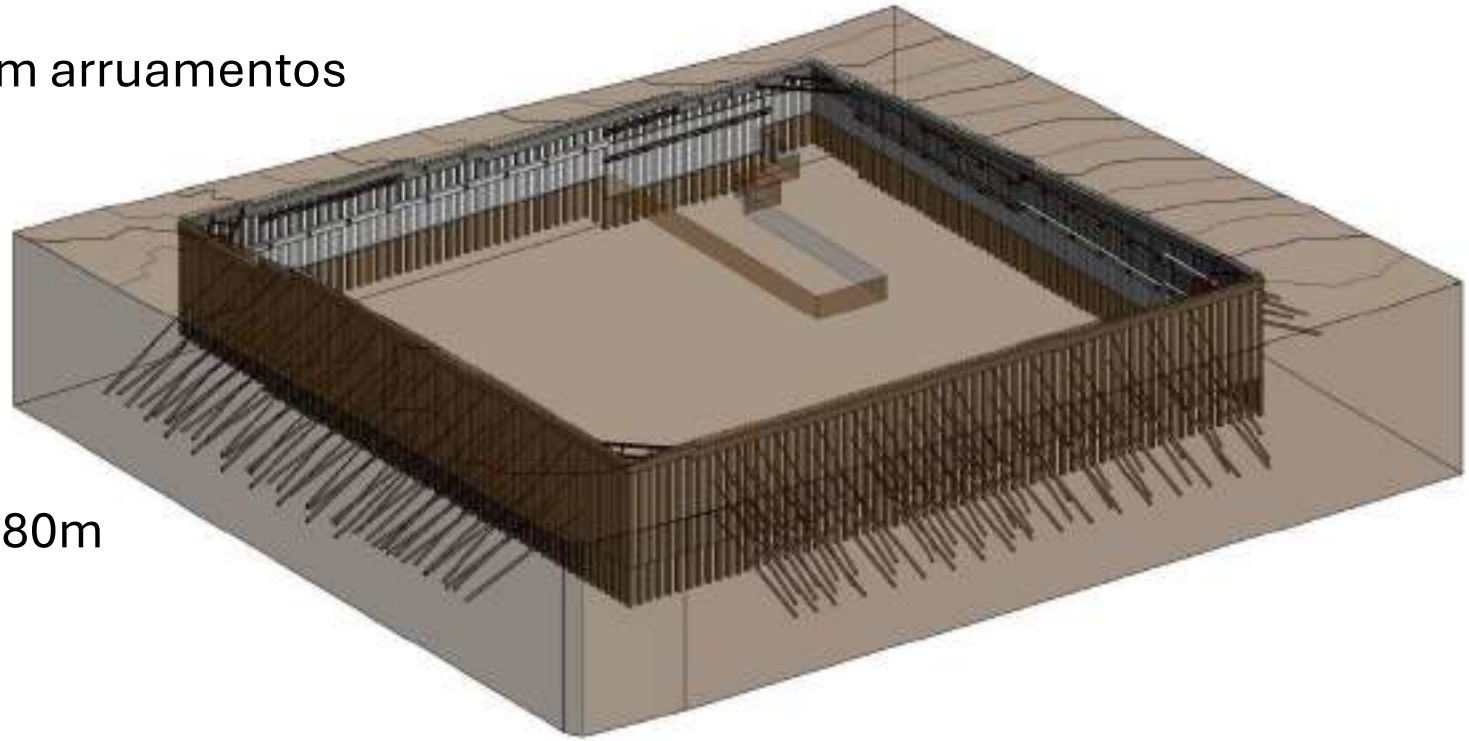
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. **Soluções de Escavação e Contenção Periférica**
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Processos Construtivos

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Cortina de Estacas 600mm // 1.20m Espaçadas:

- Betão projetado 10cm
- Viga de coroamento compatível com arruamentos
- Vigas de distribuição:
  - Em betão armado, no geral;
  - Em aço, pontualmente.
- Encastramento mínimo de 4,0m
- Ancoragens provisórias
  - 1º e 2º nível de travamento// 4.80m
  - 3º nível de travamento// 3.60m
- Escoras metálicas de canto
- Geodrenos drenagem paramento // 3.60m.

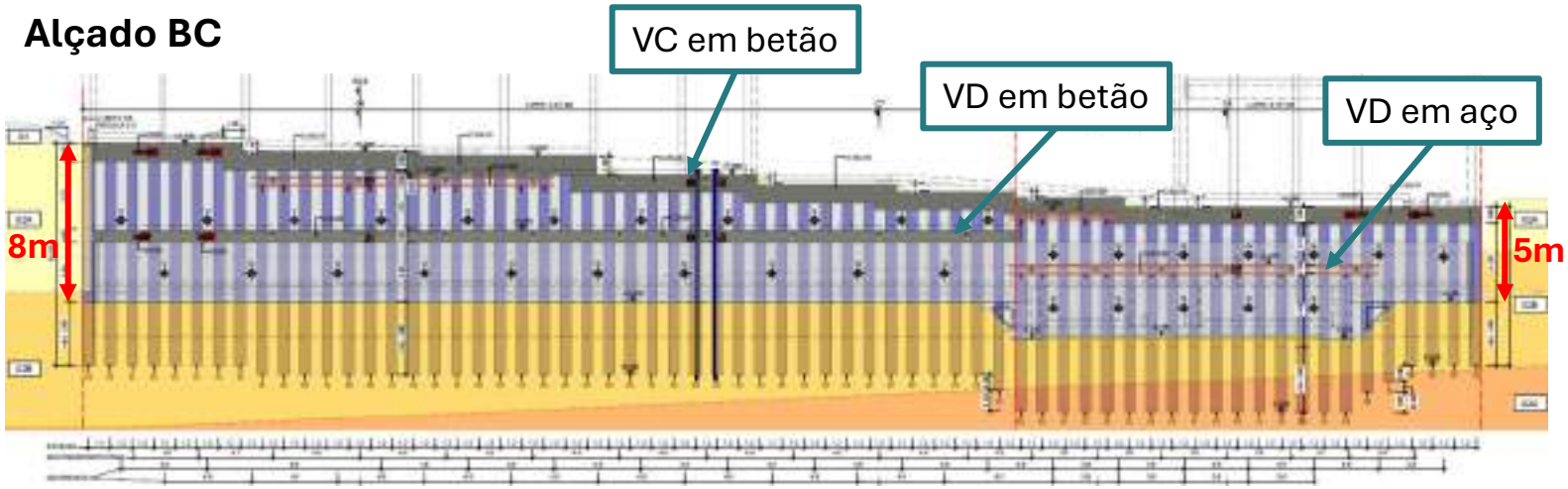


- <u>Medida preventiva:</u> Execução de parede de betão armado aferrolhada à cortina

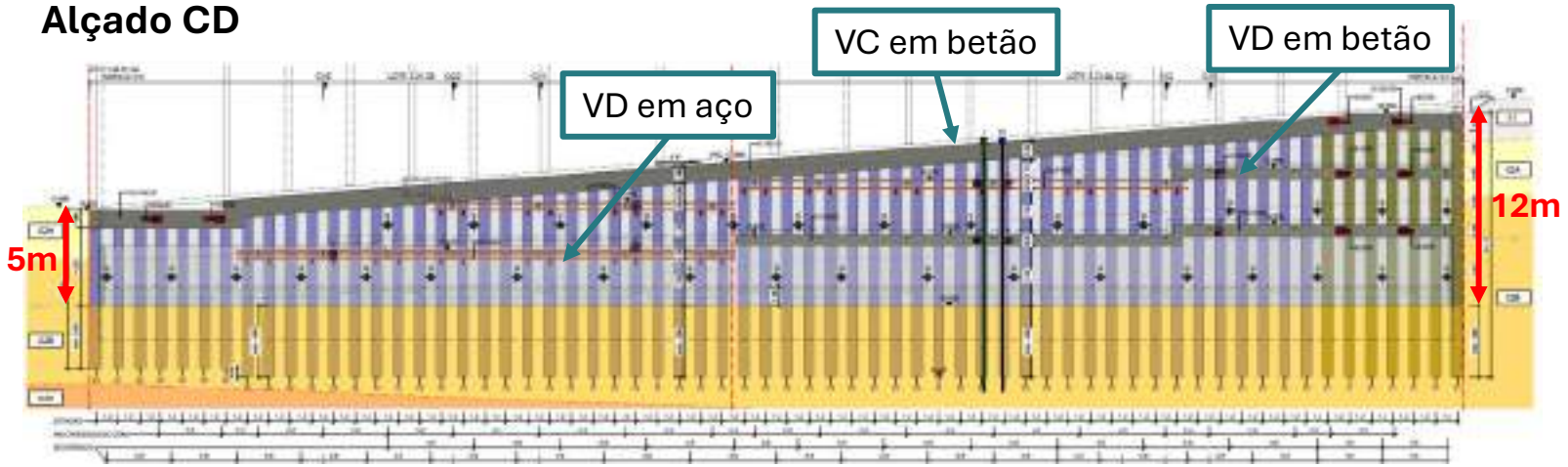
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

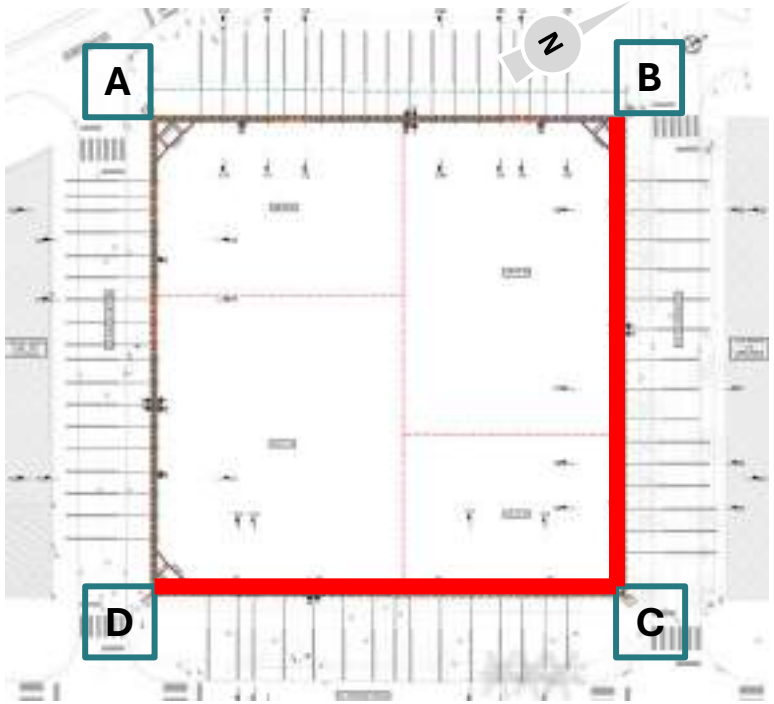
Cortina de Estacas 600mm // 1.20m:

Alçado BC



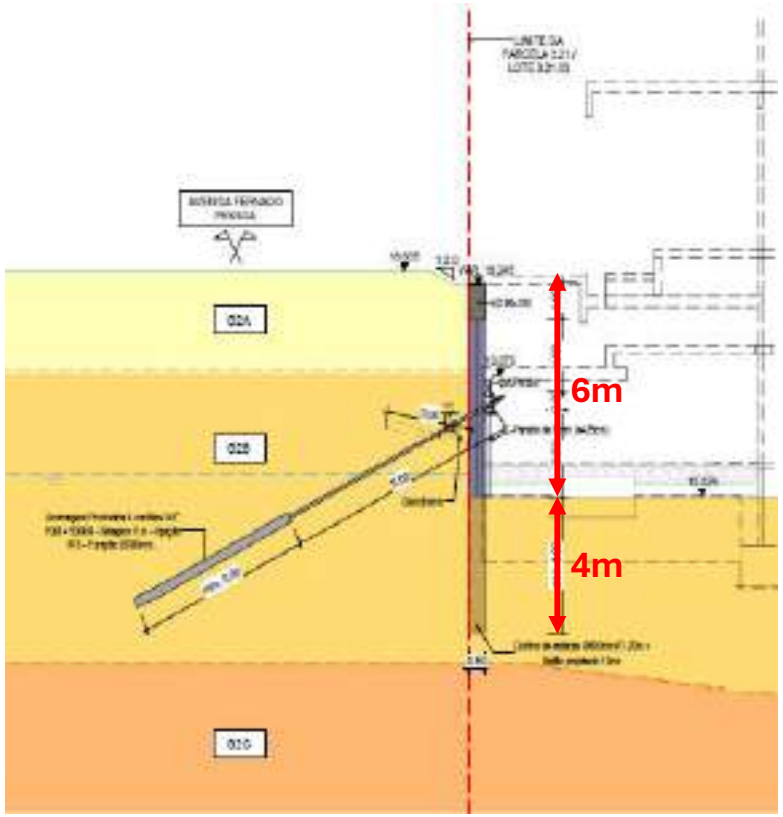
Alçado CD



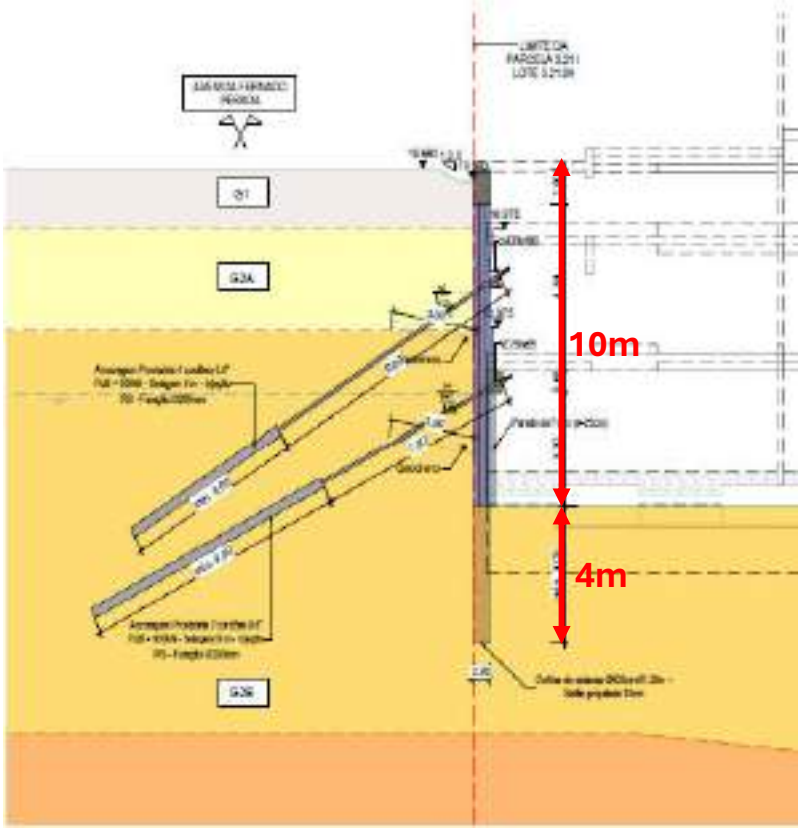


SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

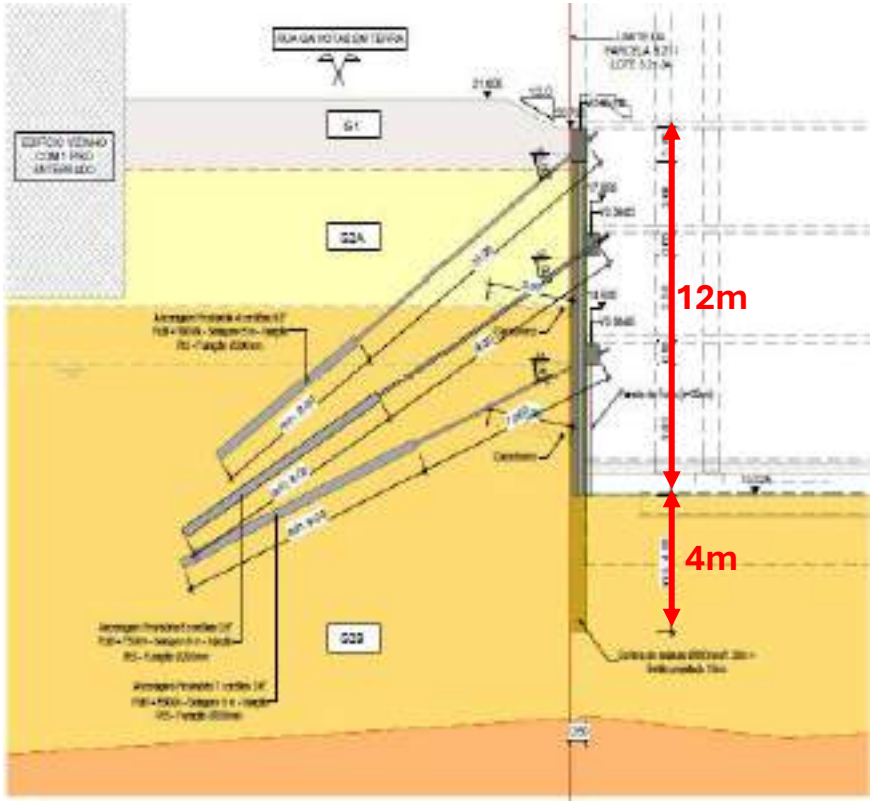
Cortina de Estacas 600mm // 1.20m:



Secção com 1 nível de travamento



Secção com 2 níveis de travamento



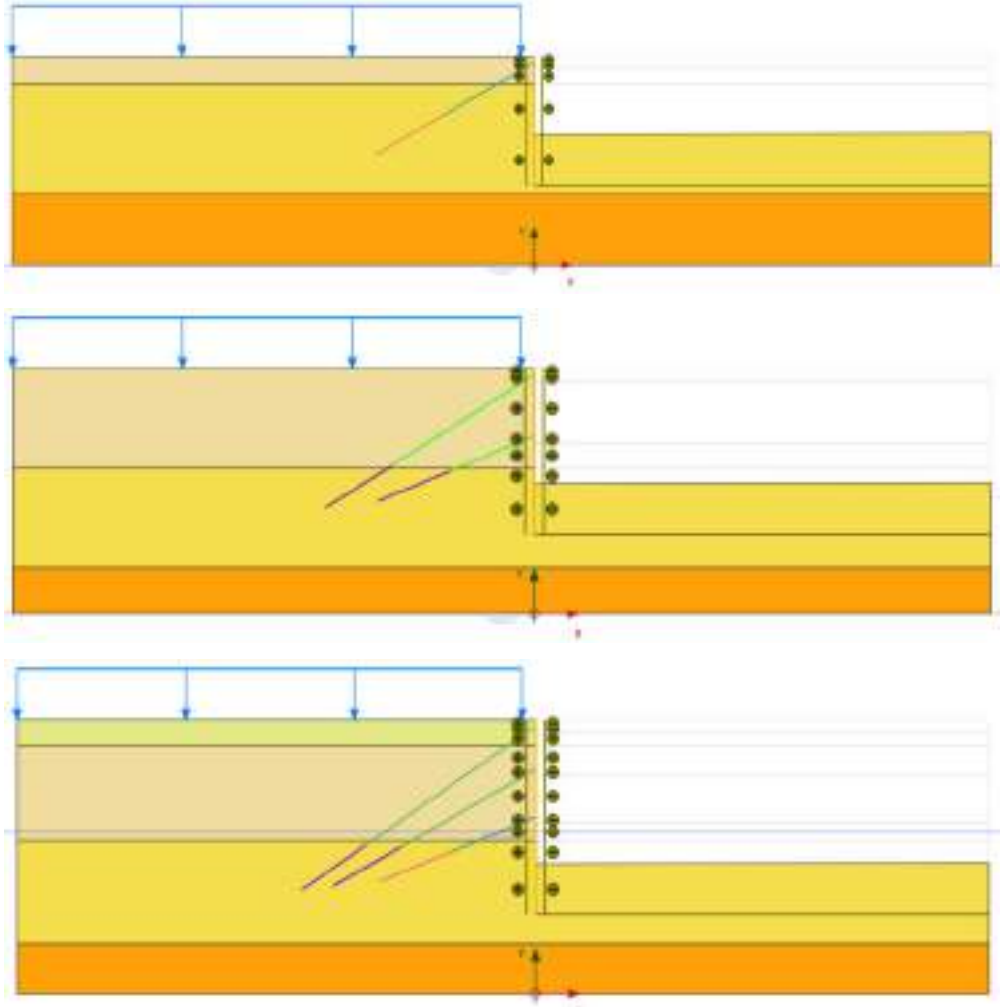
Secção com 3 níveis de travamento

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo *PLAXIS 2D*

- 3 Secções tipo de análise representativas.

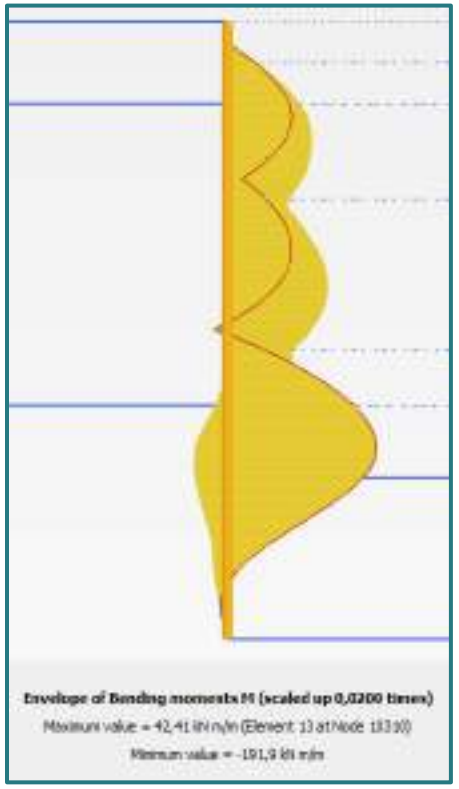
- Terrenos:
  - Modelo constitutivo, “Hardening Soil”;
- Cortina de estacas:
  - Elementos do tipo “Plate”;
- Ancoragens:
  - Elementos tipo tirante “Node-to-node anchor”;
- Bolbos dede selagem:
  - Elementos do tipo ”Embedded beam row”.



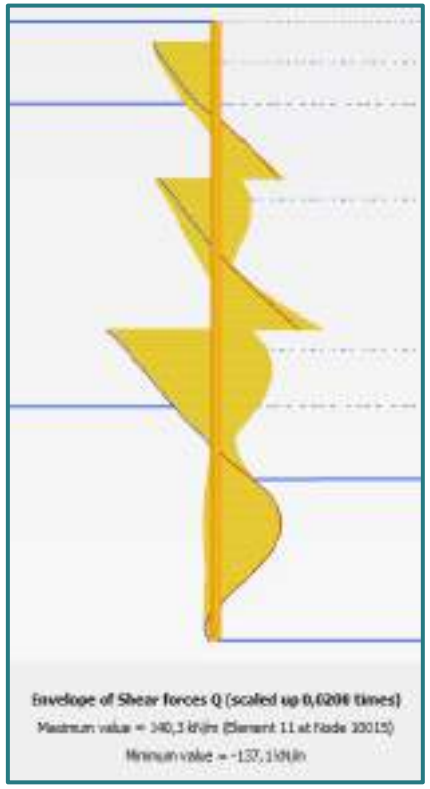
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Resultados de Cálculo *PLAXIS 2D*

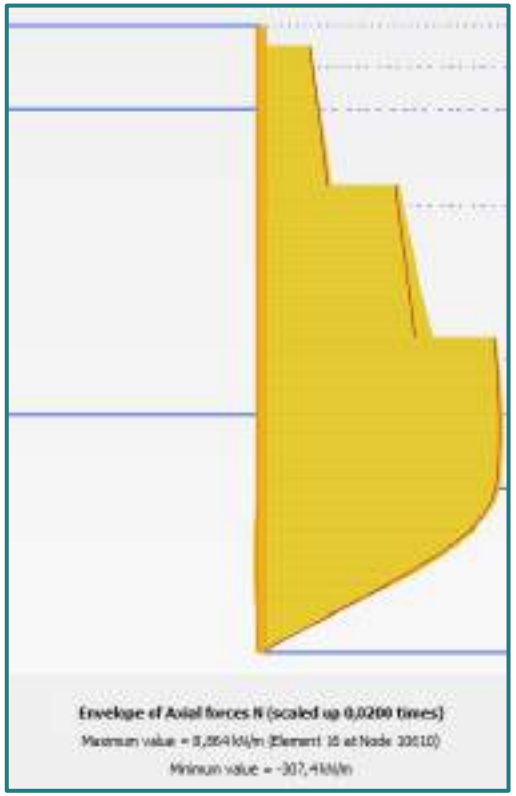
Esforços



Momento Fletor

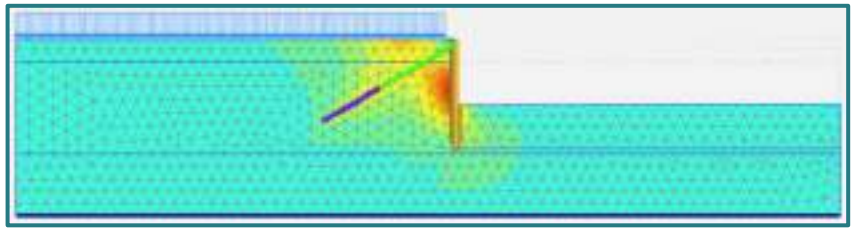


Esforço Transverso

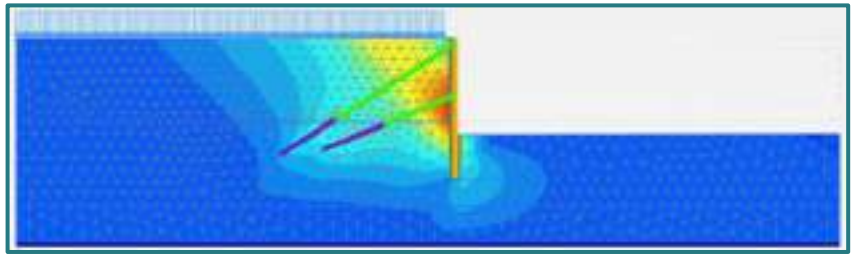


Esforço Normal

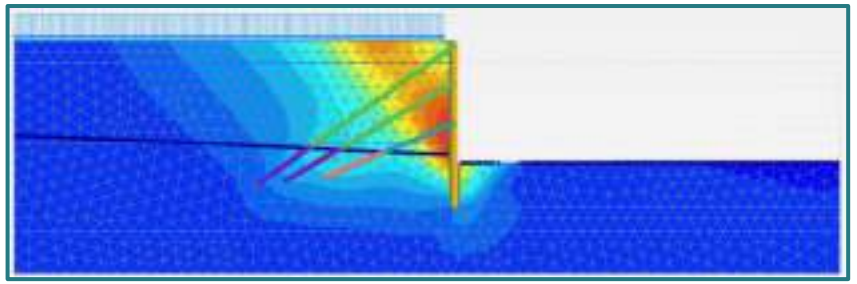
Deformações



Ux 4mm



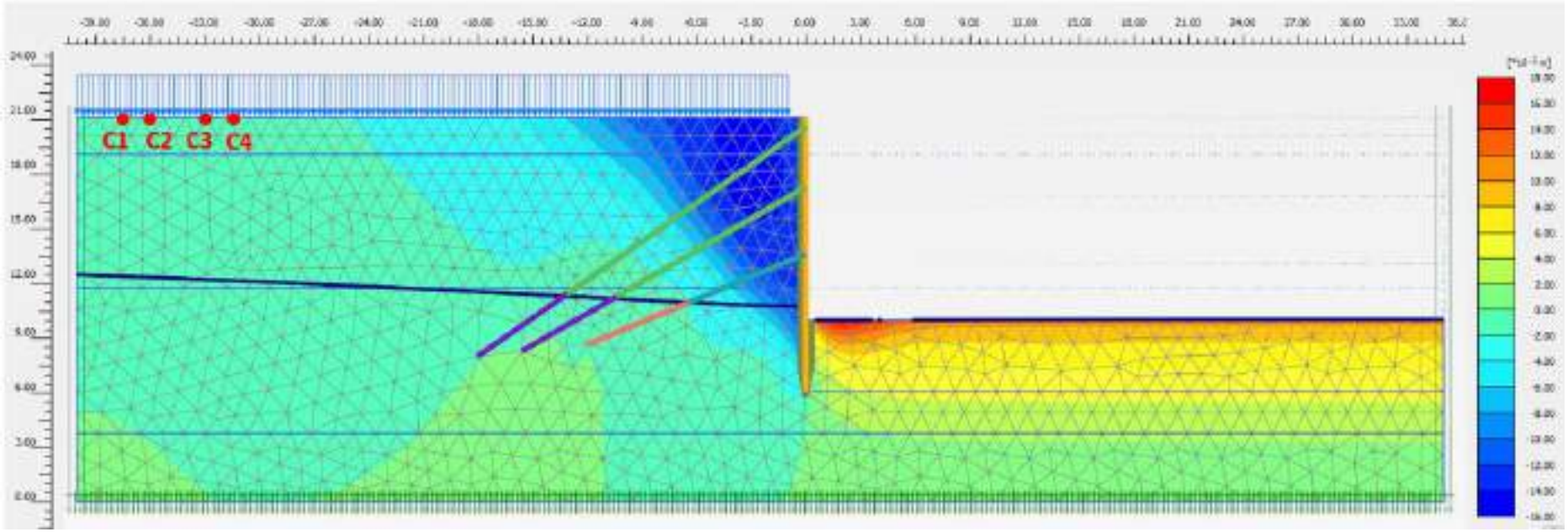
Ux 7mm



Ux 16mm

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Deformações linha ferroviária IP



Carril	Deformação Vertical [mm]
C1	1.05
C2	0.89
C3	0.79
C4	0.74

De acordo com a Instrução Técnica IP GR.IT.VIA.018

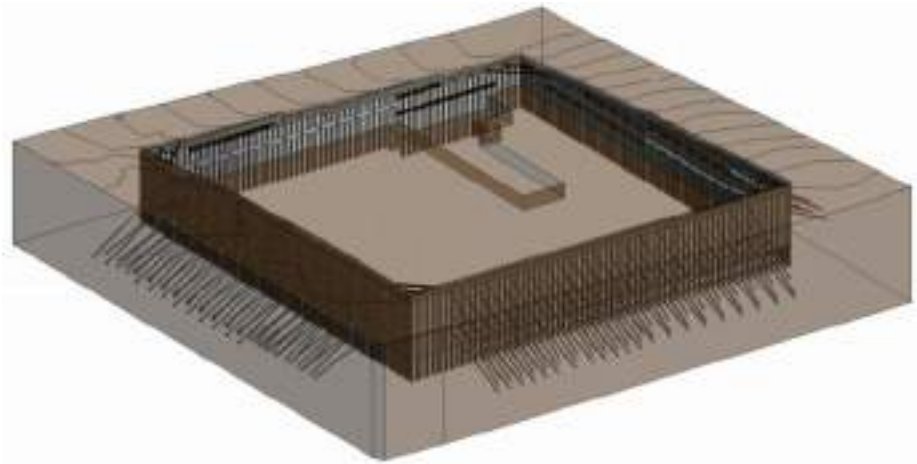
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Estudo de otimização com o empreiteiro

- **<u>Medidas implementadas:</u>**
  - Executar ancoragens com afastamentos de 4,80m: **-35.000,00€**
  - Aumentar ligeiramente armadura de vigas de coroamento e de distribuição: **+10.000,00€**
  - Reduzir armadura de estacas para 6Ø20 com cintØ12//0.15: **-30.000,00€**
  - Reduzir armadura de todas as estacas para 6Ø25 com cintØ12//0.15: **-20.000,00€**
  - Redução do número de cordões em ancoragens com 500kN de 5 para 4: **-5.000,00€**

⇨ **Reforço dos dispositivos de instrumentação**

- **OTIMIZAÇÃO ESTIMADA: -80.000,00€ (-3,1%)**

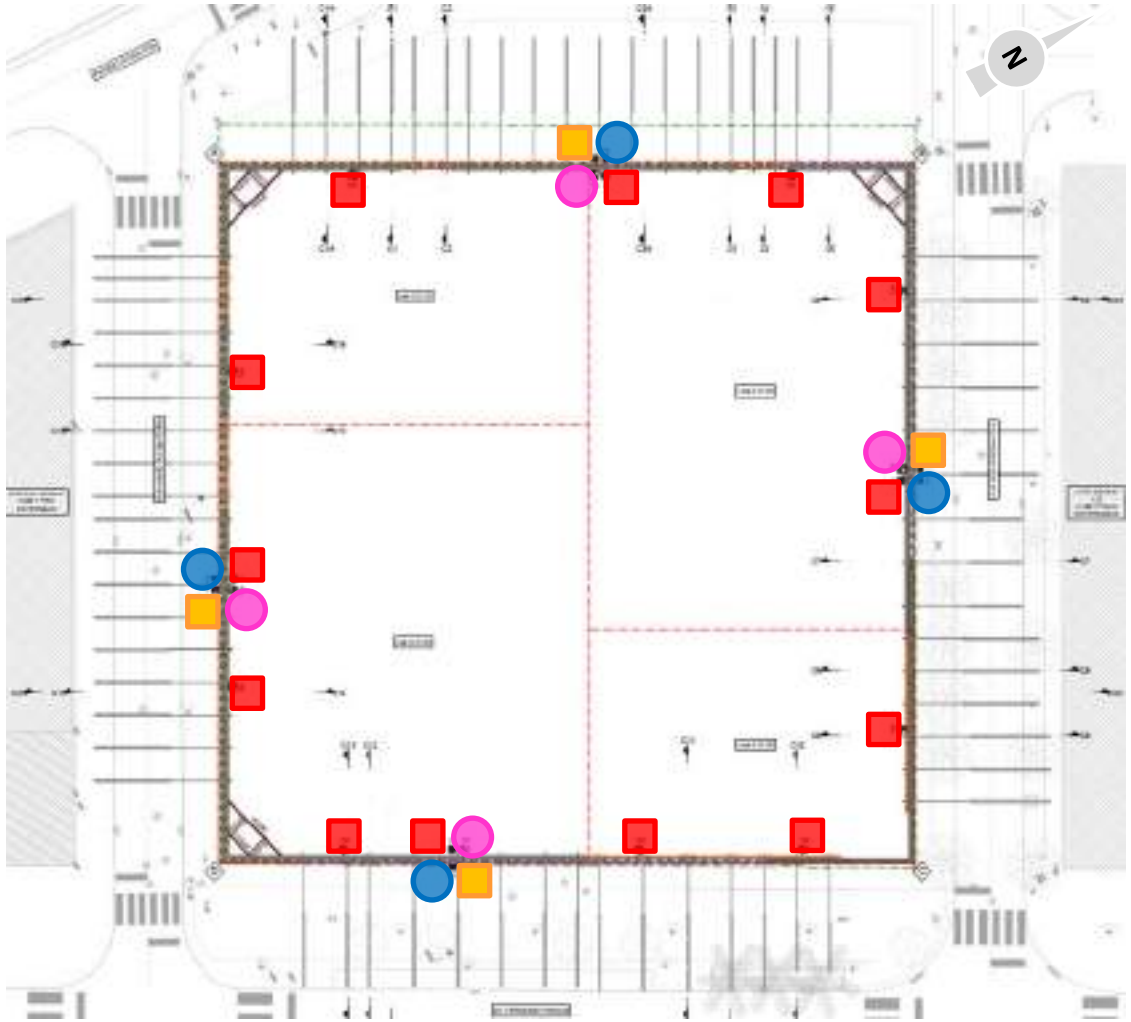


ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. **Plano de Instrumentação e Observação**
6. Processos Construtivos

PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Dispositivos e Localização



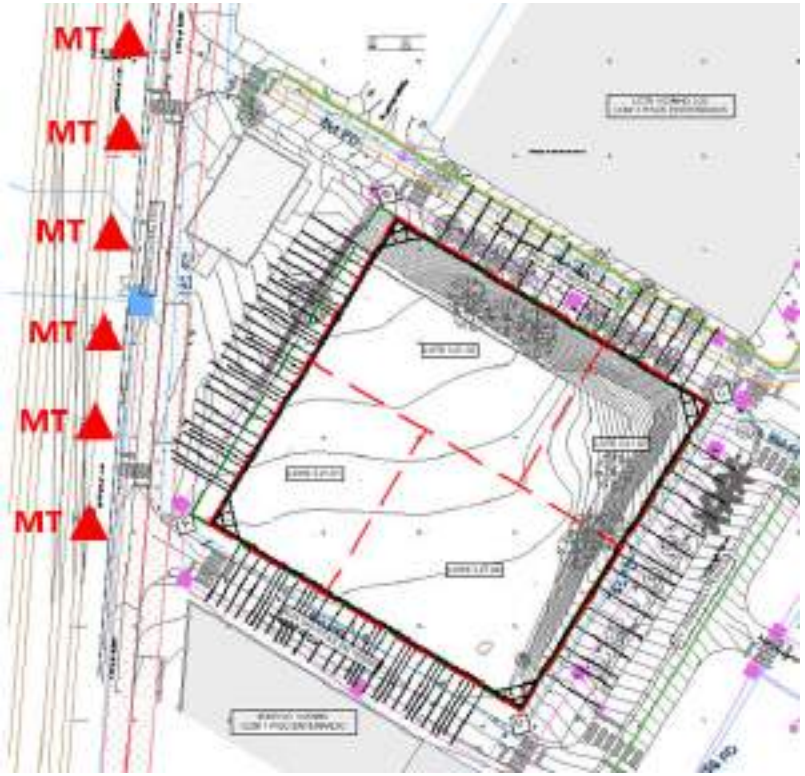
- Alvo Topográfico (x28/**x62**)

- Inclinómetro (x4)

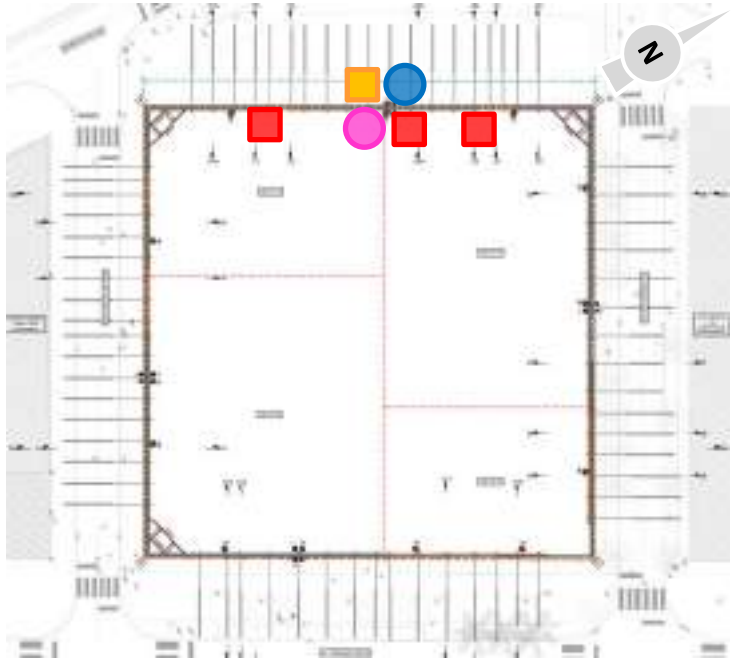
- Piezómetro (x4)

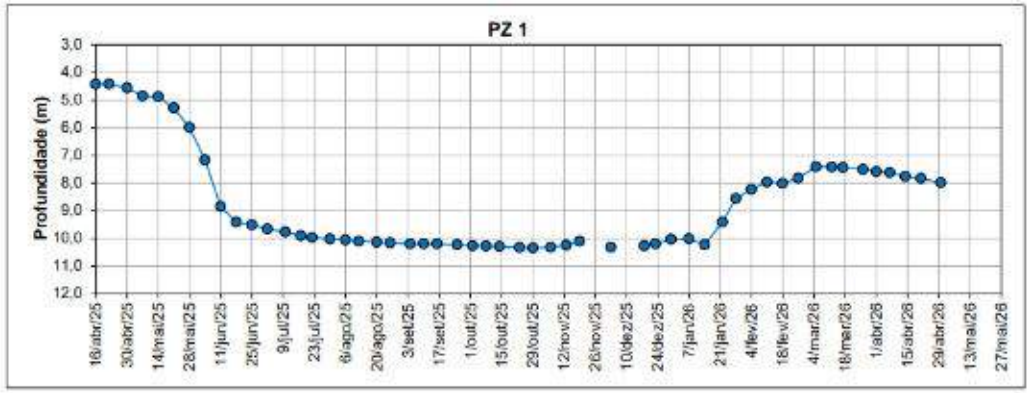
- Célula de Carga (x10)

Marcas topográficas na linha ferroviária

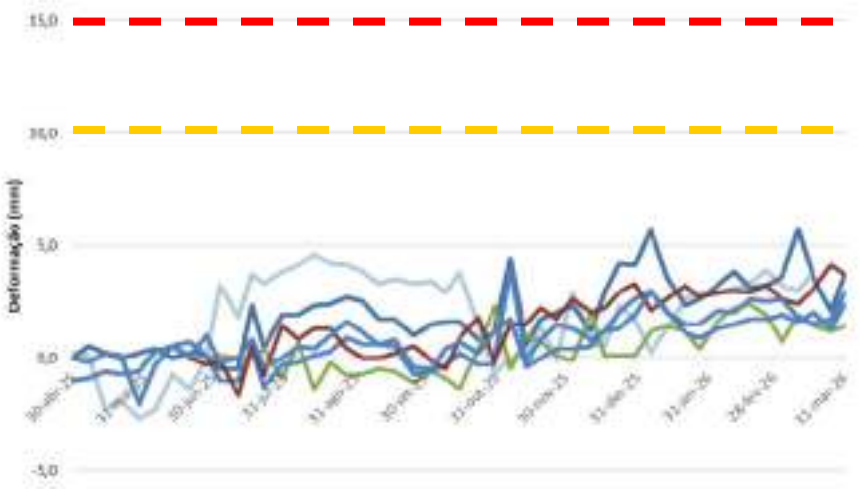


PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

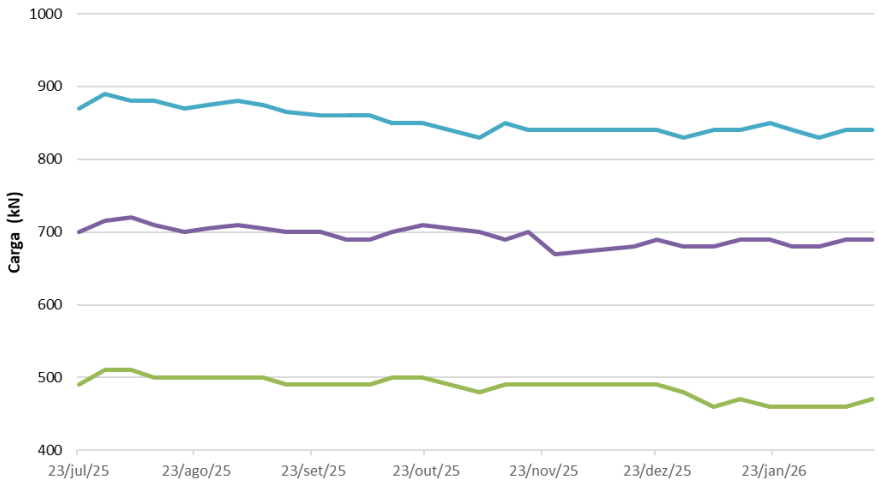




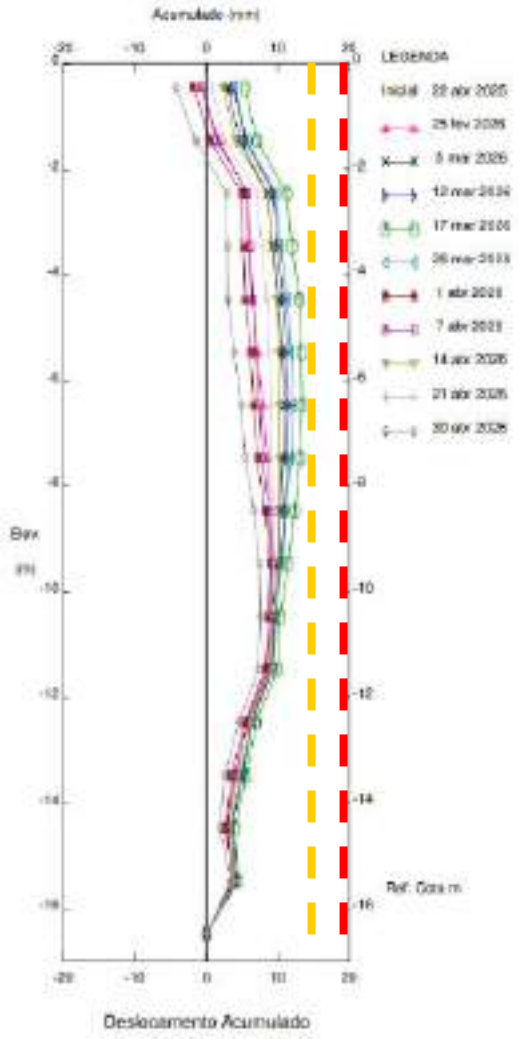
Inclinómetro 1



Alvos topográficos



Células de Carga



Inclinómetro

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. **Processos Construtivos**

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Trabalhos preliminares de escavação e execução de estacas

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Trabalhos de escavação por níveis e execução de travamentos

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Fundo de escavação

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Fundo de escavação

Obrigado pela vossa atenção

Agradecimentos

Dono de Obra

KRONOS HOMES

Empreiteiro

RODIO

Fiscalização

FICOPE

ESCAVAÇÃO, CONTENÇÃO PERIFÉRICA E RECALÇAMENTO DE FACHADAS DE UM EDIFÍCIO NO ESTORIL -CASCAIS

Joana Silva / JETsj Geotecnia
Carlos de Oliveira Martins / JETsj Geotecnia
Alexandre Pinto / JETsj Geotecnia

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

JETsj

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

ÍNDICE

1. **Introdução**
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Estruturas de Contenção e Recalçamento de Fachada
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Análise Numérica
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

INTRODUÇÃO

EDIFÍCIO RESIDENCIAL VILLA GALARDI, ESTORIL, CASCAIS

- 1 piso térreo e 3 pisos elevados
- 1 piso enterrado
- Área do edifício: 670 m^2
- Área do lote: 1446 m^2
- Escavação: 5600 m^3

INTRODUÇÃO

OBJETIVOS DA INTERVENÇÃO:

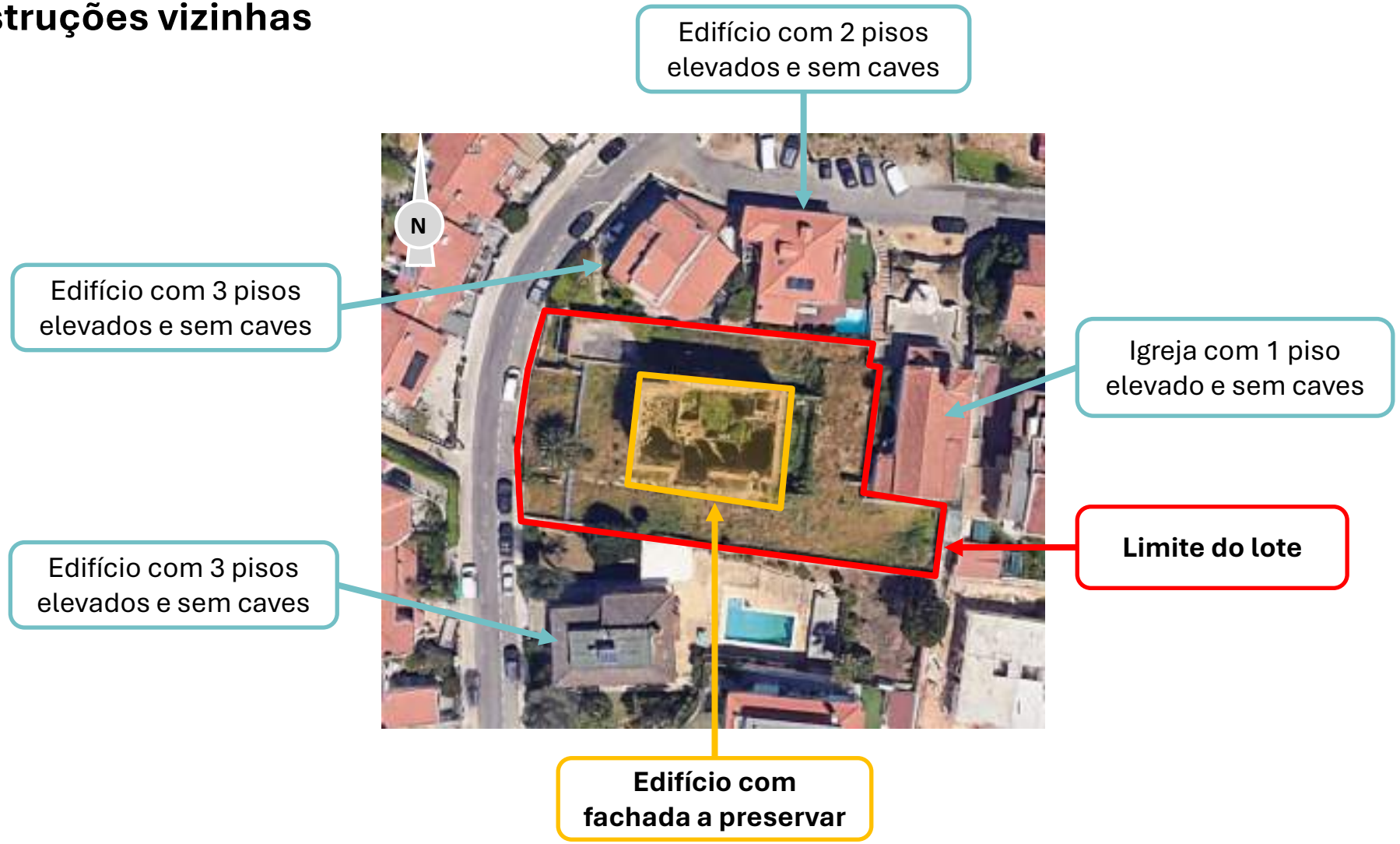
- Preservação de fachadas centenárias
- Preservação de estruturas e infraestruturas vizinhas
- Escavação para execução de um piso enterrado
- Compatibilização estrutural entre as soluções de Recalçamento e Contenção de Fachada, de Contenção Periférica, de Estabilidade e de Arquitetura

ÍNDICE

1. Introdução
2. **Principais Condicionamentos**
3. Soluções de Estruturas de Contenção e Recalçamento de Fachada
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Análise Numérica
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

✓ Construções vizinhas

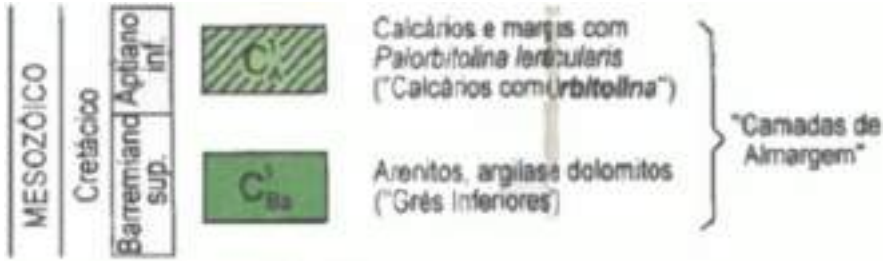


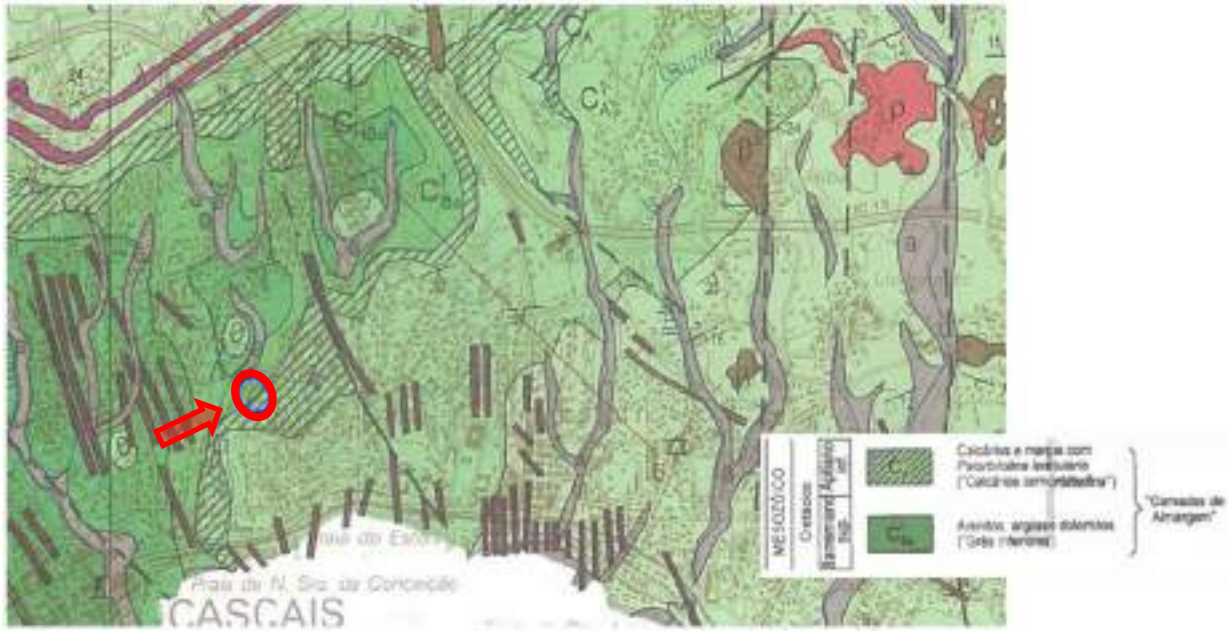
PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

✓ **Condicionamentos geológico-geotécnicos**

O ambiente geológico no local de implantação da obra é composto por:

- Aterros – camada superficial recente
- Solos do Cretácico:
  - Calcários com Orbitolina (C^1_A)
  - Arenitos, argilas e dolomitos (C^1_{Ba})





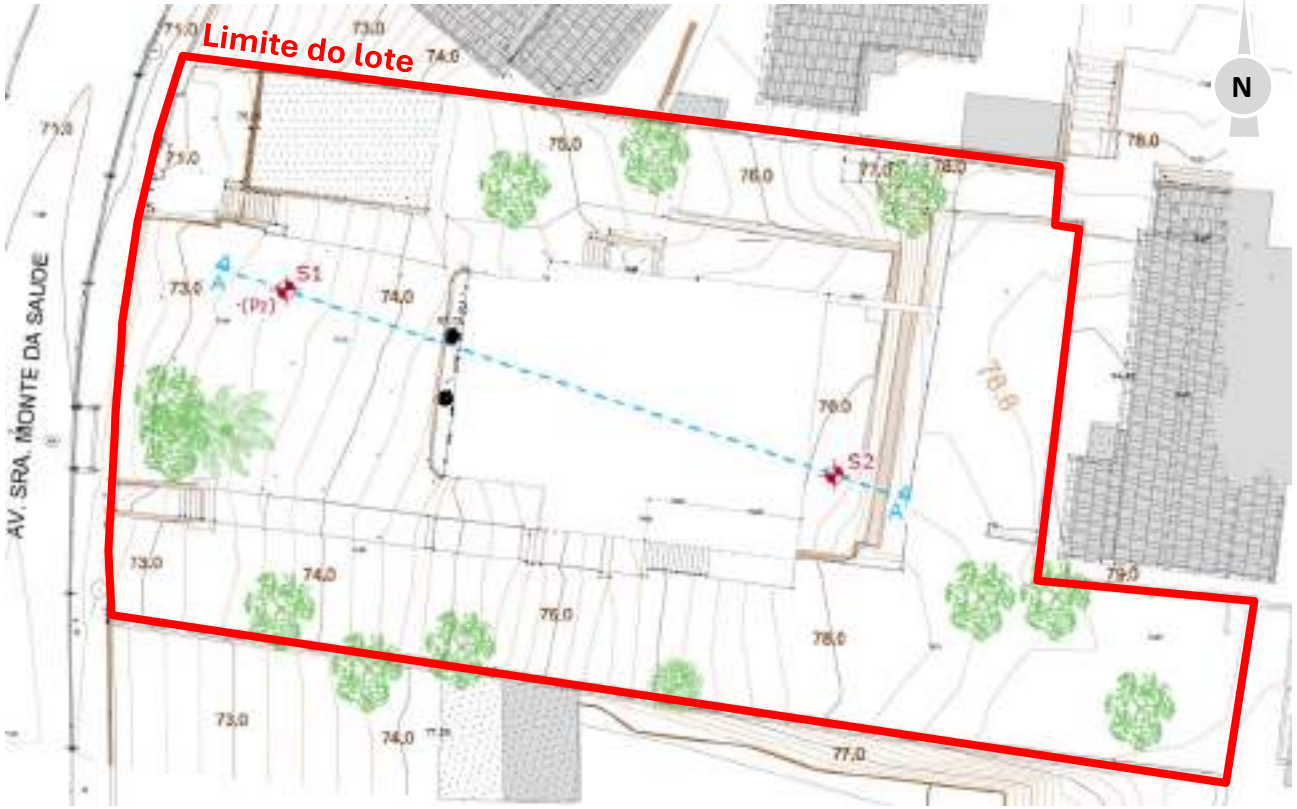
Excerto da Folha 34-C da Carta Geológica de Portugal – Escala 1:50 000 (fonte: Geoportal)

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

✓ **Condicionamentos geológico-geotécnicos**

Campanha de Prospeção Geológico-Geotécnica – Março 2020

- 2 Sondagens mecânicas
  - Ensaios SPT
  - Extração de amostras
  - Ensaios de laboratório
- 1 Piezómetro

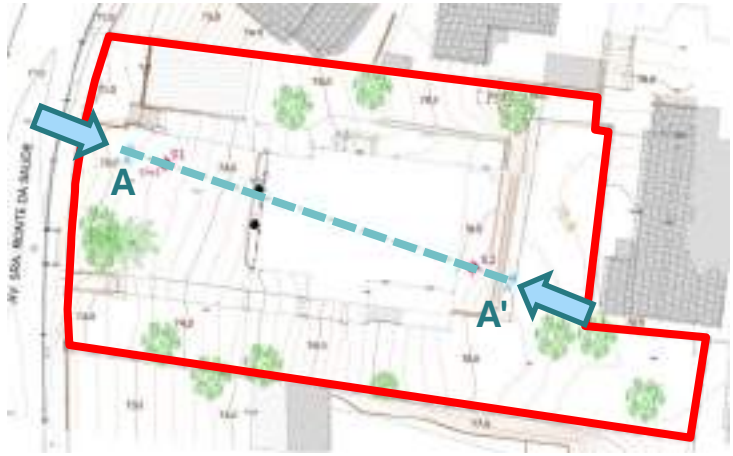


PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

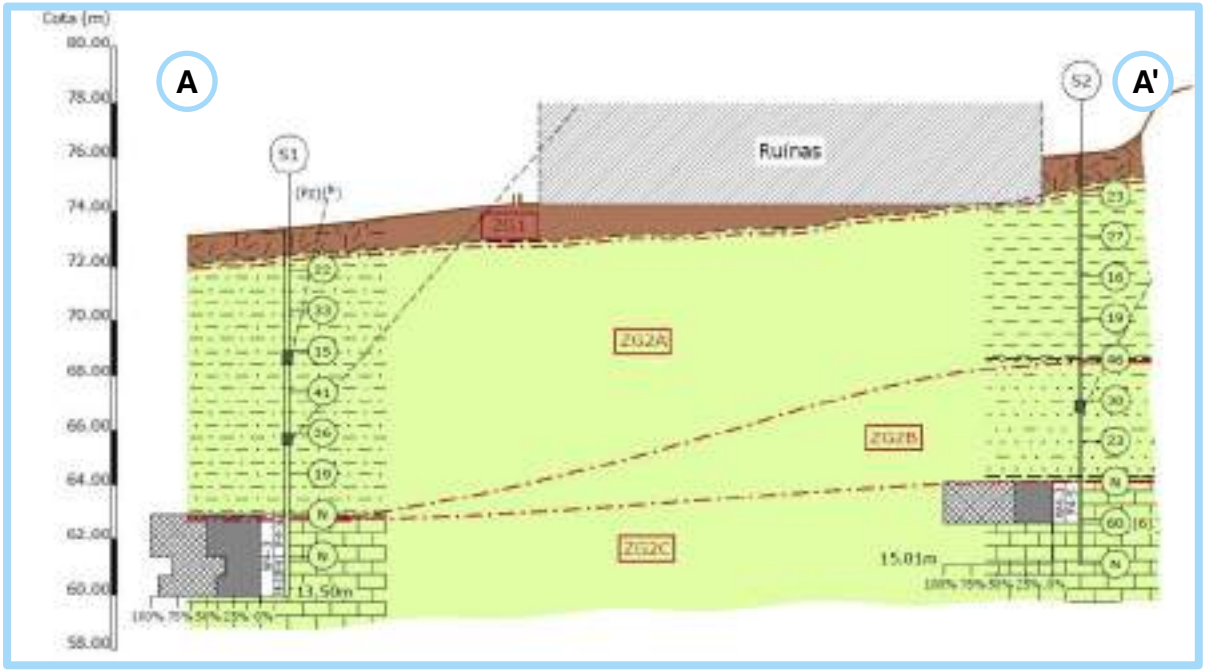
✓ **Condicionamentos geológico-geotécnicos**

Zonamento Geológico-Geotécnico

Zonas Geotécnicas	Formação Geológica	Intervalos N_{SPT}
ZG1	Aterros (recente)	$10 < N_{SPT}$
ZG2A	Cretácico (Argilas e argilas arenosas)	$15<N_{SPT}<41$
ZG2B	Cretácico (Areias finas argilosas e argilas arenosas)	$23<N_{SPT}<46$
ZG2C	Cretácico (Calcários com intercalações de arenitos)	$N_{SPT} > 60$



Corte A-A'



ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. **Soluções de Estruturas de Contenção e Recalçamento de Fachada**
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Análise Numérica
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

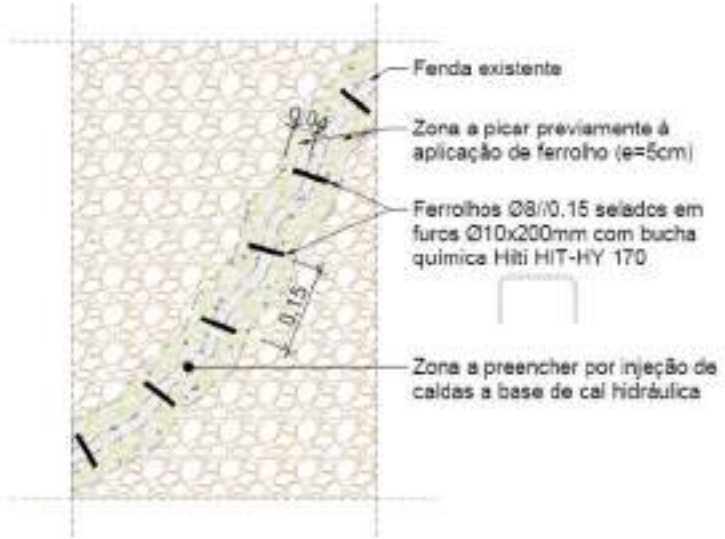
SOLUÇÕES DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO E RECALÇAMENTO DE FACHADA

✓ **Situação existente**

SOLUÇÕES DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO E RECALÇAMENTO DE FACHADA

- ✓ **Elevado grau de degradação das fachadas (em particular a fachada Sul)**

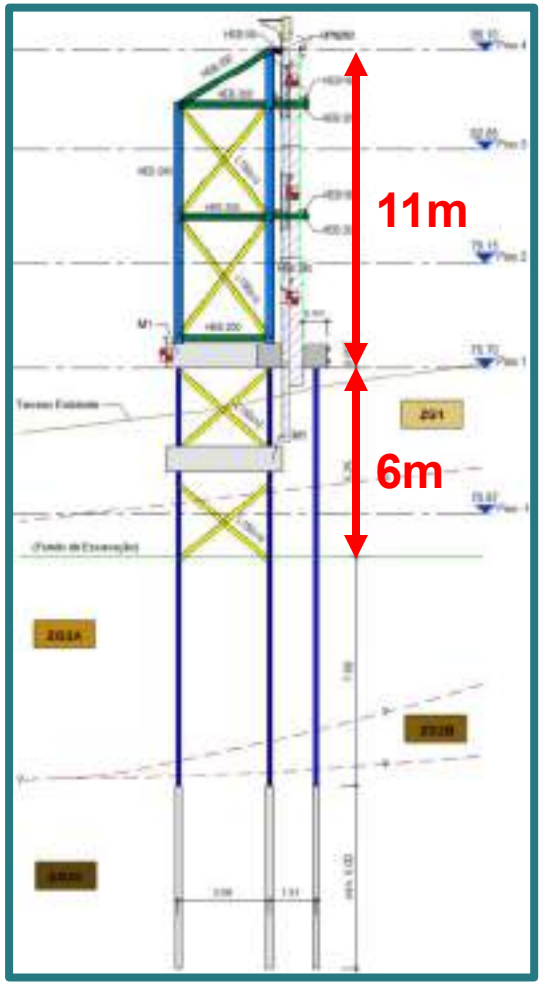
- Trabalhos prévios de estabilização e confinamento das fachadas:
  - Tratamento de fendas existentes
  - Instalação de cantoneiras metálicas + 3 níveis de tirantes Ø26mm tensionados

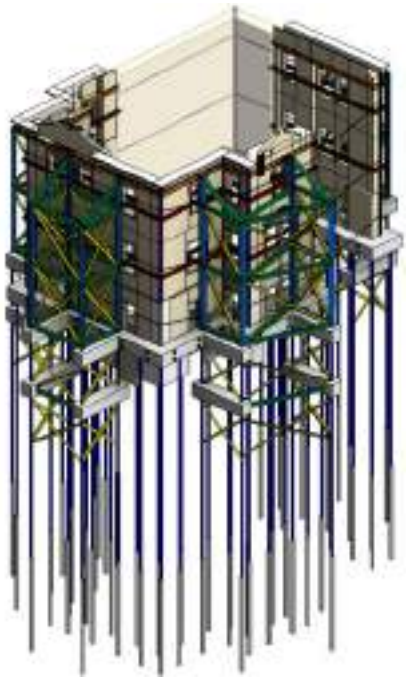


SOLUÇÕES DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO E RECALÇAMENTO DE FACHADA

- ✓ **Estrutura de contenção das fachadas**

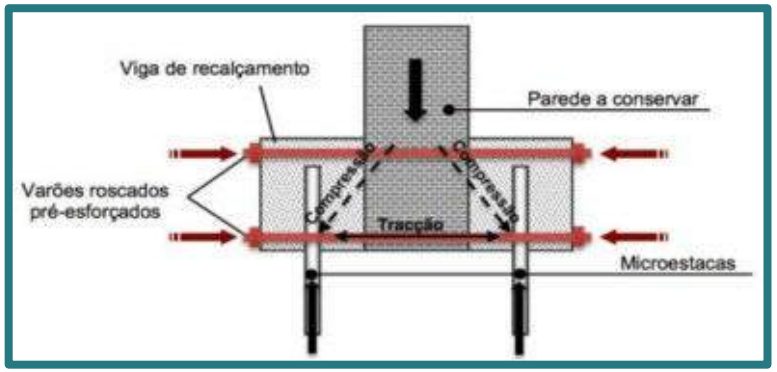
  - Vigas de distribuição metálicas (HEB180 e UPN260)
  - 8 Pórticos de contraventamento:
    - Montantes metálicos (HEB240)
    - Travessas metálicas (HEB200)
    - Cantoneiras na diagonal (LNP150x150x10)
    - Maciços de betão armado
    - Fundação indireta – Microestacas verticais Ø139,7x10 mm





SOLUÇÕES DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO E RECALÇAMENTO DE FACHADA

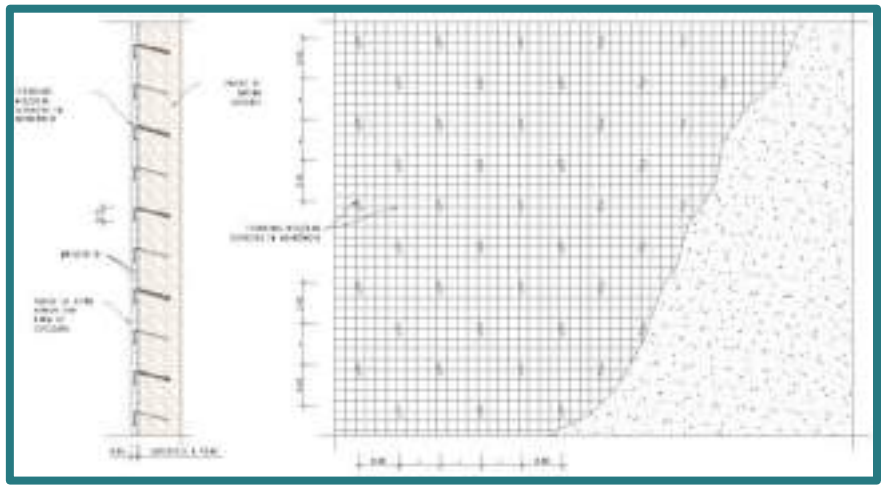
- ✓ **Estrutura de recalçamento das fachadas**
  - 2 Vigas de recalçamento
  - 2 fiadas de microestacas Ø139,7x10 mm
  - Varões pré-esforçados do tipo GEWI



SOLUÇÕES DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO E RECALÇAMENTO DE FACHADA

✓ **Trabalhos de reforço das fachadas**

- Lâmina de reforço (8 cm de espessura)
  - Malha de armaduras Ø10//0,10 m
  - Ferrolhos Ø12//0,40 m em quincôncio
  - Betão projetado

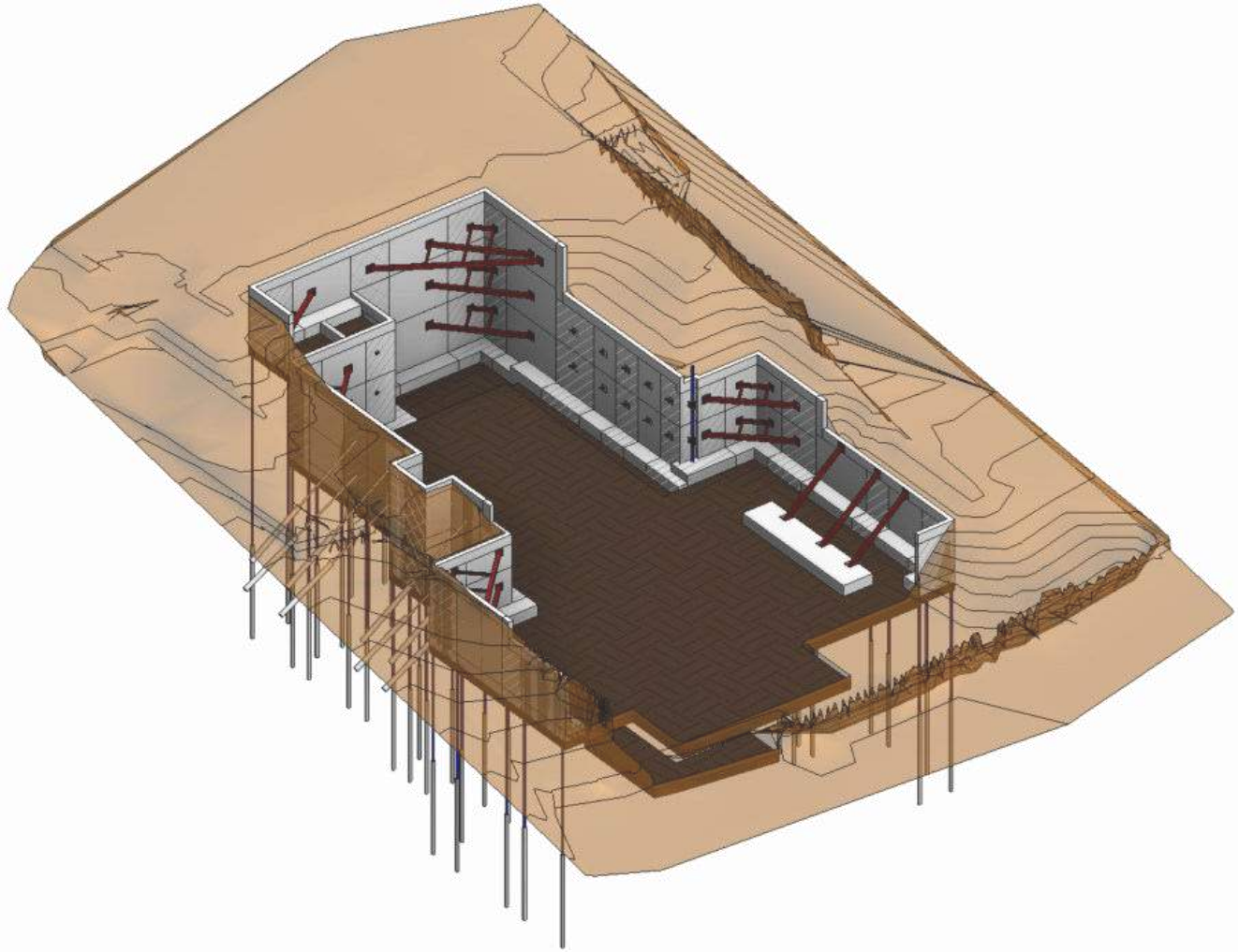


ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Estruturas de Contenção e Recalçamento de Fachada
4. **Soluções de Escavação e Contenção Periférica**
5. Análise Numérica
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

- ✓ **Berlim Definitivo**
  - Painéis com e=30 cm
  - Microestacas N80Ø139,7x10 mm
  - Travamentos provisórios:
    - Ancoragens provisórias
    - Escoras metálicas de canto
    - Escoras ao chão
    - Varões GEWI pré-esforçados
  - Viga de coroamento compatível com topografia existente



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

- ✓ **Berlim Definitivo**

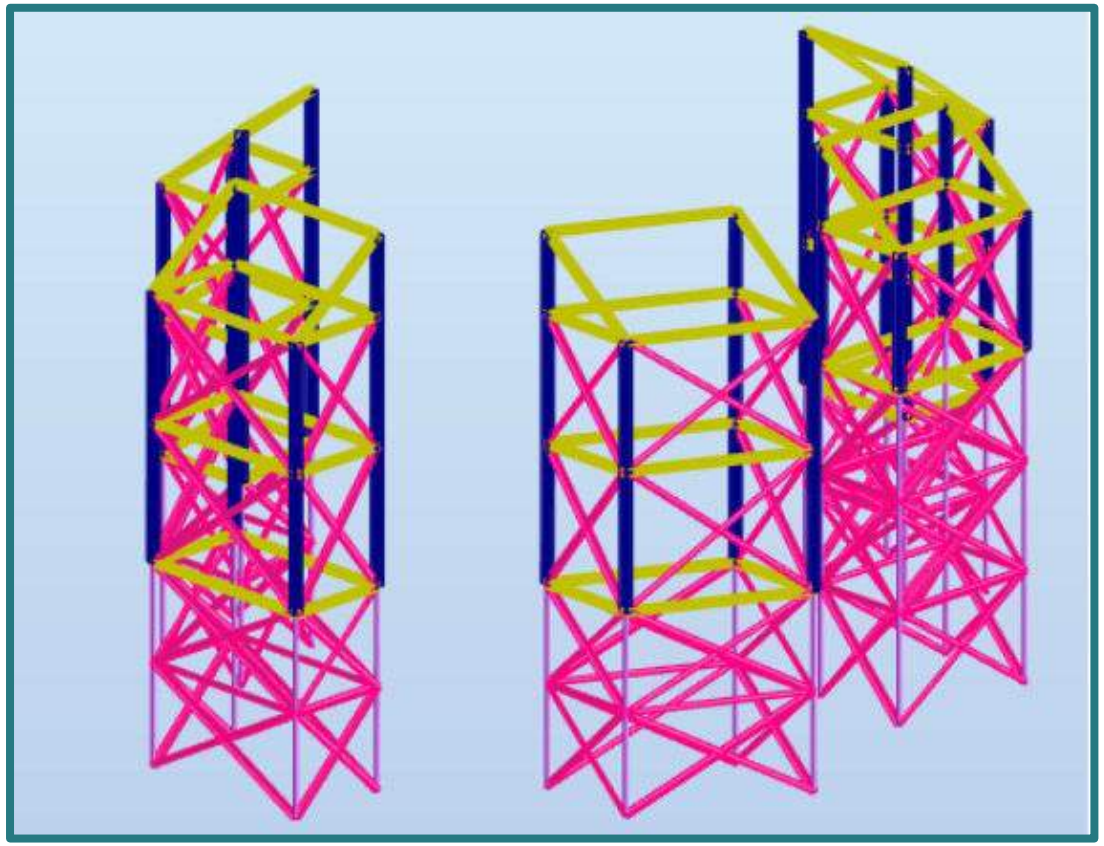
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Estruturas de Contenção e Recalçamento de Fachada
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. **Análise Numérica**
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

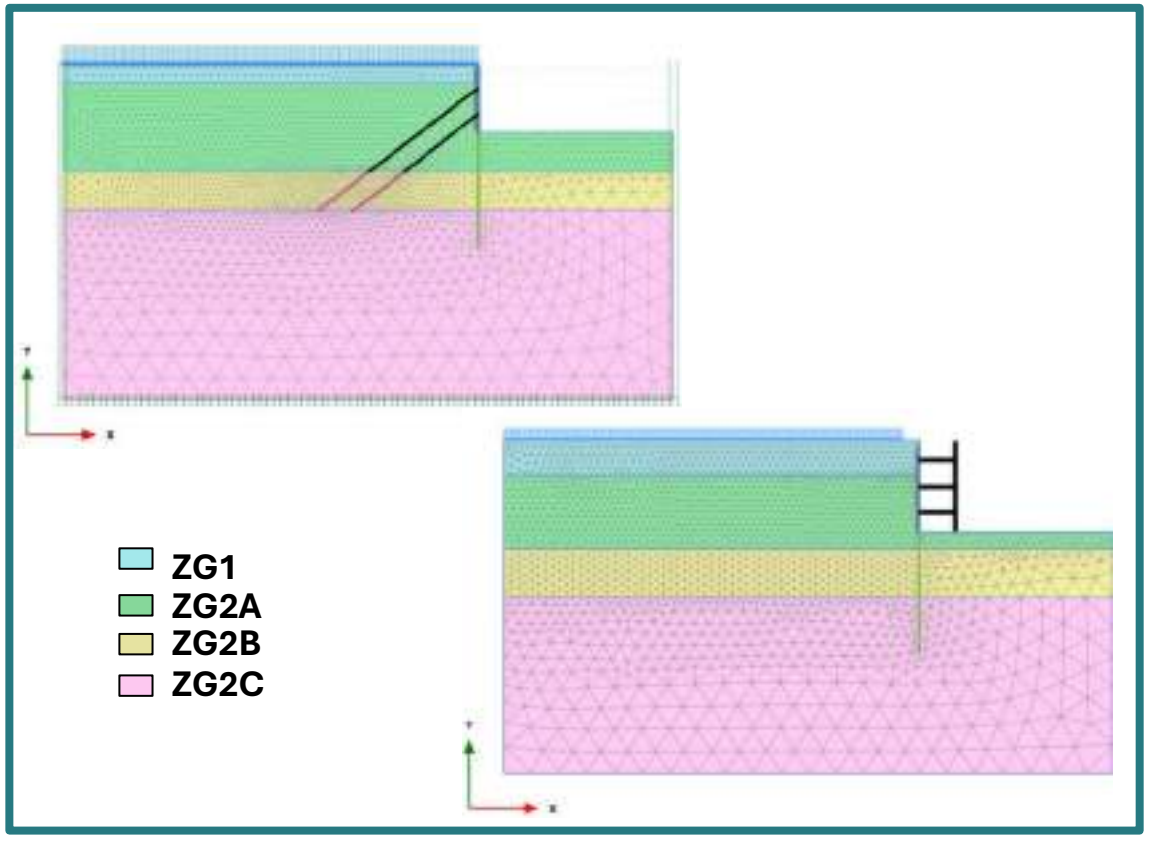
ANÁLISE NUMÉRICA

- **Modelo da Estrutura de Contenção das Fachadas**
- **Modelos da Estrutura de Contenção Periférica**

Autodesk Robot



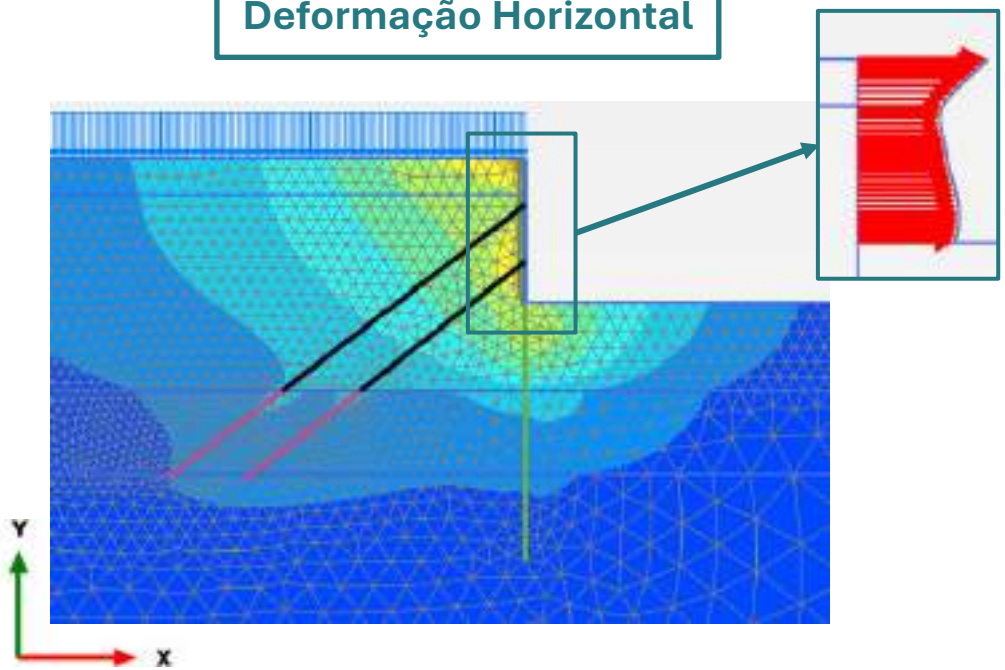
Plaxis 2D



ANÁLISE NUMÉRICA

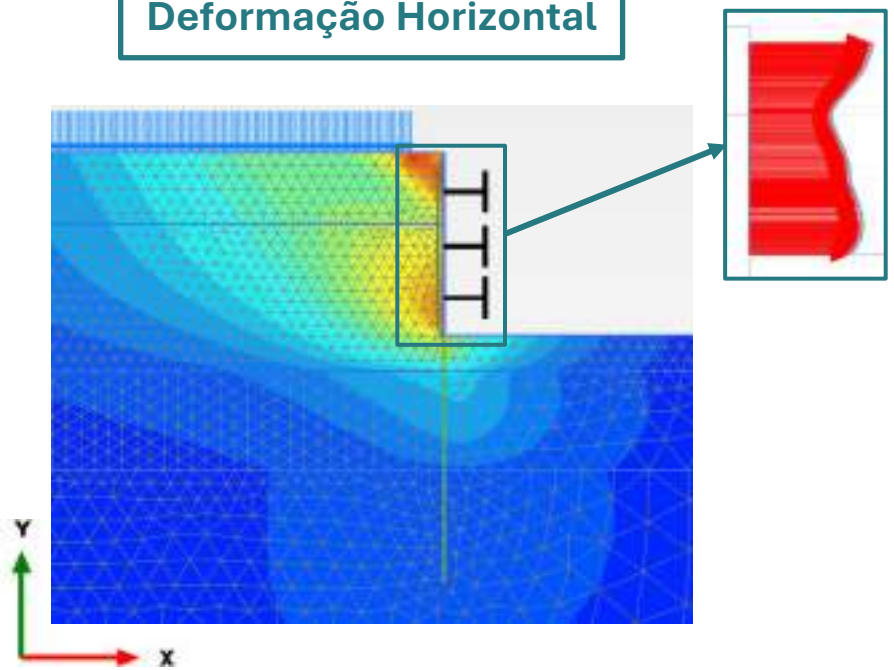
- **Modelos de Elementos Finitos – Resultados *Plaxis 2D***

Deformação Horizontal



u [mm]	u_x [mm]
14,6	10,9

Deformação Horizontal



u [mm]	u_x [mm]
10,9	9,4

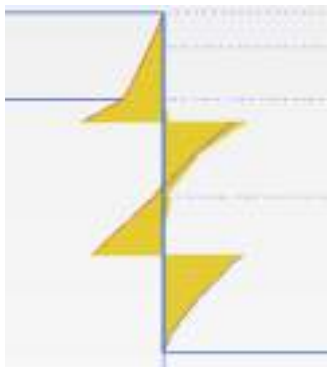
ANÁLISE NUMÉRICA

- **Modelos de Elementos Finitos – Resultados Plaxis 2D**

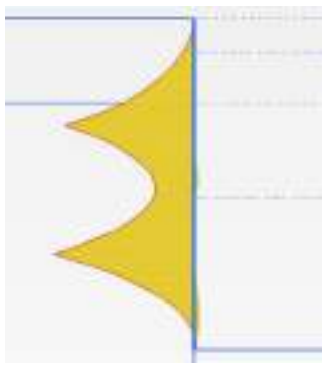
Envolvente de esforços
Zona com 2 níveis de ancoragens

N

V



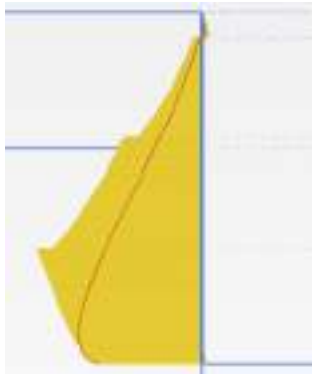
M



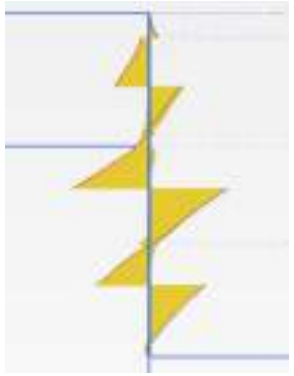
N [KN/m]	V [KN/m]	M [KNm/m]
250,4	89,5 -84,6	2,4 -59,1

Envolvente de esforços
Zona com 3 níveis de escoras metálicas

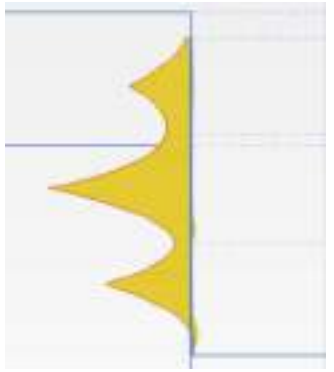
N



V



M



N [KN/m]	V [KN/m]	M [KNm/m]
104,5	126,3 -126,4	4,3 -92,7

ÍNDICE

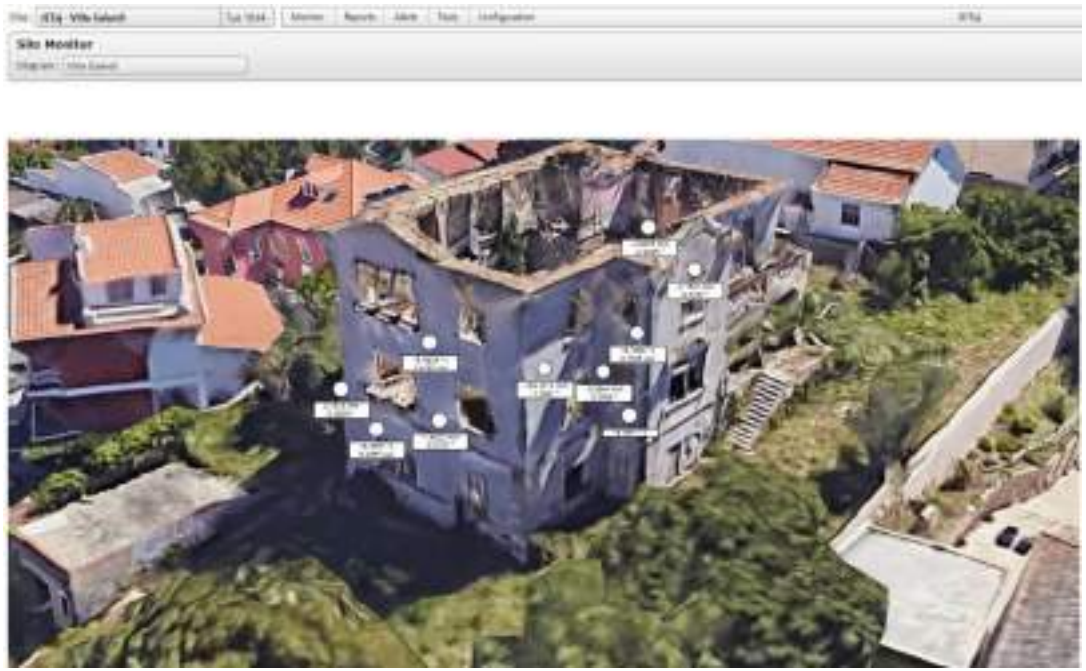
1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Estruturas de Contenção e Recalçamento de Fachada
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Análise Numérica
6. **Plano de Instrumentação e Observação**
7. Considerações Finais

PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

- ✓ **Sistema de instrumentação das fachadas existentes**

  - 24 Tiltmeters triaxiais
  - 4 Fissurómetros de corda vibrante (*strain gauges*)
  - 40 Fissurómetros de leitura manual
  - 2 Gateways (sistema de recolha e envio de dados)
  - 2 Painéis solares

  - Leituras automatizadas de tiltmeters e fissurómetros (*strain gauges*) – numa primeira fase da obra
  - Período: 2 meses

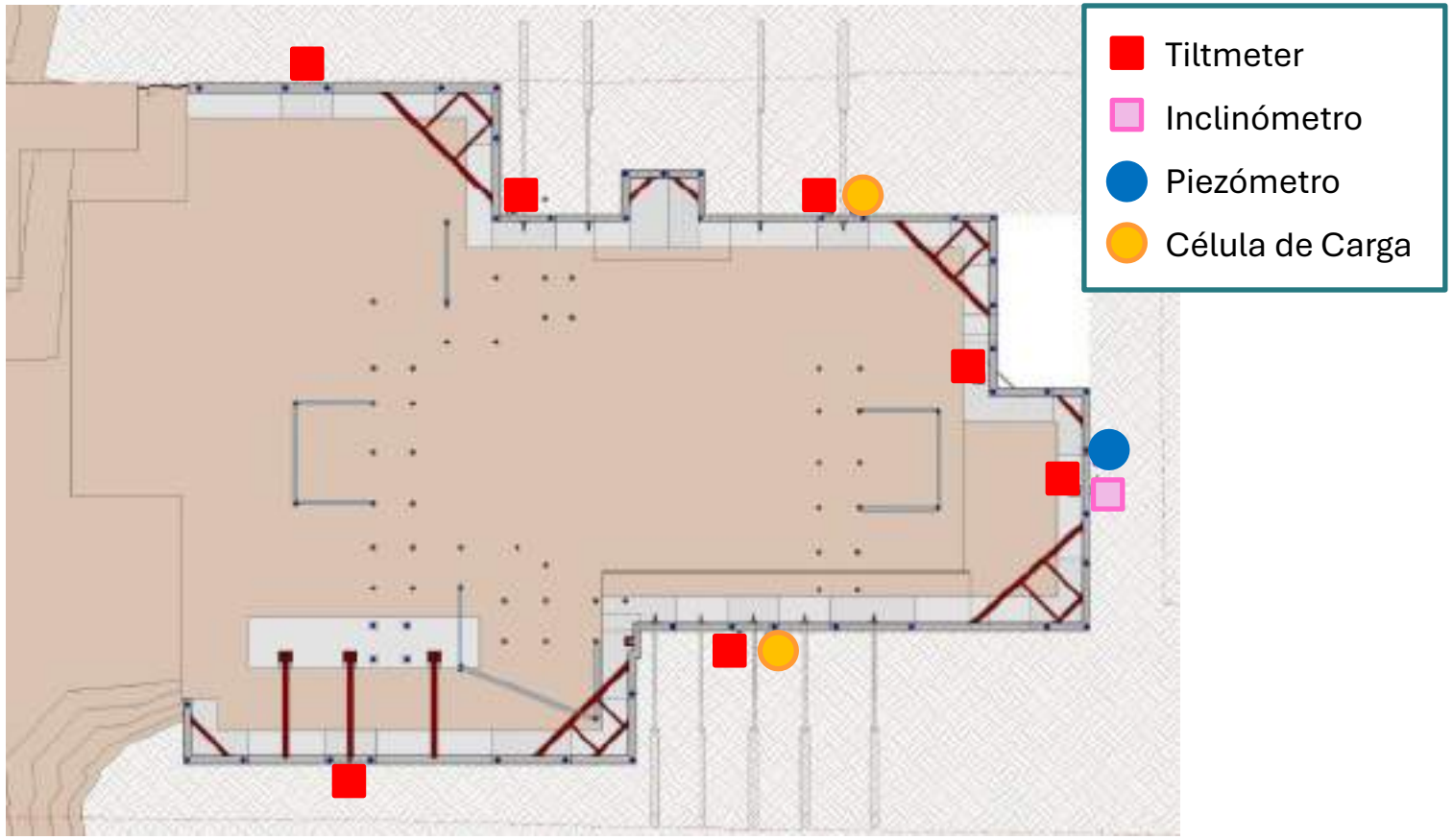


Sistema *Webmonitoring* – plataforma de acesso aos dados da instrumentação em tempo real (tiltmeters e fissurómetros)

PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

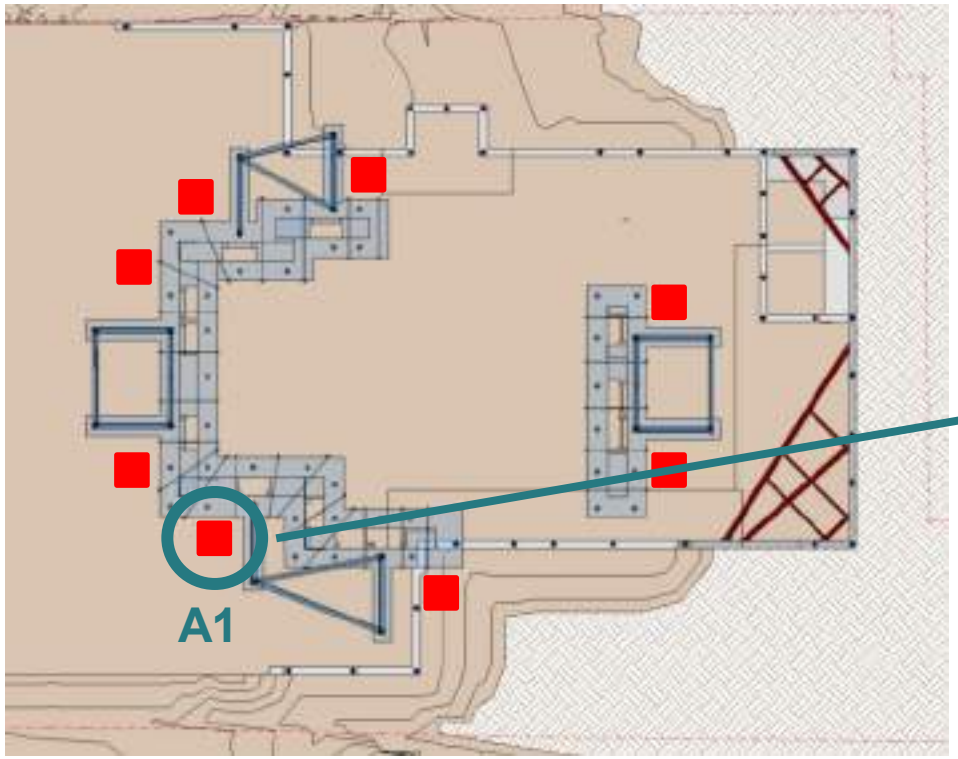
✓ **Sistema de instrumentação da estrutura de contenção periférica**

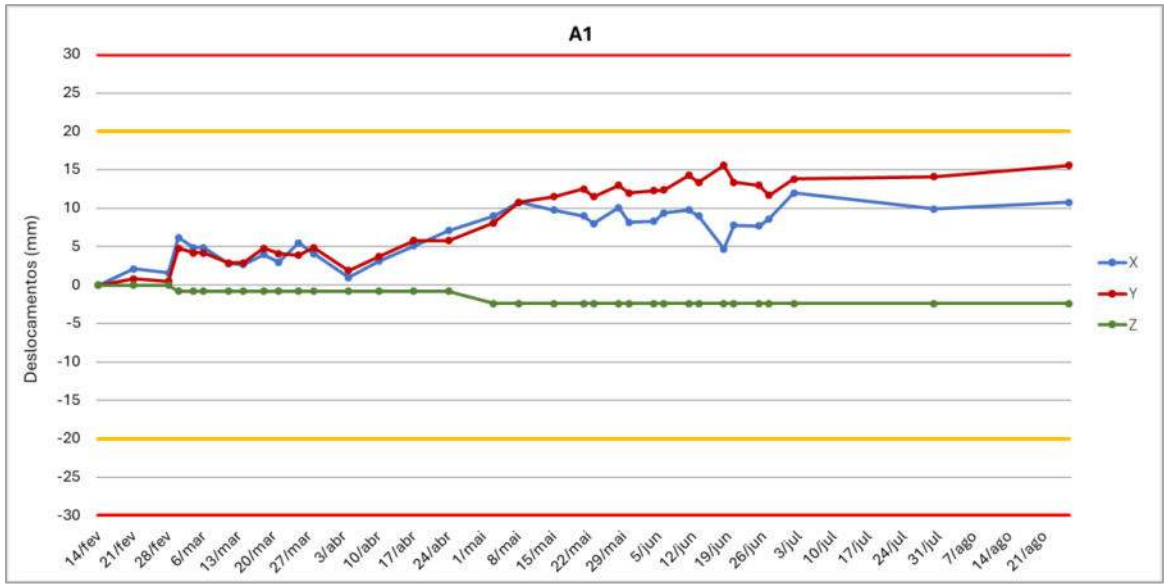
- 8 Tiltmeters triaxiais
- 4 Células de carga
- 1 Inclinómetro
- 1 Piezómetro



PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

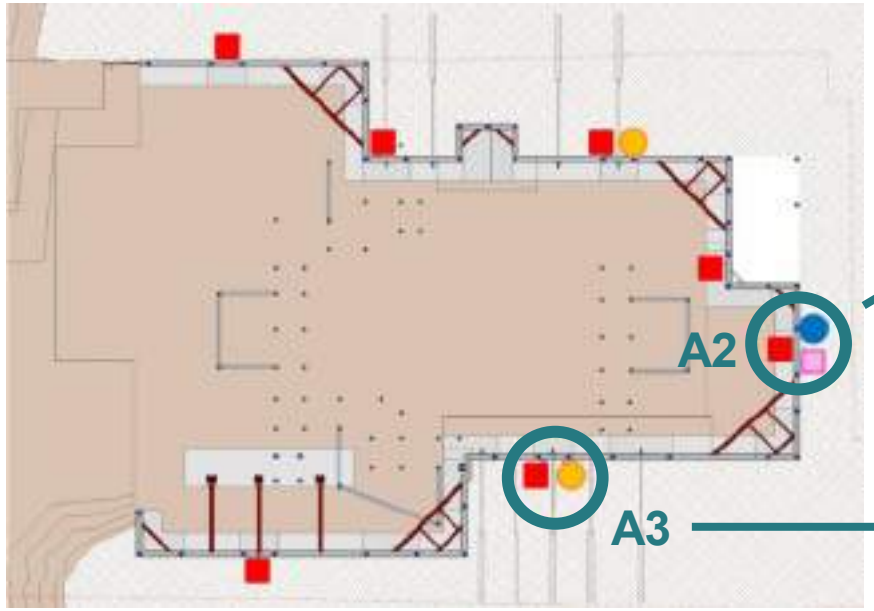
- ✓ **Resultados da instrumentação – Fachadas a preservar**
  - **Tiltmeters**

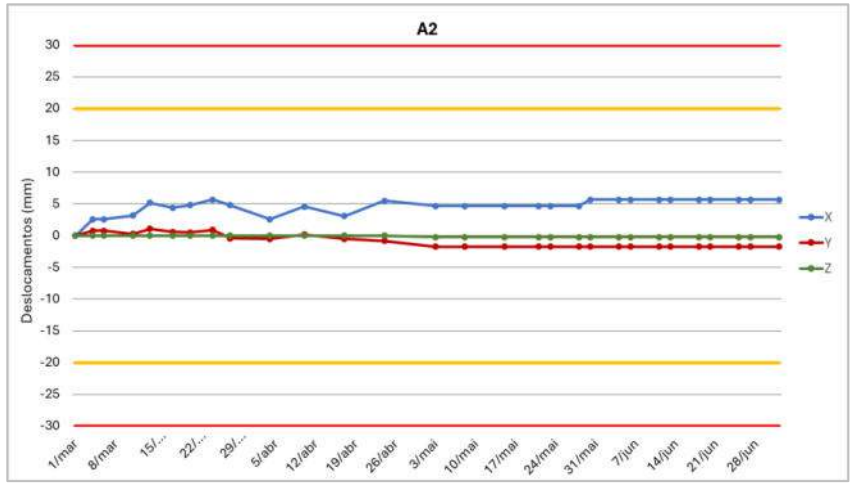


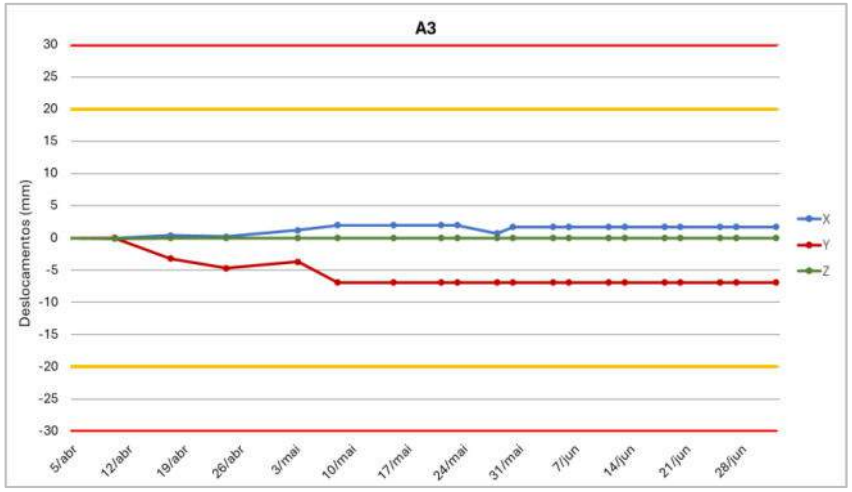


PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

- ✓ **Resultados da instrumentação – Berlim Definitivo**
  - **Tiltmeters**

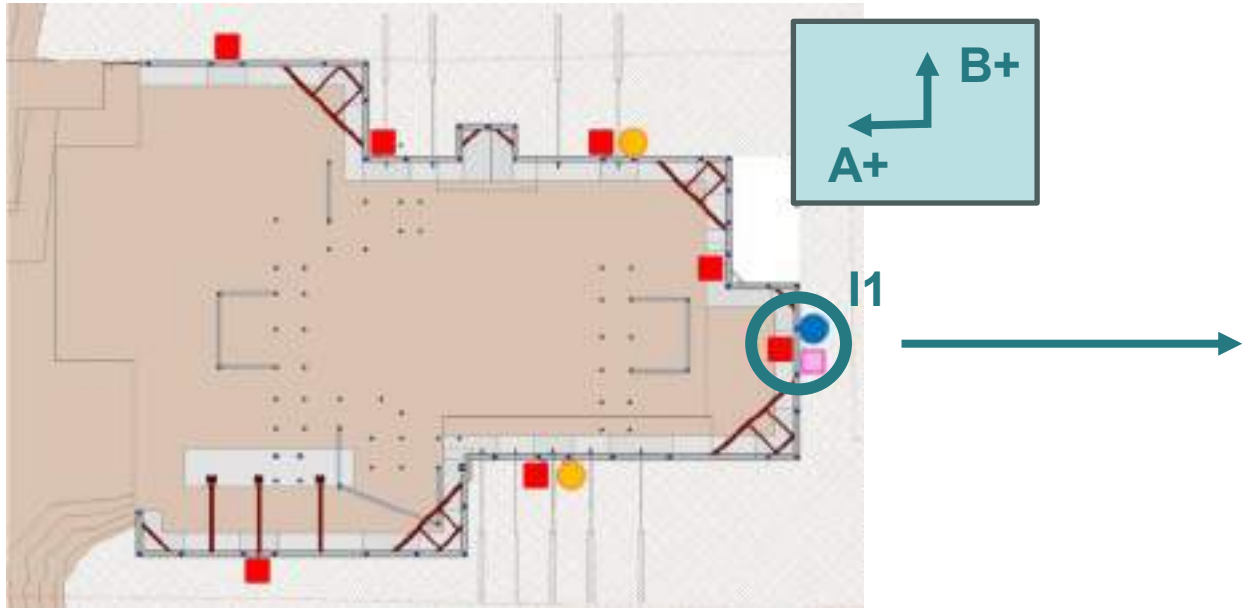




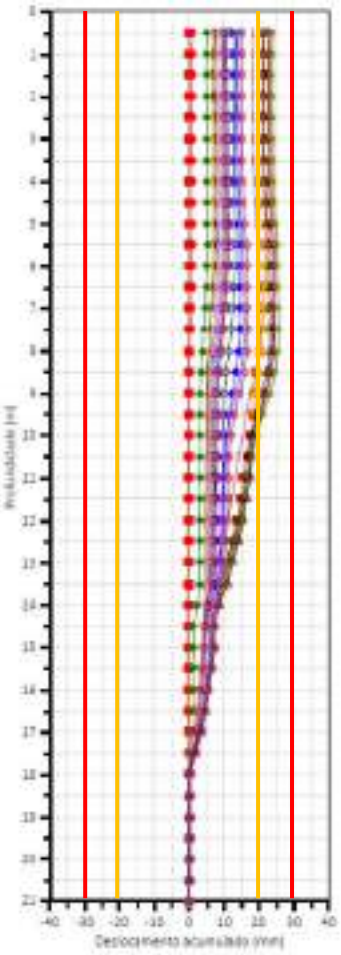


PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

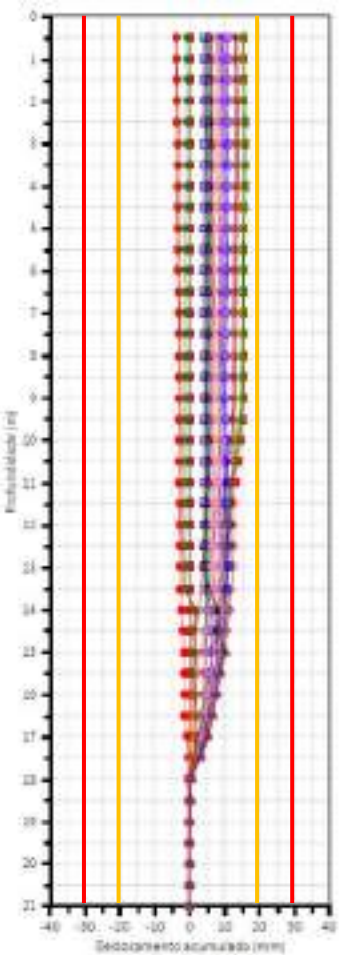
- ✓ **Resultados da instrumentação – Berlim Definitivo**
  - **Inclinómetro**



I1 - Direção A



I1 - Direção B



ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Estruturas de Contenção e Recalçamento de Fachada
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Análise Numérica
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. **Considerações Finais**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- **Viabilidade técnica das soluções** previstas para execução da nova estrutura, assegurando a preservação das fachadas centenárias e das construções vizinhas.
- A **instrumentação automatizada** permitiu um controlo mais rigoroso do comportamento das estruturas mais sensíveis e a adaptação do processo construtivo.

Fonte: https://www.linkedin.com/company/engconpt/posts/?feedView=videos

Agradecimentos

Gestão de Projeto

PRET INVESTIMENTOS

Empreiteiro Geral

ENGCON
ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO

Empreiteiro Geotecnia

geosol

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTEÇÃO PERIFÉRICA DE EMPREENDIMENTO HABITACIONAL NA AV DE BERNA, LISBOA

Anderson Guimarães/ JETsj Geotecnia
Pedro Marques/ JETsj Geotecnia
Carlos de Oliveira Martins / JETsj Geotecnia
Rui Tomásio / JETsj Geotecnia

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

JETsj

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Faseamento Construtivo
6. Plano de Instrumentação e Observação

ÍNDICE

1. **Introdução**
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Faseamento Construtivo
6. Plano de Instrumentação e Observação

INTRODUÇÃO

EDIFÍCIO HABITACIONAL

Área:
380 m^2

8 Pisos Elevados

4 Pisos Enterrados

Escavação máxima:
11,0 m

ÍNDICE

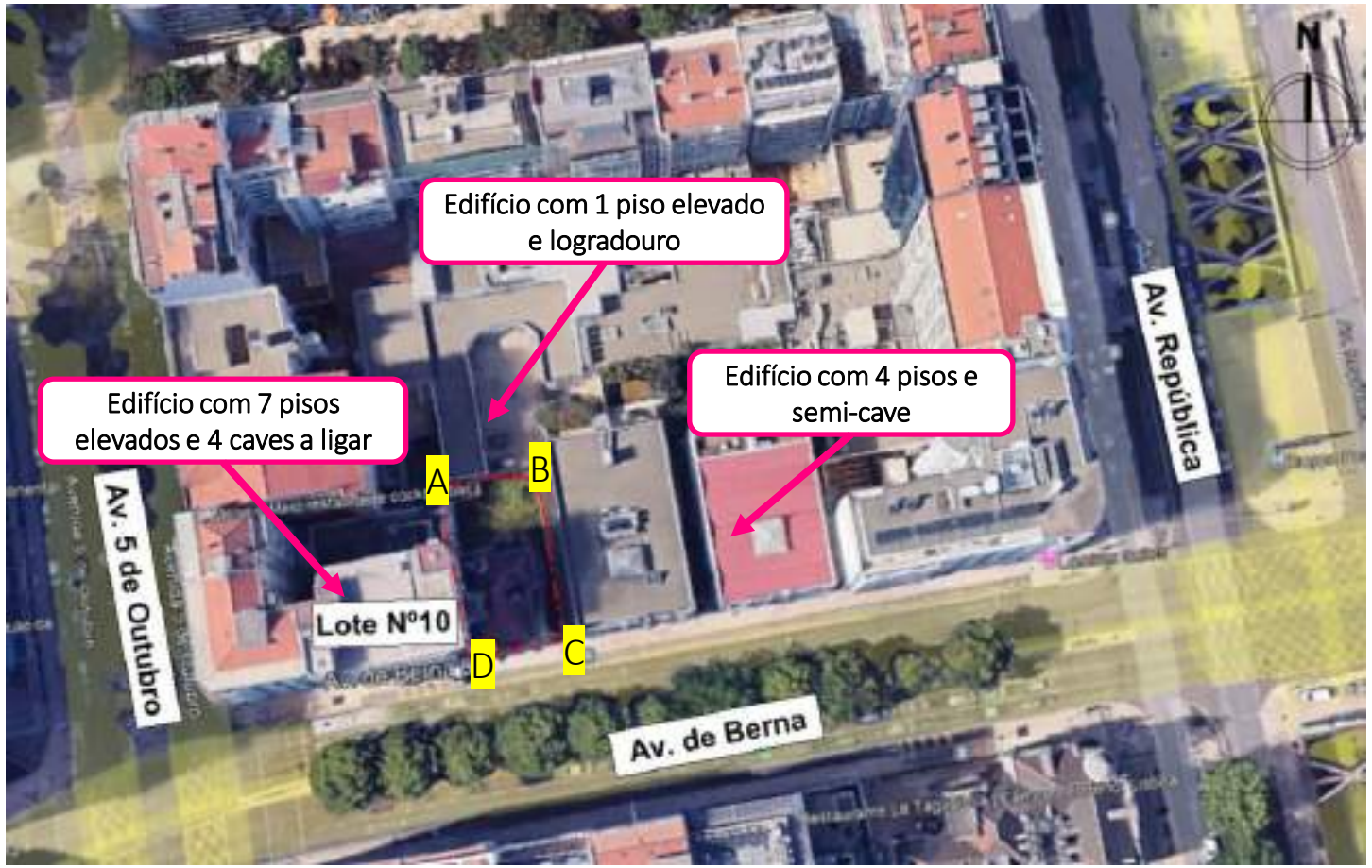
1. Introdução
2. **Principais Condicionamentos**
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Faseamento Construtivo
6. Plano de Instrumentação e Observação

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

Escavação em Meio Urbano

- Edifícios vizinhos
  - Ligação estrutural ao edifício do Alçado Poente (DA)

- Vias circundantes
  - Avenida de Berna



ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. **Estudo Geológico-Geotécnico**
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Faseamento Construtivo
6. Plano de Instrumentação e Observação

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Plano de Prospeção Geológico-Geotécnico

Outubro de 2024:

- 3 Sondagens Geotécnicas à rotação com ensaios de penetração SPT
- O nível freático foi identificado entre as cotas +63,8 e +59,6 enquanto a escavação máxima prevista está aproximadamente na cota +58,0.

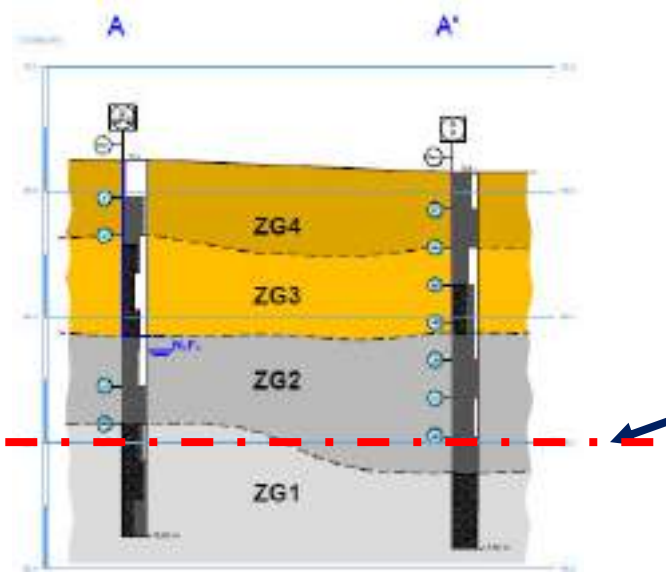
ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

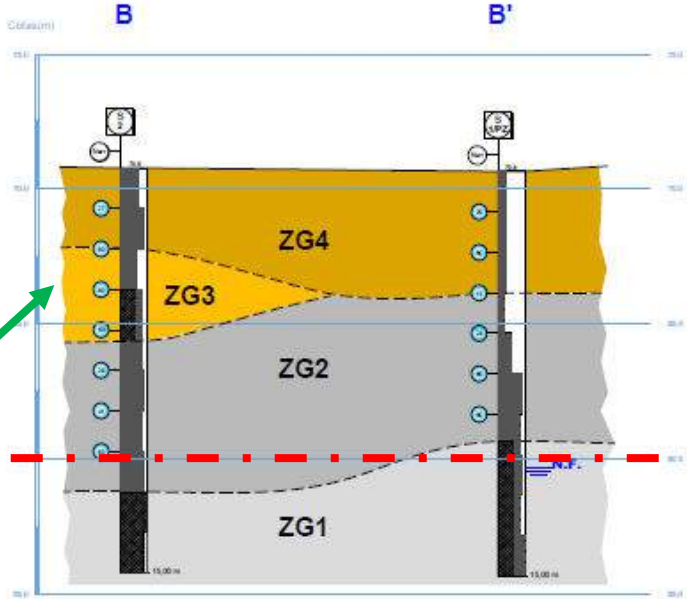
Plano de Prospeção Geológico-Geotécnico

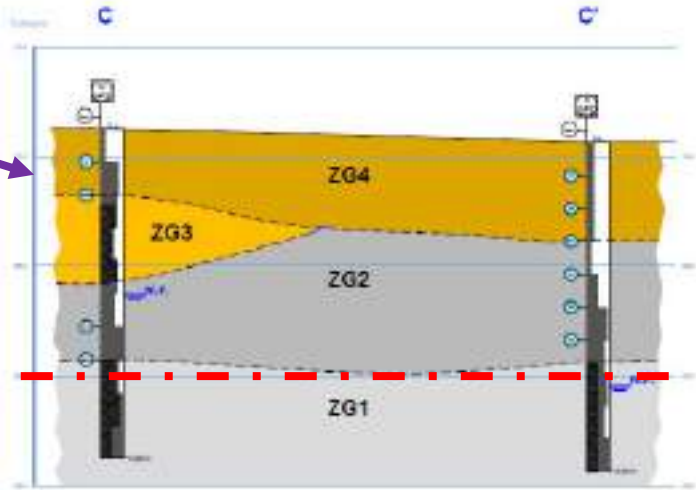
Horizonte e Formações	Intervalos RQD / N_{SPT}	γ [kN/m^3]	c' [kPa]	ϕ [°]	E [MPa]	Escavabilidade
ZG4 Aluviões / Aterros	6<NSPT<27	<17	--	<25	<20	Ligeiros
ZG3 Biocalcarenitos/ Arenitos argilosos	NSPT>60	21-23	50-100	30-35	150-200	Médios a Pesados
ZG2 Argilas rijas	24<NSPT<60	19-20	30-50	--	40-80	Médios a Pesados
ZG1 Margas Argilosas	50 < RQD < 100	20-22	60-120	28-32	200-400	De grande capacidade ou ripper

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Plano de Prospeção Geológico-Geotécnico







Cota de Fundo de Escavação

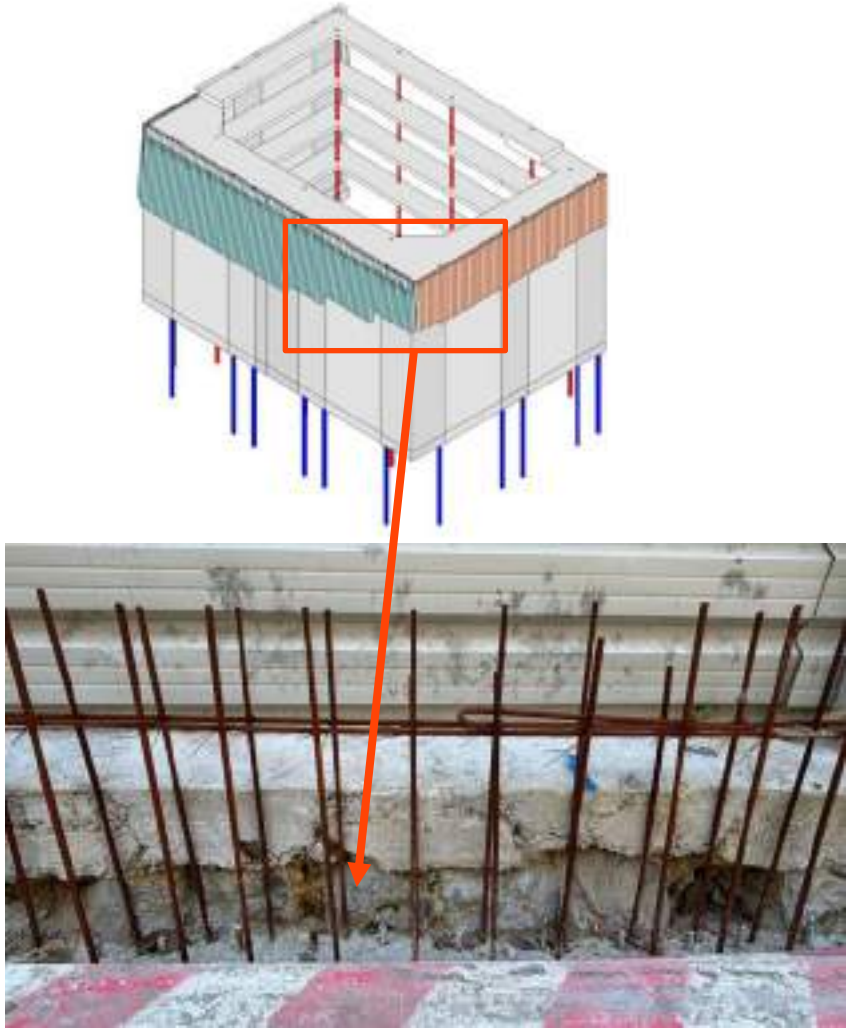
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. **Soluções de Escavação e Contenção Periférica**
5. Faseamento Construtivo
6. Plano de Instrumentação e Observação

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Tratamento prévio do terreno

- 5 m iniciais de escavação: ZG4 (aterros/aluviões) Controlar descompressões durante escavação e montagem dos painéis
- Diâmetro de 250 mm com Espaçamento de 250 mm
- Inclinações variáveis para evitar interferências com fundações vizinhas



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

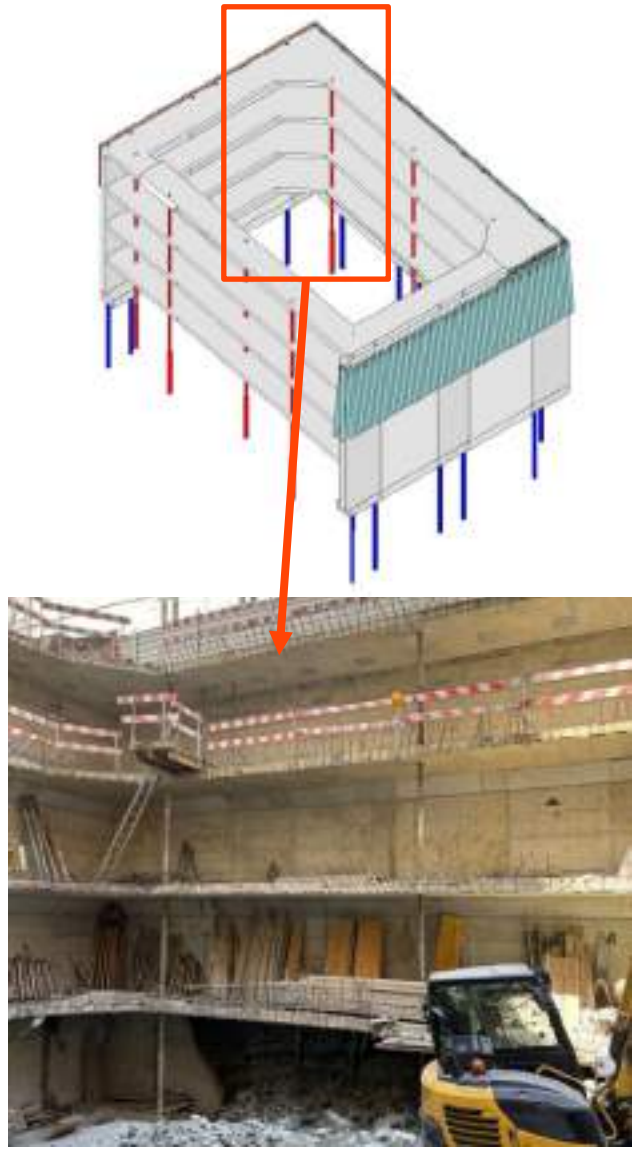
Sistema de travamento por banda de laje

Caraterísticas:

- Espessura: 25 cm. Largura variável.
- Funcionam como vigas de travamento horizontal (anel contínuo)

Vantagem (Otimização):

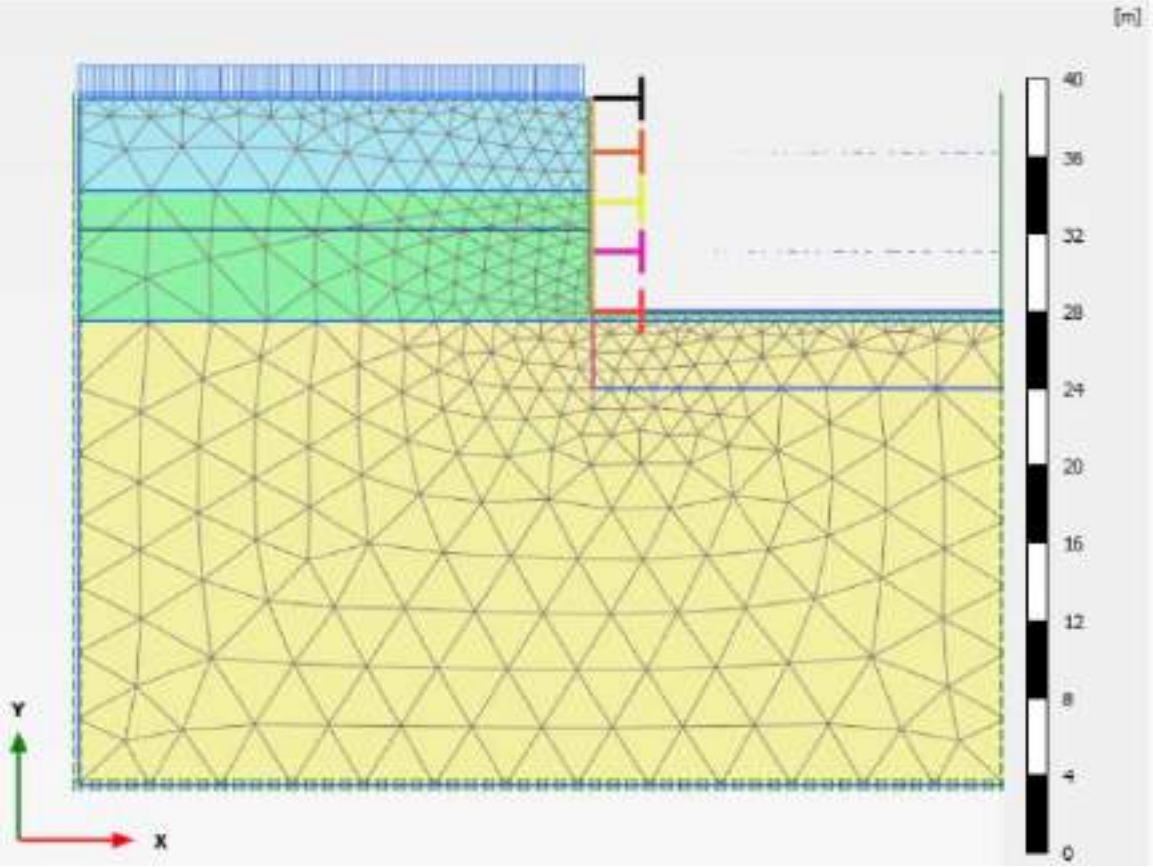
- Incorporação integral: Elementos provisórios tornam-se parte da estrutura definitiva.
- Elimina necessidade de ancoragens ou escoramentos removíveis.



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Secção Representativa de Cálculo PLAXIS 2D

Secção Tipo

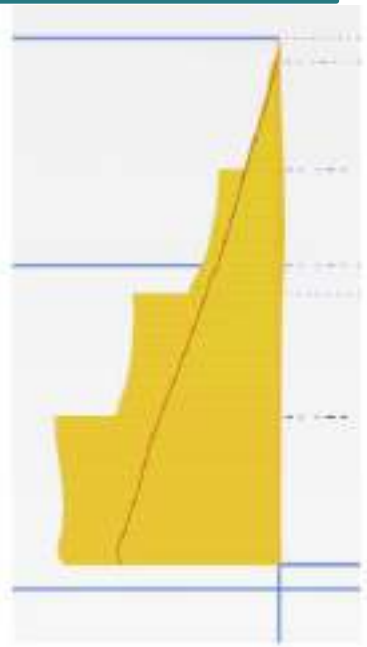


- ✓ Altura de escavação de 11,0 m
- ✓ 4 Níveis de travamento por banda de laje

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

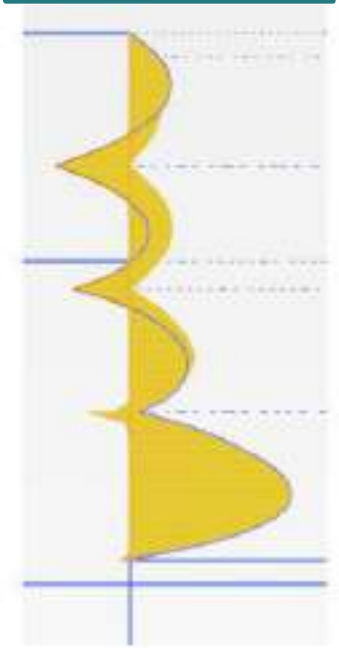
Modelos de Elementos Finitos: Resultados PLAXIS 2D

Esforço Axial



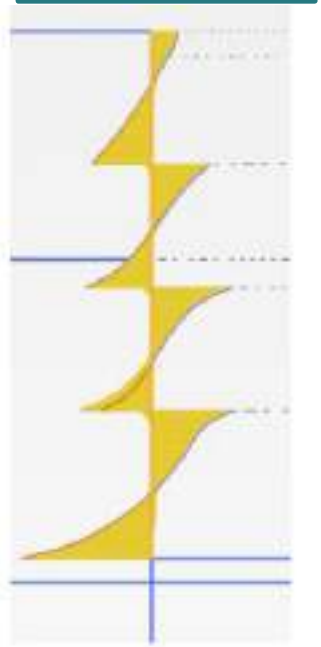
Nsd Min.: -310,50 kN/m
Nsd Máx.: -6,75 kN/m

Momento fletor



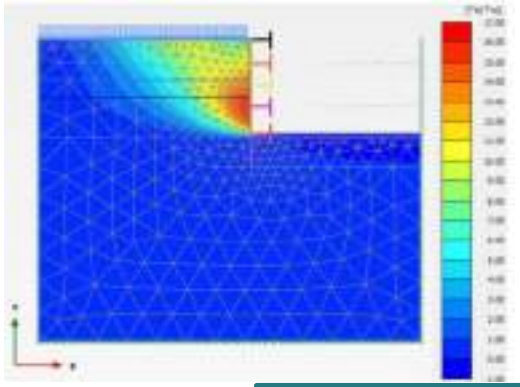
Msd Negativo: -18,10 kNm/m
Msd Positivo: 90,90 kNm/m

Esforço Transverso

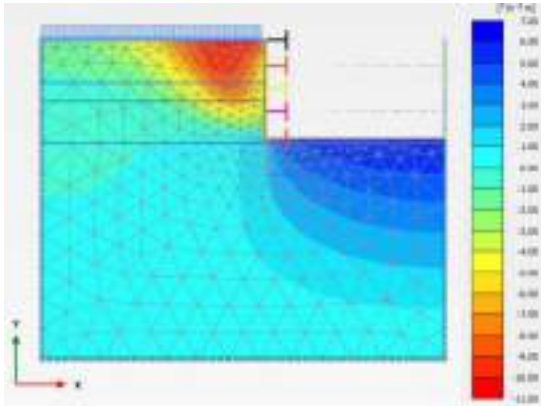


Vsd: -97,39 kN/m

Deformação Horizontal



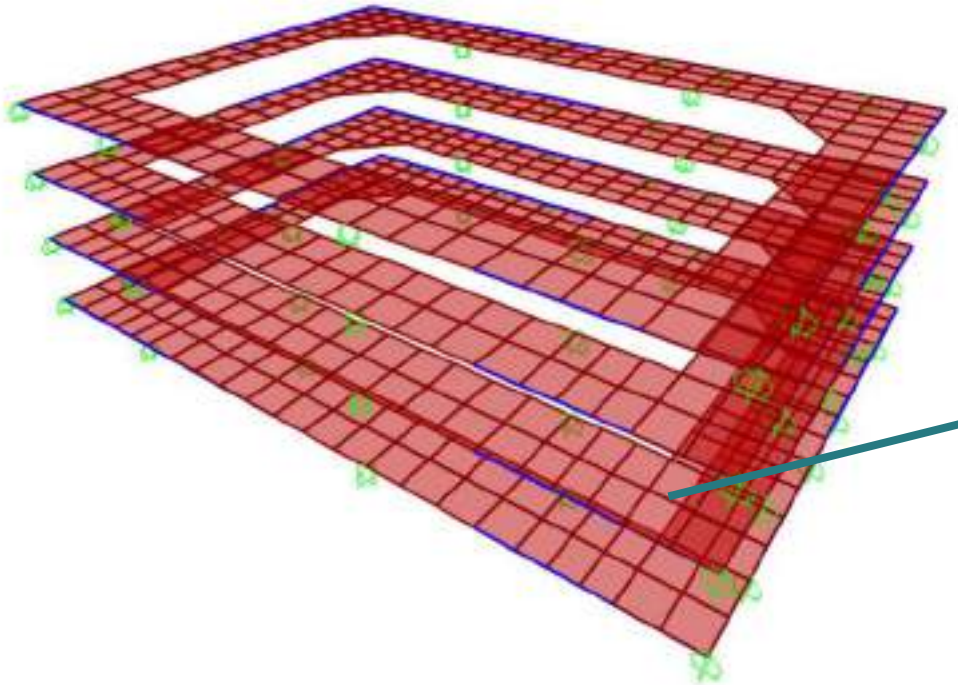
Deformação Vertical

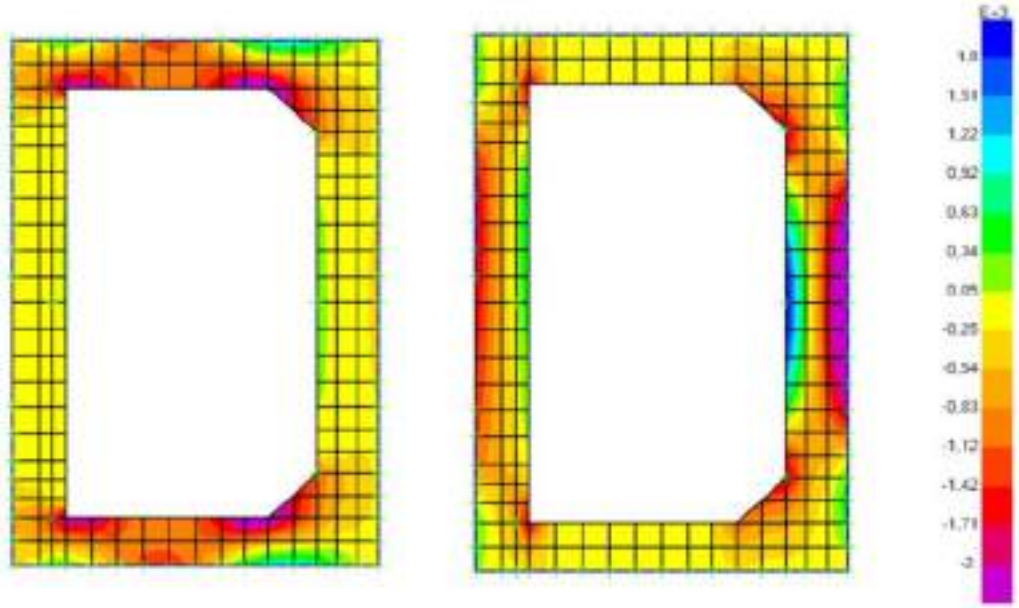


SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: SAP 2000

Modelo tipo



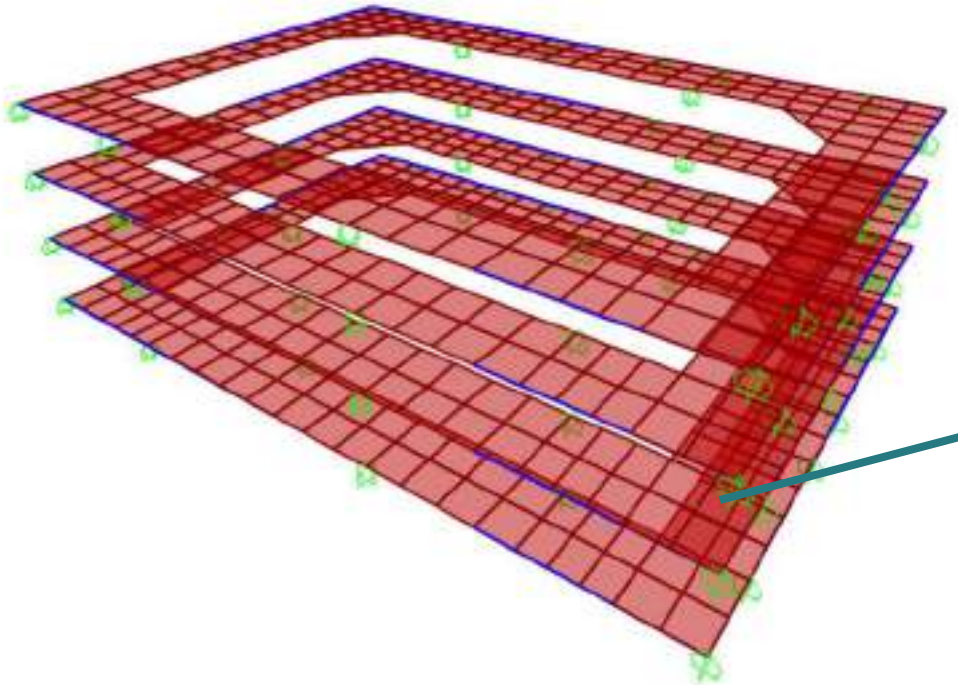


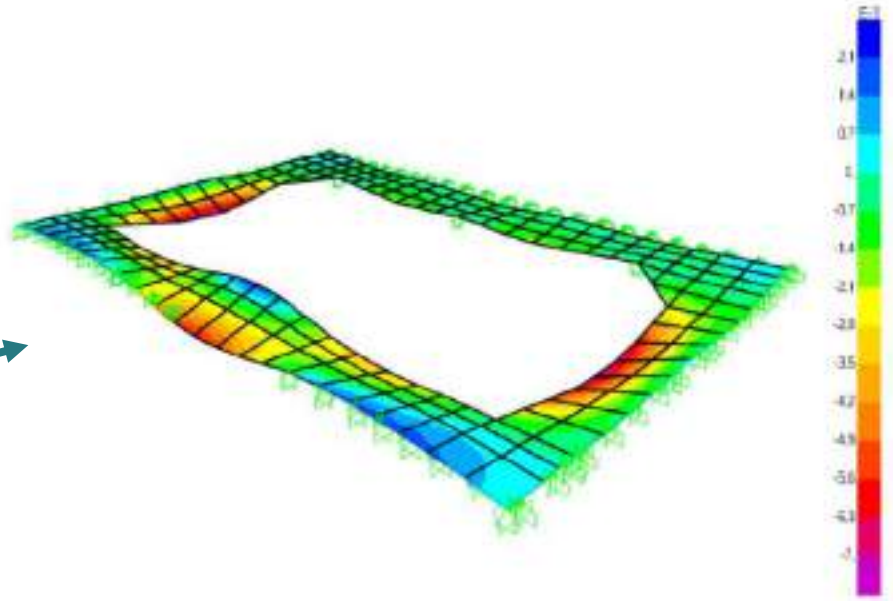
Momentos Mx (esquerda) e My (direita) da banda de laje no 2º

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: SAP 2000

Modelo tipo





Deslocamento vertical na banda de laje (escala amplificada 100x) (6,5mm)

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. **Faseamento Construtivo**
6. Plano de Instrumentação e Observação

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Trabalhos sequenciais no Alçado AB (Tardoz)

Alçado AB – JAN/26

Alçado AB – MAR/26

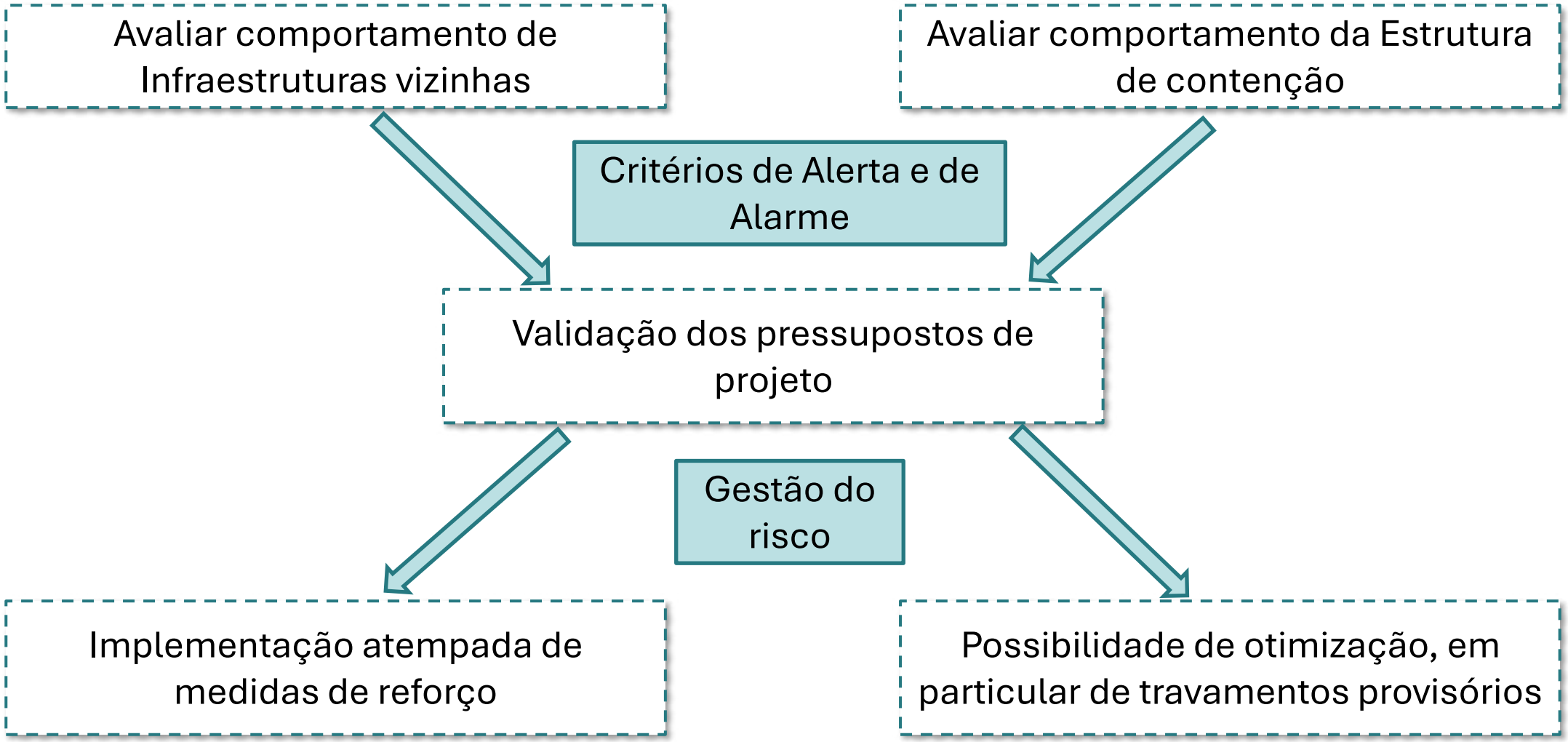
Alçado AB – ABR/26

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Faseamento Construtivo
6. **Plano de Instrumentação e Observação**

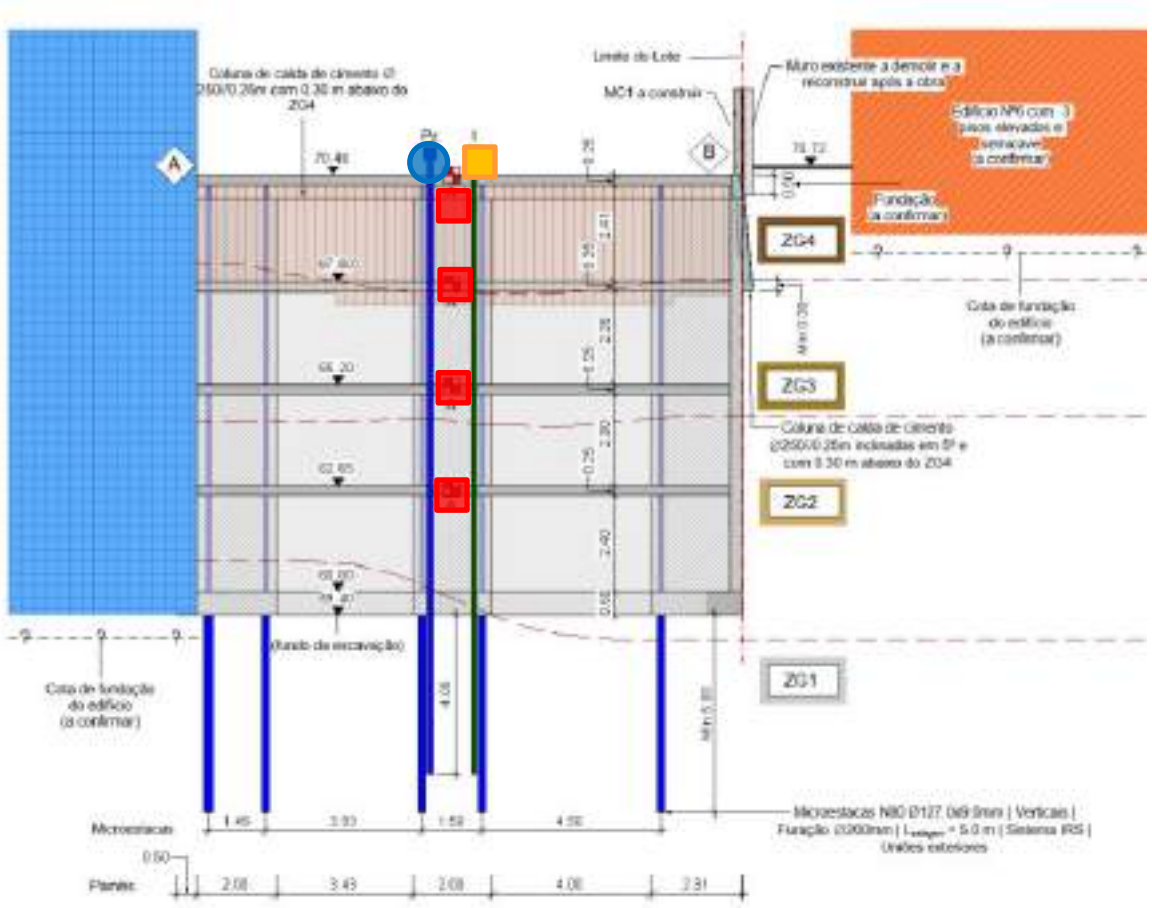
PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Objetivos do Plano de Instrumentação e Observação



PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Localização dos dispositivos



Alvos topográficos

Inclinómetro

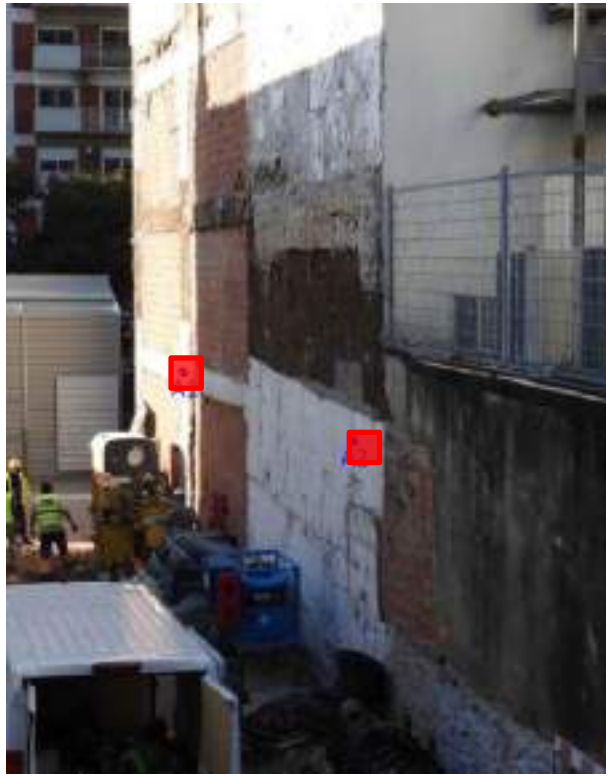
Piezómetro

PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Localização dos dispositivos

Alvos topográficos Pontos de Referência

Edifício nascente (Alçado BC)



Edifício poente (Alçado DA)

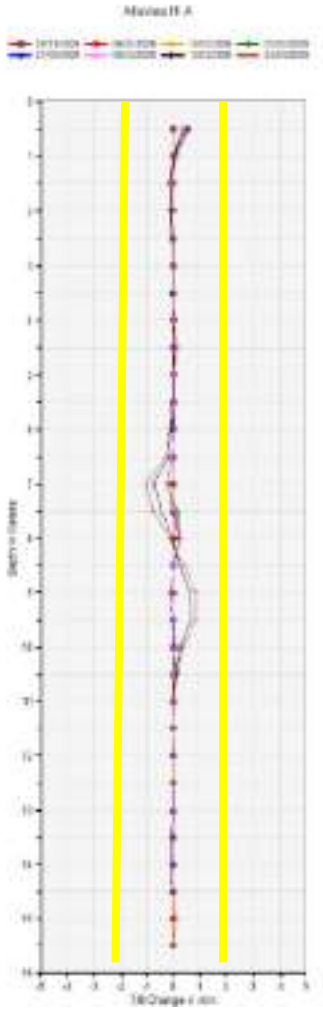
Edifício a Norte (Alçado AB)

Edifício a sul , Av. Berna (Alçado CD)

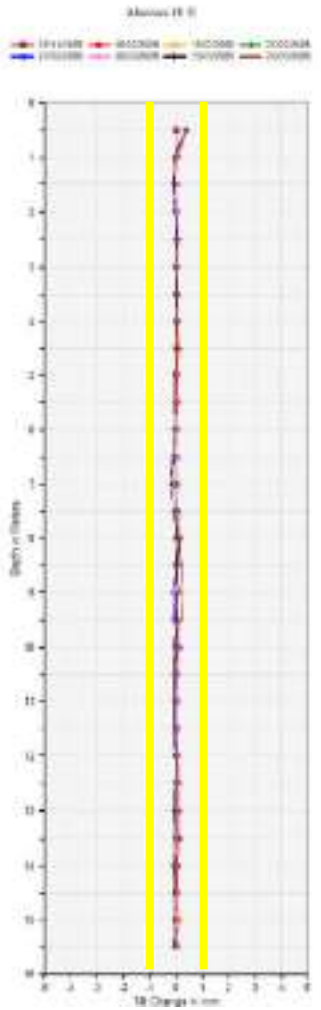
PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Critérios de Alerta e de Alarme

- Deslocamentos horizontais:
  - Critério de Alerta: 15 mm
  - Critério de Alarme: 25 mm
- Deslocamentos verticais:
  - Critério de Alerta: 10 mm
  - Critério de Alarme: 15 mm



-2 2



-1 1

JET SJ
Obrigado pela vossa atenção

ESTABILIZAÇÃO DE UMA CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM CONTEXTO URBANO, LISBOA

Diogo Cordeiro / JETsj Geotecnia
André Henriques / JETsj Geotecnia
Alexandre Pinto / JETsj Geotecnia

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

JETsj

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
4. Faseamento Construtivo
5. Processos Construtivos
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

ÍNDICE

1. **Introdução**
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
4. Faseamento Construtivo
5. Processos Construtivos
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

INTRODUÇÃO

EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS

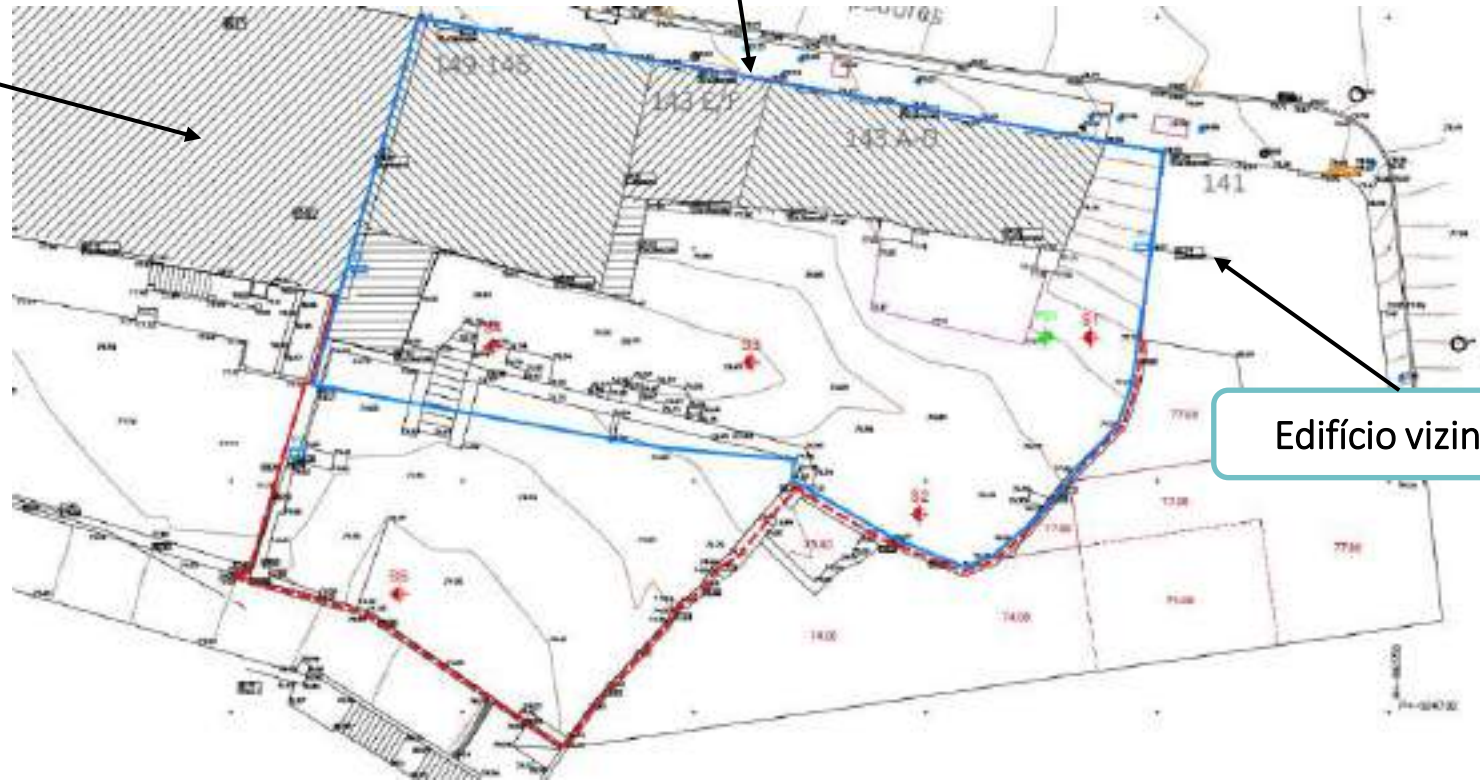
Escola antiga na vizinhança - alvenaria

3 pisos enterrados

Área:
760 m^2

Perímetro:
230 m

Altura máxima:
9.5 m

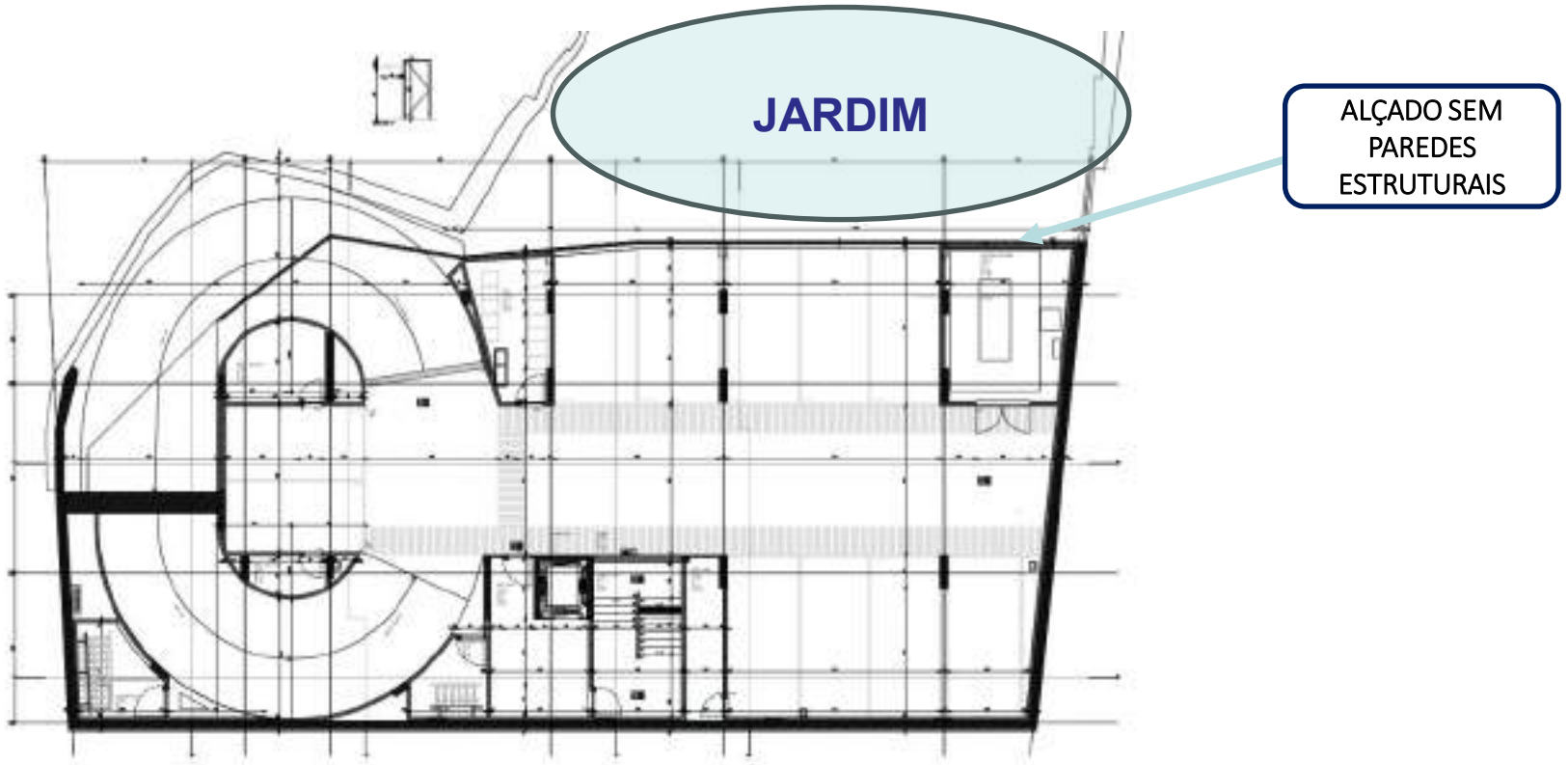


ÍNDICE

1. Introdução
2. **Principais Condicionamentos**
3. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
4. Faseamento Construtivo
5. Processos Construtivos
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

- ✓ **Condicionamentos construtivos e arquitetónicos:**
  - Compatibilização com a Arquitectura e Estabilidade
  - Espaço disponível para a estrutura de contenção ao nível dos pisos enterrados



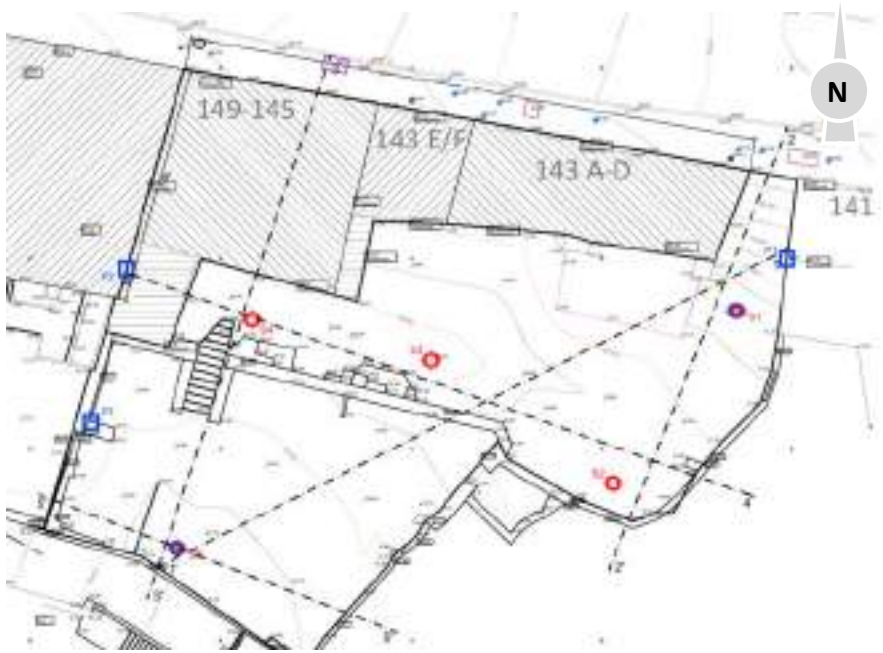
PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

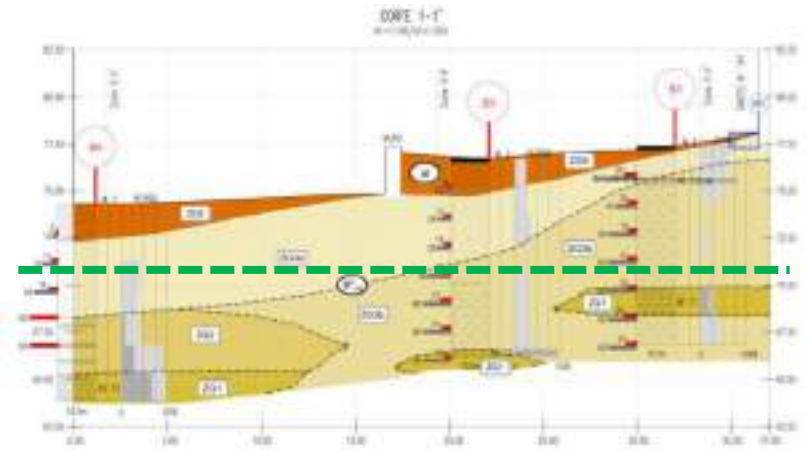
- ✓ **Meio urbano:**
  - Escola antiga em alvenaria em estado degradado
  - Edifício habitacional

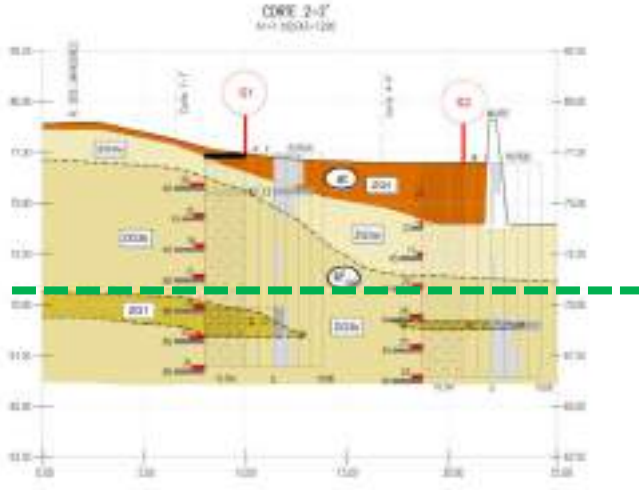
PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

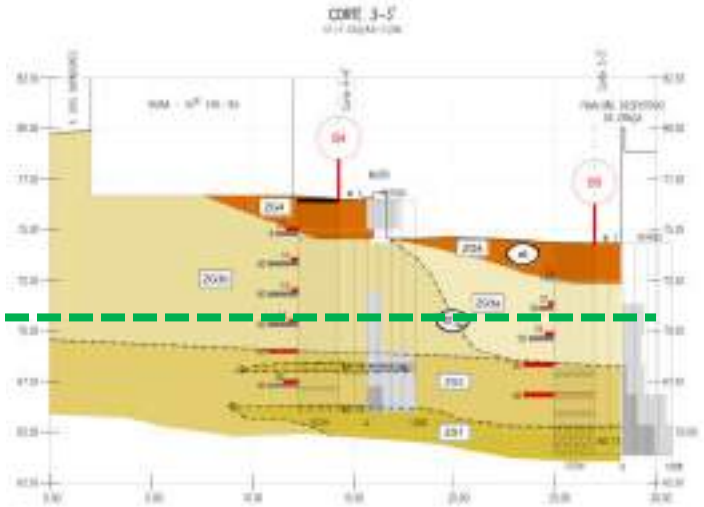
Zonamento Geológico-Geotécnico

Cota de fundo de escavação









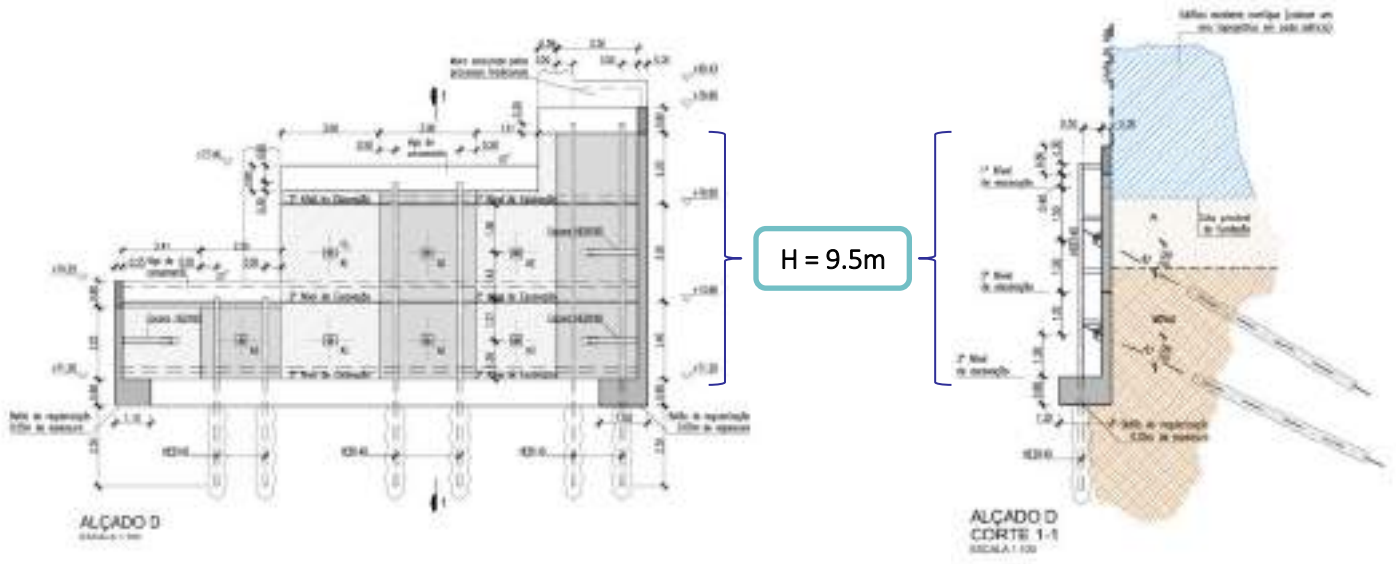
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. **Soluções de Escavação e Contenção Periférica**
4. Faseamento Construtivo
5. Processos Construtivos
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Estabilização do Alçado D

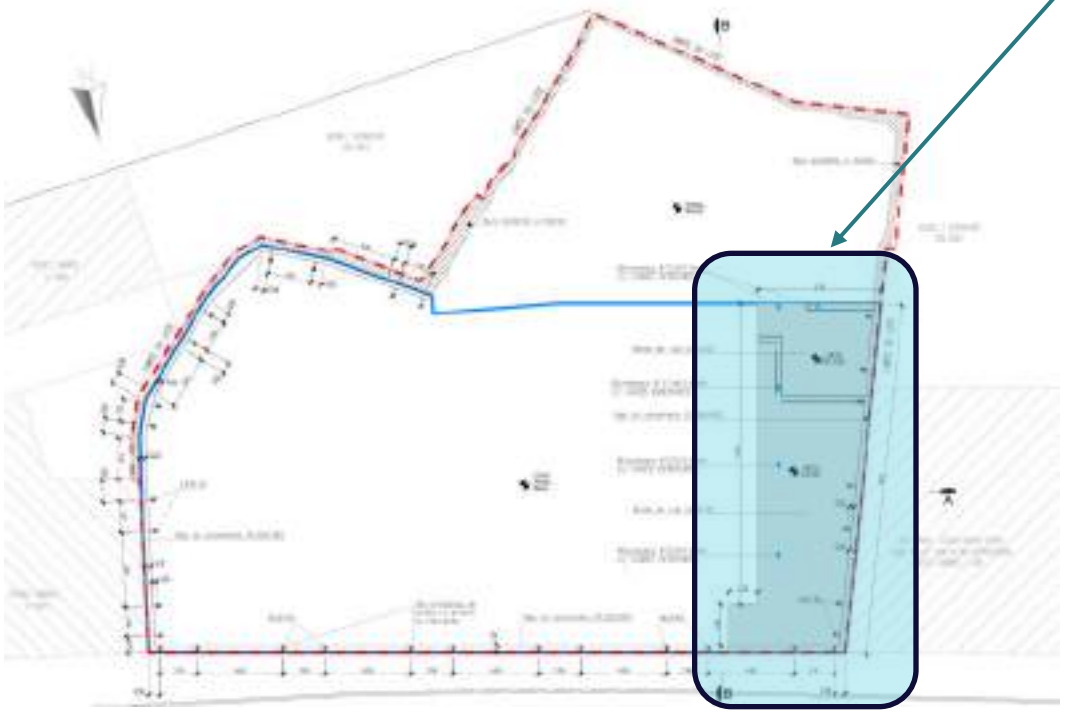
- Desempenho insuficiente da solução anterior
  - Dificuldades na execução das ancoragens
  - Insuficiente caracterização das fundações do edifício vizinho
  - Vulnerabilidade estrutural do edifício vizinho



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA - ESTABILIZAÇÃO

Alçado D a estabilizar – junto à escola antiga

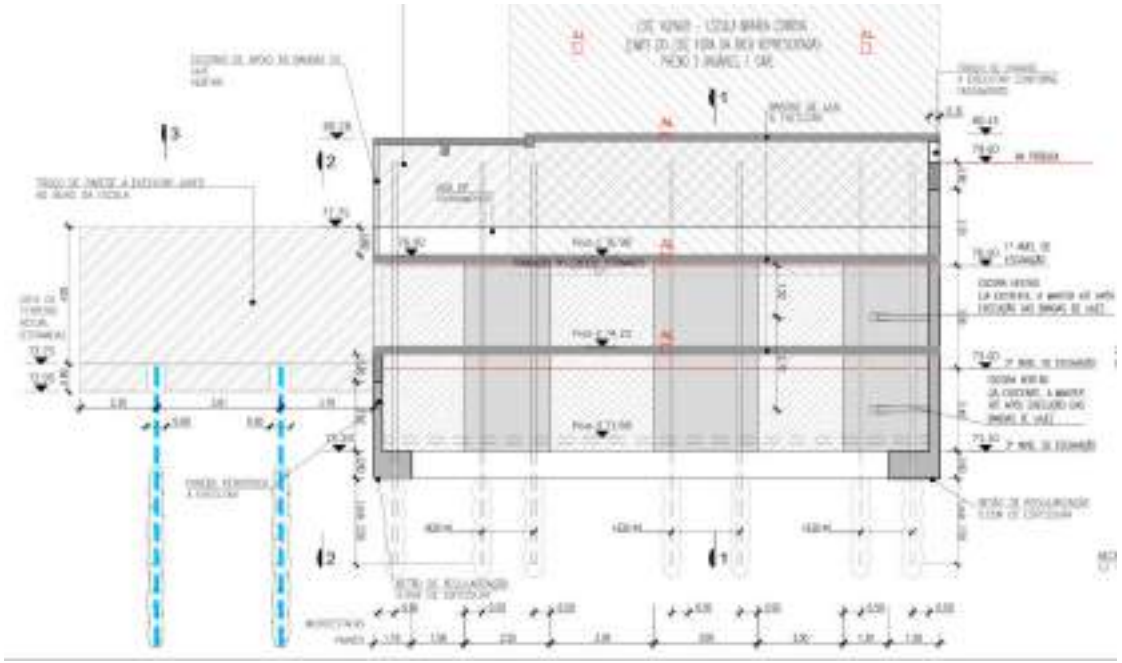
Fissuração excessiva na escola vizinha

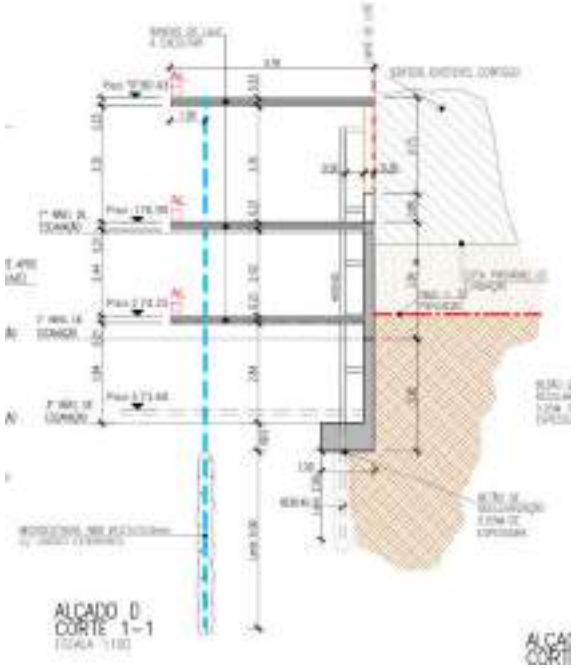


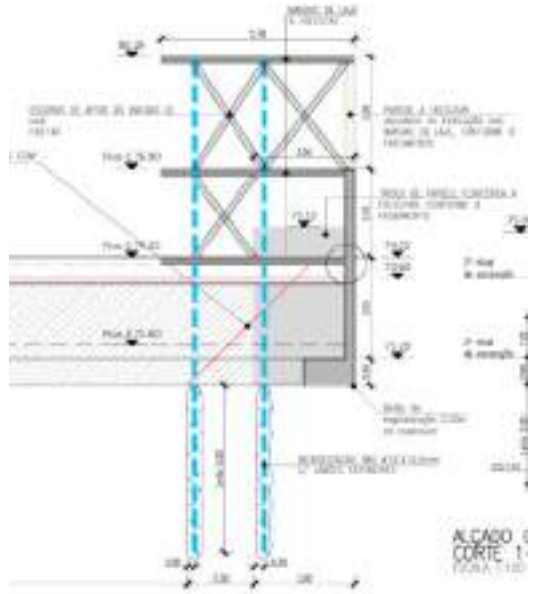
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Estabilização do Alçado D

- Solução proposta e executada – bandas de laje apoiadas em microestacas
  - Estabilização do edifício vizinho
  - Estabilização da contenção periférica
  - Compatibilização total com a arquitectura e estrutura finais



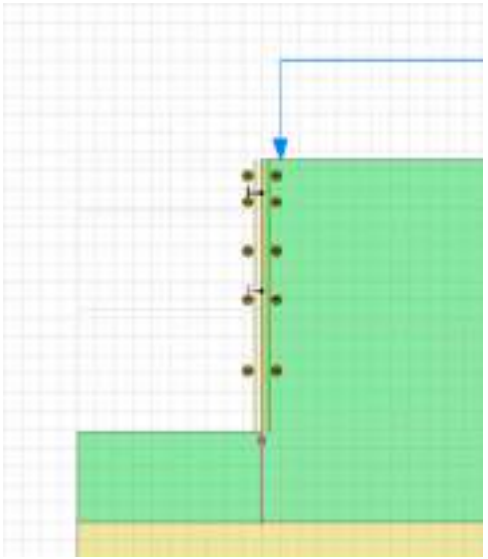




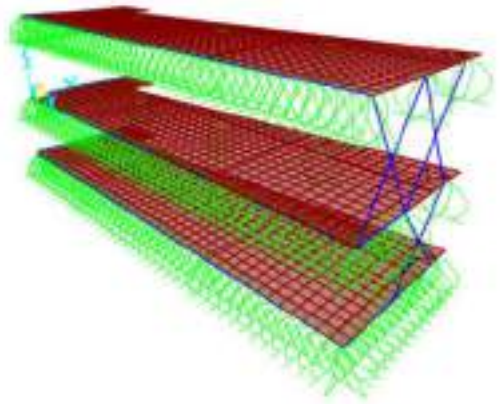
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo

PLAXIS 2D – Secção mais condicionante da banda de laje



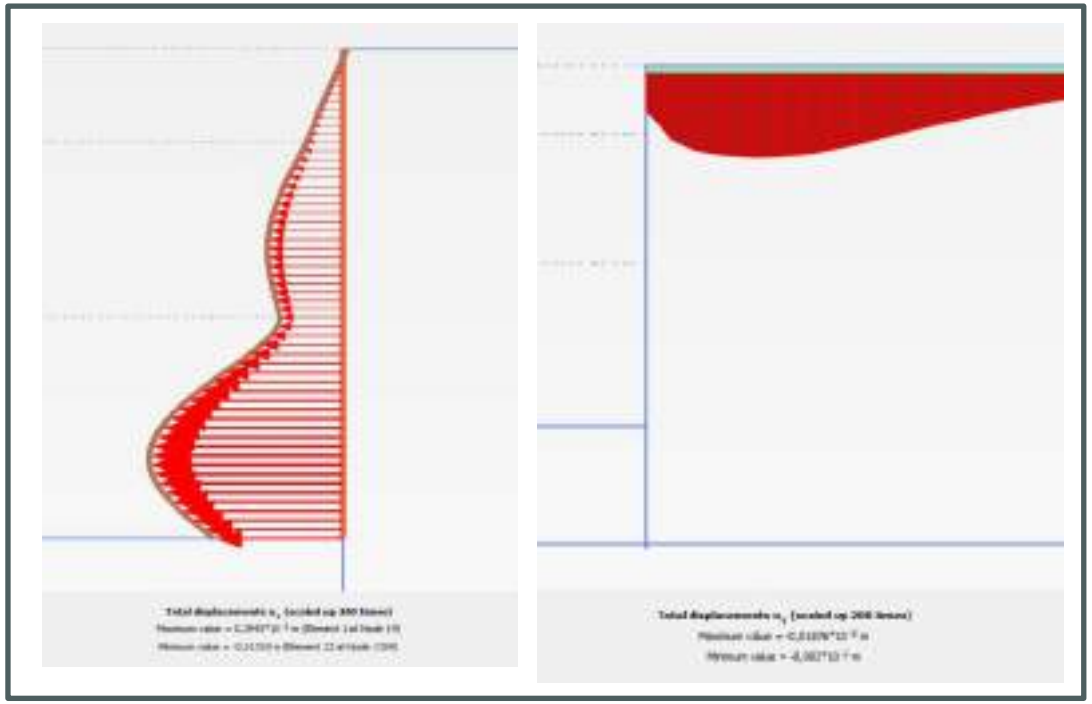
SAP2000 – Resposta tridimensional das bandas de laje



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Resultados PLAXIS 2D

Deformação Horizontal	Deformação Vertical



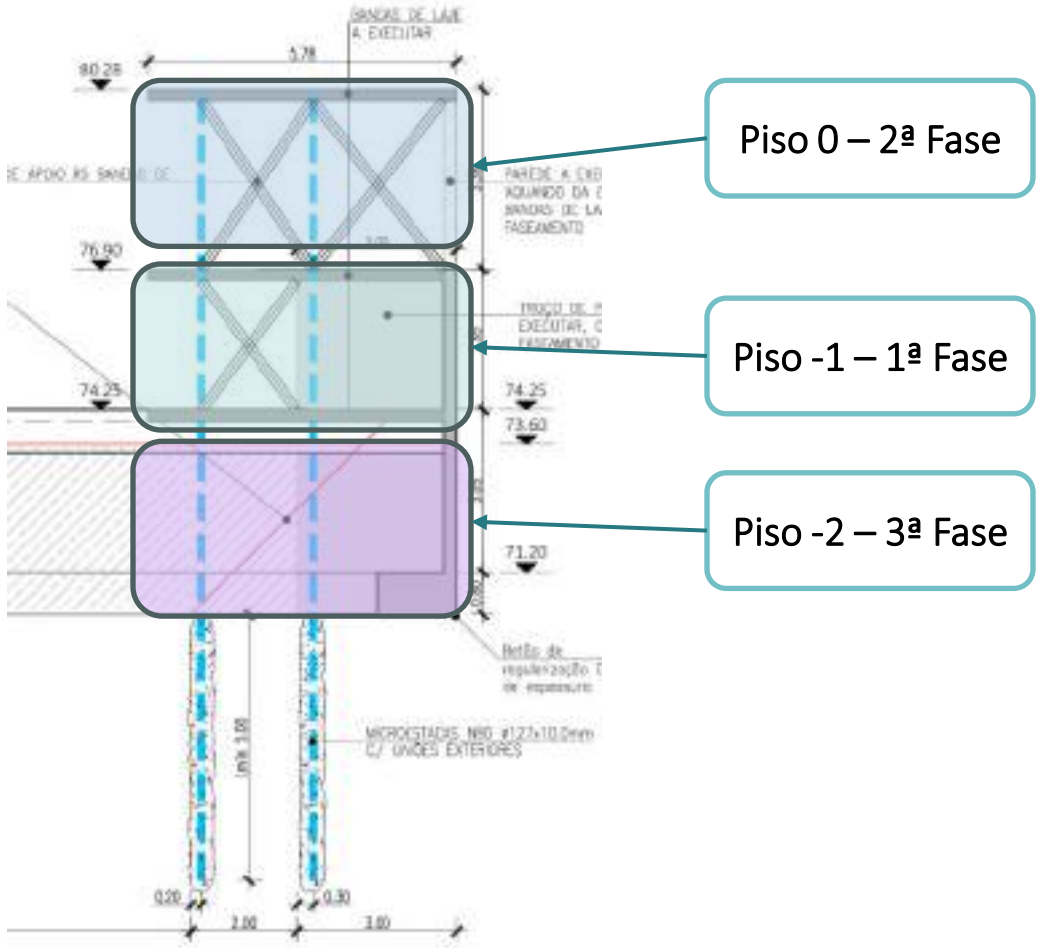
14mm	9mm

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
4. **Faseamento Construtivo**
5. Processos Construtivos
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

FASEAMENTO CONSTRUTIVO

- ✓ **Bandas de laje**
  1. Execução das microestacas;
  2. Execução da parede de apoio e dos escoramentos metálicos referentes ao piso -1;
  3. Execução da banda de laje do piso -1;
  4. Repetição dos pontos 2. e 3. para o piso 0;
  5. Escavação até à cota base do piso -2;
  6. Repetição dos pontos 2. e 3. para o piso -2.



ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
4. Faseamento Construtivo
5. **Processos Construtivos**
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Estado da obra antes da intervenção

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Início da intervenção

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

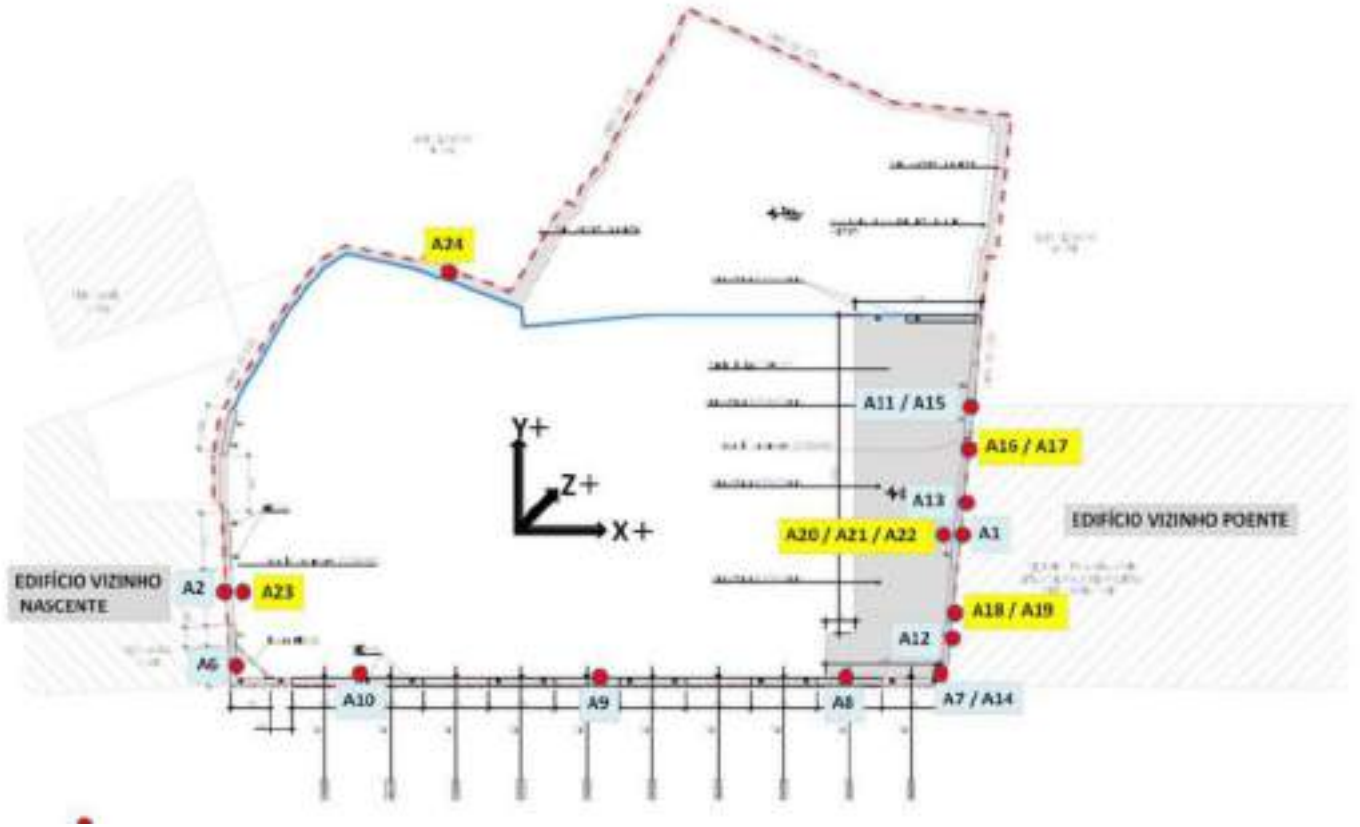
Meados da intervenção

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
4. Faseamento Construtivo
5. Processos Construtivos
6. **Plano de Instrumentação e Observação**
7. Considerações Finais

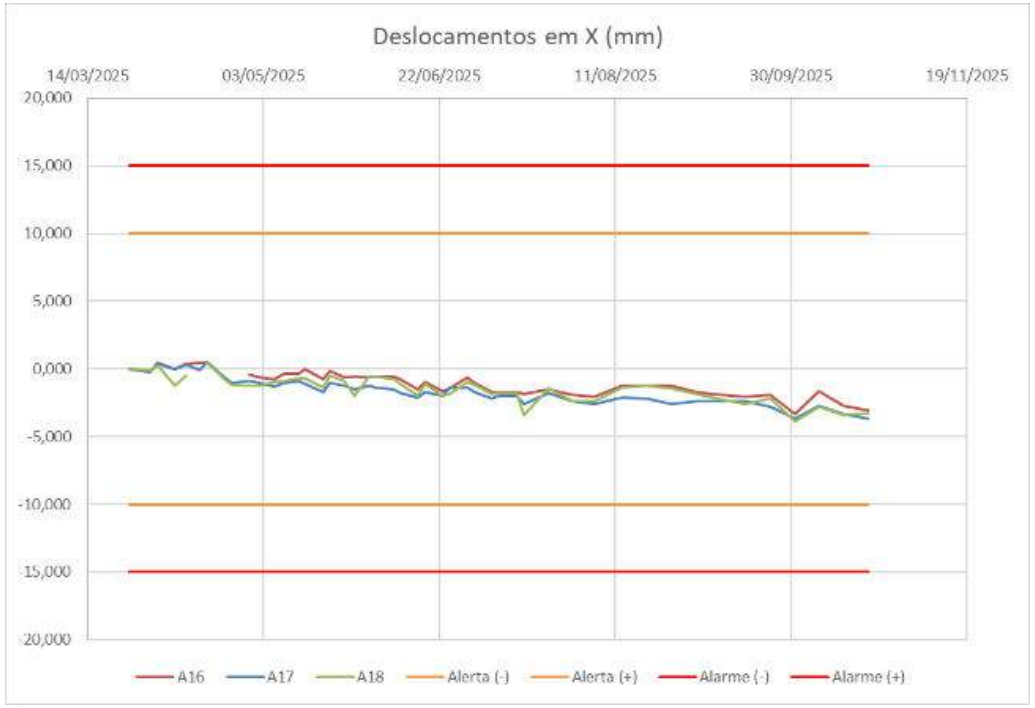
PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

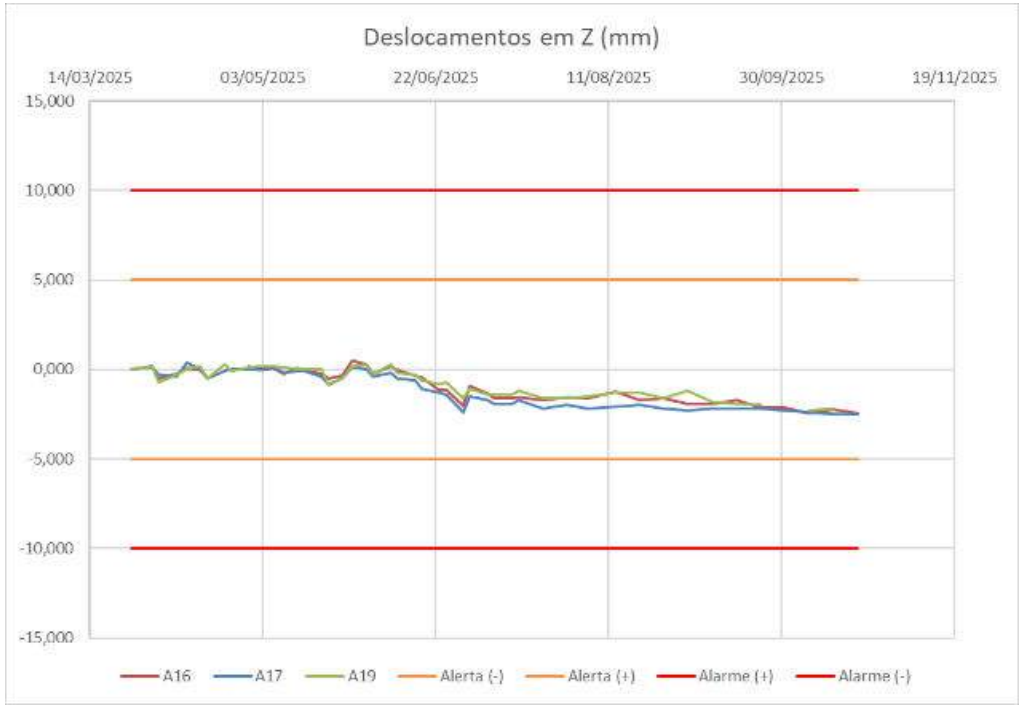
Localização dos dispositivos



PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Resultados: Alvos Topográficos





ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
4. Faseamento Construtivo
5. Processos Construtivos
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. **Considerações Finais**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Importância da avaliação prévia das **Condicionantes Locais** (Arquitetura, Edifícios Vizinhos e Infraestruturas)

Importância do **Plano de Instrumentação de Observação**, ferramenta indispensável para a gestão do risco

Obrigado pela vossa atenção

DESAFIOS E SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO, CONTEÇÃO PERIFÉRICA E FUNDAÇÕES NO PARQUE DE ESTACIONAMENTO CAMPO DE OURIQUE (PARQUE EMEL)

Francisco Castilho Neves / JETsj Geotecnia
Pedro Marques / JETsj Geotecnia
Alexandre Pinto / JETsj Geotecnia

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

JETsj

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação, Contenção Periférica e Fundações
5. Faseamento Construtivo
6. Processos Construtivos
7. Plano de Instrumentação e Observação
8. Considerações Finais

ÍNDICE

1. **Introdução**
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação, Contenção Periférica e Fundações
5. Faseamento Construtivo
6. Processos Construtivos
7. Plano de Instrumentação e Observação
8. Considerações Finais

INTRODUÇÃO

LOCALIZAÇÃO DA OBRA

- Rua Padre Francisco e Travessa do Bahuto

INTRODUÇÃO

PARQUE DE ESTACIONAMENTO TRAVESSA DO BAHUTO

1 piso semi-enterrado

Altura máxima: 6,0 m

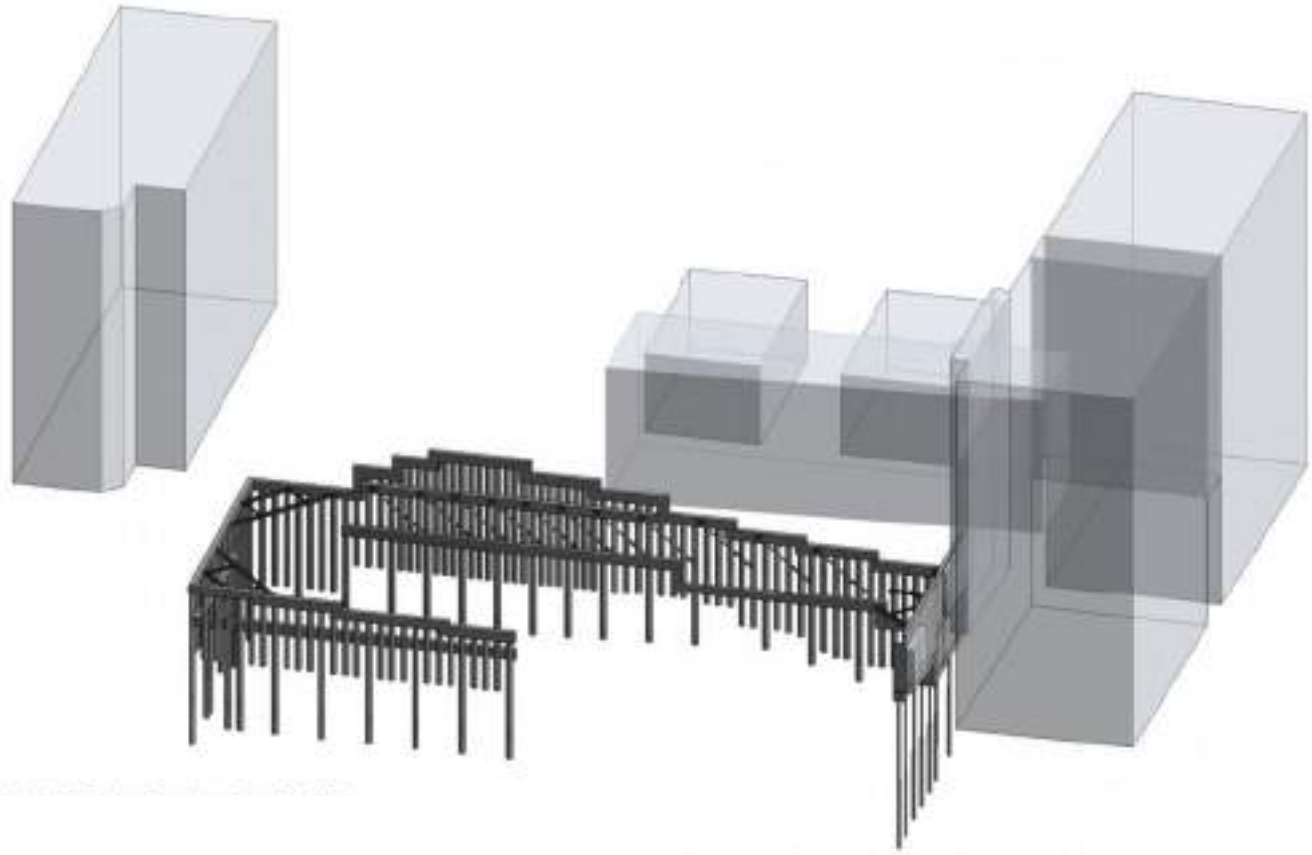
Área: 811 m^2

Perímetro: 132 m

INTRODUÇÃO

OBJETIVOS DA INTERVENÇÃO

- Escavação para execução de 1 piso semi-enterrado
- Preservação das estruturas e infraestruturas vizinhas
- Compatibilização com Arquitetura e Estabilidade
- Controlo de custos e de prazos de execução



ÍNDICE

1. Introdução
2. **Principais Condicionamentos**
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação, Contenção Periférica e Fundações
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

Escavação em Meio Urbano

⇩

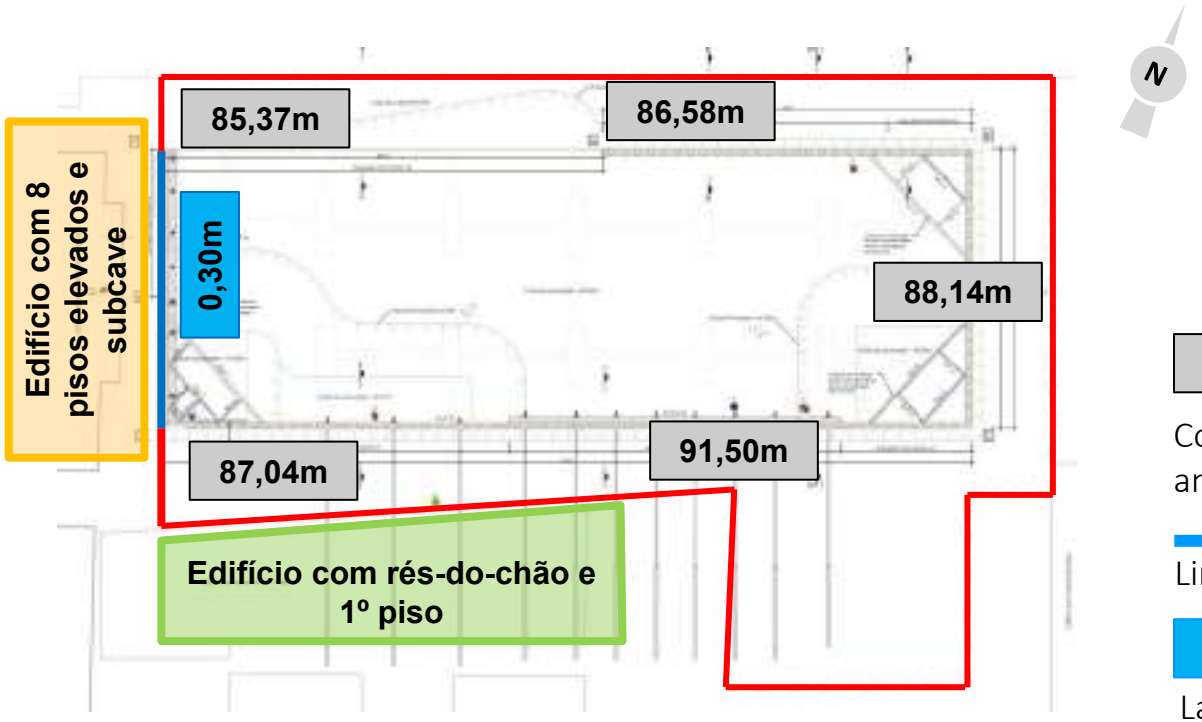
Multiplicidade de Condicionantes

⇩

- Edifícios Vizinhos
- Vias Circundantes
  - Travessa do Bahuto
  - Rua Padre Francisco
- Topográficos
- Geotécnicos
- Hidrogeológicos

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

- ✓ **Condicionamentos Vizinhos e Topográficos:**
  - Compatibilização com o desnível entre a Rua Padre Francisco e a Travessa do Bahuto
  - Espaço disponível para a estrutura de contenção
  - Edifícios Vizinhos



x

Cota do terreno antes dos trabalhos

Limite dos lotes

x

Largura disponível

ÍNDICE

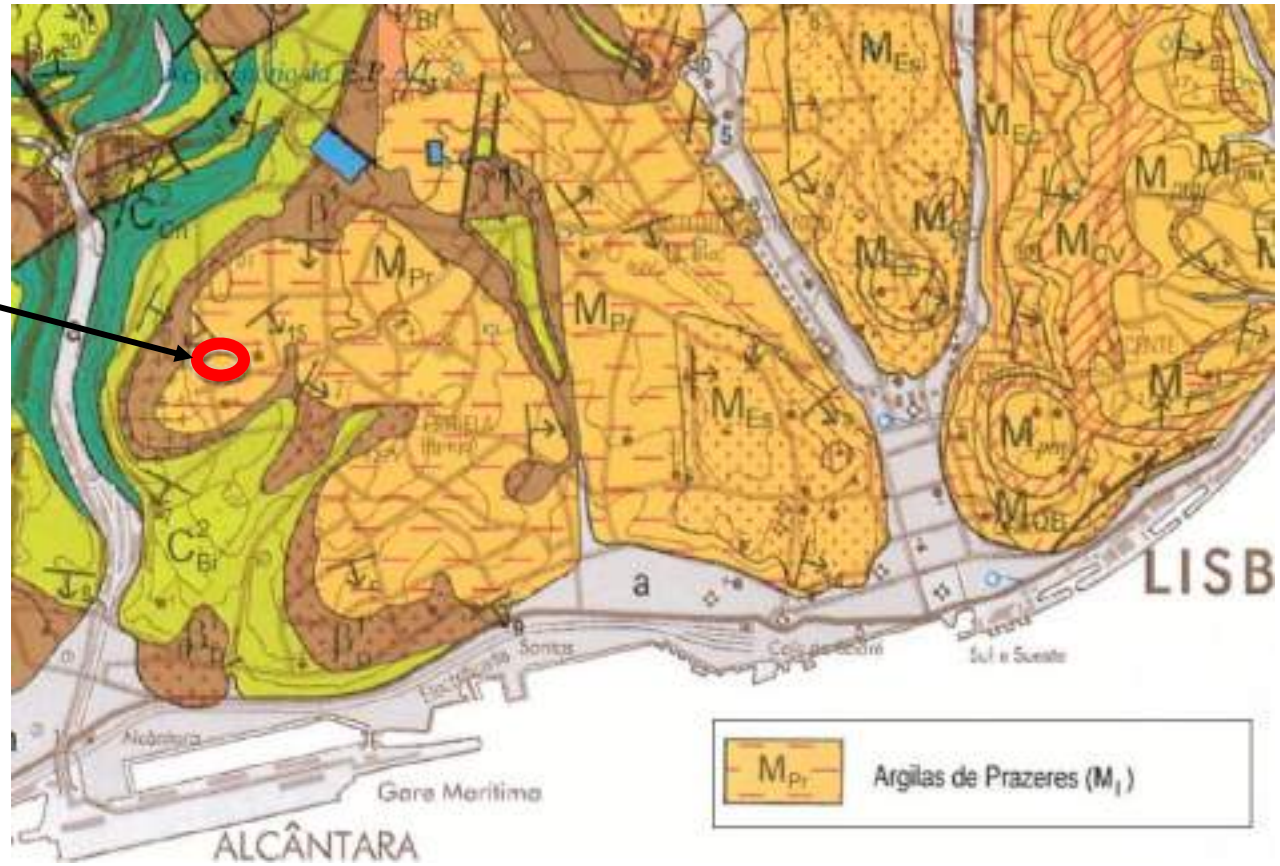
1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. **Estudo Geológico-Geotécnico**
4. Soluções de Escavação, Contenção Periférica e Fundações
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000

- depósitos de aterro (At)
- Miocénico (MPr)

Lote em análise



Fonte: GeoPortal

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Plano de Prospeção Geológico-Geotécnico

Base

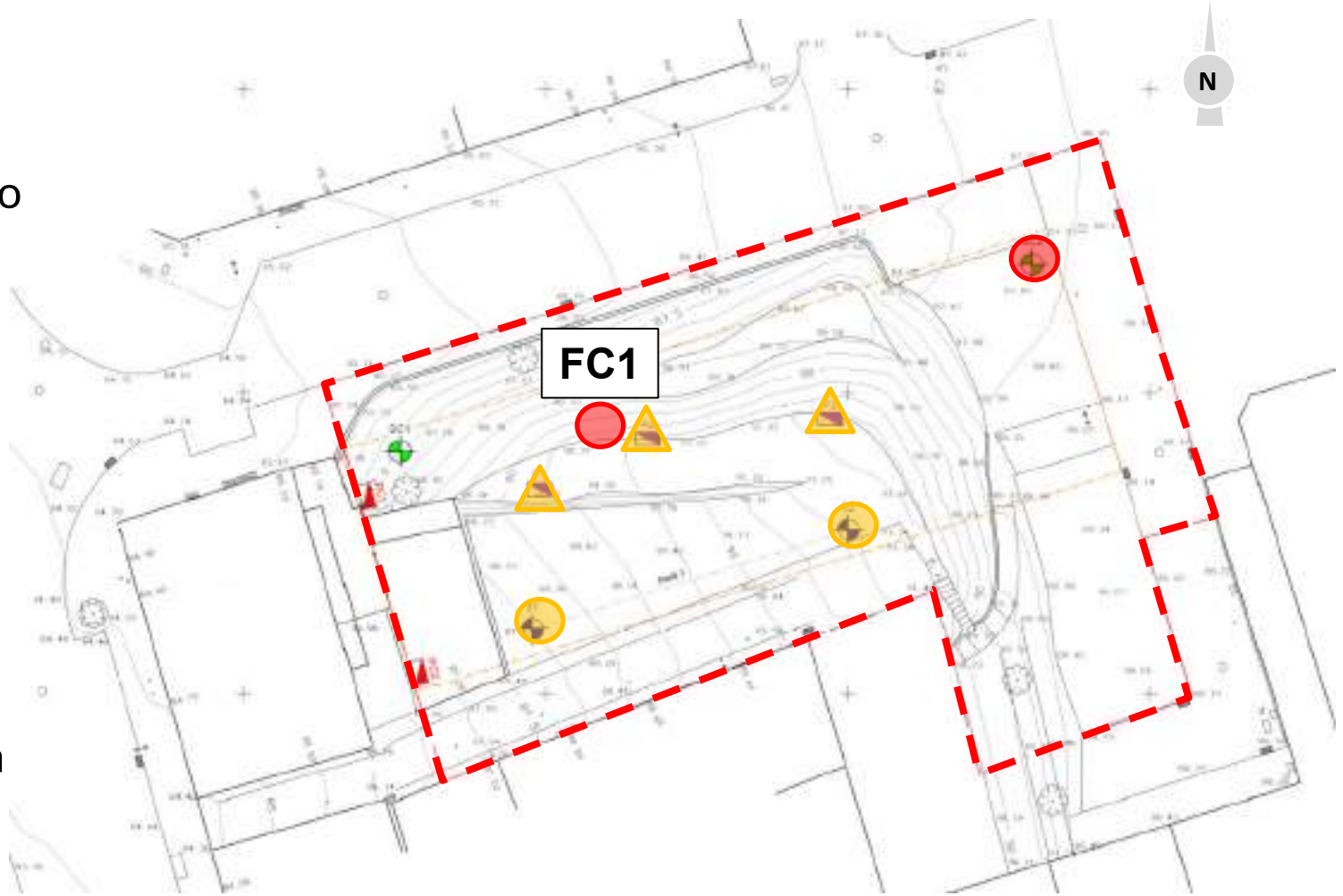
Junho de 2018 (Geocontrole):

- ✓ 2 Sondagens Geotécnicas à rotação com amostragem contínua
- ✓ Ensaios SPT em profundidade
- ✓ 3 Poços de Reconhecimento e posteriores ensaios laboratoriais

Complementar

Agosto de 2024 (Argonvia):

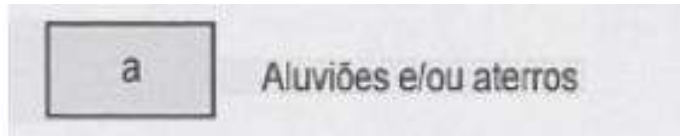
- ✓ 2 Sondagens Geotécnicas à rotação com amostragem contínua
- ✓ Ensaios SPT em profundidade

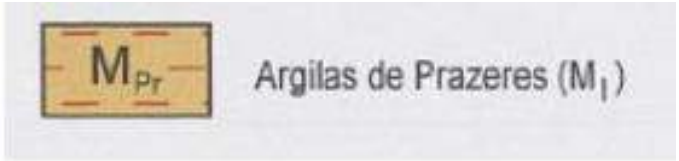


ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Estratigrafia Observada

ESTRATIGRAFIA		SÍMBOLO	LITOLOGIA	
RECENTE	Depósitos de Aterro	*At*	Aterros	Aterros heterogéneos, argilo-siltosos, argilomargosos e areno-siltosos, com fragmentos líticos e restos de cerâmica.
MIOCÉNICO	Argilas dos Prazeres	$M_{PR/I}$	Depósitos Argilosos	Argilas siltosas, cinzentas esverdeadas
				Areias finas siltosas, carbonatadas, com nódulos argilosos, castanhas amareladas
				Argilas silto-margosas e margas siltoarenosas, cinzentas claras amareladas e esbranquiçadas
				Siltes arenosos, amarelos

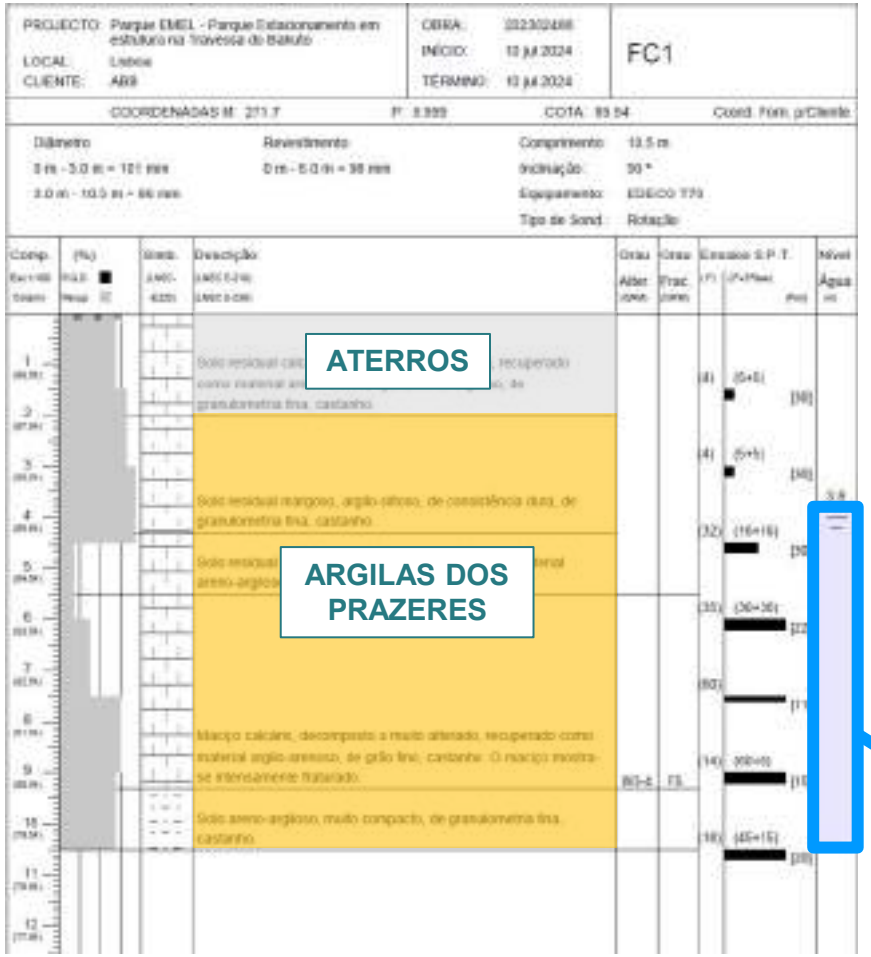


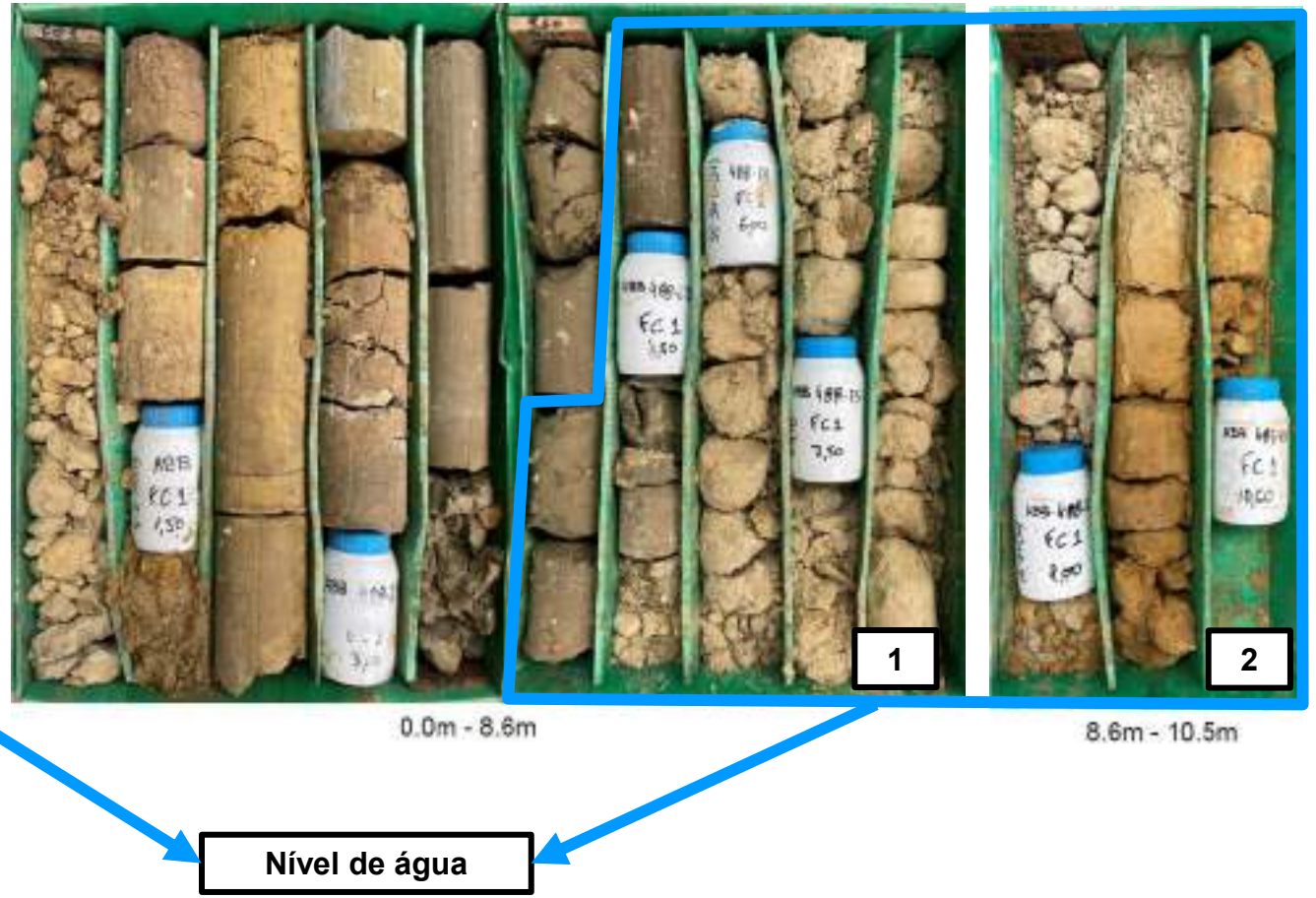


ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Sondagens Geotécnicas:

O exemplo da Sondagem FC1





ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Caracterização Geomecânica

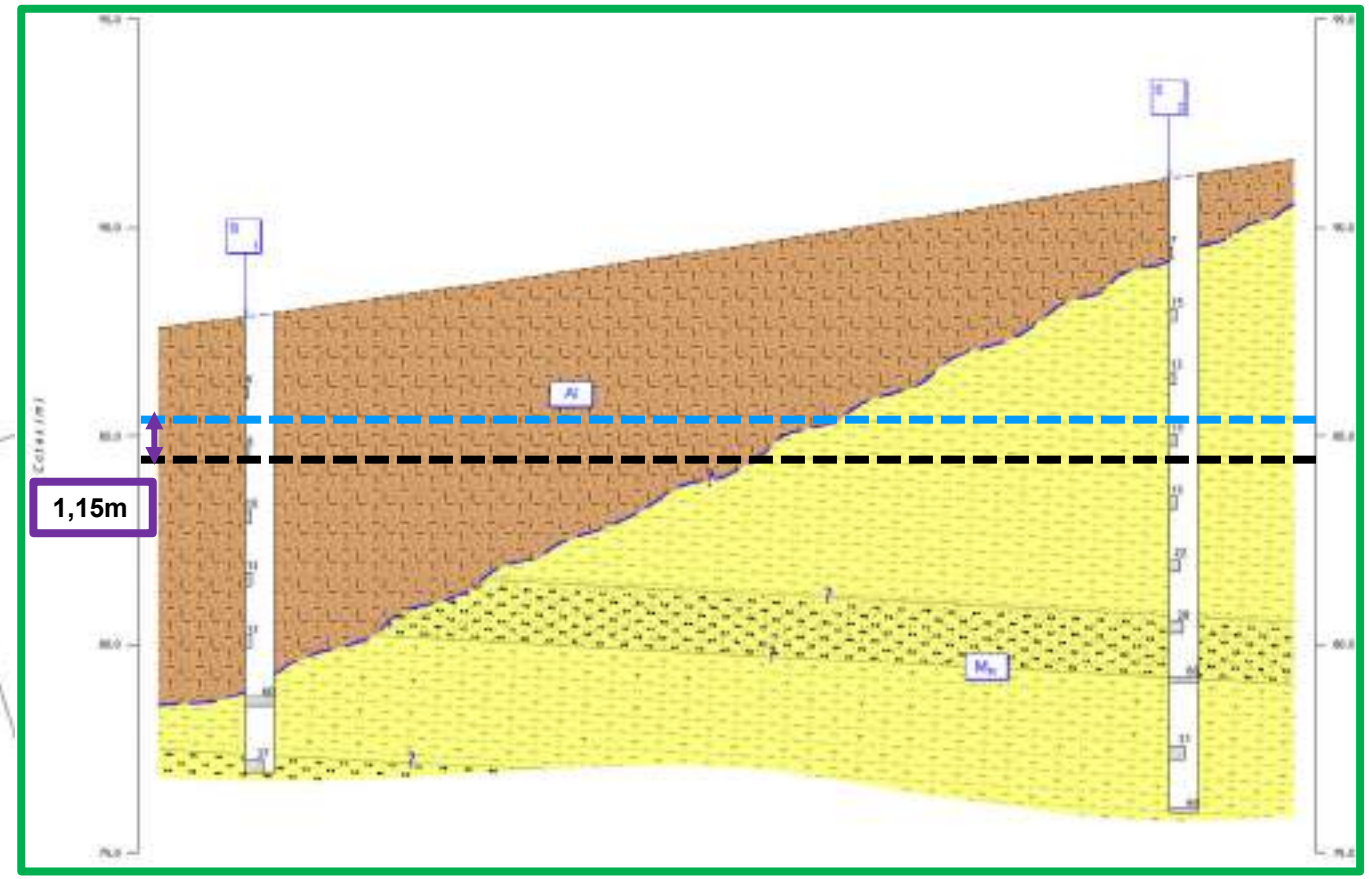
- Parâmetros de resistência e de deformabilidade estimados por correlações com base nos resultados dos ensaios laboratoriais e dos ensaios in situ

Horizonte e Formações	Intervalos N_{SPT}	γ [kN/m^3]	c' [kPa]	ϕ [°]	E [MPa]
ZG1 Aterro areno siltosos	6-13	18	-	23-25	5
ZG2 Argila siltosa	15-22	20	0-5	30-32	15-20
ZG3 Areias siltosas	31-60	21	0-10	32-34	30-40
ZG4 Margas silto-arenosas	>60	21	20-30	34-36	50

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Zonamento Geológico-Geotécnico e Hidrogeológico

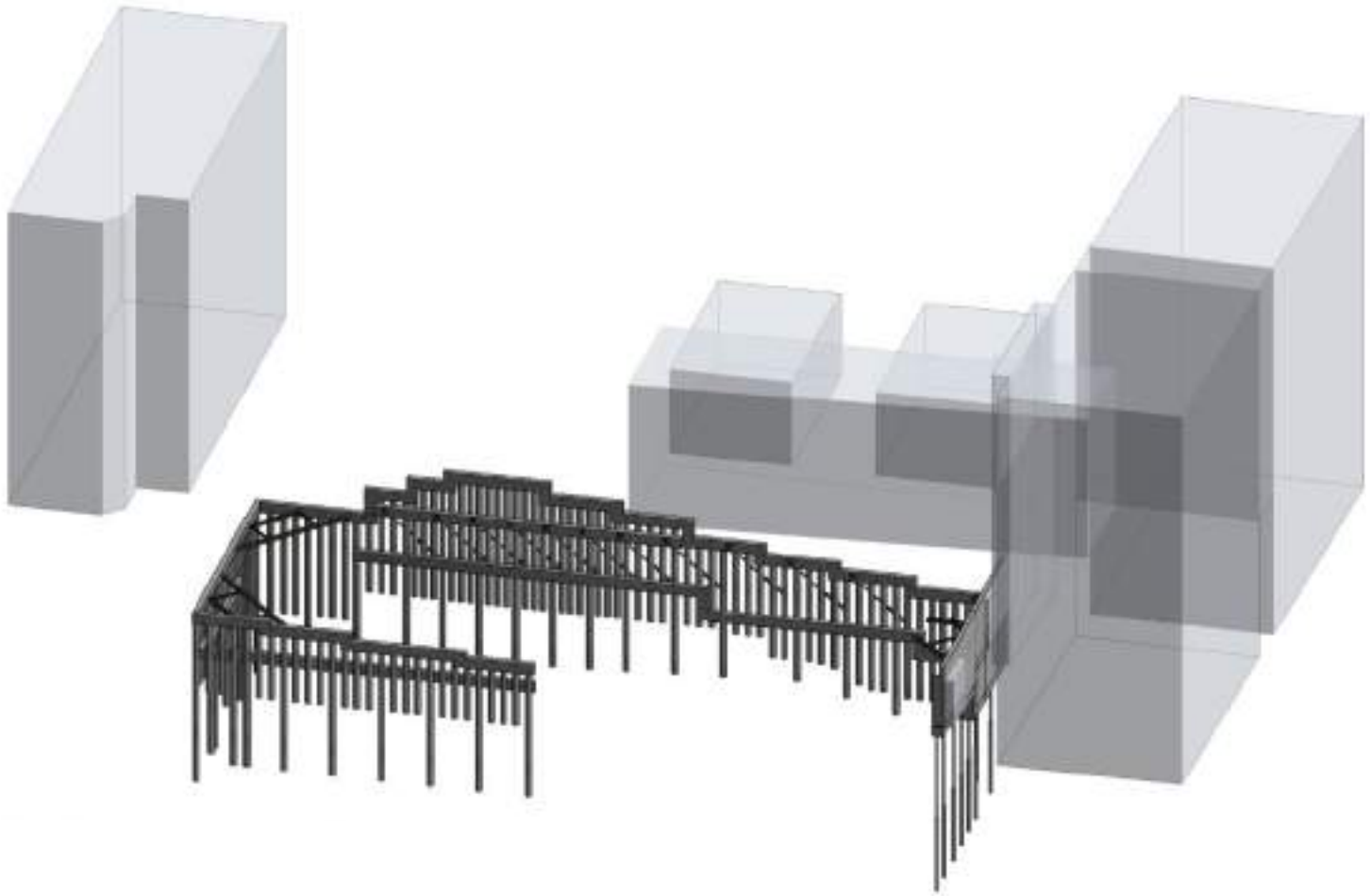
- Cota de fundo de escavação geral
- Limite do lote
- Cota do nível freático
- Corte Geológico

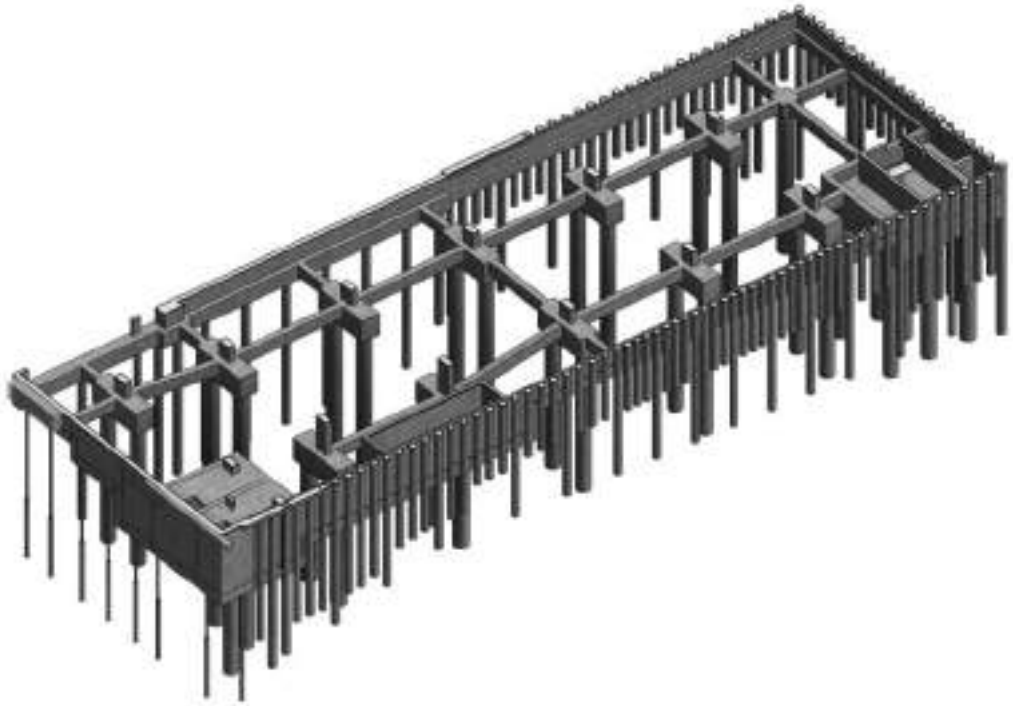


ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. **Soluções de Escavação, Contenção Periférica e Fundações**
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO, CONTENÇÃO PERIFÉRICA E FUNDAÇÃO

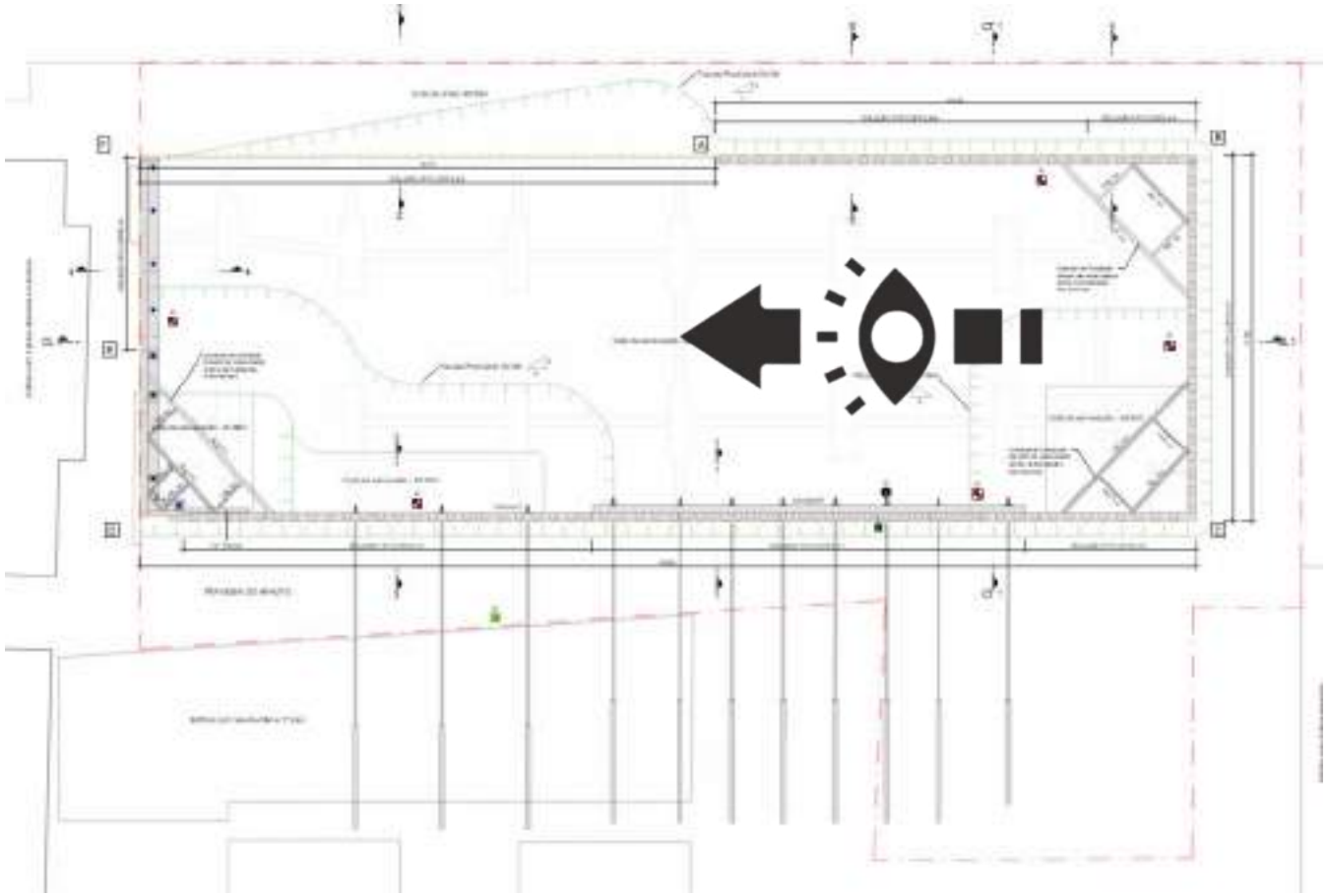




SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO, CONTENÇÃO PERIFÉRICA E FUNDAÇÃO

Execução prévia de taludes provisórios 3(H):5(V)

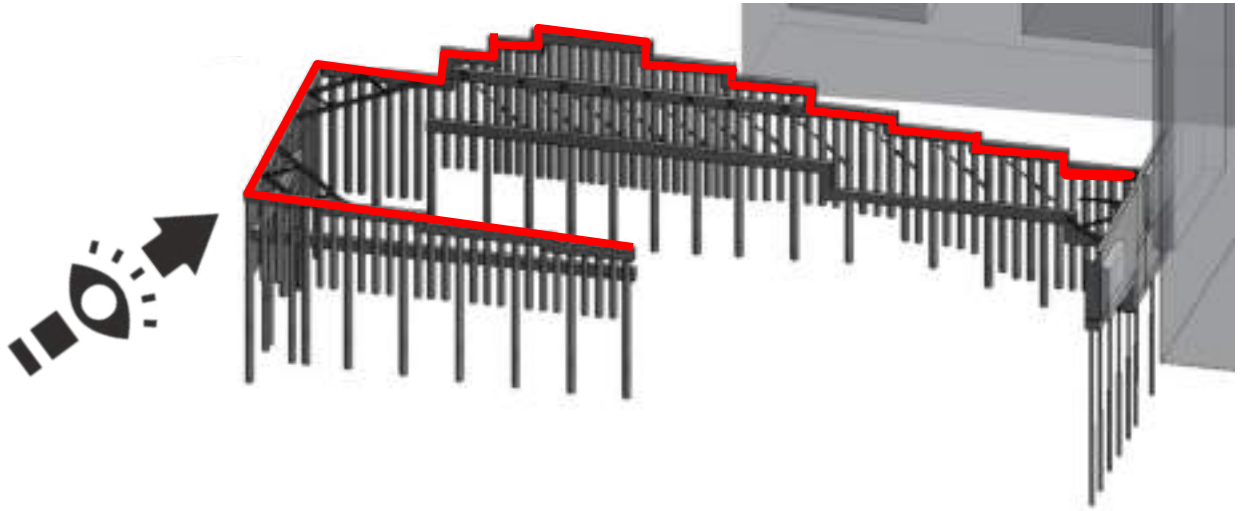
- Otimização da solução
- Compatibilização com arranjos exteriores
- Plataforma de trabalho

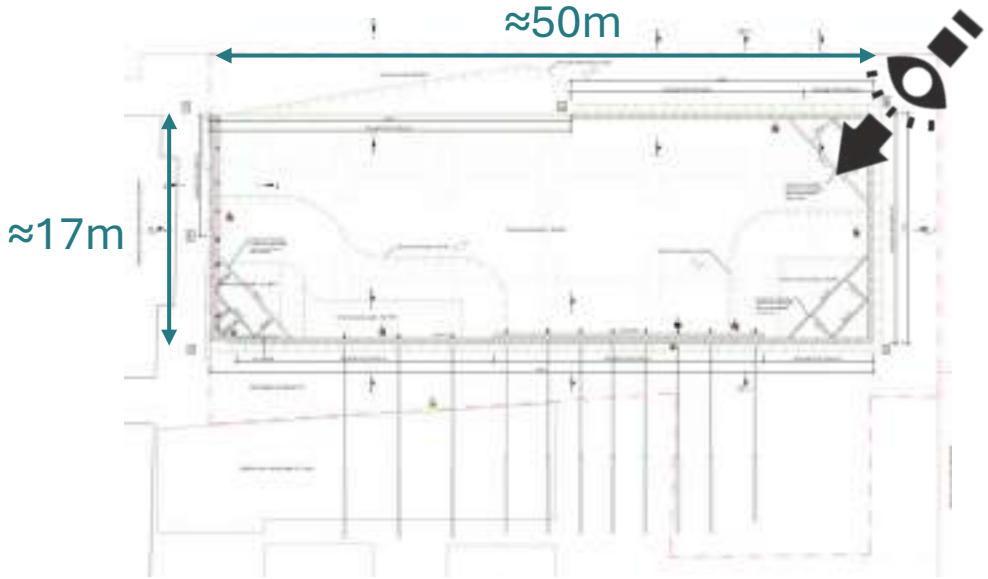


SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO, CONTENÇÃO PERIFÉRICA E FUNDAÇÃO

Cortina de Estacas 400mm:

- Ancoragens provisórias
- Escoras metálicas de canto
- Viga de coroamento compatível com arruamentos e taludes provisórios

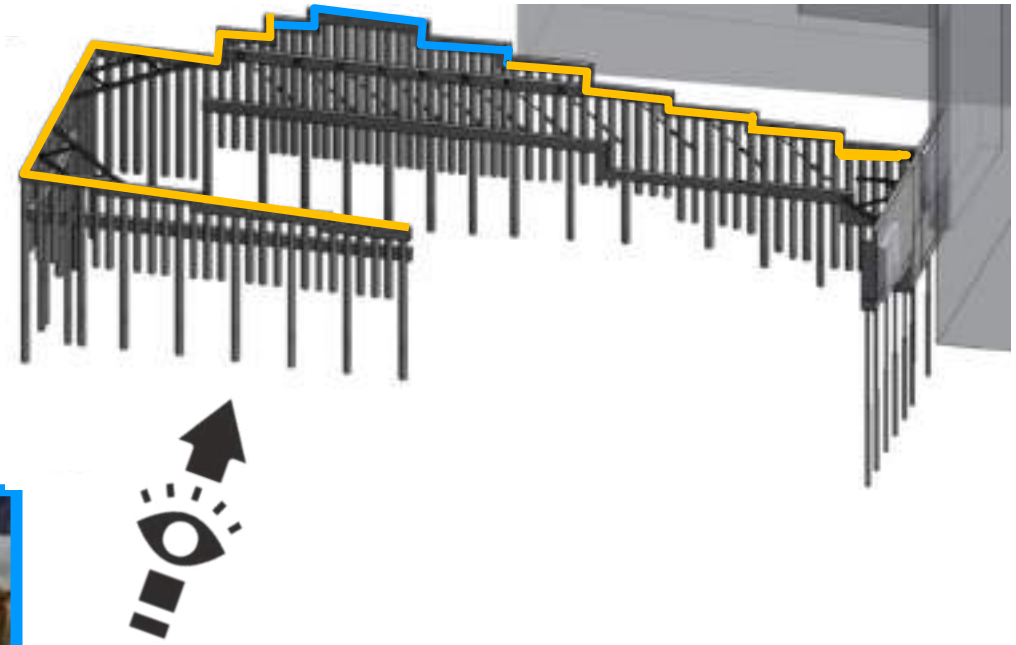




SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO, CONTENÇÃO PERIFÉRICA E FUNDAÇÃO

Cortina de Estacas 400mm

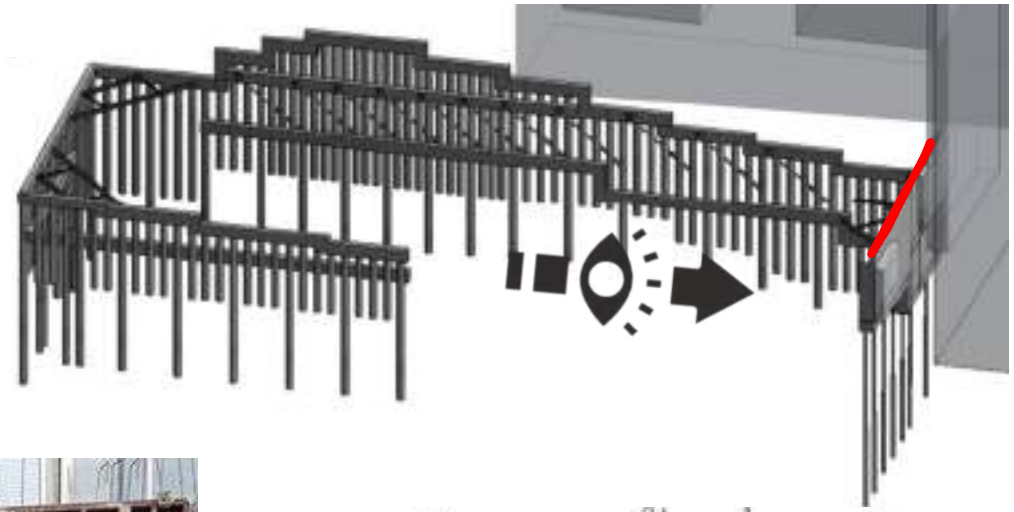
- Geral: Espaçadas // 0.80m
- Localmente: Espaçadas // 0.60m
- Betão projetado

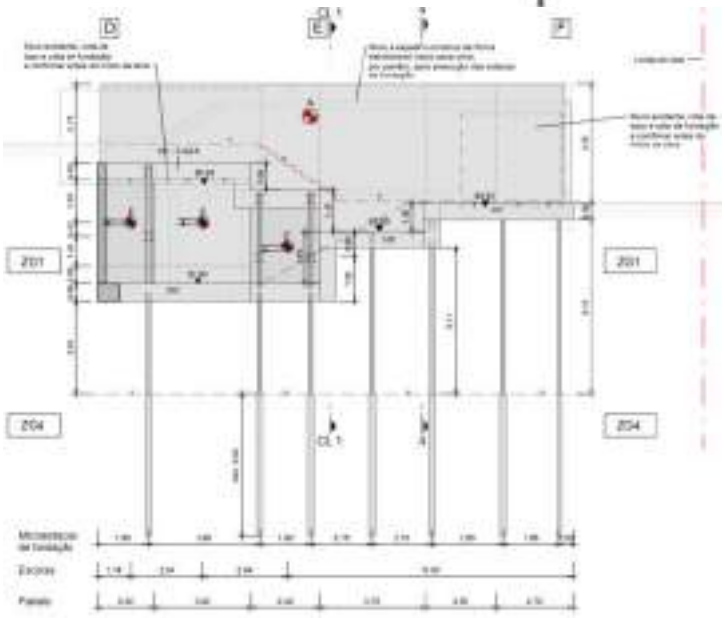


SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO, CONTENÇÃO PERIFÉRICA E FUNDAÇÃO

Muro de Berlim Definitivo:

- Microestacas
- Escoras metálicas de canto
- Viga de coroamento compatível com arruamentos e taludes provisórios

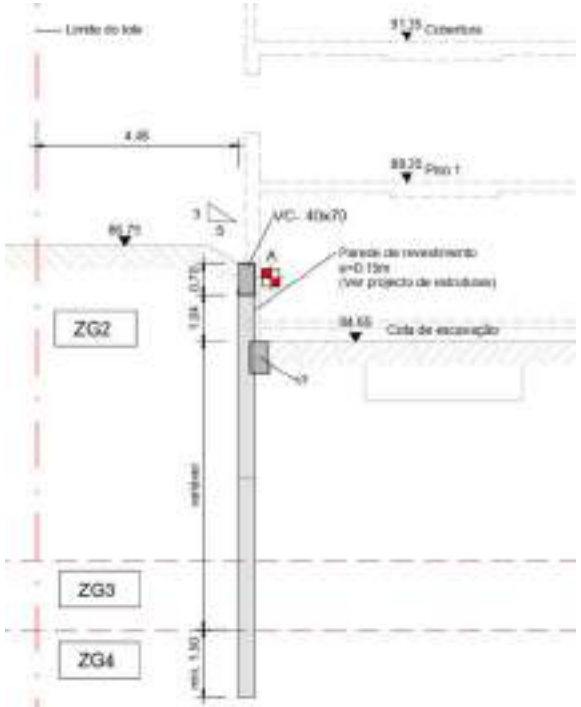




SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO, CONTENÇÃO PERIFÉRICA E FUNDAÇÃO

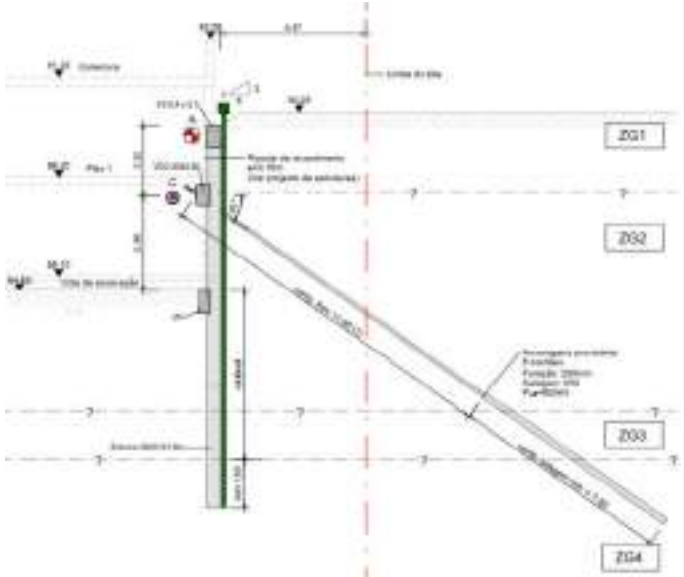
Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo da Cortina de Estacas

Secção Tipo 1



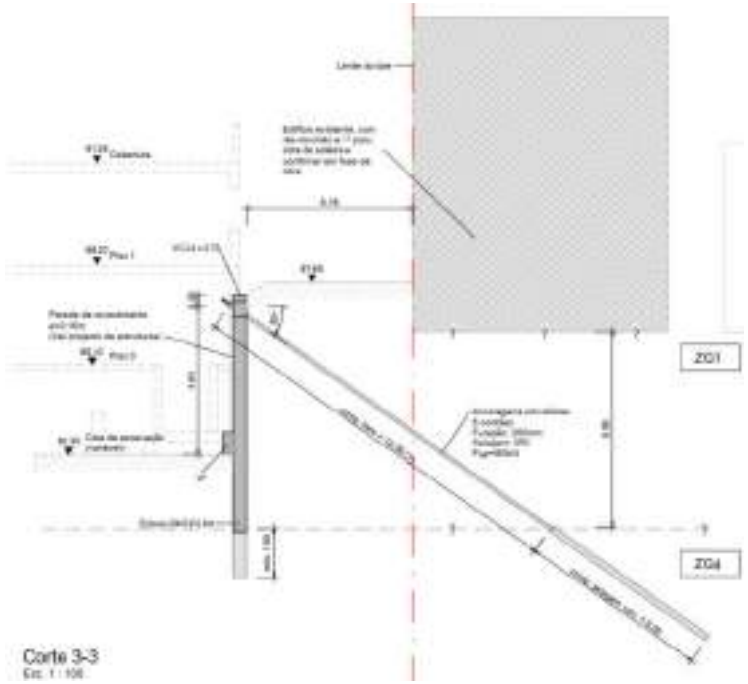
- ✓ Altura 1,7m → Ficha 3m e 1,5m em ZG4 (Nspt>60)
- ✓ Sem Travamentos

Secção Tipo 2



- ✓ Altura 5,2m → Ficha 3m e 1,5m em ZG4 (Nspt>60)
- ✓ 1 Nível de Ancoragem

Secção Tipo 3

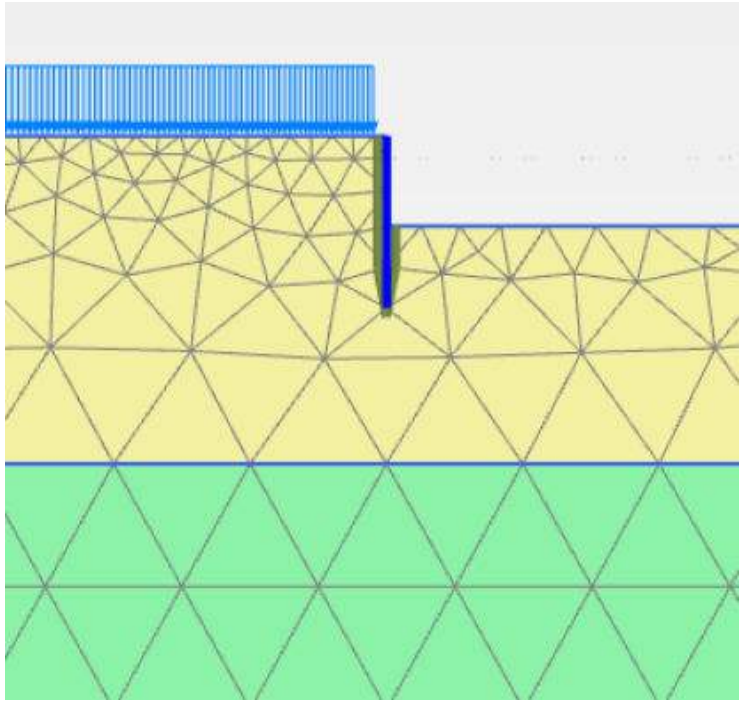


- ✓ Altura 5,0m → Ficha 3m e 1,5m em ZG4 (Nspt>60)
- ✓ 1 Nível de Ancoragem

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO, CONTENÇÃO PERIFÉRICA E FUNDAÇÃO

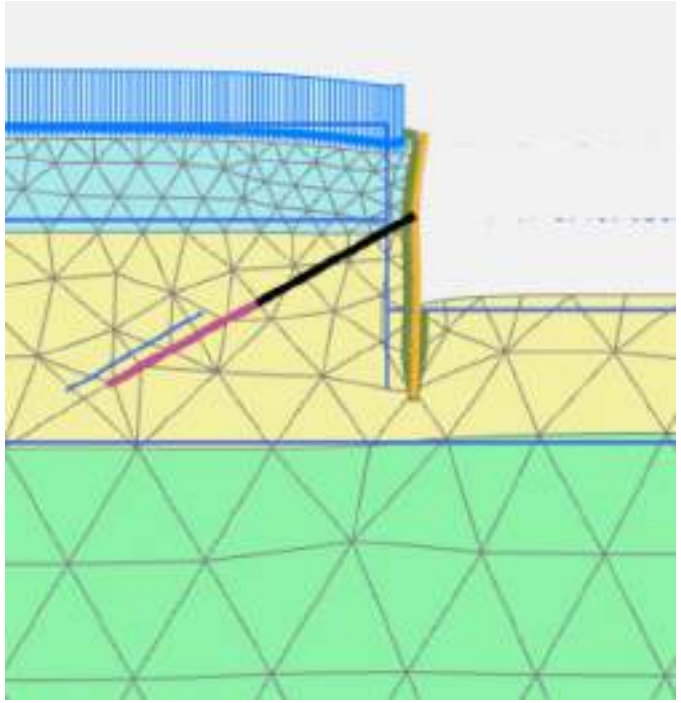
Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo PLAXIS 2D da Cortina

Secção Tipo 1



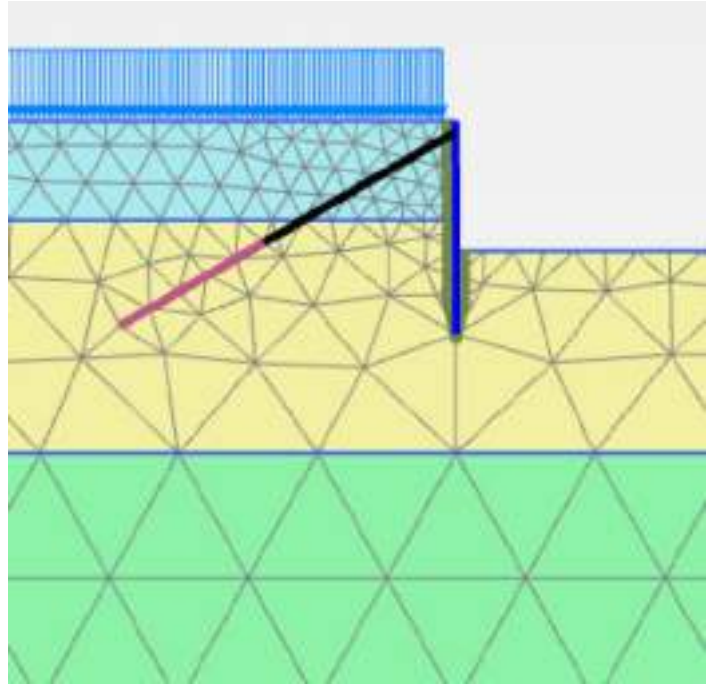
- ✓ Altura 1,7m → Ficha 3m e 1,5m em ZG4 (Nspt>60)
- ✓ Sem Travamentos

Secção Tipo 2



- ✓ Altura 5,2m → Ficha 3m e 1,5m em ZG4 (Nspt>60)
- ✓ 1 Nível de Ancoragem

Secção Tipo 3



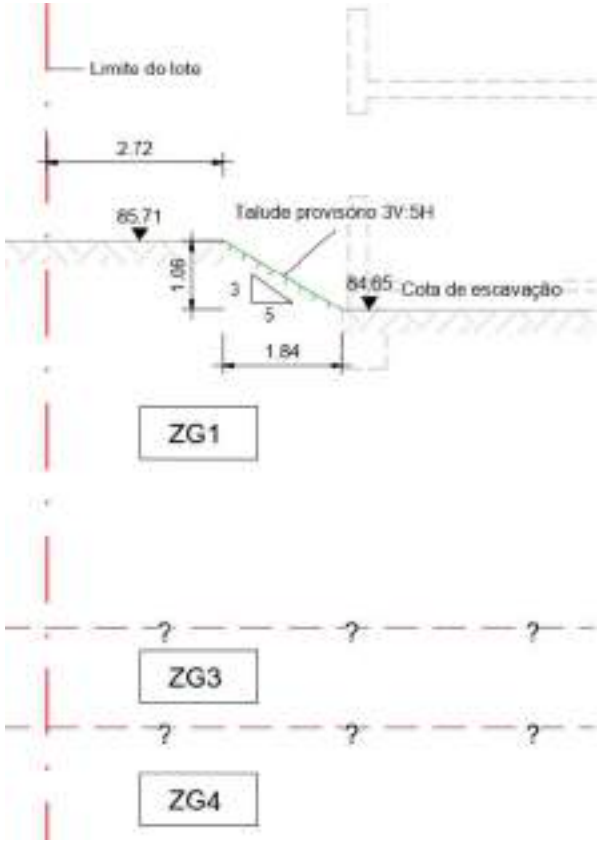
- ✓ Altura 5,0m → Ficha 3m e 1,5m em ZG4 (Nspt>60)
- ✓ 1 Nível de Ancoragem

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO, CONTENÇÃO PERIFÉRICA E FUNDAÇÃO

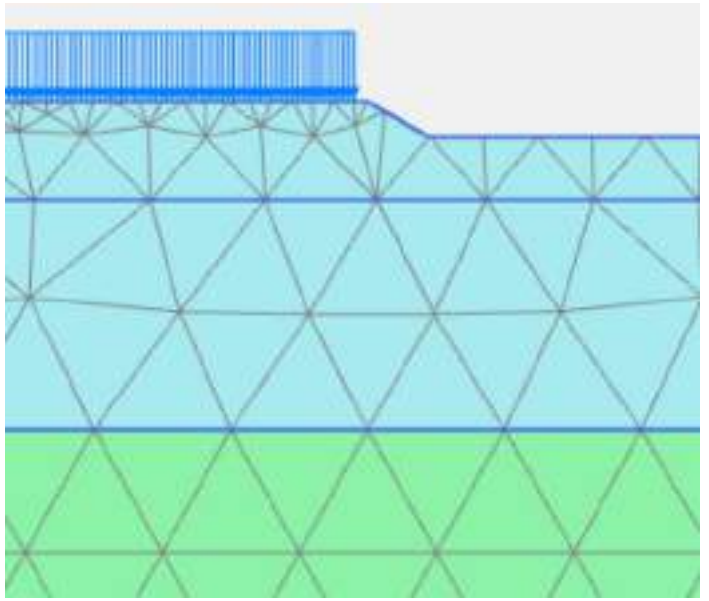
Modelos de Elementos Finitos: Secção Representativa de Cálculo do Talude provisório

- ✓ Altura 1,0m
- ✓ Talude provisório 3V:5H

Secção Tipo - Desenho



Secção Tipo - PLAXIS



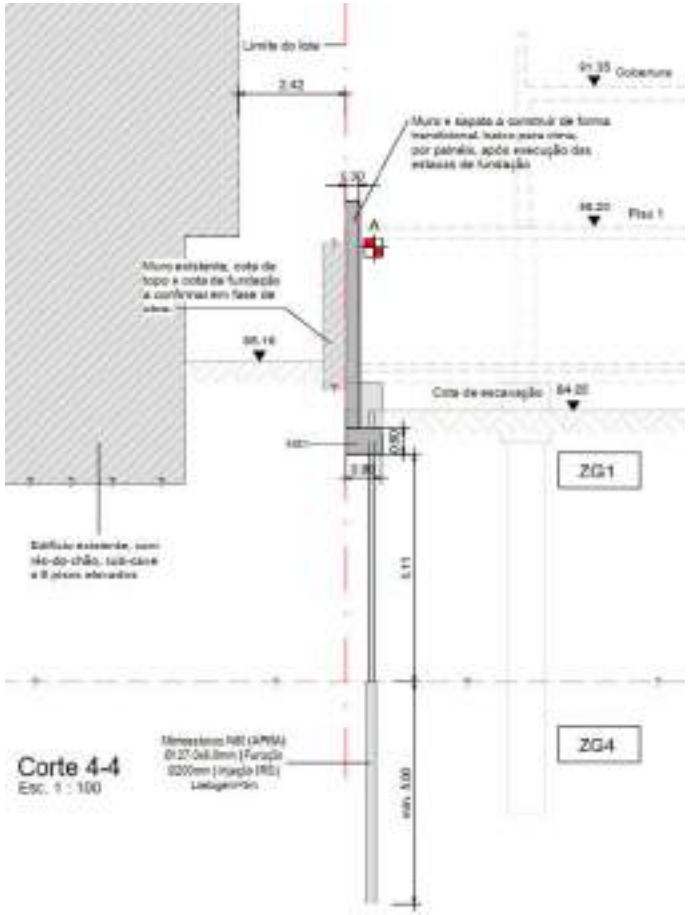
ΣM_{sf} 1,836

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO, CONTENÇÃO PERIFÉRICA E FUNDAÇÃO

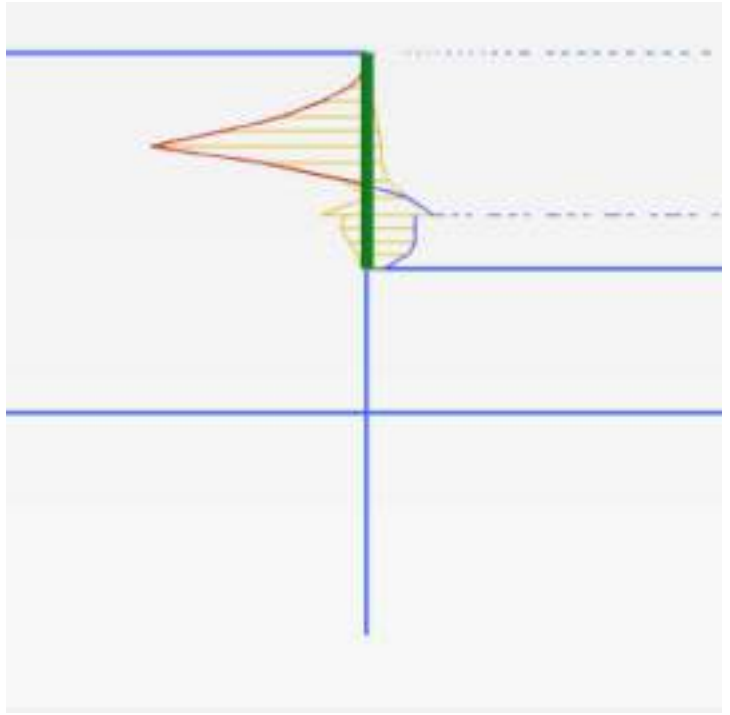
Modelos de Elementos Finitos: Secção Representativa de Cálculo do Muro de Berlim "Definitivo"

- ✓ Parede de 0,30m
- ✓ Altura 4,8m
- ✓ Microestacas N80 Ø127.0x9.0mm
- ✓ Selagem de 5m em ZG4 (Nspt>60)

Secção Tipo - Desenho



Secção Tipo - PLAXIS



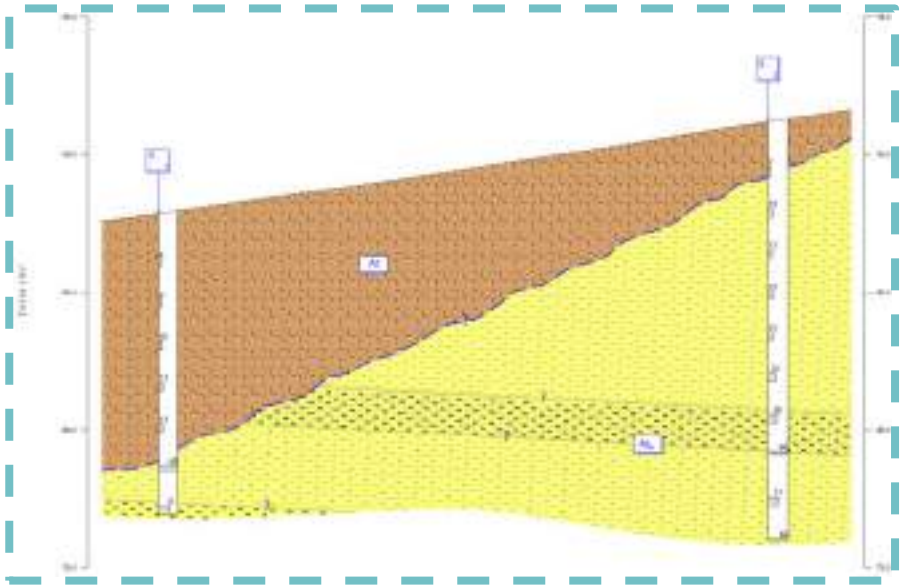
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO, CONTENÇÃO PERIFÉRICA E FUNDAÇÃO

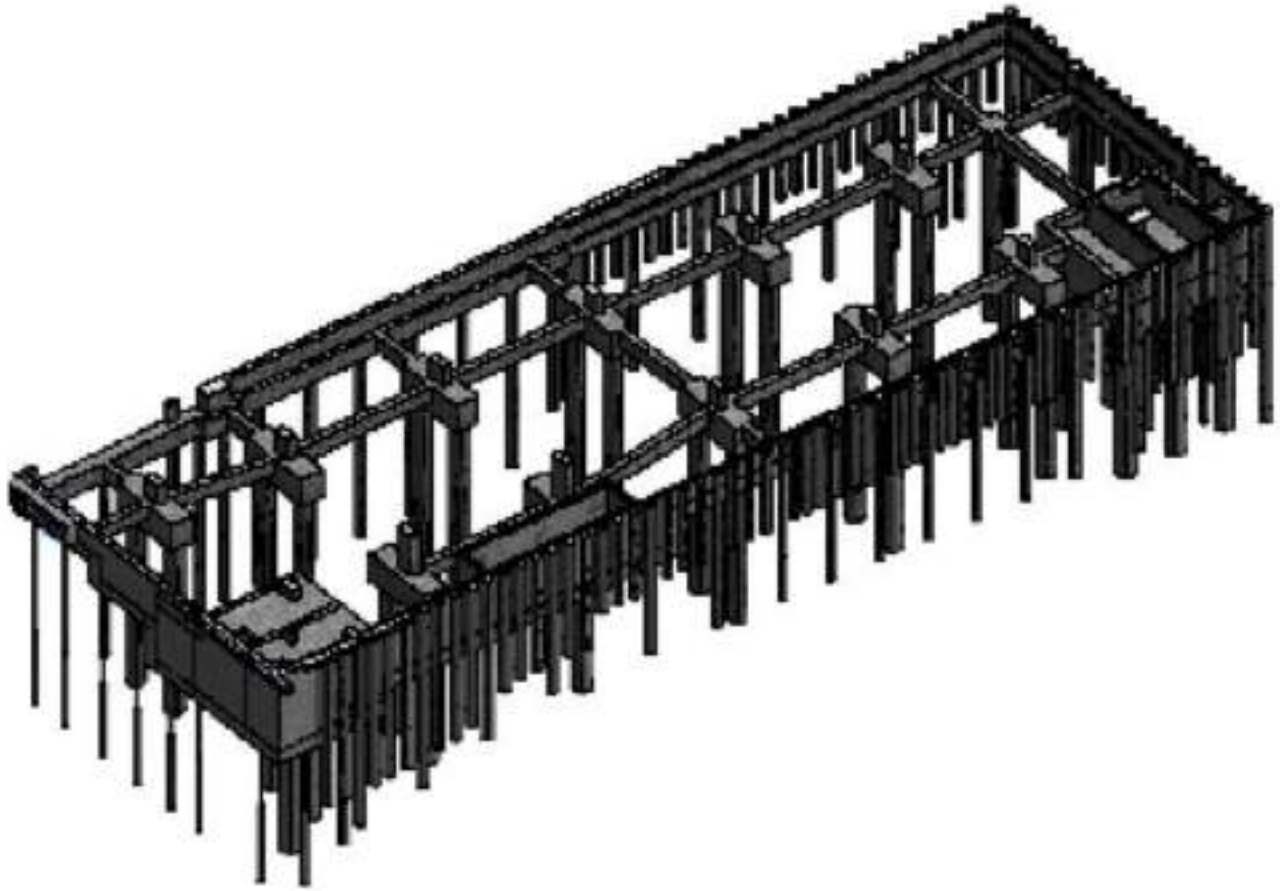
Condicionantes das Fundações:

- ✓ Espessura de aterros muito variáveis

⇩

- ✓ Assentamentos diferencias

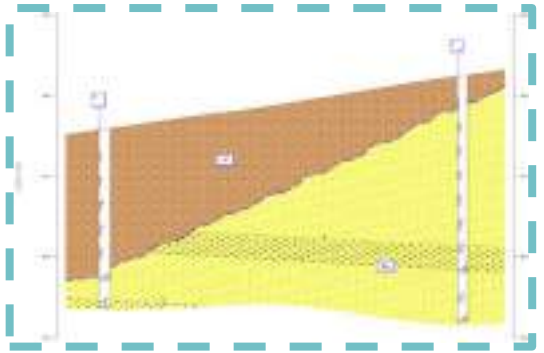


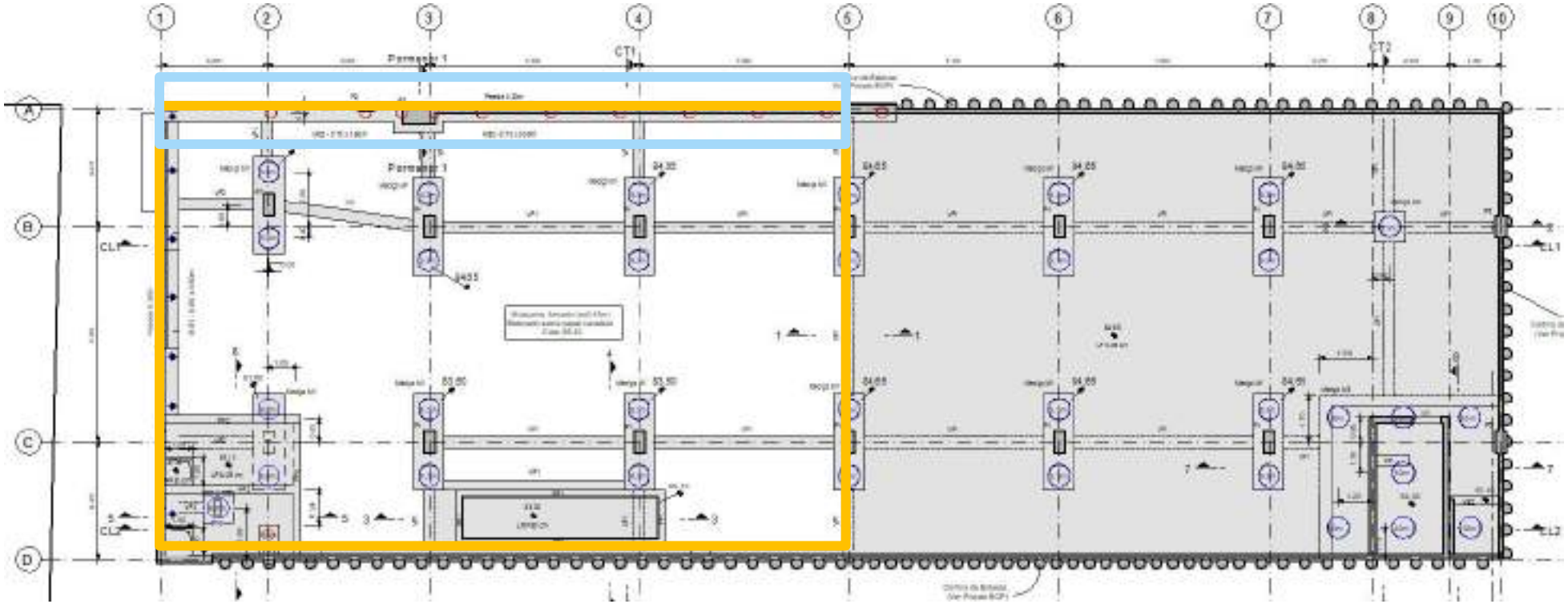


SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO, CONTENÇÃO PERIFÉRICA E FUNDAÇÃO

Fundações Indiretas:

- ✓ Massame armado de 0,15m de espessura do eixo 1 ao 5
- ✓ Maciços de 2 estacas de 0,80m com comprimentos de ~8m a 10m
- ✓ Estacas de 0,40m na zona do taludes provisório
- ✓ Vigas de fundação





SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO, CONTENÇÃO PERIFÉRICA E FUNDAÇÃO

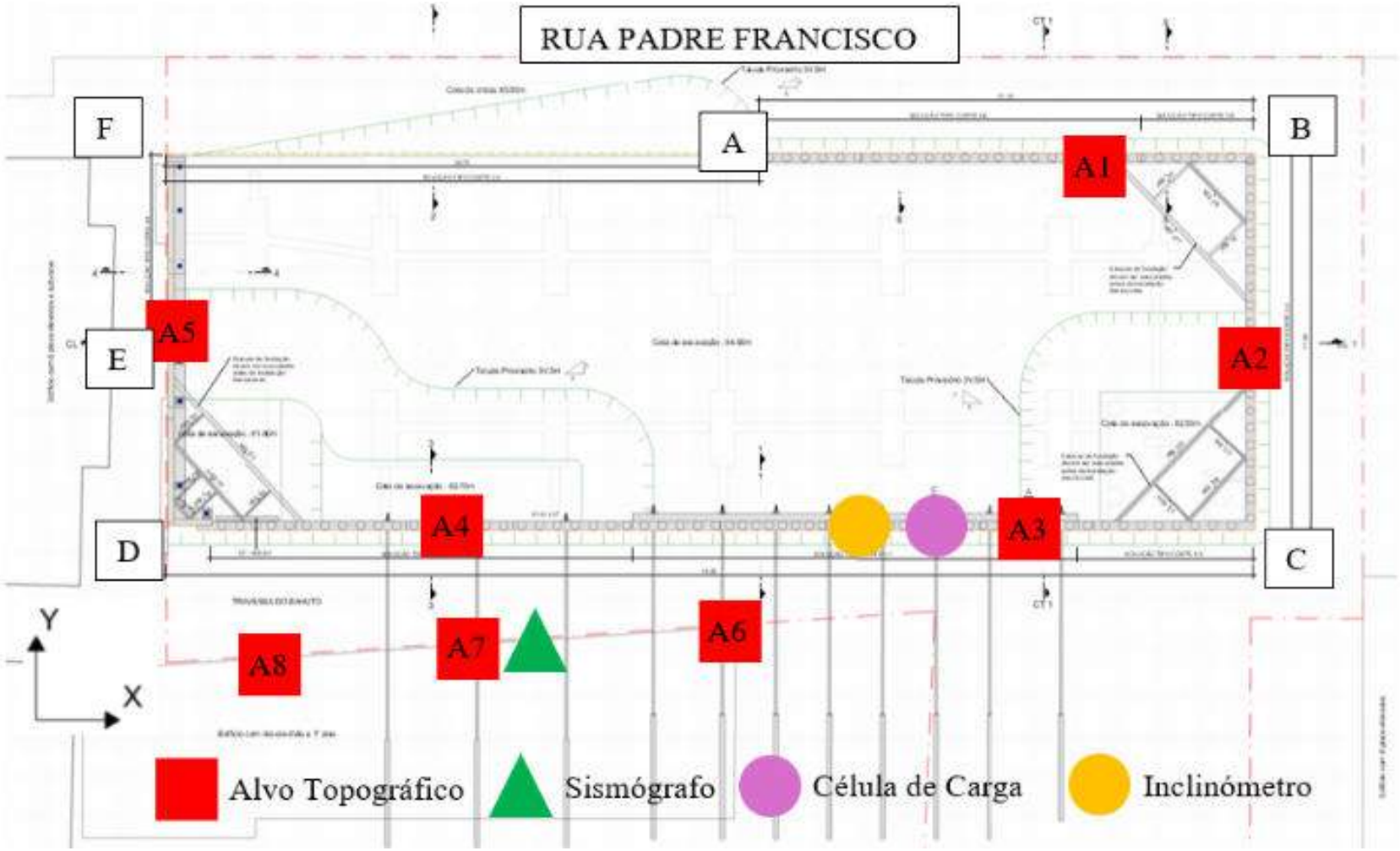
Fundações (Fotos)

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação, Contenção Periférica e Fundações
5. **Plano de Instrumentação e Observação**
6. Considerações Finais

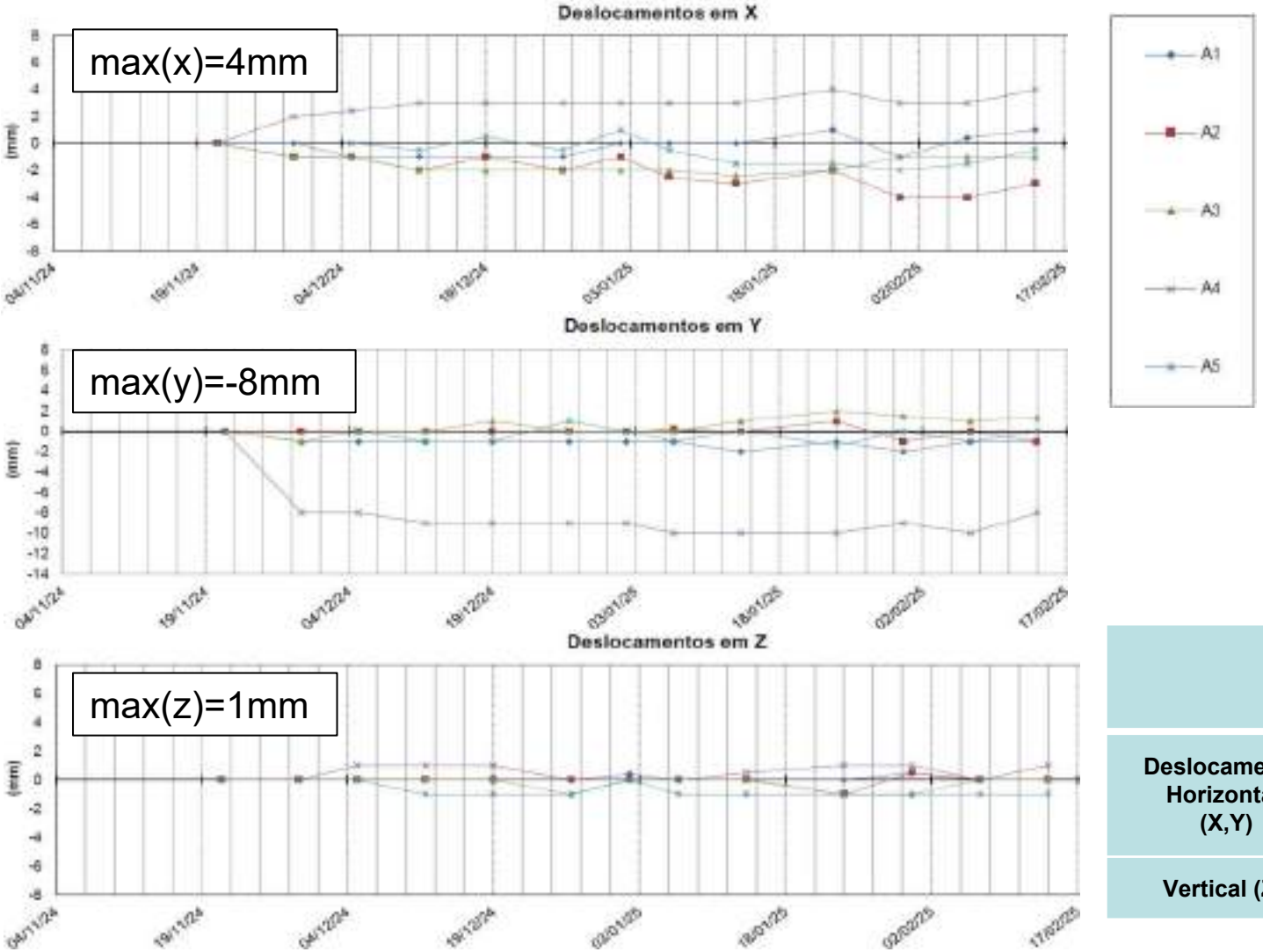
PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Localização dos dispositivos

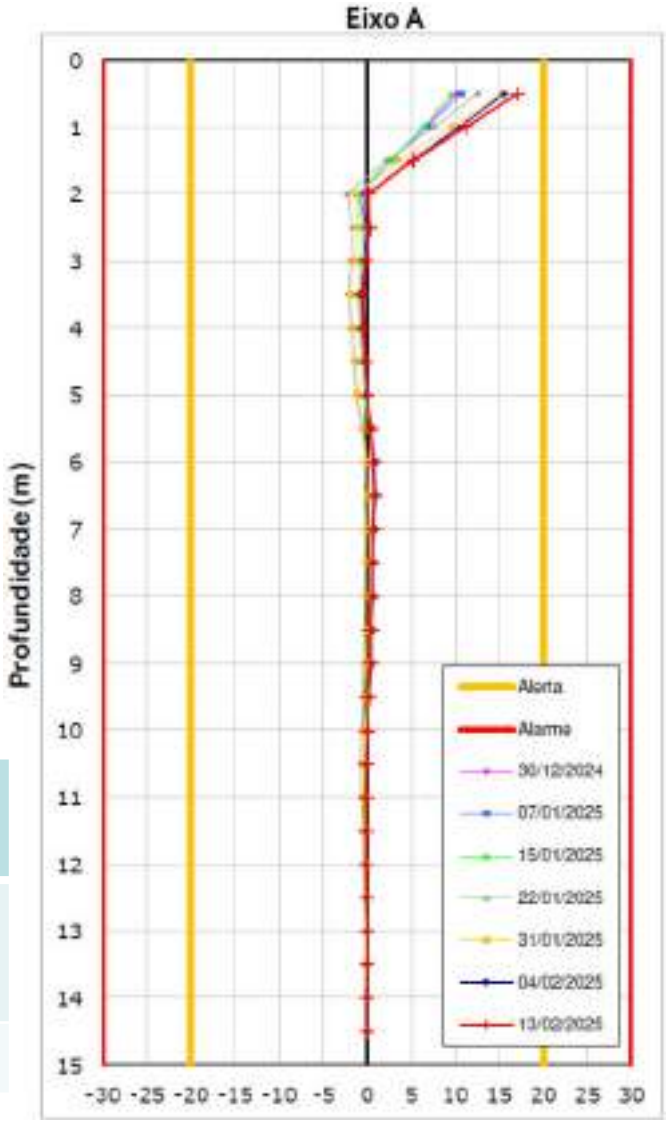


PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Resultados Alvos Topográficos e Inclinómetro:

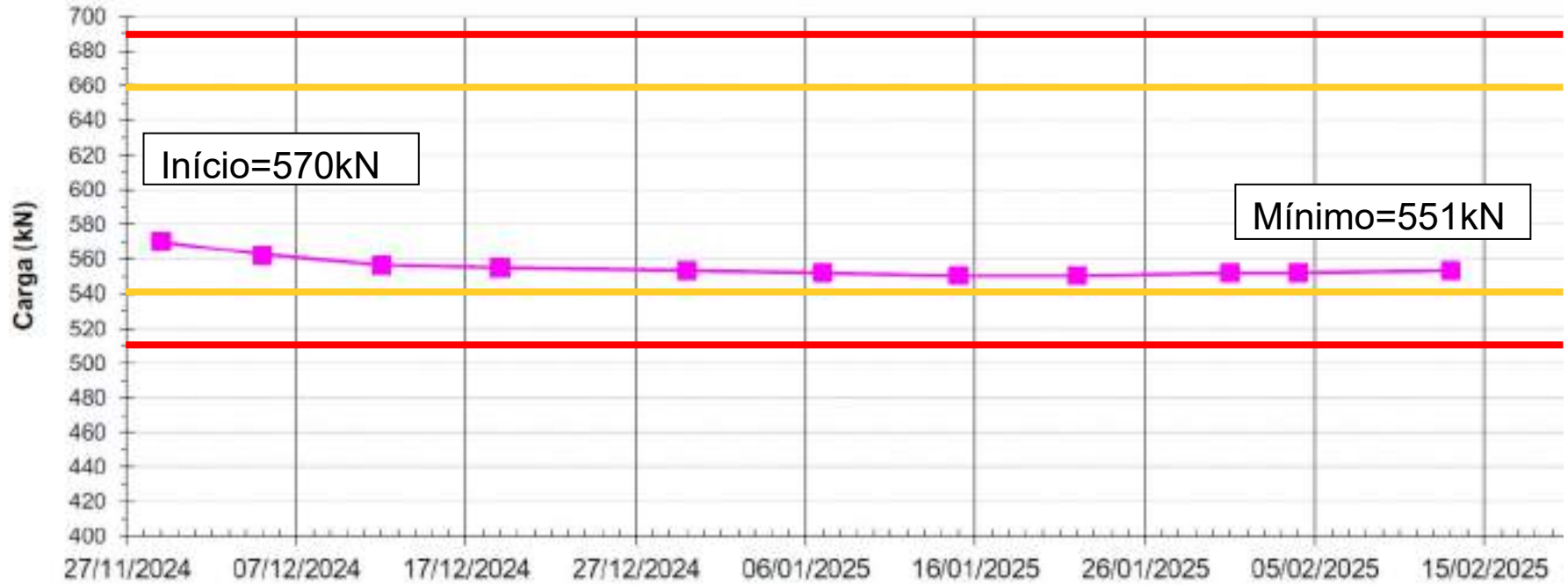


	Critério de Alerta	Critério de Alarme
Deslocamento Horizontal (X,Y)	20mm	30mm
Vertical (Z)	10mm	15mm



PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Resultados Células de Carga:



ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação, Contenção Periférica e Fundações
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. **Considerações Finais**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

JET SJ
Obrigado pela vossa atenção

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTEÇÃO PERIFÉRICA EMPREENDIMENTO 24 DE JULHO

Manuel Domingues/ JETsj Geotecnia
Ricardo Justiniano/ JETsj Geotecnia

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

JETsJ

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Faseamento Construtivo
6. Processos Construtivos
7. Plano de Instrumentação e Observação

ÍNDICE

1. **Introdução**
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Faseamento Construtivo
6. Processos Construtivos
7. Plano de Instrumentação e Observação

INTRODUÇÃO

EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO

Fachada a preservar

3 pisos enterrados

Área: 450m^2

Altura máxima: 9,0 m

Escavação: 4050 m^3

ÍNDICE

1. Introdução
2. **Principais Condicionamentos**
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Faseamento Construtivo
6. Processos Construtivos
7. Plano de Instrumentação e Observação

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

Escavação em Meio Urbano

⇩

Multiplicidade de Condicionantes

⇩

- Arquitetónicos
- Edifícios vizinhos

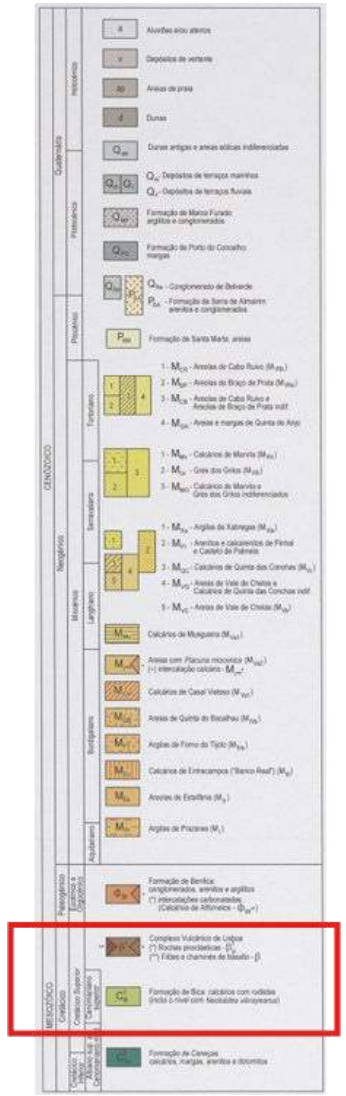
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. **Estudo Geológico-Geotécnico**
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Faseamento Construtivo
6. Processos Construtivos
7. Plano de Instrumentação e Observação

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000

- Zona de contacto entre solos entre o Complexo Vulcânico de Lisboa e Formação de Bica



Fonte: GeoPortal

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

No local de implantação da obra encontram-se os seguintes materiais:

- Solos do Cretácico Superior:
  - Complexo Vulcânico de Lisboa – Rochas piroclásticas (β_p^1)
  - Formação de Bica – Calcários com rudistas (C_{Bi}^2)

Fonte: Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, Folha 34D - Lisboa

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Plano de Prospeção Geológico-Geotécnico

Base

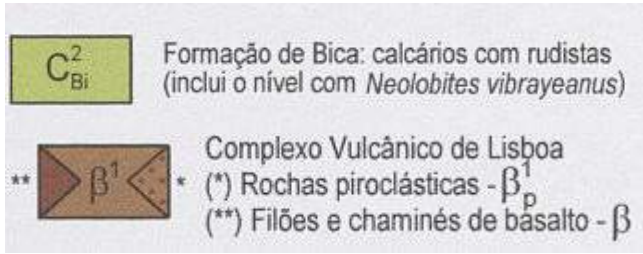
Fevereiro de 2019 :

- ✓ 5 Sondagens Geotécnicas à rotação com ensaios SPT
- ✓ 3 Piezómetros

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Estratigrafia Observada

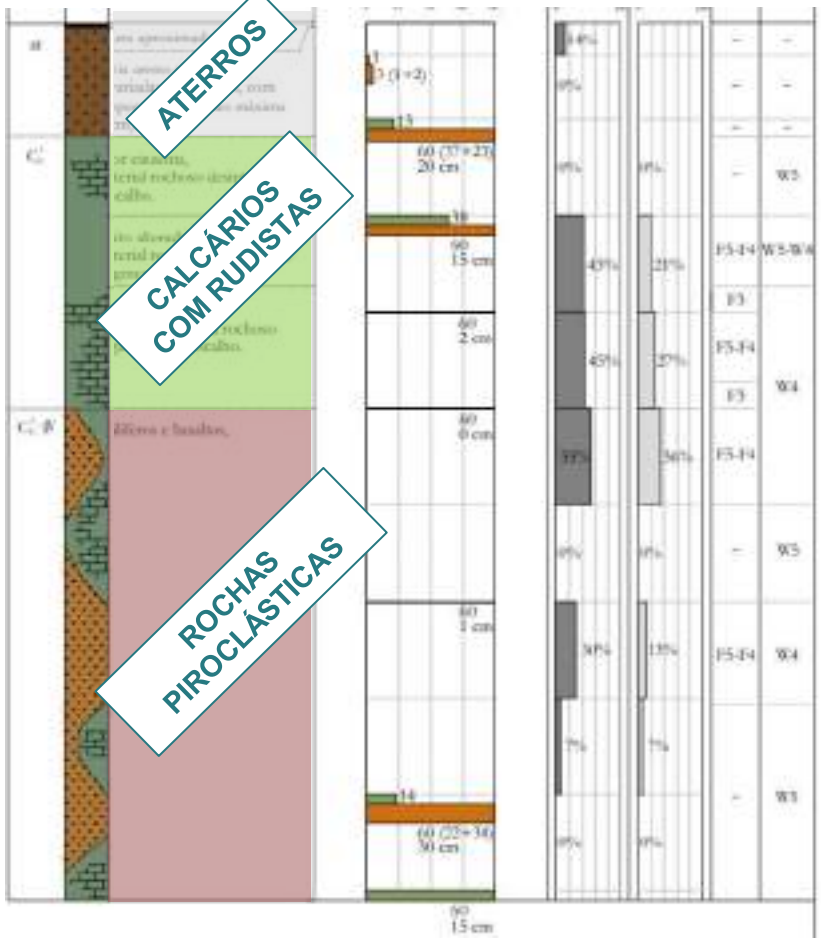
ESTRATIGRAFIA		SÍMBOLO	LITOLOGIA	
RECENTE	Depósitos de Aterro	At	Aterros	Aterro heterogéneo de solos de aparência areno-siltosa com contaminação orgânica e resíduos de construção
CRETÁCICO SUPERIOR	Formação de Bica	C_{Bi}^{2}	Calcários com rudistas	Calcário margoso a ligeiramente margoso, fossilífero, de cor cinzenta, decomposto (W5) a pouco alterado (W2)
	Complexo Vulcânico de Lisboa	β_{p}^{1}	Rochas piroclásticas	Zona de contacto entre calcários margosos fossilíferos e basaltos, decompostos a muito alterados (W5-W4)



ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Sondagens Geotécnicas:

O exemplo da Sondagem 3



ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

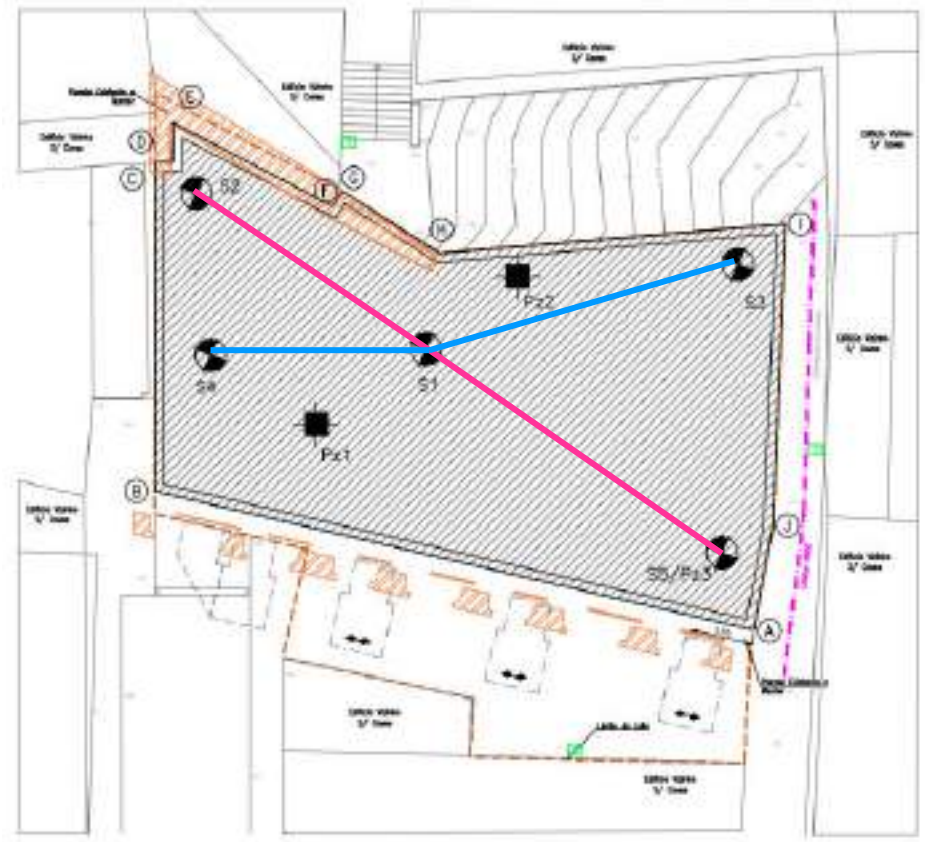
Caracterização Geomecânica

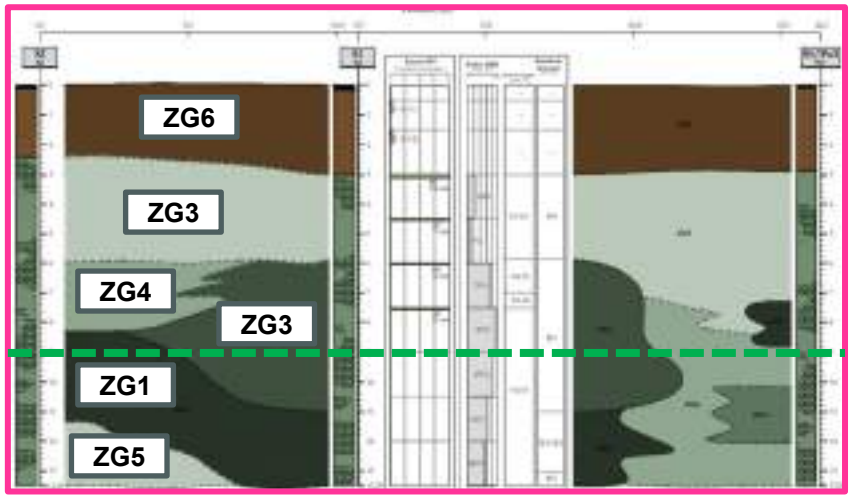
Horizonte e Formações	Intervalos RMR	γ [kN/m³]	c' [kPa]	ϕ [°]	E [MPa]
ZG6 Aterro heterogéneo	-	18	1	26	5
ZG5 Calcário margoso a ligeiramente margoso e basaltos	15 a 23	24	160	26	80
ZG4 Calcário margoso a ligeiramente margoso	20 a 25	25	750	28	100
ZG3 Calcário margoso a ligeiramente margoso	35 a 45	25	1160	29	115
ZG2 Calcário margoso a ligeiramente margoso	44 a 52	26	1550	31	120
ZG1 Calcário margoso a ligeiramente margoso	60 a 74	26	2000	33	125

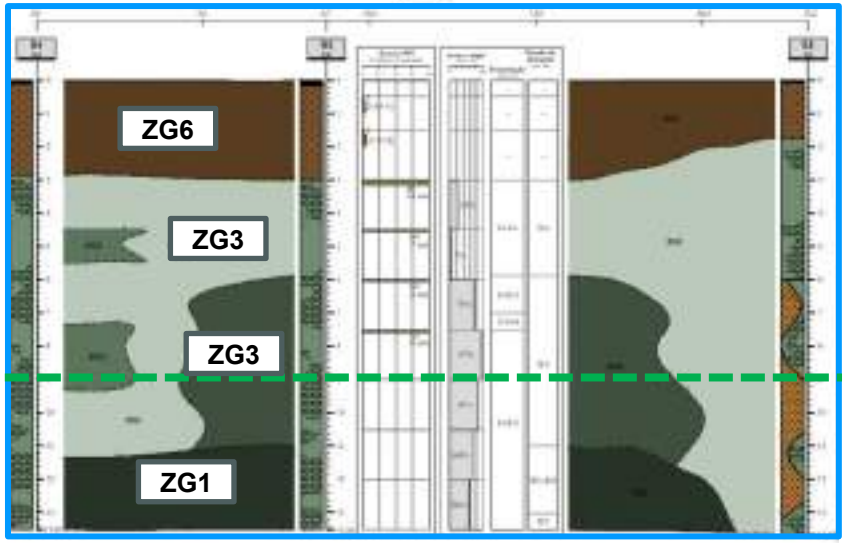
ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Zonamento Geológico-Geotécnico

Cota de fundo de escavação







ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. **Soluções de Escavação e Contenção Periférica**
5. Faseamento Construtivo
6. Processos Construtivos
7. Plano de Instrumentação e Observação

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

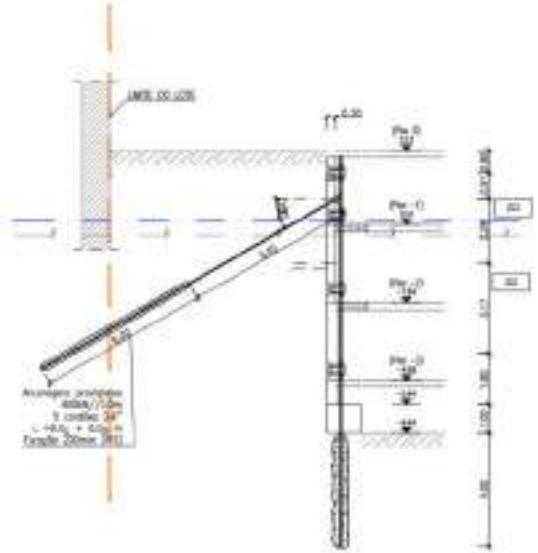
Berlim Provisório 300mm + colunas de calda de cimento ϕ300 mm :

- Ancoragens
- Banda de laje

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelo de Elementos Finitos: Secção Representativa de Cálculo

Secção Tipo 1: Muro de Berlim com ancoragens e mini-banda de laje

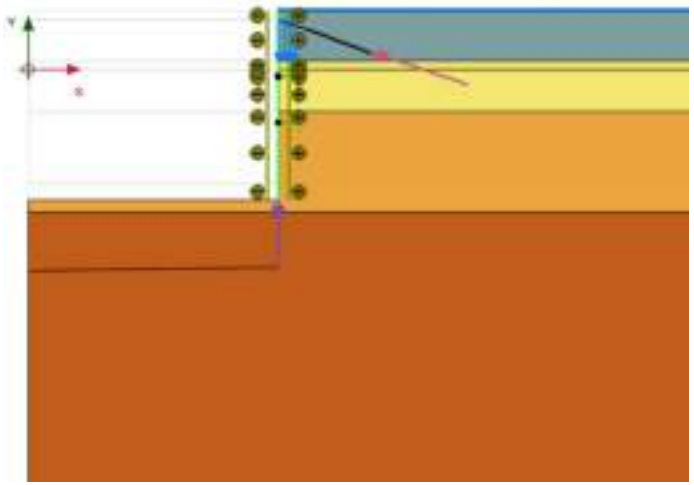


- ✓ Profundidade de escavação - 9,0m
- ✓ 1 Nível de Ancoragens
- ✓ 2 Níveis de banda de laje

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo PLAXIS 2D

Secção Tipo 1: Muro de Berlim com ancoragens e mini-banda de laje

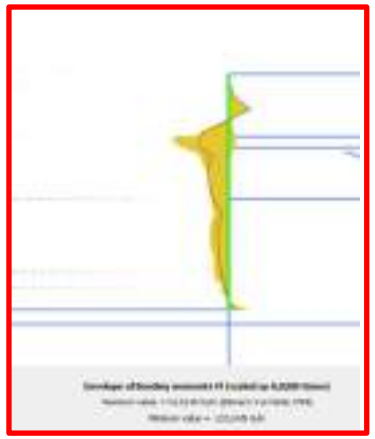


- ✓ Profundidade de escavação – 9,0m
- ✓ 1 Nível de Ancoragens
- ✓ 2 Níveis de banda de laje

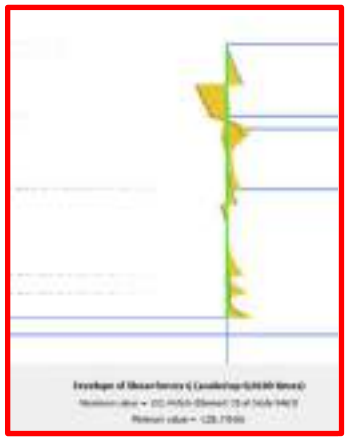
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Resultados PLAXIS 2D

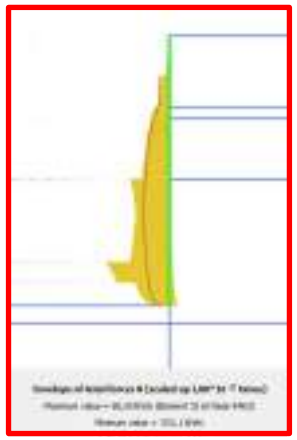
Momento Fletor



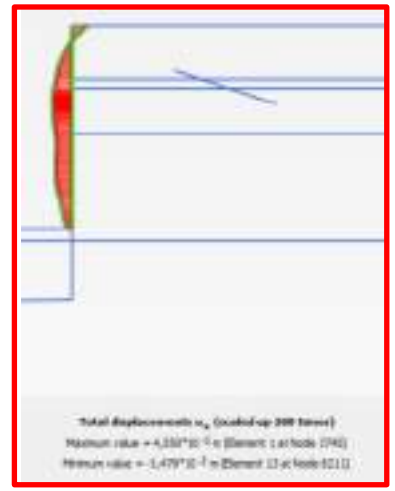
Esforço Transverso



Esforço Normal



Deformação Horizontal



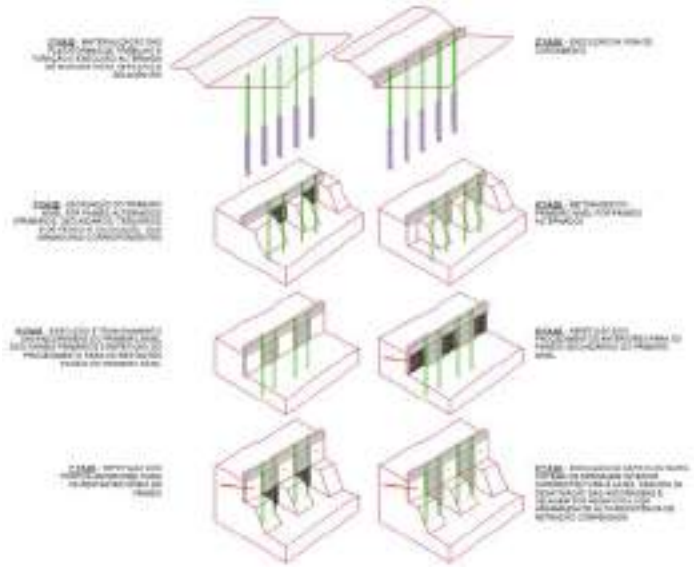
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. **Faseamento Construtivo**
6. Processos Construtivos
7. Plano de Instrumentação e Observação

FASEAMENTO CONSTRUTIVO

- ✓ **Berlim definitivo esp.30cm + colunas de calda de cimento ϕ300 mm**

1. Execução das colunas de calda de cimento com afastamento de 30cm entre eixos, cujo o comprimento deverá garantir uma entrega mínima de 1m nas formações do Miocénico ou Complexo Vulcânico de Lisboa;
2. Execução das microestacas e execução da viga de coroamento;
3. Escavação e montagem das armaduras dos painéis primários, deixando banquetas nos painéis secundários;
4. Execução dos travamentos dos painéis;
5. Execução dos pontos 3 e 4 nos painéis secundários;
6. Escavação sucessiva até se atingir a cota de fundação, acompanhado o faseamento da escavação implementadas nas fases 3 a 5 ;
7. Execução das sapatas de fundação.



ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Faseamento Construtivo
6. **Processos Construtivos**
7. Plano de Instrumentação e Observação

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

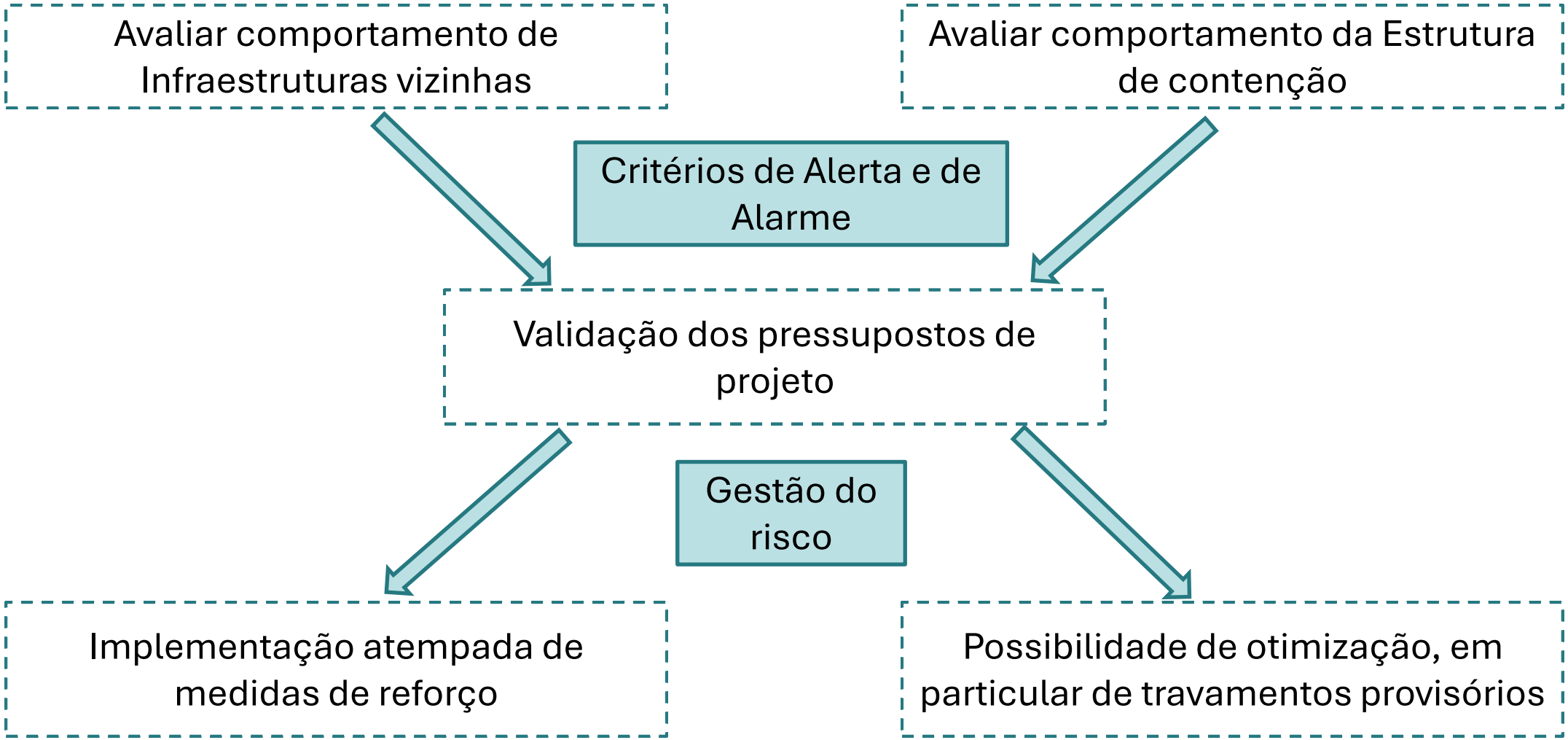
Escavação Berlim Definitivo

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Faseamento Construtivo
6. Processos Construtivos
7. **Plano de Instrumentação e Observação**

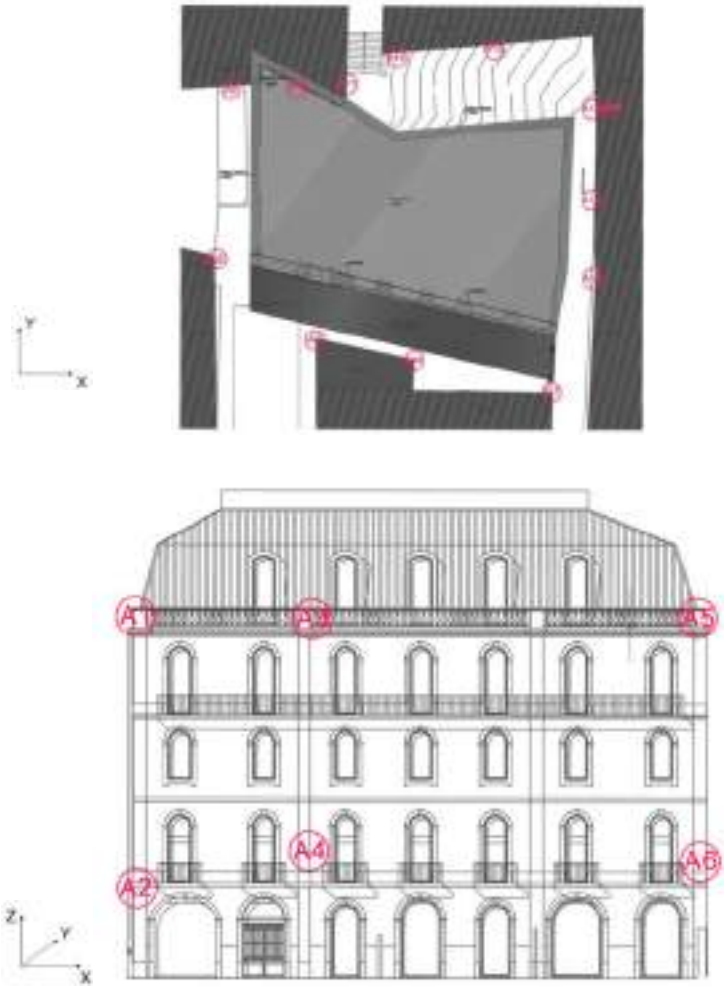
PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

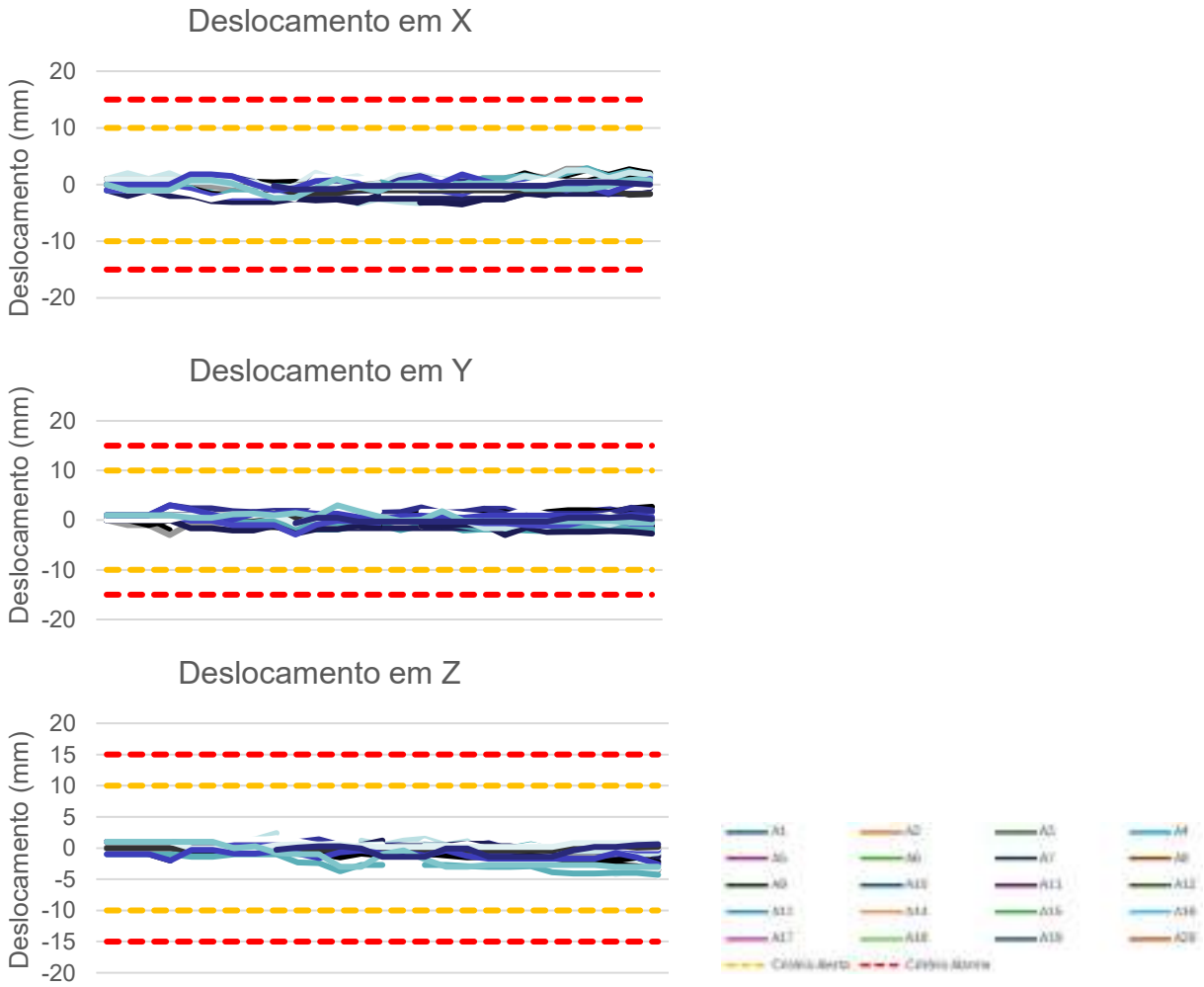
Objetivos do Plano de Instrumentação e Observação



PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Resultados: Alvos topográficos





JET SJ
Obrigado pela vossa atenção
Agradecimentos
PRÍME
CRAFTED PLACES

DESEMPENHO DE MICROESTACA À TRAÇÃO POR MEIO DE PROVA DE CARGA E SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Thaís Maria Leite Paludeto/ JETsj Geotecnia
André Henriques/ JETsj Geotecnia

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

JETsj

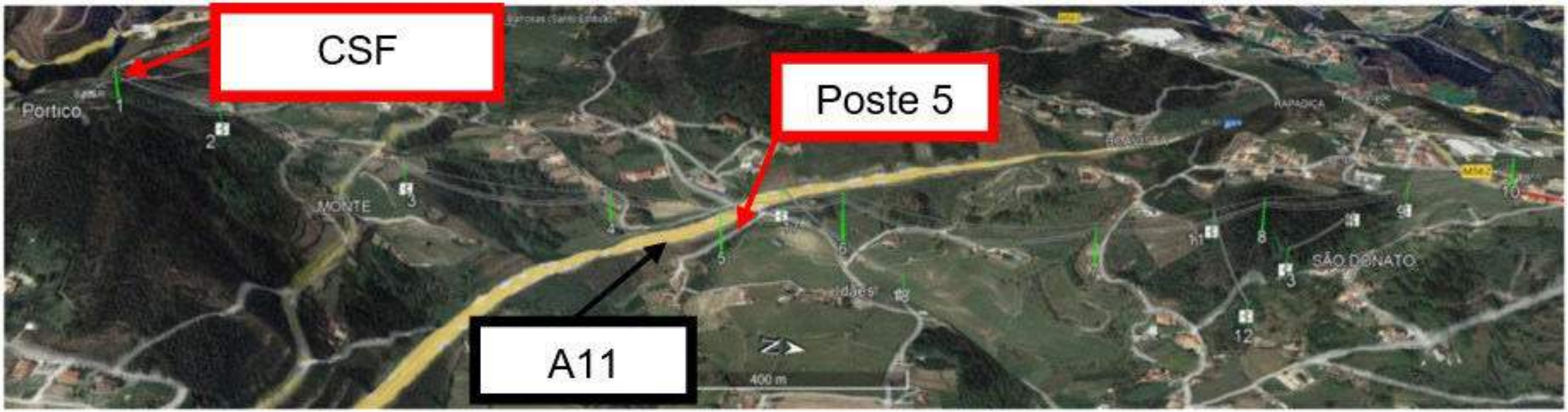
Sociedade Portuguesa de Geotecnia

ÍNDICE

1. Introdução
2. Enquadramento Geológico-Geotécnico
3. Microestaca do Ensaio
4. Prova de Carga à Tração
5. Modelação Númerica
6. Considerações Finais

1. INTRODUÇÃO

Objetivos: avaliar o desempenho à tração da microestaca definida em projeto para fundação do **Poste 5** pertencente à linha de ligação da Central Solar Fotovoltaica de Felgueiras (CSF Felgueiras) com a subestação de Sousa (SE Sousa), denominada de LN60 kV 1552 CSF Felgueiras – SE Sousa



2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO

Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000

- A unidade geológica é composta por Granodiorito de Felgueiras.

Prospeção Geológico-Geotécnico

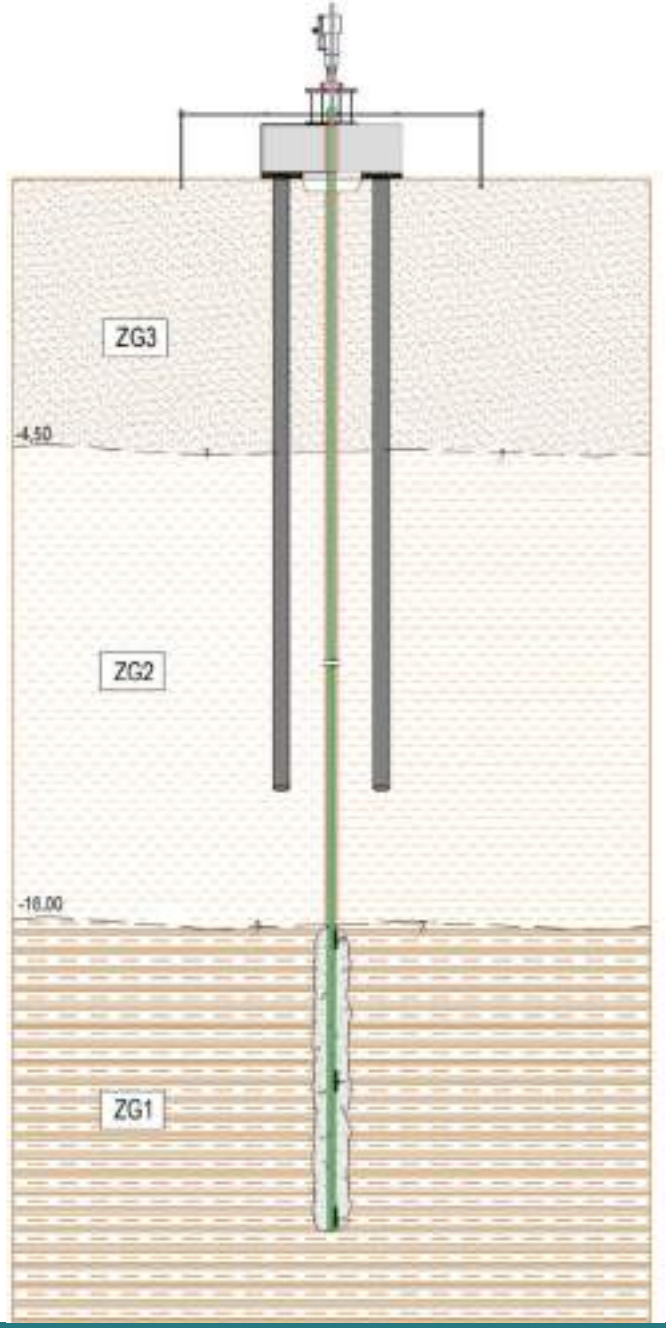
- 1 Sondagens Geotécnicas à rotação com amostragem contínua;
- Ensaios SPT em profundidade.

Zona Geotécnica	Litologia	N_{SPT}	γ (kN/m3)	c' [kPa]	φ' [°]	E [MPa]
ZG3	Aluvião silto-argiloso	5-12	16	-	20	5
ZG2	Granodiorito decomposto Argilas siltosas	12-36	19	5	35	20
ZG1	Granodiorito decomposto Areia de grão médio a grosseiro	60	21	30	38	70

Fonte: Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, Folha 09-B - Porto

3. MICROESTACA DO ENSAIO

- Microestaca: Ø127 × 10 mm - Aço N80 (API 5A)
- Comprimento Total: 23,00m (18,00m Livre + 5,00m Selagem)
- Diâmetro de Furação: Ø250mm - injeção IRS
- Reforço: varão GEWI de Ø63,5 mm
- Instrumentação: 3 níveis de *strain gauges*
  fixados com abraçadeiras de *nylon*



4. PROVA DE CARGA À TRAÇÃO

SISTEMA DE REAÇÃO

- Maciço de betão armado pré-fabricado (2,3 × 2,3 × 0,8 m)
- Macaco hidráulico
- Defletómetros
- Viga de referência

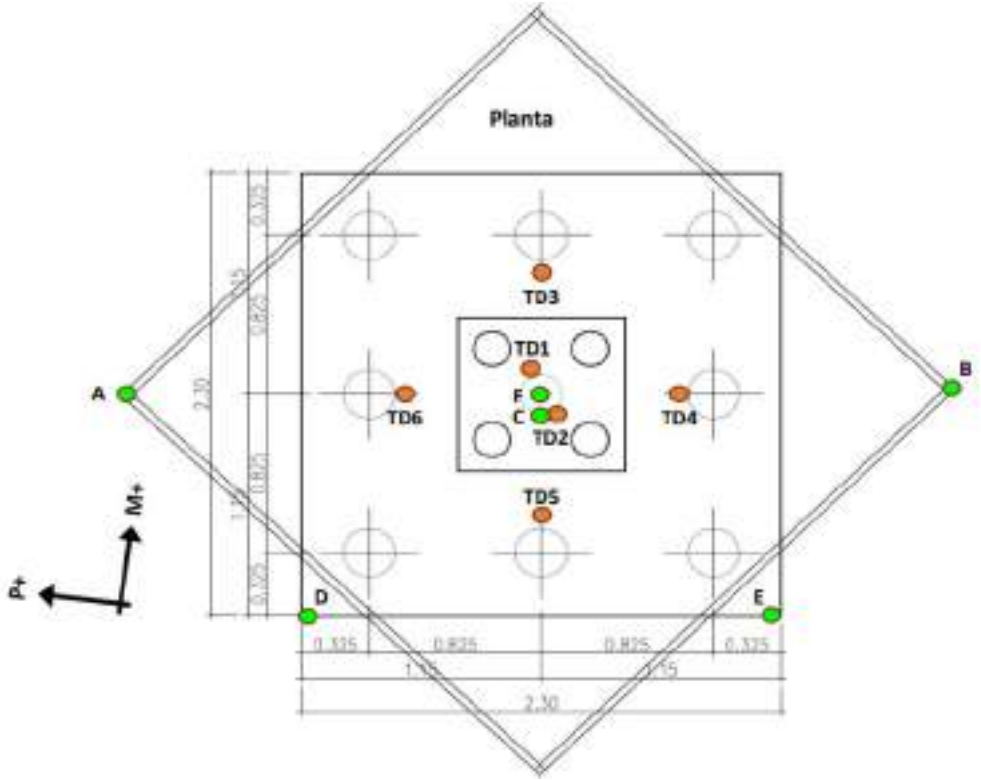
DESAFIOS

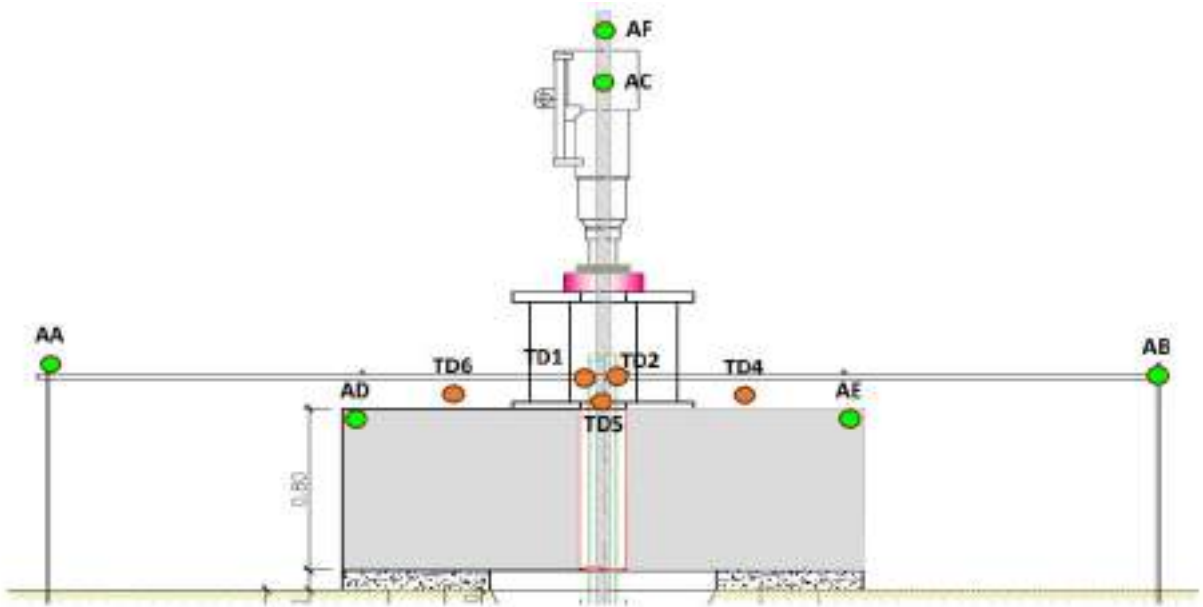
- Utilizar o maciço pré-fabricado
- Baixa resistência superficial do solo (50kPa)
- 8 colunas de calda de cimento de ∅250mm de diâmetro

e com 10,00m de profundidade.

4. PROVA DE CARGA À TRAÇÃO

SISTEMA DE REAÇÃO - INSTRUMENTAÇÃO

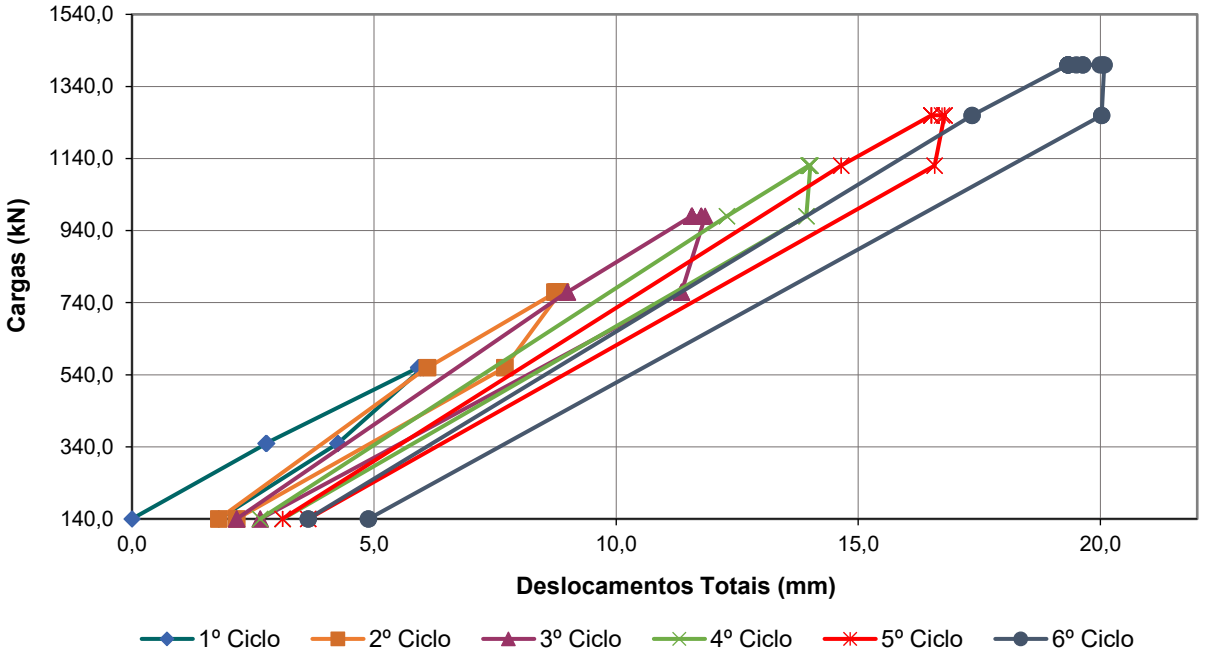


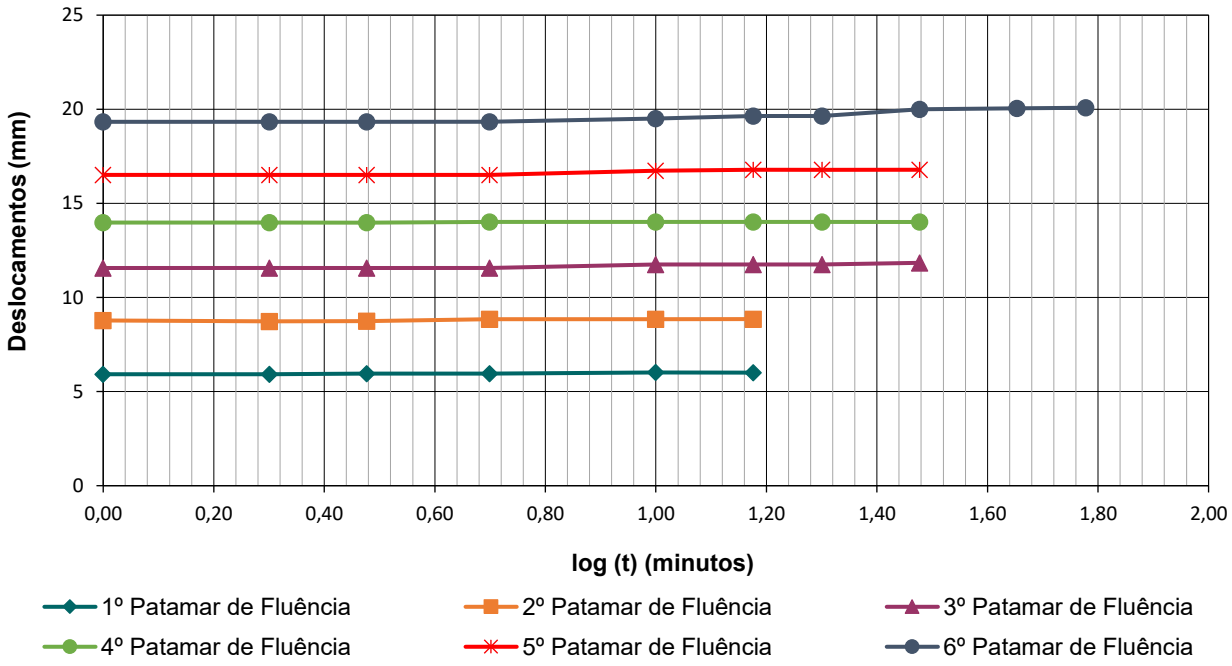


4. PROVA DE CARGA À TRAÇÃO

RESULTADOS

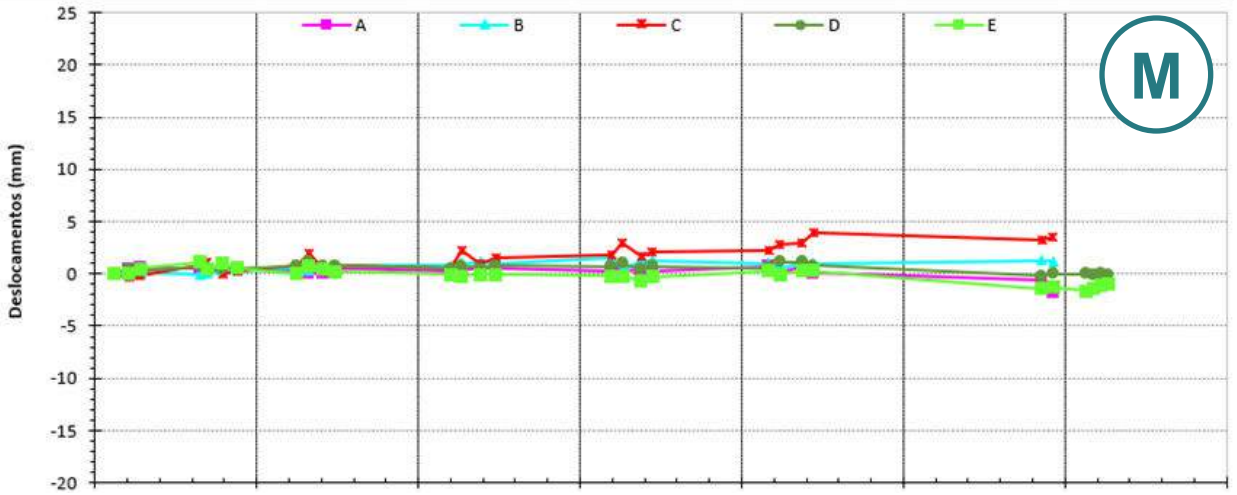
- Carga de ruptura teórica: 1400kN
- 6 ciclos de carga

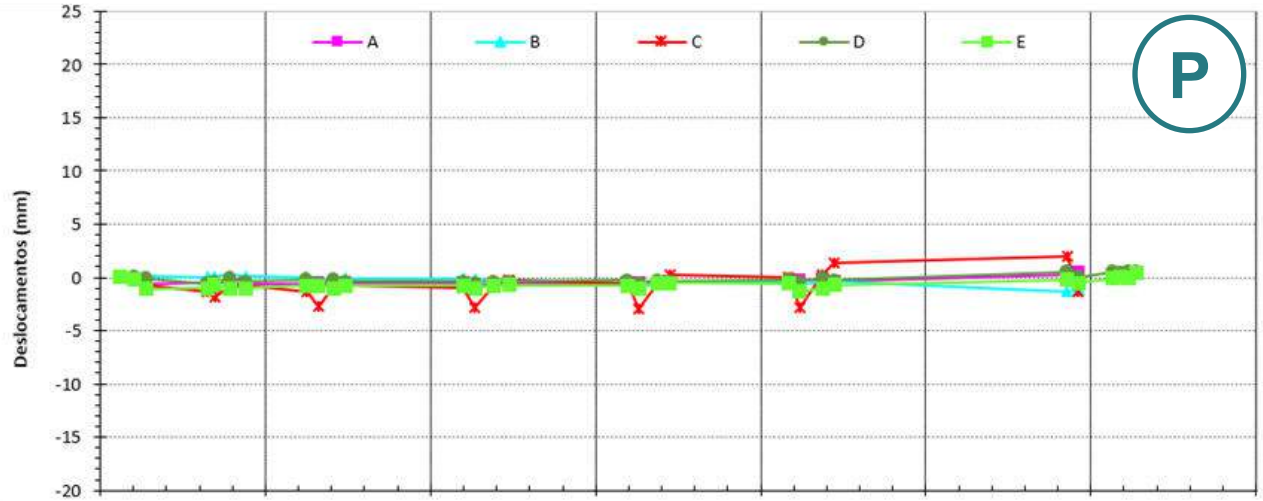


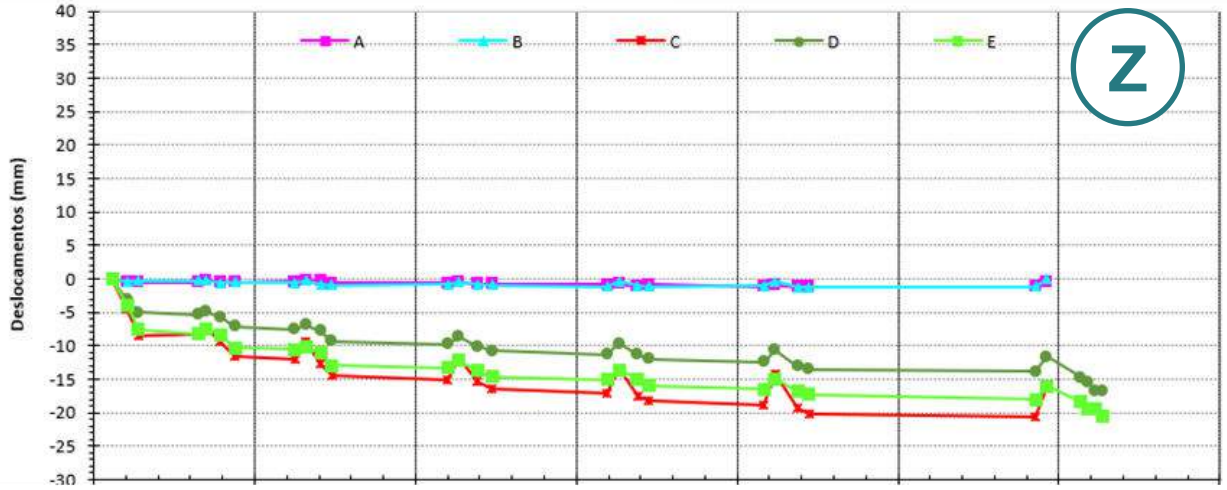


4. PROVA DE CARGA À TRAÇÃO

RESULTADOS – ALVOS TOPOGRÁFICOS

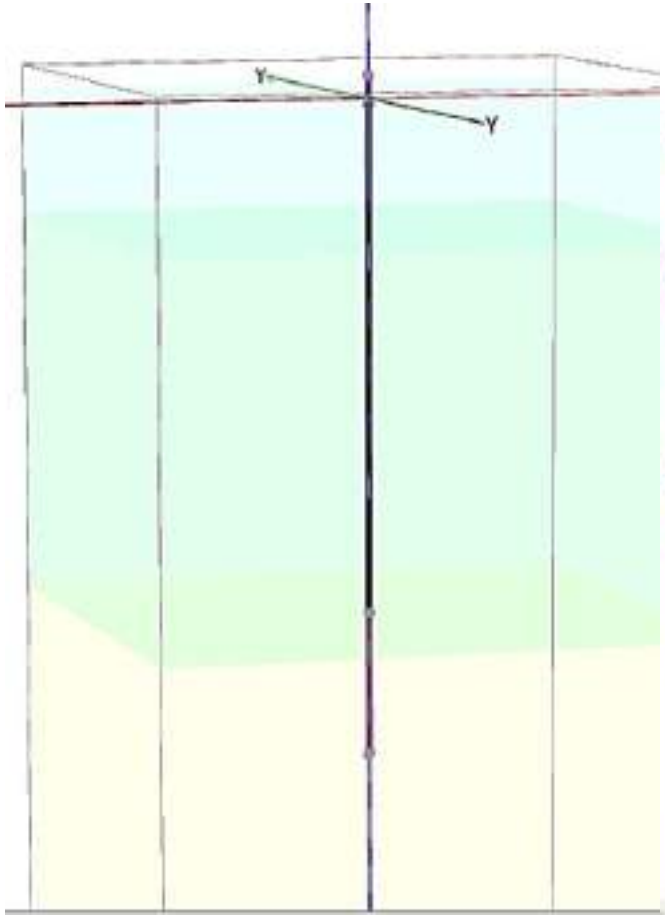


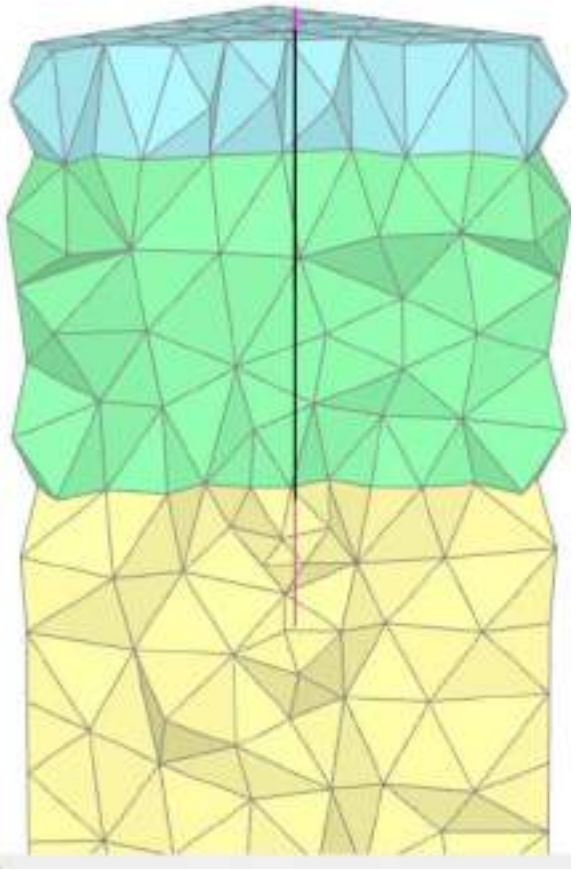


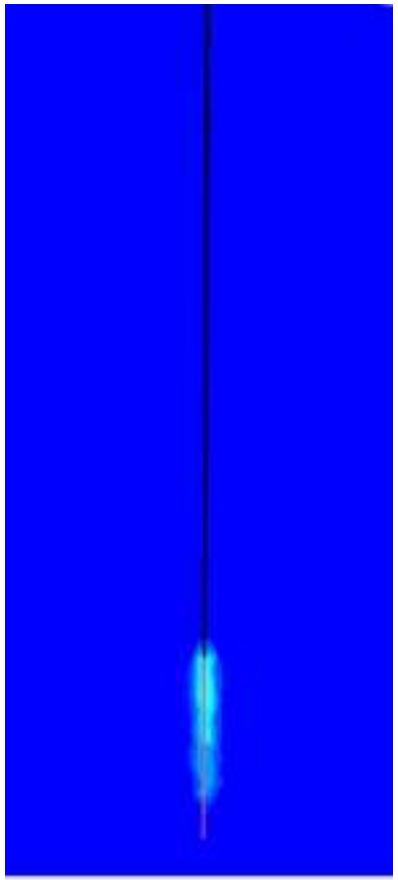


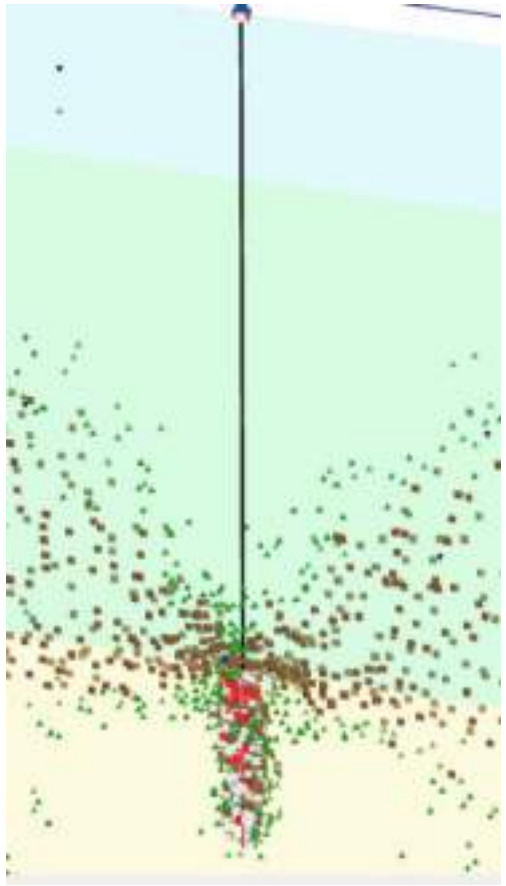
5. MODELAGEM NUMÉRICA

- Plaxis 3D
- Modelo constitutivo Hardening Soil Small Strain (HSsmall)



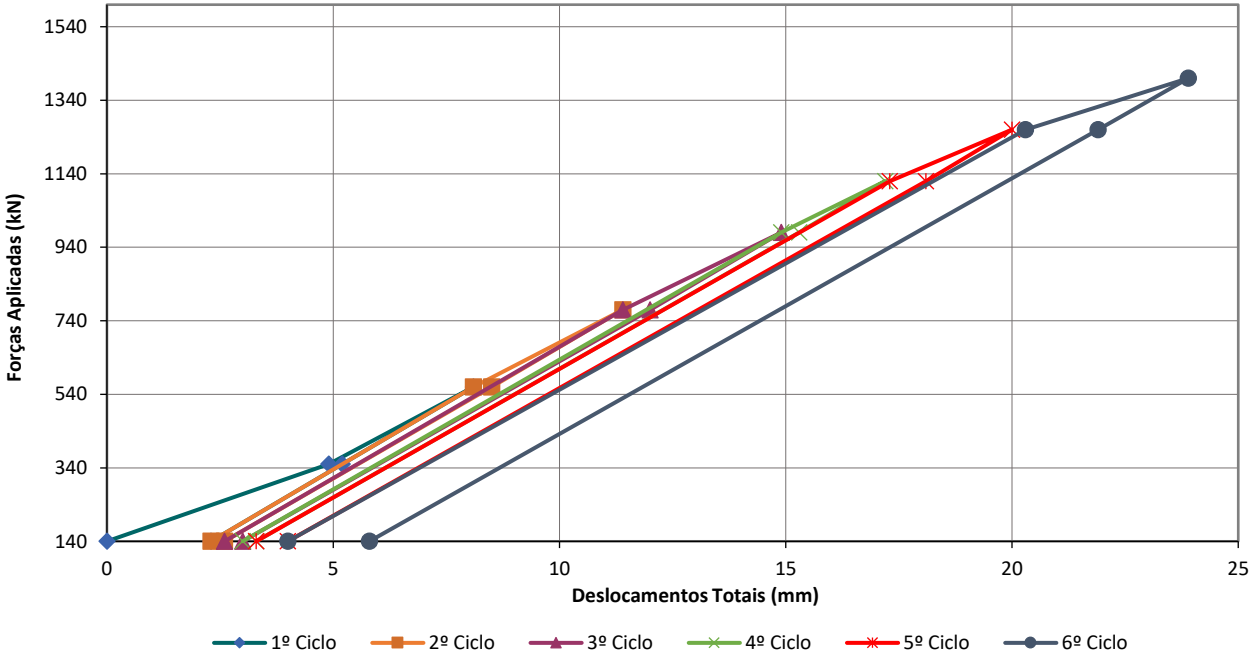


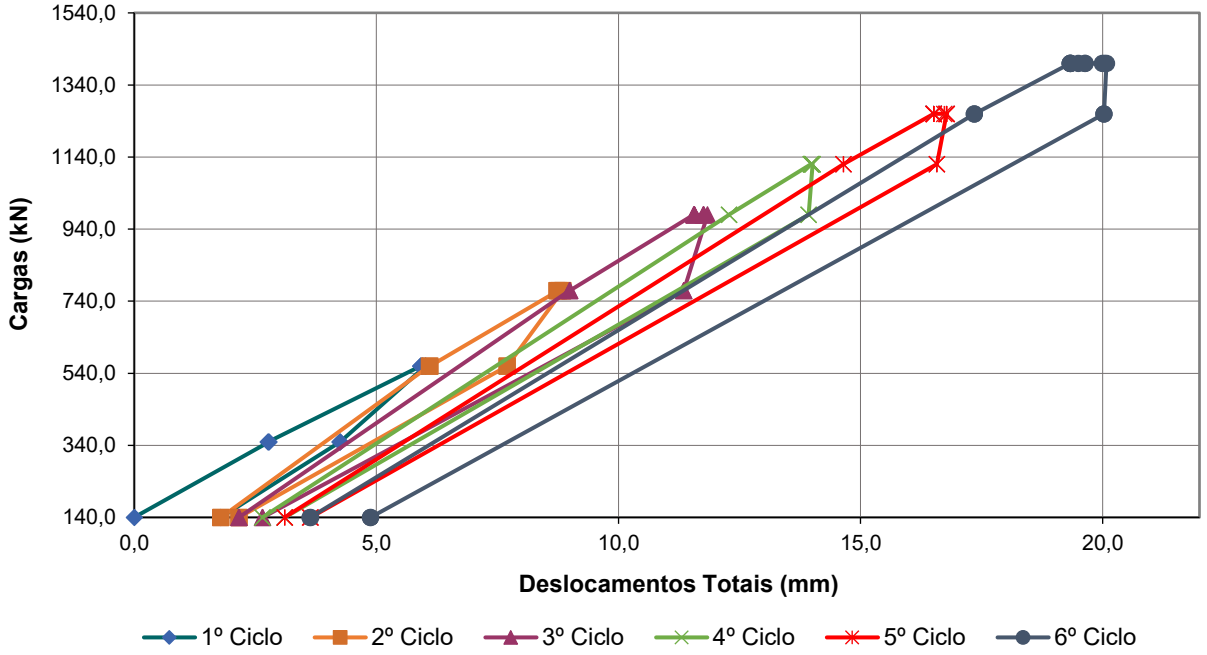




5. MODELAGEM NUMÉRICA

CURVA CARGA-DESLOCAMENTO





6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. O comportamento da microestaca manteve-se compatível com o esperado, verificando-se um aumento gradual da fluência, sugerindo o início de plastificação para níveis de carga mais elevados, sem evidência de rutura nítida ou perda abrupta de rigidez.

2. Importância de um ensaio instrumentado e necessidade de adoção de métodos de instalação mais adequado.

3. A modelação numérica da prova de carga, realizada no software PLAXIS 3D, permitiu reproduzir de forma satisfatória o comportamento global observado no ensaio, em particular a resposta carga–deslocamento.

4. Os resultados obtidos reforçam a importância da integração entre ensaios de campo e modelação numérica na avaliação do comportamento de microestacas à tração.

JET SJ

Obrigada pela vossa atenção

Agradecimentos

drillGO

utad

19.º Congresso Nacional

Geotecnia

11-14 Maio 2026

Soluções de escavação e contenção periférica em edifício residencial, em Almada

Ana Maria Pauseiro | JETsj Geotecnia
Ricardo Justiniano | JETsj Geotecnia

JETsj

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

Índice

1. Introdução
2. Principais condicionamentos
3. Soluções adotadas
4. Faseamento construtivo
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações finais

Índice

1. **Introdução**
2. Principais condicionamentos
3. Soluções adotadas
4. Faseamento construtivo
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações finais

Introdução

LOCALIZAÇÃO

Rua das Quintas, Almada

Introdução

Edifício habitacional

- Três caves
- Cinco pisos elevados
- Cobertura

Projeto inicial (não autoria da JETsj)

- Muro de Berlim Definitivo ✔
- Escavação em talude 1:1

½ escavação

Época de chuvas intensa

Revisão de Projeto
(autoria da JETsj)

Índice

1. Introdução
2. **Principais condicionamentos**
3. Soluções adotadas
4. Faseamento construtivo
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações finais

Principais condicionamentos

- Configuração arquitetónica do edifício
- Proximidade de construções envolventes
- Execução de projeto em fase de execução de obra
- Características geotécnicas do local

Principais condicionamentos

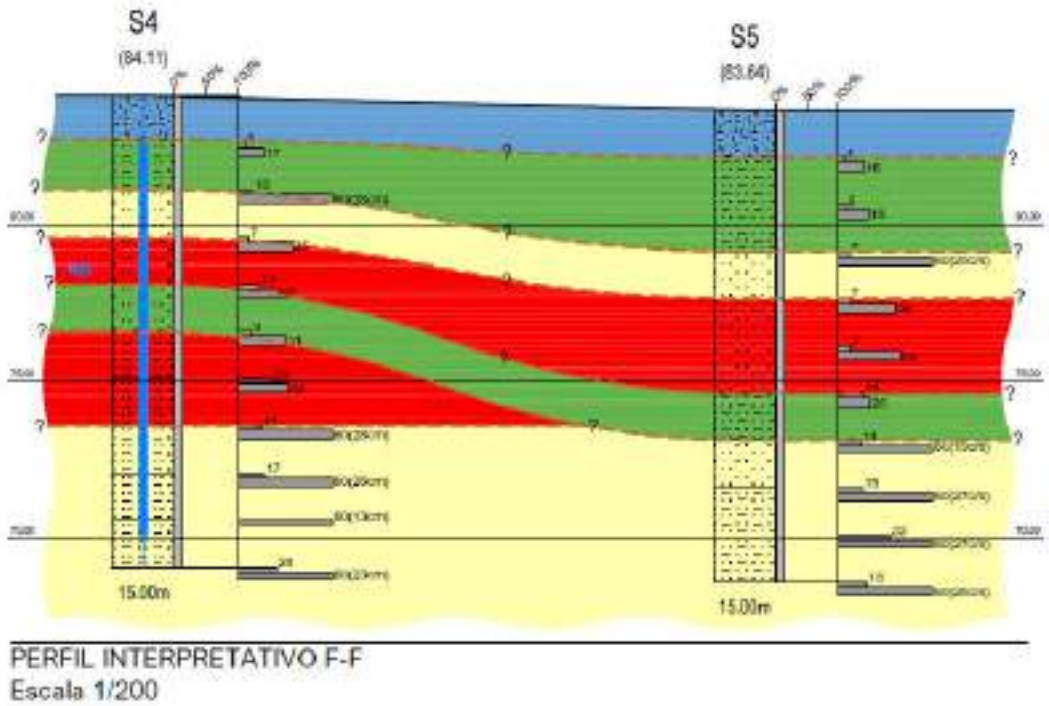
- Configuração arquitetónica do edifício
- Proximidade de construções envolventes
- Execução de projeto em fase de execução de obra
- Características geotécnicas do local

Principais condicionamentos

- Configuração arquitetónica do edifício
- Proximidade de construções envolventes
- Execução de projeto em fase de execução de obra
- Características geotécnicas do local

Principais condicionamentos

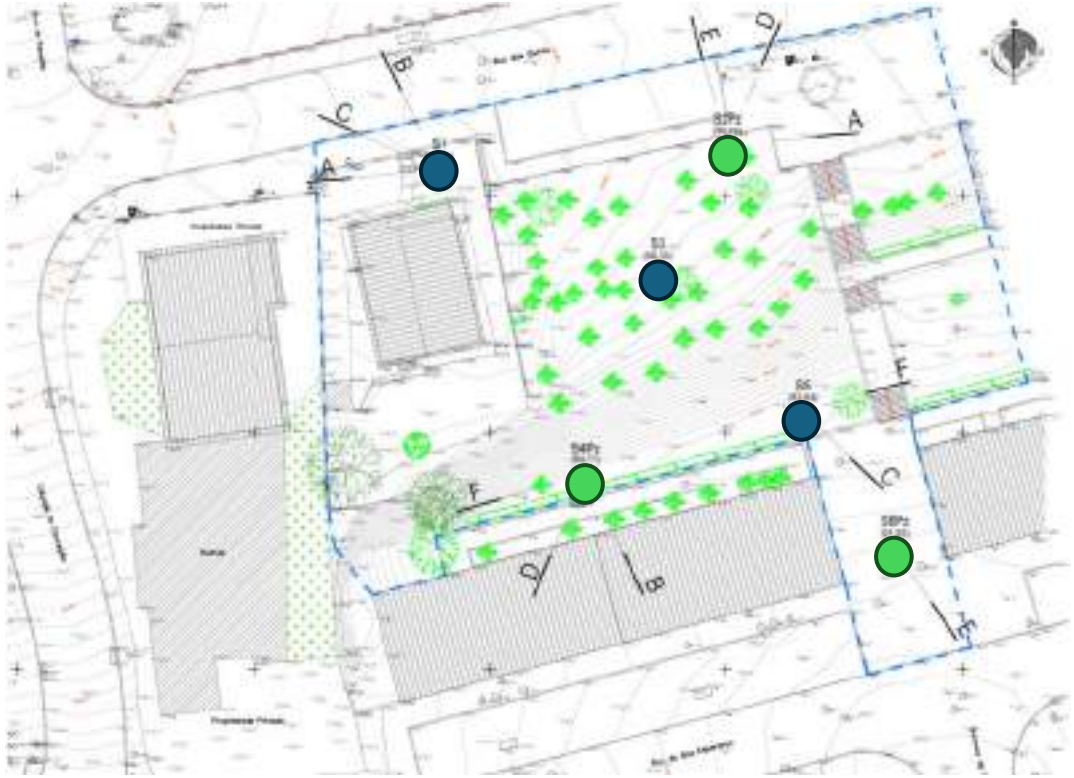
- Configuração arquitetónica do edifício
- Proximidade de construções envolventes
- Execução de projeto em fase de execução de obra
- Características geotécnicas do local



PERFIL INTERPRETATIVO F-F
Escala 1/200

Principais condicionamentos

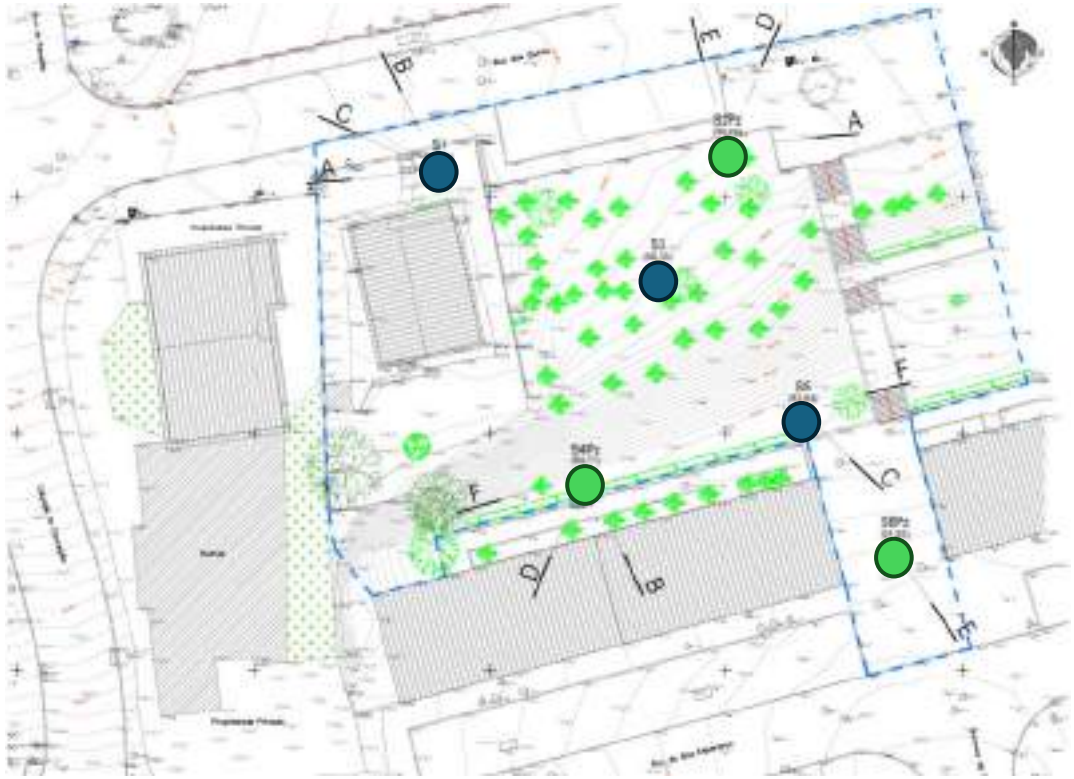
Características geotécnicas do local

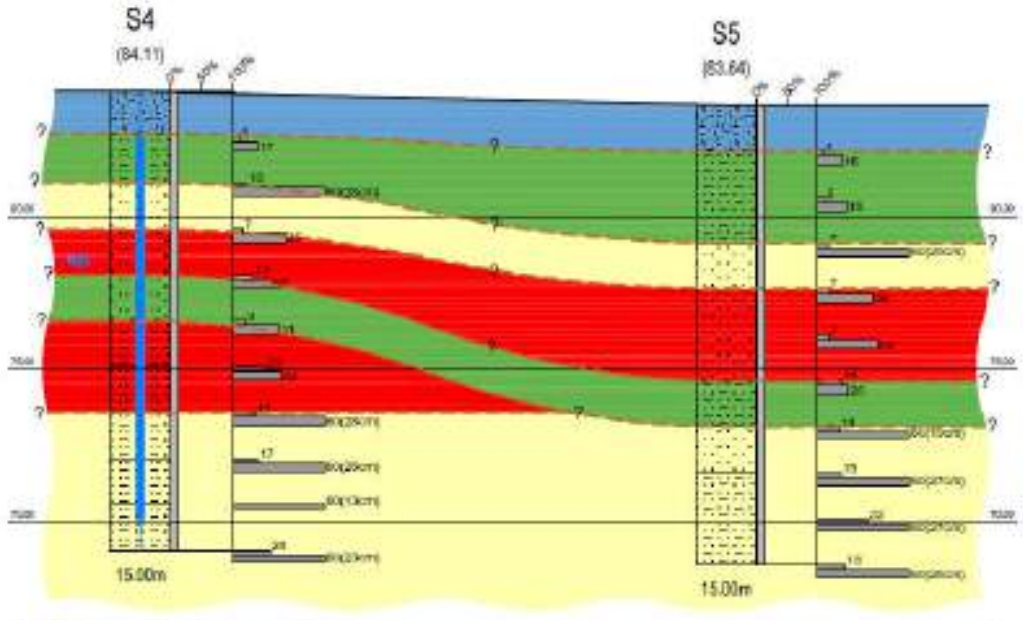


- 6 sondagens
  - 3 com instalação de piezómetros
- Ensaios SPT em profundidade
- Ensaios de permeabilidade LeFranc

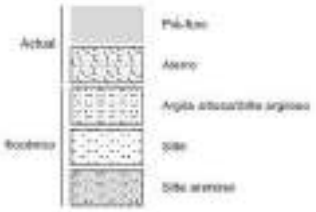
Principais condicionamentos

Características geotécnicas do local





PERFIL INTERPRETATIVO F-F
Escala 1/200



Principais condicionamentos

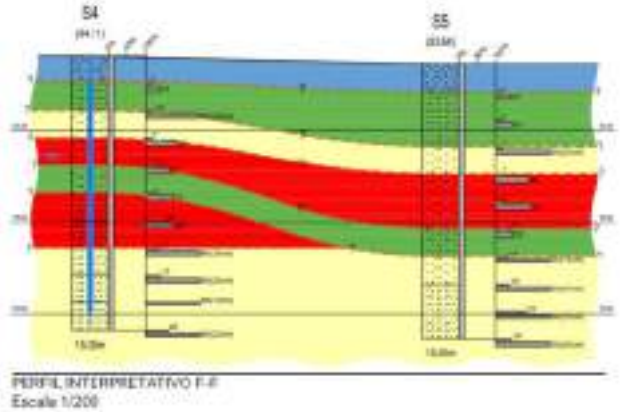
Características geotécnicas do local

- ZG4: Aterros e depósitos de cobertura
- ZG3: Argilas siltosas e siltes ligeiramente arenosos
- ZG2: Siltes ligeiramente arenosos e argilosos e argilas siltosas
  - ZG2B
  - ZG2A

  } **DIFERENTES PROPRIEDADES DO SOLO**
- ZG1: Siltes e argilas siltosas

Zona Geotecnica		Descrição	Nspt				
	ZG4	Aterros / depósitos cobertura	-	18 - 19	18 - 19	-	2 - 5
	ZG3	Argilas siltosas	14 - 27 (19 - 25)*	19	30 - 32	17 - 22	12 - 33
		Silte por vezes ligeiramente argiloso		17 - 19	35 - 39	5 - 10	20 - 48
	ZG2B	Siltes por vezes ligeiramente arenosos e argilosos	30 - 40 (31 - 47)*	20 - 22	25 - 32	10 - 20	45 - 78
		Argilas siltosas		21 - 22	32 - 39	20 - 58	22 - 58
	ZG2A	Siltes por vezes ligeiramente arenosos e argilosos	>50 (53 - 55)*	21 - 22	32 - 35	20 - 45	50 - 75
		Argilas siltosas		22 - 23	32 - 37	23 - 73	25 - 48
	ZG1	Argilas siltosas	>60	22 - 24	35 - 38	80 - 100	45 - 68
		Siltes por vezes ligeiramente arenosos e argilosos		21 - 22	38 - 39	20 - 38	30 - 120

* - intervalo de valores mais frequente



PERFIL INTERPRETATIVO F-F'
Escala 1/200

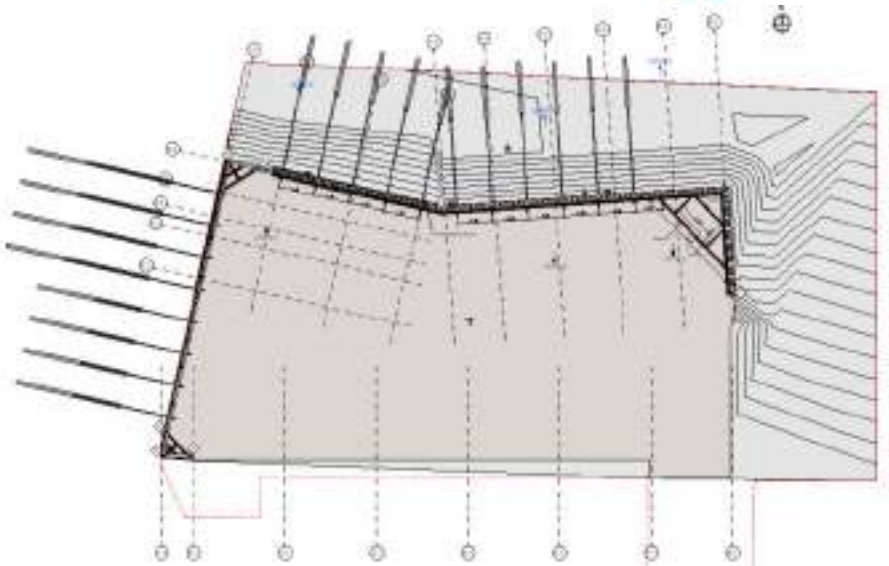
Índice

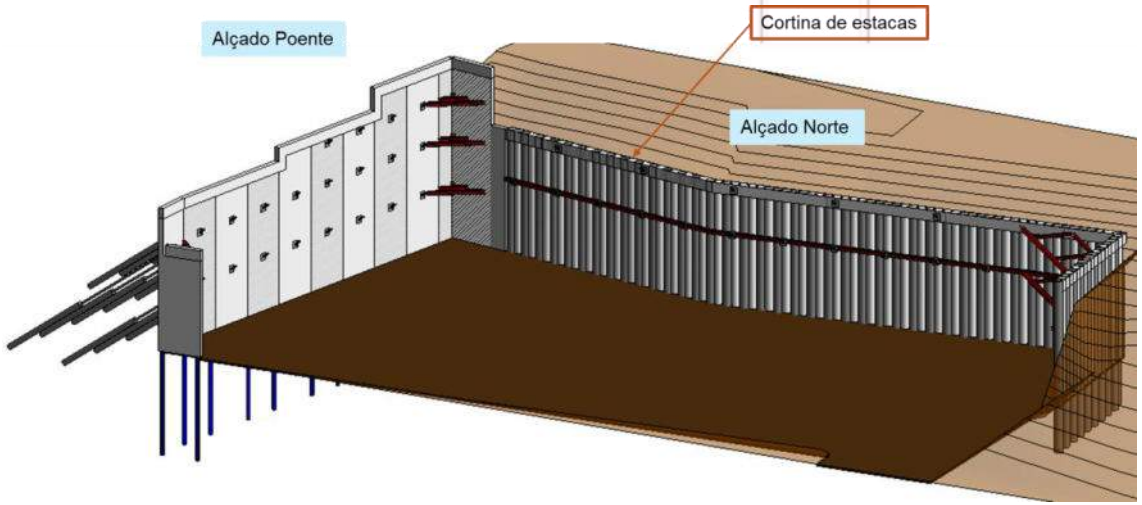
1. Introdução
2. Principais condicionamentos
3. **Soluções adotadas**
4. Faseamento construtivo
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações finais

Soluções adotadas

CORTINA DE ESTACAS

- Ø500mm//1.00m
- Estacas em betão armado intercaladas com estacas plásticas
- Viga de coroamento em betão armado
- Ancoragens provisórias//3.00m
- Escoras metálicas de canto
- Viga de distribuição metálica
- Muro tradicional





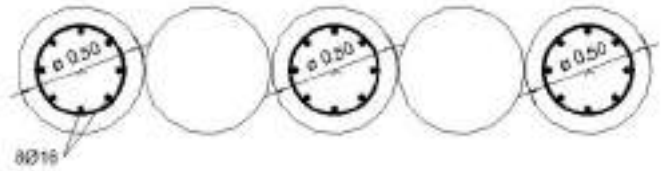
Soluções adotados

CORTINA DE ESTACAS

- Ø500mm//1.00m
- Estacas em betão armado intercaladas com estacas plásticas
- Viga de coroamento em betão armado
- Ancoragens provisórias//3.00m
- Escoras metálicas de canto
- Viga de distribuição metálica
- Muro tradicional

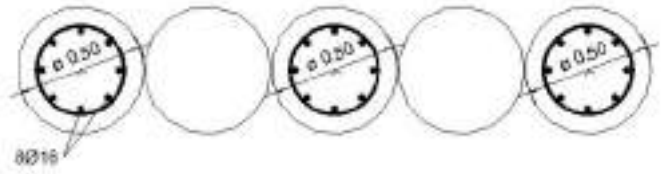
Pútil=500kN

2 NÍVEIS DE TRAVAMENTO



Soluções adotados

CORTINA DE ESTACAS



VANTAGENS

- Maior rapidez de execução
- Pré-contenção
- Mais garantia
- Mais segurança

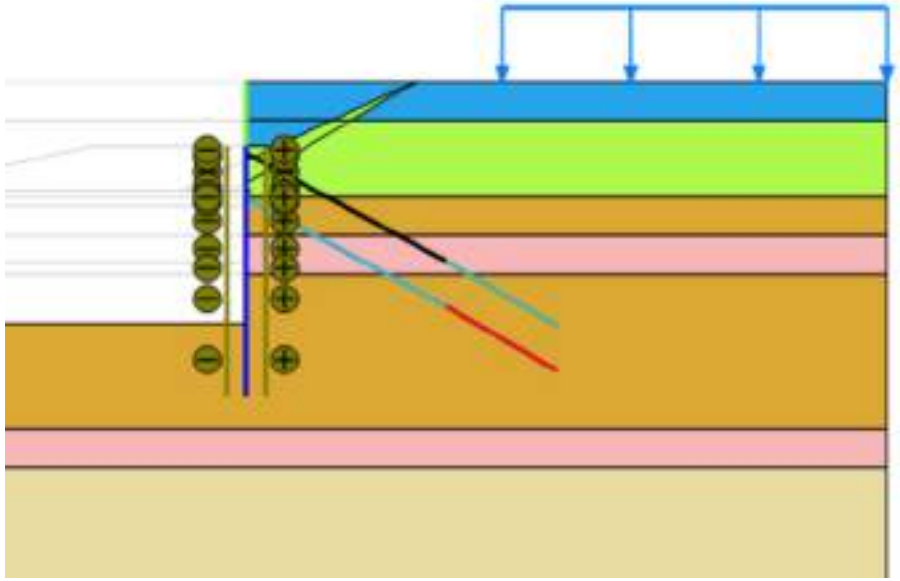
Perda de coesão e propriedades

Soluções adotadas

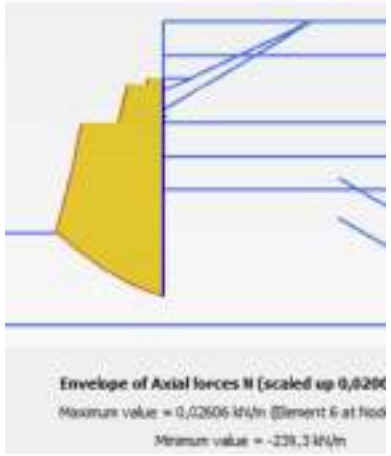
CORTINA DE ESTACAS

DIMENSIONAMENTO

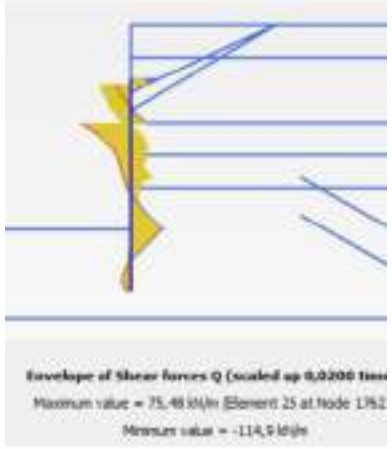
- Modelo PLAXIS 2D



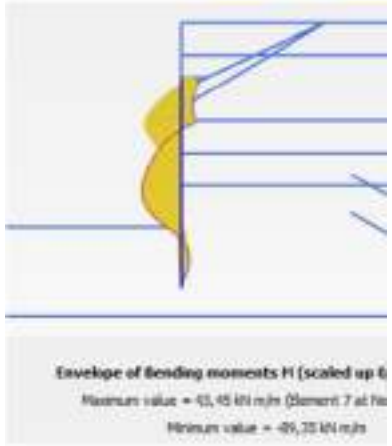
Esforço normal



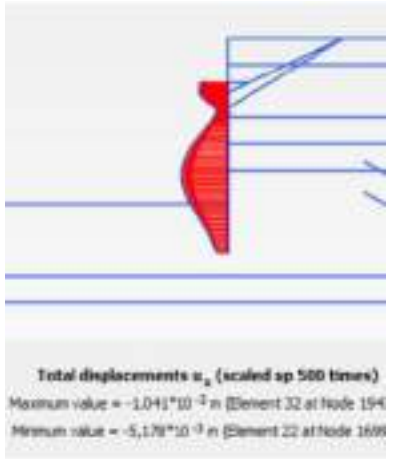
Esforço transverso



Momento



Deslocamentos



Índice

1. Introdução
2. Principais condicionamentos
3. Soluções adotadas
4. **Faseamento construtivo**
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações finais

Faseamento construtivo

1) Reperfilamento do talude inicial (1:1 → 1:2)

+

Aterro a jusante do talude

Criação de uma plataforma de trabalho

- Segurança em obra
- Operação da máquina de estacas

Faseamento construtivo

1) Reperfilamento do talude inicial (1:1 → 1:2)

+

Aterro a jusante do talude

Criação de uma plataforma de trabalho

- Segurança em obra
- Operação da máquina de estacas

Faseamento construtivo

2) Execução da cortina de estacas + Muro tradicional

Viga de coroamento, ancoragens e escoras de canto (1º nível de travamento)

Faseamento construtivo

2) Execução da cortina de estacas + Muro tradicional

Faseamento construtivo

3) Aterro do remanescente do talude a tardoz do muro

4) Instalação e zeragem dos dispositivos de instrumentação

→ **Reforço e aumento da frequência de leituras**

6) Escavação até à cota da viga de distribuição

7) Escavação até ao fundo de escavação

Faseamento construtivo

3) Aterro do remanescente do talude a tardoz do muro

4) Instalação e zeragem dos dispositivos de instrumentação

→ **Reforço e aumento da frequência de leituras**

6) Escavação até à cota da viga de distribuição

→ **Viga de distribuição metálica, ancoragens e escoras de canto (2º nível de travamento)**

7) Conclusão da escavação

Índice

1. Introdução
2. Principais condicionamentos
3. Soluções adotadas
4. Faseamento construtivo
5. **Plano de Instrumentação e Observação**
6. Considerações finais

Plano de Instrumentação e Observação

ALVOS TOPOGRÁFICOS
LOCALIZAÇÃO

Plano de Instrumentação e Observação

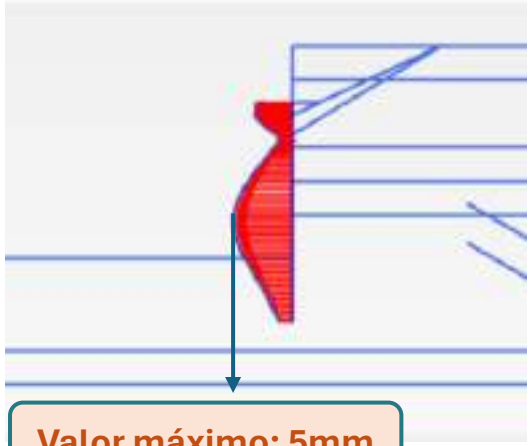
ALVOS TOPOGRÁFICOS
RESULTADOS

- Niveis de alerta: 25 mm —
- Níveis de alarme: 30 mm —
- Não houve variações significativas ao longo do período de monitorização

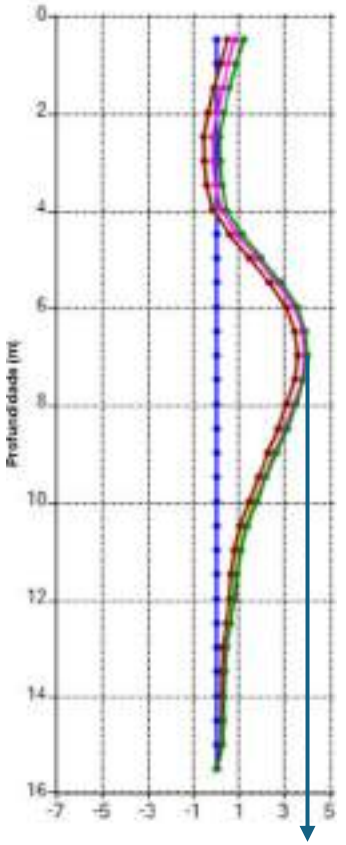
Plano de Instrumentação e Observação

INCLINÓMETROS
LOCALIZAÇÃO

RESULTADOS



Valor máximo: 5mm



4 mm

VALIDAÇÃO DO MODELO

Índice

1. Introdução
2. Principais condicionamentos
3. Soluções adotadas
4. Faseamento construtivo
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. **Considerações finais**

Considerações finais

- **Flexibilidade**
- **Adaptação de soluções**
- **Instrumentação e monitorização**
- **Fiscalização**

→ **Prevenção**
Garantias
Segurança
Eficácia

↓

Evitar imprevisibilidades e problemas em obra

JET SJ
Obrigada pela vossa atenção
Geotecnia

SOLUÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO DE PLATAFORMA NO TOPO DA ENCOSTA DE SANTA CATARINA, EM SANTARÉM

Inês Braz / JETsj Geotecnia
Alexandre Pinto / JETsj Geotecnia

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

ÍNDICE

- Enquadramento geral
- Principais condicionamentos
- Solução adotada
- Plano de instrumentação e observação (pio)
- Considerações finais

ÍNDICE

- **Enquadramento geral**
- Principais condicionamentos
- Solução adotada
- Plano de instrumentação e observação (pio)
- Considerações finais

Enquadramento geral

- ✓ Santarém
- ✓ Reservatórios de abastecimento de água

Enquadramento geral

- ✓ Topo de encosta com sinais de instabilização

Enquadramento geral

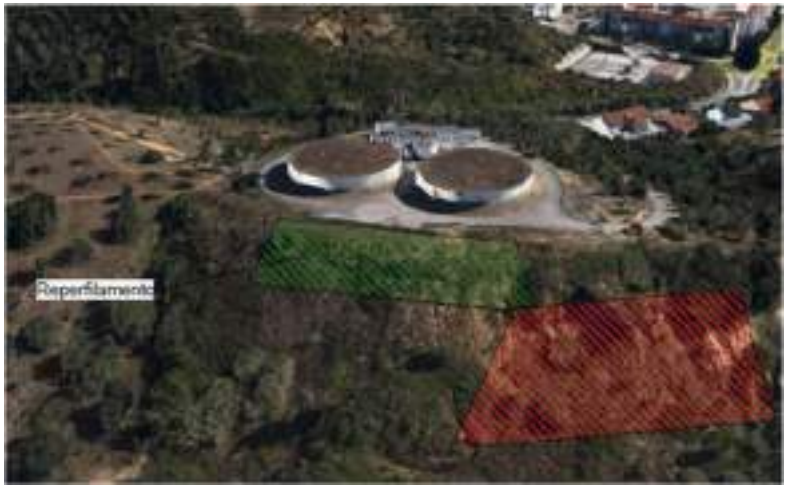
- ✓ Topo de encosta com sinais de instabilização

ÍNDICE

- Enquadramento geral
- **Principais condicionamentos**
- Solução adotada
- Plano de instrumentação e observação (pio)
- Considerações finais

Principais condicionamentos

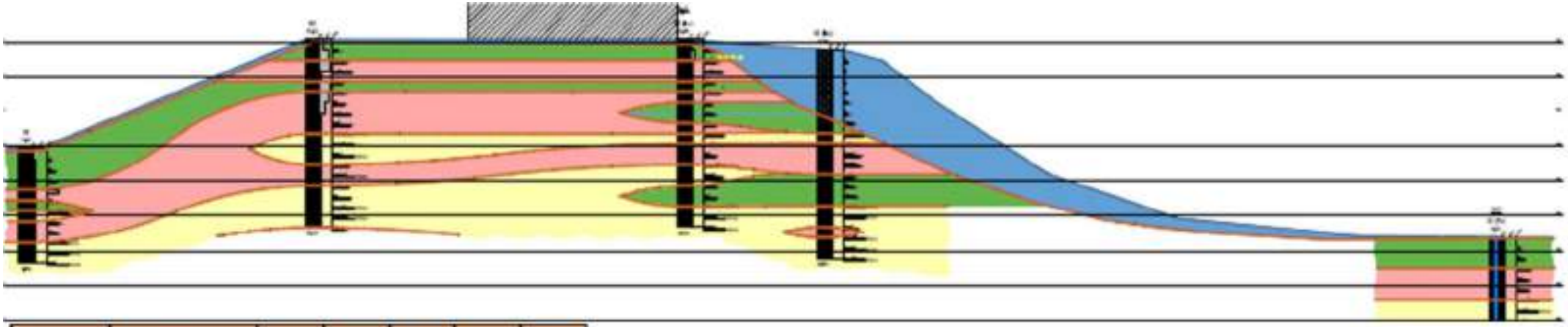
- Condicionamentos geológicos e geotécnicos;
- Condicionamentos associados a infraestruturas enterradas existentes;
- Condicionamentos associados a limitações de intervenção em terrenos adjacentes;
- Condicionamentos logísticos e operacionais associados ao funcionamento dos reservatórios.



Condicionamentos Geológicos e Geotécnicos

- 7 sondagens com recolha de amostra e ensaios SPT
- 3 poços de prospeção
- 10 perfis de resistividade elétrica

Condicionamentos Geológicos e Geotécnicos

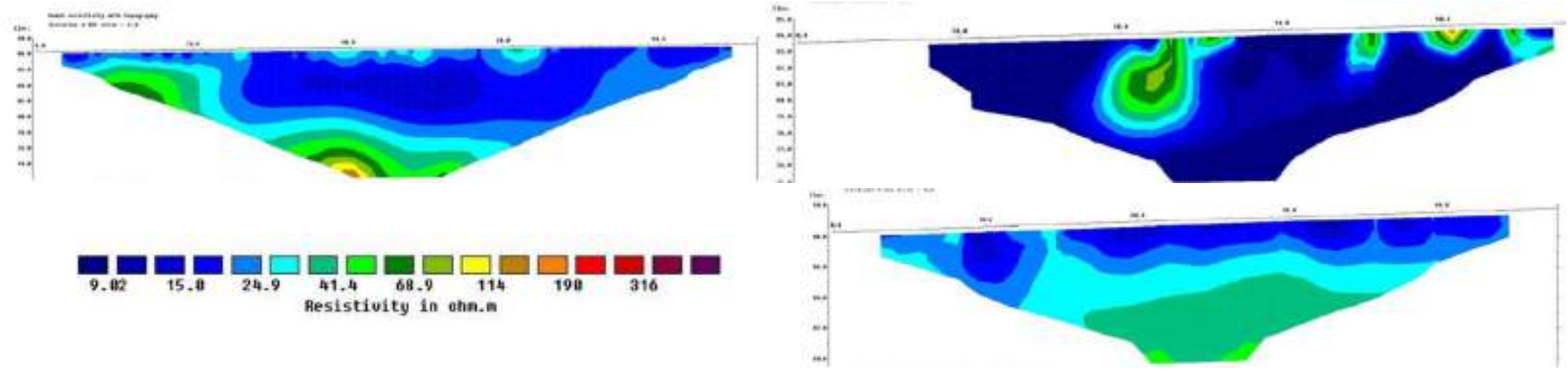


Zona Geotécnica		Descrição	Nspt	Peso específico γ (kN/m³)	Ângulo de atrito interno φ' (°)	Coesão C' (kPa)	Módulo de deformabilidade E' (kPa)
	ZG4	Aterros heterogéneos, com fraca compacidade. Terra vegetal	3 a 13	19	5 a 10	-	-
	ZG3	Argila siltosa, por vezes silto-argilosa	28 a 28	16 a 18	3 a 5	10 a 15	12 a 25
		Areias de grão fino a médio, por vezes grosseiro	8 a 11	15 a 18	30 a 35	-	10 a 15
	ZG2	Argila siltosa rija	31 a 47	20 a 21	5 a 10	15 a 20	25 a 40
		Areias de grão fino a médio, por vezes grosseiro	31 a 49	19 a 21	28 a 33	0 a 5	40 a 80
		Silte arenoso, por vezes argiloso	34 a 46	18 a 19	31 a 38	0 a 5	35 a 45
	ZG1	Areias de grão médio a grosseiro, ligeiramente silto-argilosas	>50	21 a 22	35 a 45	5 a 15	75 a 105

- ZG4 - aterros heterogéneos, com fraca compacidade 3<NSPT<13
- ZG3 - argilas silto-arenosas e areias finas a médias 2<NSPT<28
- ZG2 - argilas silto-arenosas e areias médias a grosseiras 30<NSPT<49
- ZG1 - areias médias a grosseiras, ligeiramente silto-argilosas NSPT>50

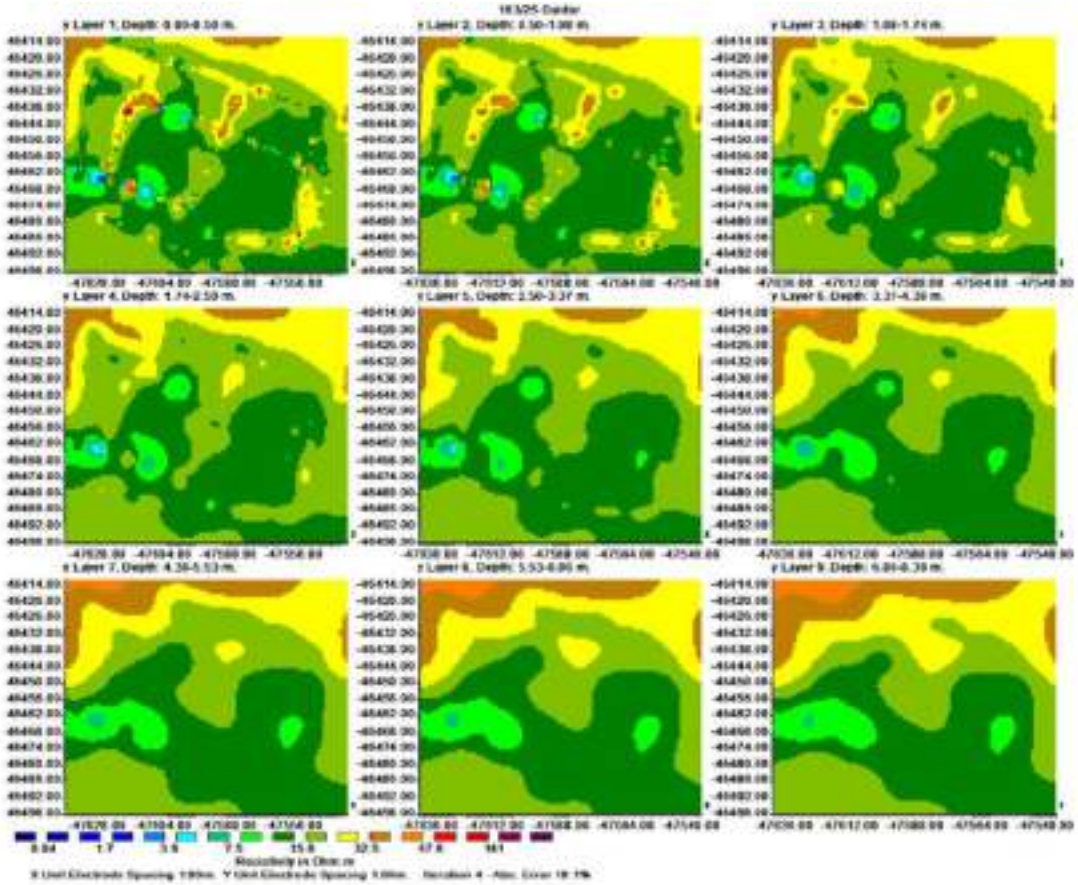
Condicionamentos Geológicos e Geotécnicos

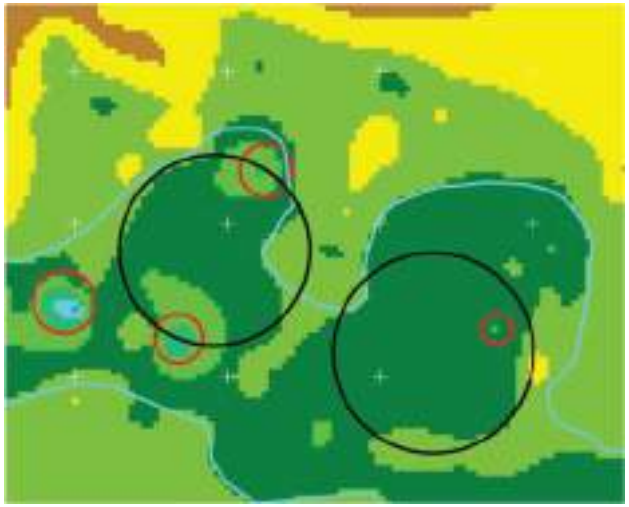
Condicionamentos Geológicos e Geotécnicos



- Elevados teores em água no subsolo (Baixa resistividade - cores azuis-escuras)
- Saturação da fração argilosa e das areias, onde a água atua como condutor iónico;
- Aumentos de resistividade em profundidade (tonalidades esverdeadas a amarelo) são interpretados como variações litológicas. Possivelmente compostas por materiais granulares mais grosseiros ou intercalações líticas (p.e. calcários), materiais que possuem intrinsecamente menos argila e, por isso, apresentam uma condução marginalmente menos eficiente do que as argilas puras.

Condicionamentos Geológicos e Geotécnicos



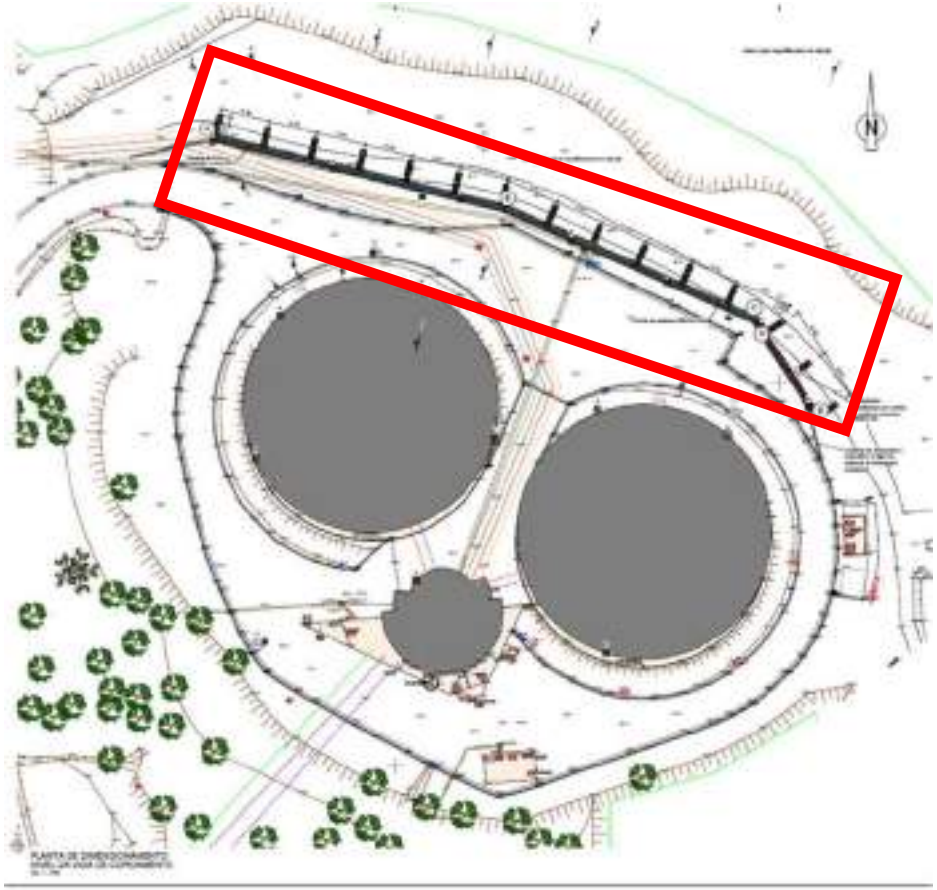


- Anomalias superficiais de baixa resistividade
- Desenvolvimento das anomalias de baixa resistividade mais superficiais representando, potencialmente, uma zona de acumulação e circulação de água a qual aparenta estender-se principalmente para oeste, mas também com uma ligeira tendência também para sudeste.

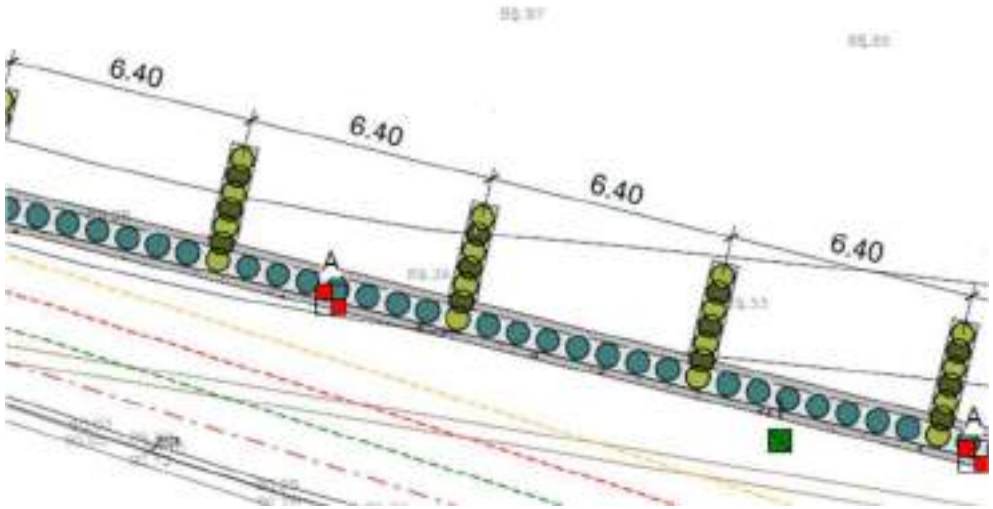
ÍNDICE

- Enquadramento geral
- Principais condicionamentos
- **Solução adotada**
- Plano de instrumentação e observação (pio)
- Considerações finais

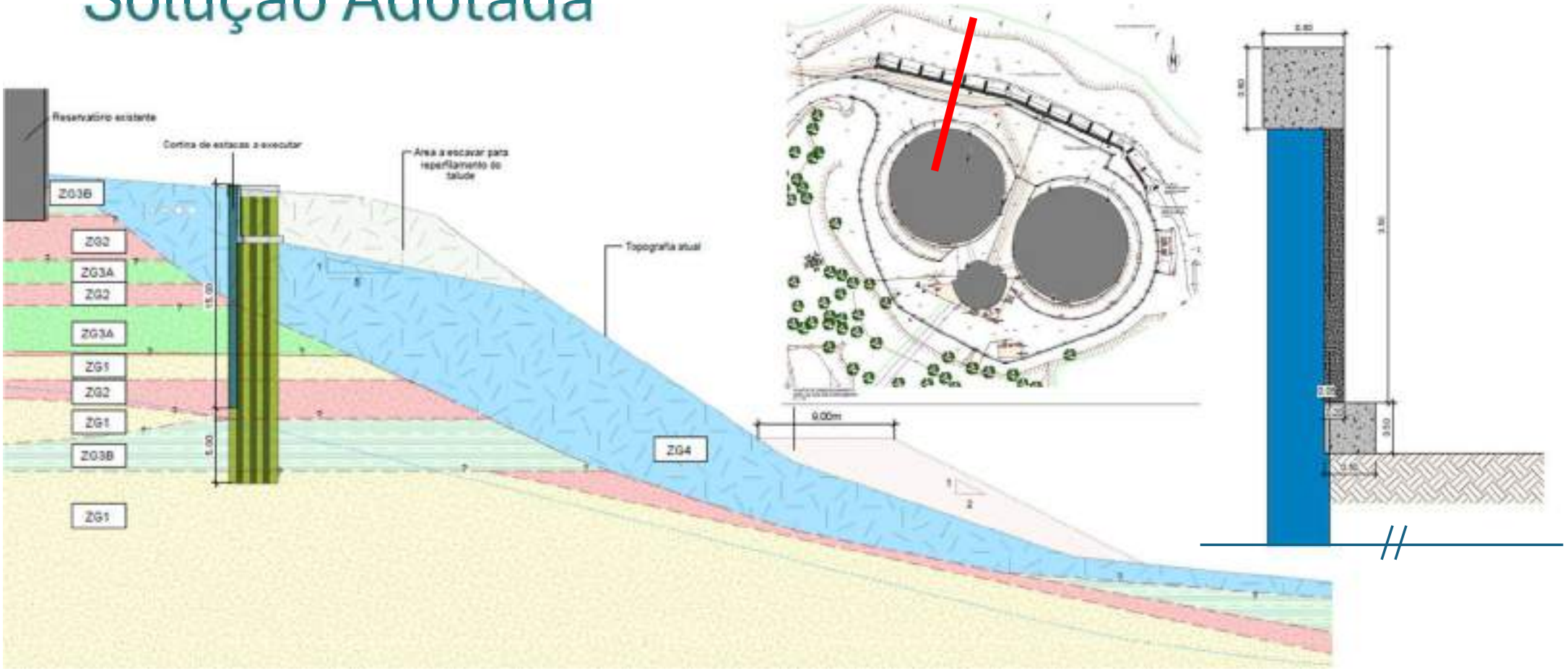
Solução Adotada



- Proteção da plataforma onde se encontram os reservatórios;
- Cortina de estacas Ø600mm afastadas a 800mm, com contrafortes a cada 6,4m;
- Parede de forro

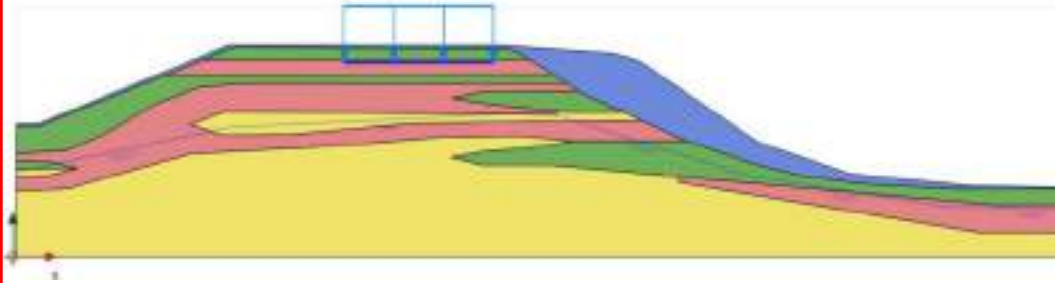


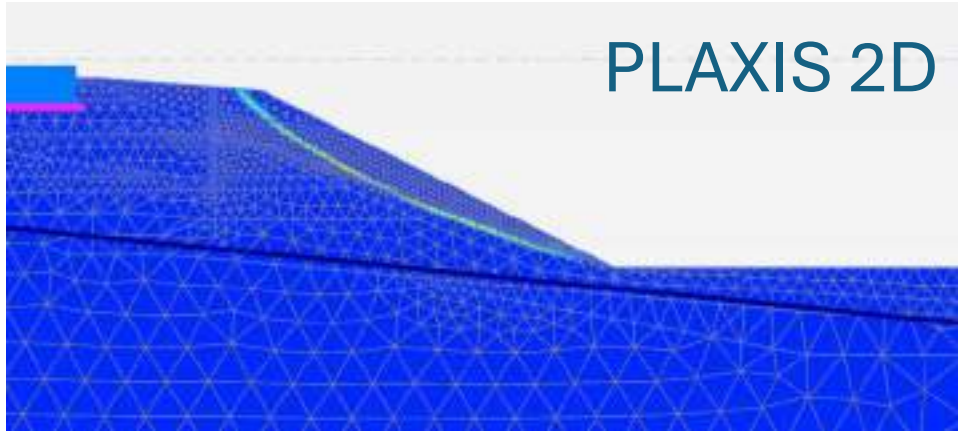
Solução Adotada



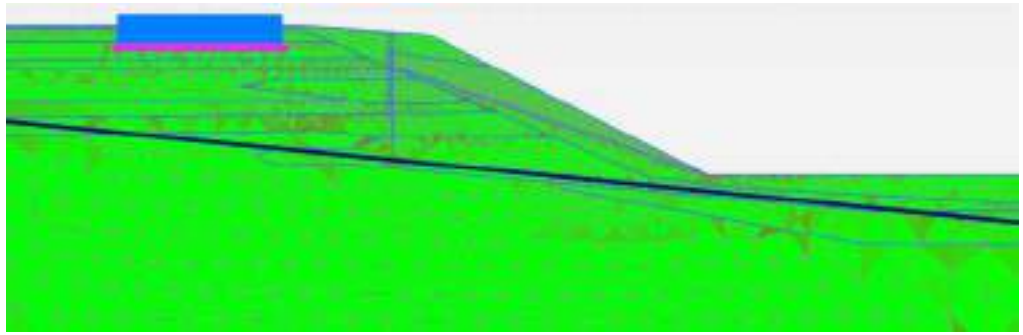
Solução Adotada

1) Retroanalise da situação existente





2) Modelação da solução proposta

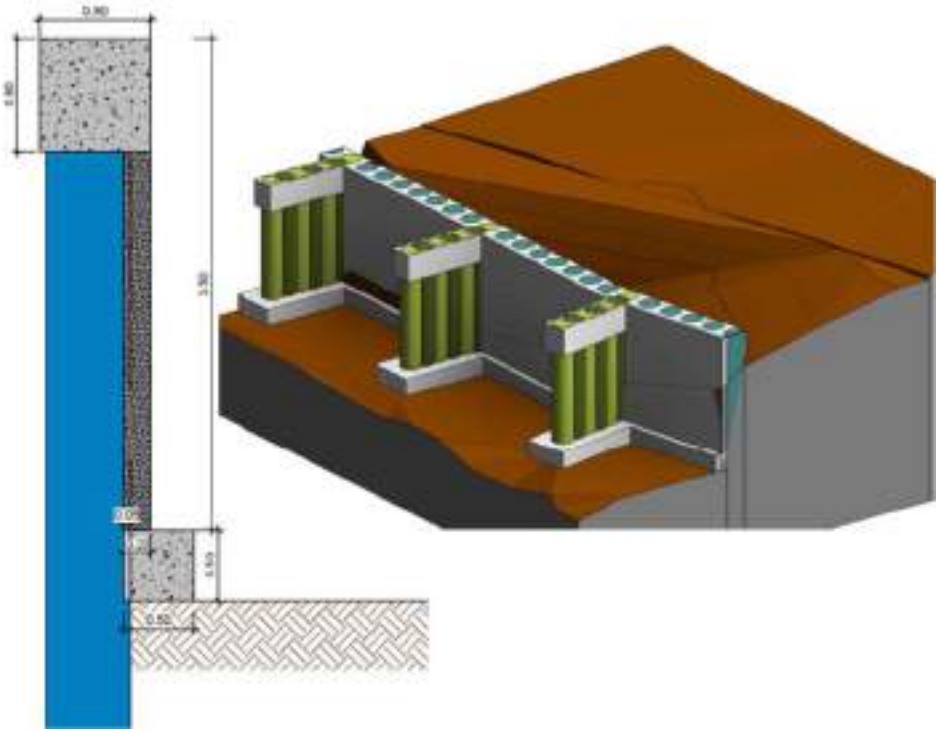


Solução Adotada

Solução Adotada

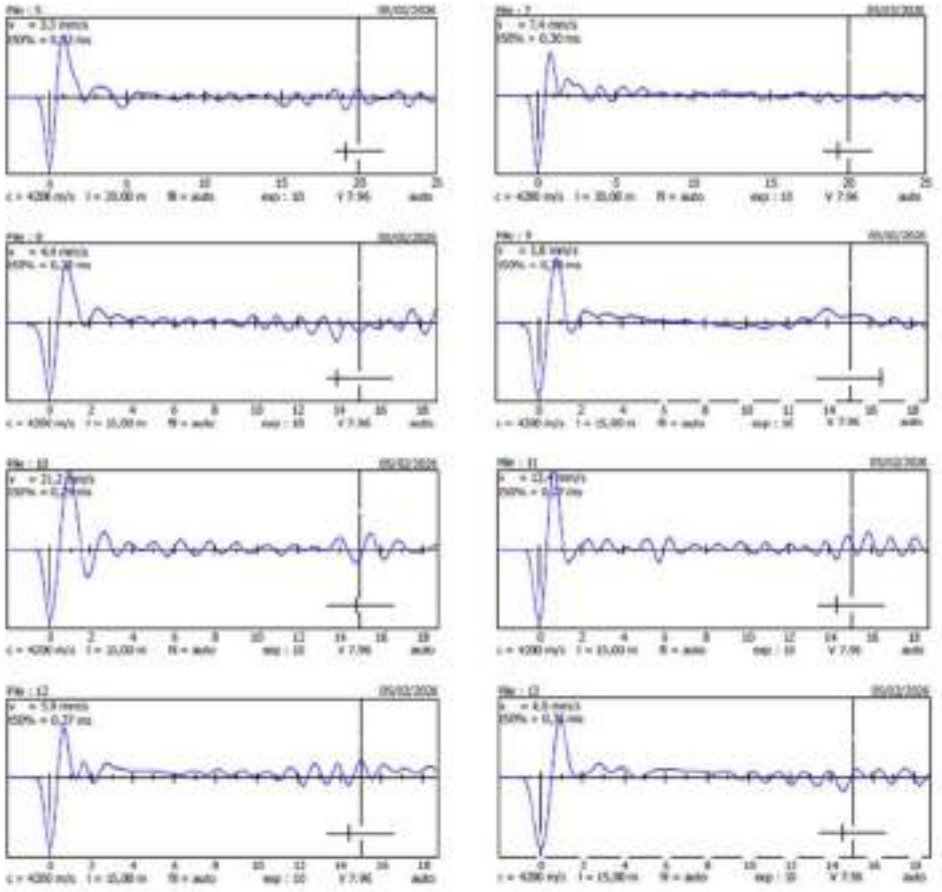
Solução Adotada

Solução Adotada



Solução Adotada

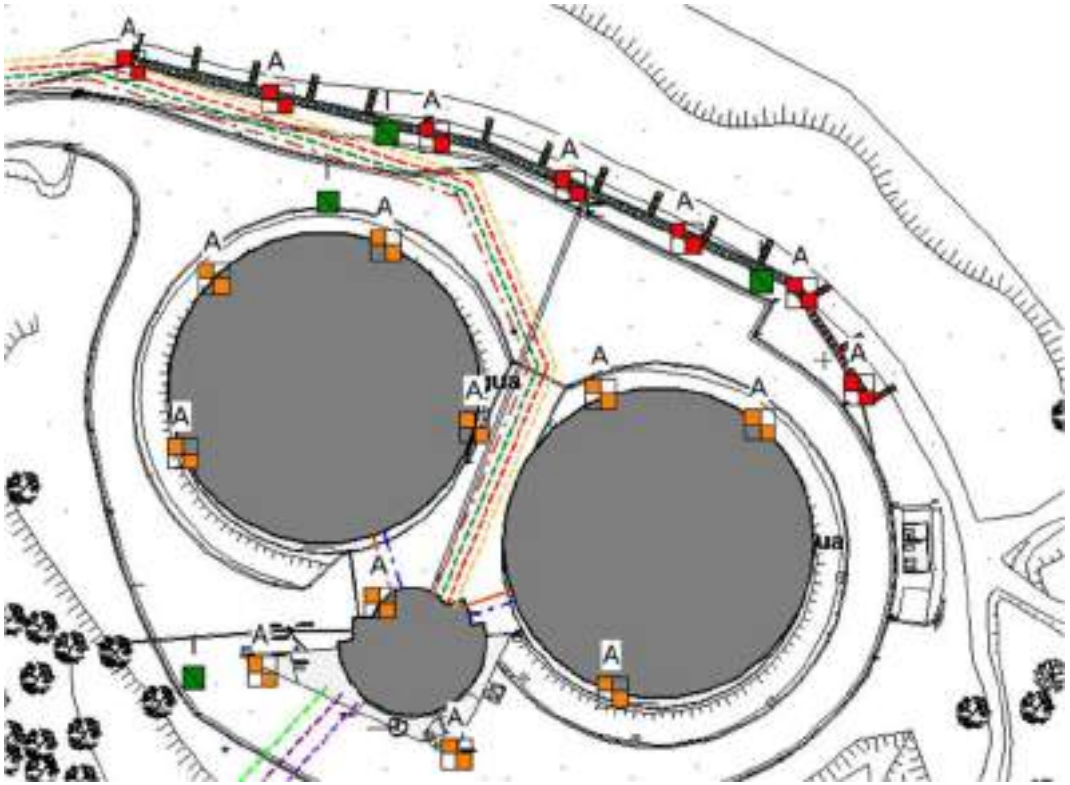
Ensaios sónicos de integridade



ÍNDICE

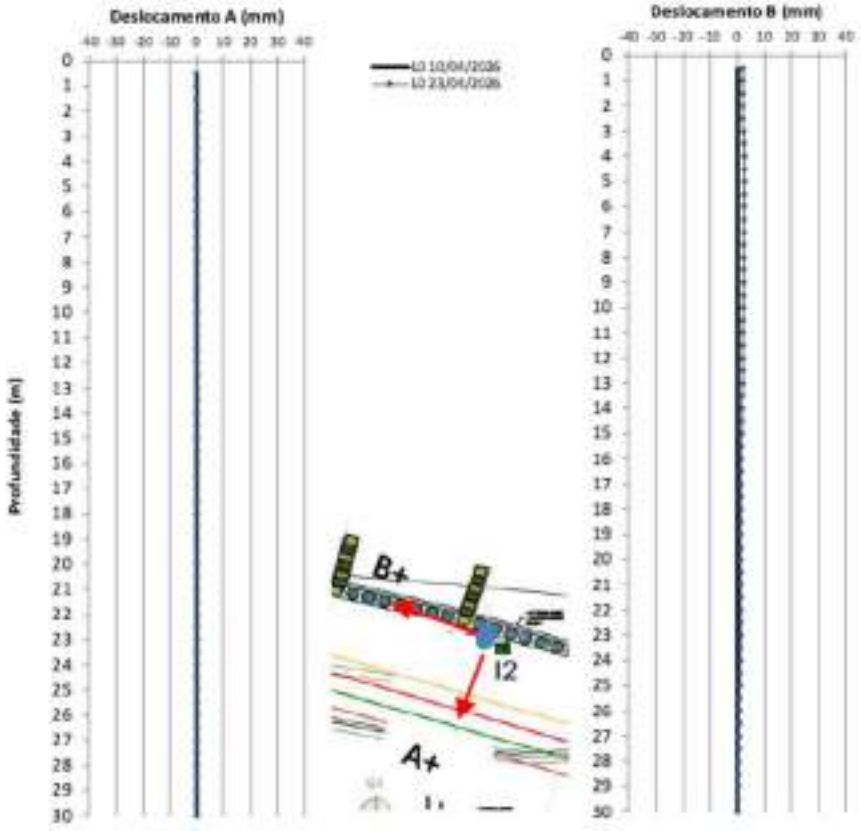
- Enquadramento geral
- Principais condicionamentos
- Solução adotada
- **Plano de instrumentação e observação (pio)**
- Considerações finais

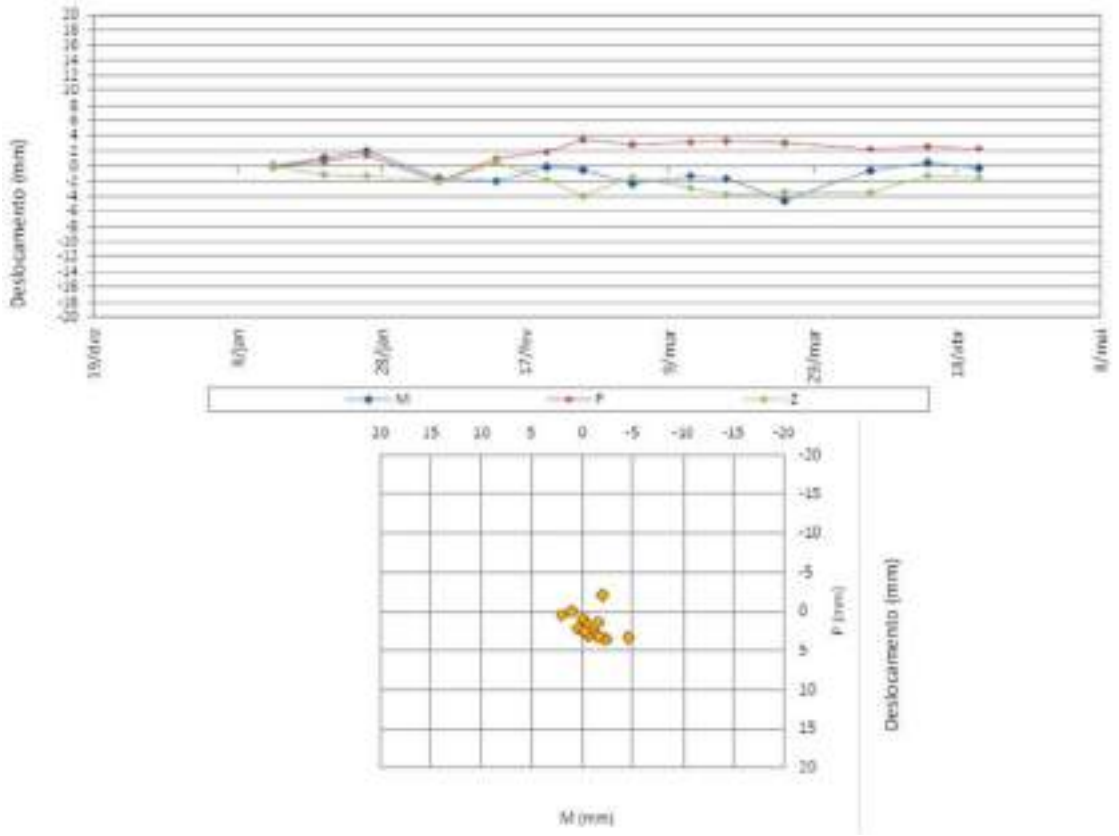
Plano de instrumentação e observação



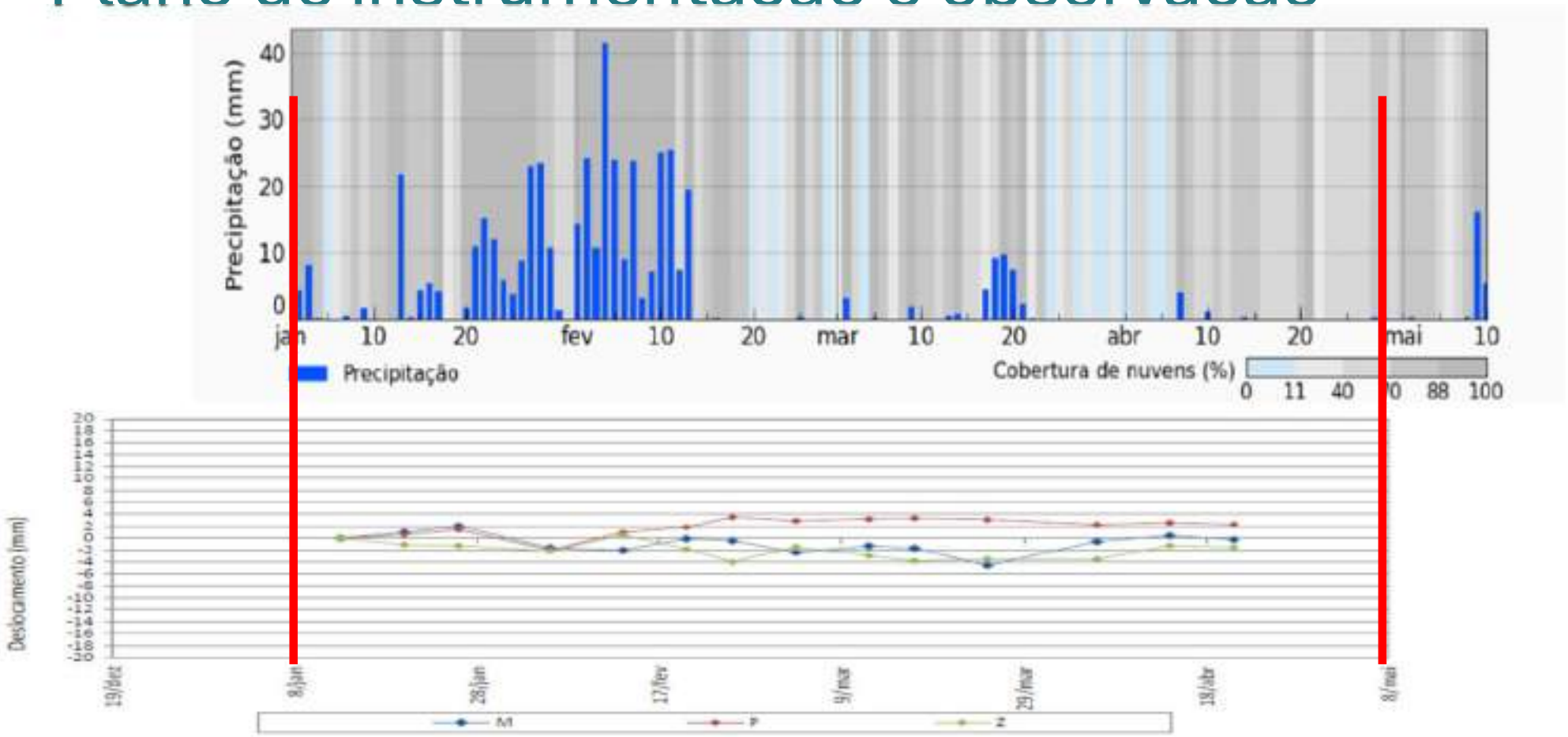
- 17 alvos topográficos;
- 4 inclinómetros.

Plano de instrumentação e observação





Plano de instrumentacão e observacão



ÍNDICE

- Enquadramento geral
- Principais condicionamentos
- Solução adotada
- Plano de instrumentação e observação (pio)
- **Considerações finais**

Considerações finais

- A **observação inicial** fundamental – primeiros sinais de instabilidade ao nível do pavimento

Considerações finais

- A **observação inicial** fundamental – primeiros sinais de instabilidade ao nível do pavimento
- A importância da **retroanálise** numérica para compreensão do mecanismo de rotura existente e calibração dos parâmetros geotécnicos

Considerações finais

- A **observação inicial** fundamental – primeiros sinais de instabilidade ao nível do pavimento
- A importância da **retroanálise** numérica para compreensão do mecanismo de rotura existente e calibração dos parâmetros geotécnicos
- A importância dos **ensaios geológicos e geotécnicos** que permitiu aferir singularidades geológicas importantes para a definição da solução

Considerações finais

- A **observação inicial** fundamental – primeiros sinais de instabilidade ao nível do pavimento
- A importância da **retroanálise** numérica para compreensão do mecanismo de rotura existente e calibração dos parâmetros geotécnicos
- A importância dos **ensaios geológicos e geotécnicos** que permitiu aferir singularidades geológicas importantes para a definição da solução
- A solução de estabilização adotada (cortina de estacas moldadas e contrafortes) revelou-se adequada e eficaz

Considerações finais

- A **observação inicial** fundamental – primeiros sinais de instabilidade ao nível do pavimento
- A importância da **retroanálise** numérica para compreensão do mecanismo de rotura existente e calibração dos parâmetros geotécnicos
- A importância dos **ensaios geológicos e geotécnicos** que permitiu aferir singularidades geológicas importantes para a definição da solução
- A solução de estabilização adotada (cortina de estacas moldadas e contrafortes) revelou-se adequada e eficaz
- A importância da **instrumentação** considerada essencial para validação do comportamento da solução em fase de execução e exploração

Obrigada pela atenção!

SOLUÇÕES DE ATERROS DE AGREGADOS LEVES SOBRE SOLOS MOLES

Inês Braz / JETsj Geotecnia

Alexandre Pinto / JETsj Geotecnia

Ana Fernandes / Leca Portugal

utad

19.º Congresso Nacional Geotecnia

11-14 Maio 2026

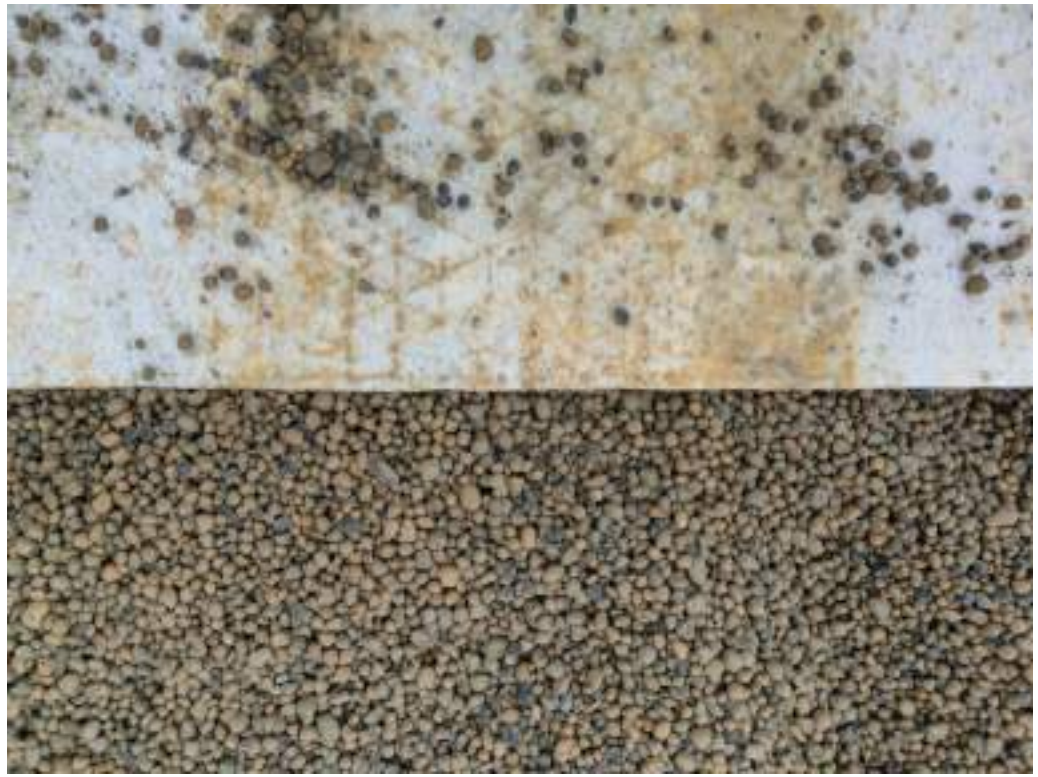
Leca SAINT-GOBAIN

JETsj

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

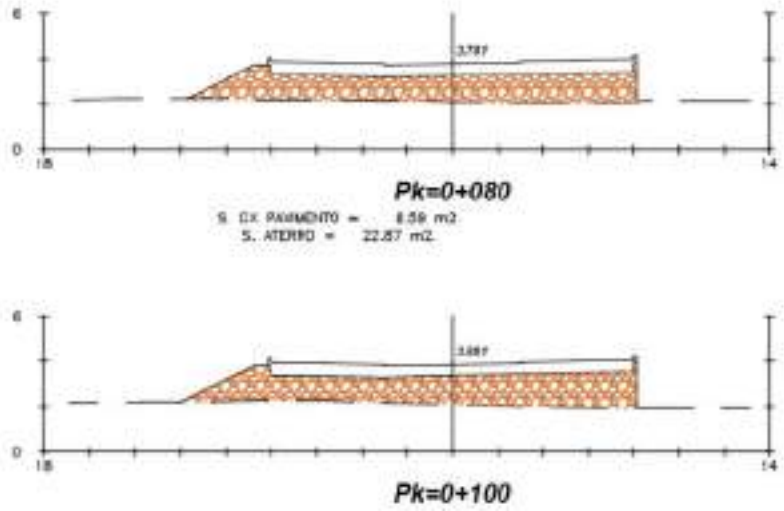
ÍNDICE

- **Enquadramento geral**
- Principais condicionamentos
- Soluções adotadas
- Plano de instrumentação e observação (PIO)
- Considerações finais



Enquadramento geral

- Plataforma Logistica Lisboa Norte – Plataforma 1
- Alteamento da plataforma para execução de vias de circulação e estacionamento



Enquadramento geral

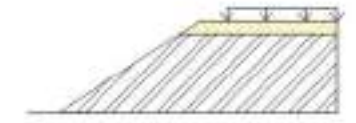
- **Desafio:** Execução de aterros com 3m de altura sobre solos moles com controlo de custos, prazos e deformações

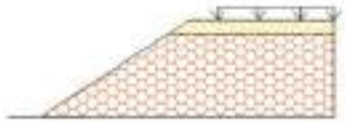
Enquadramento geral

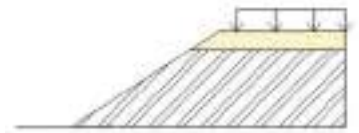
- **TIPOS DE VIAS**

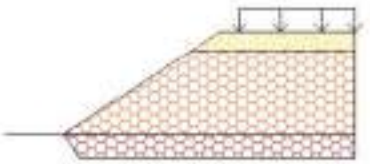
Vias de circulação

- Veículos ligeiros
  - Apenas finalização - Camada de desgaste
  - Aterro a construir
- Veículos pesados
  - Apenas finalização – Camada de desgaste
  - Aterro a construir



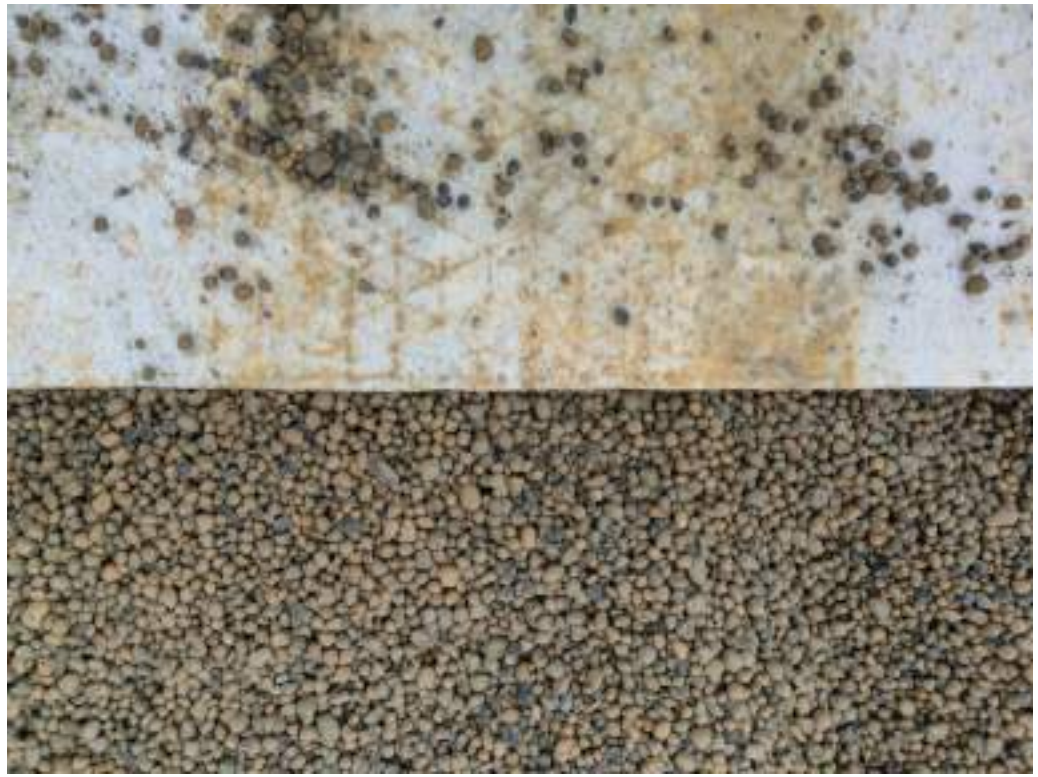






ÍNDICE

- Enquadramento geral
- **Principais condicionamentos**
- Soluções adotadas
- Plano de instrumentação e observação (PIO)
- Considerações finais



Condicionamentos geológicos e geotécnicos

- Depósitos de aterro (ZG5)
- Depósitos aluvionares (ZG4)
- Depósitos coluvionares (ZG3)
- Depósitos de areias e cascalheiras do Quaternário (ZG2)
- Depósitos de Areias Médias (ZG1)

Outros condicionamentos

- **OUTROS CONDICIONAMENTOS**

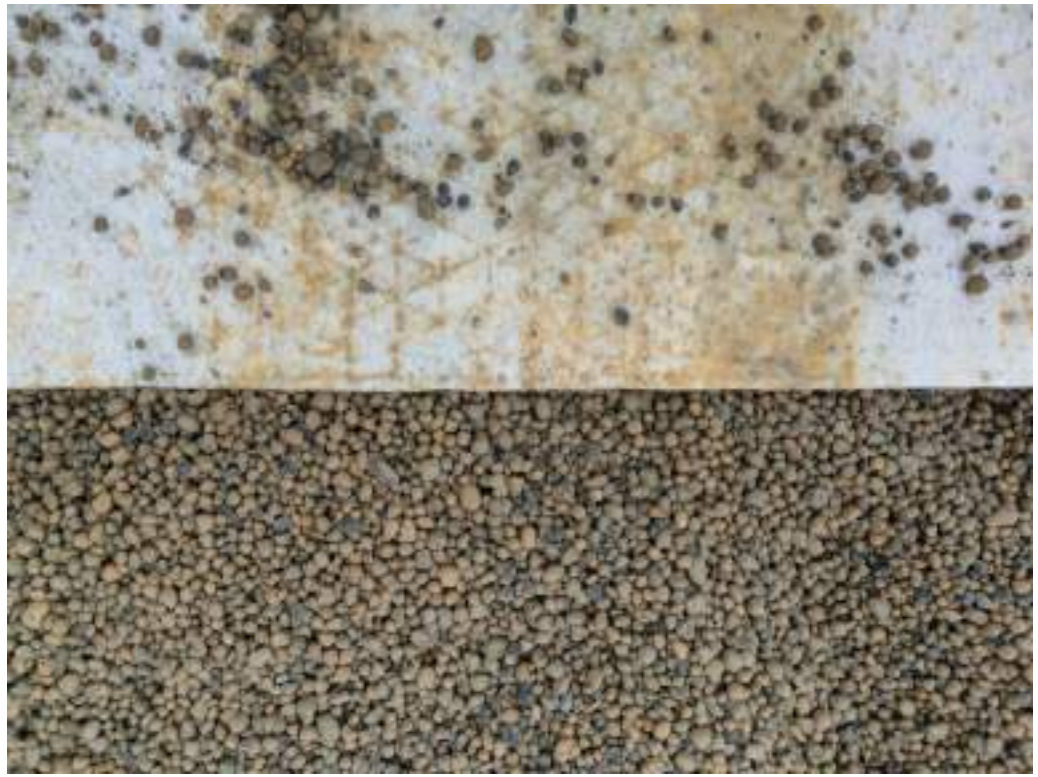
Soluções equacionadas para execução dos aterros tradicionais:

- Solução de fundação indireta – **mais dispendiosa;**
- Melhoramento do solo de fundação com inclusões rígidas **– mais demorada**;
- Melhoramento do solo de fundação com recurso a consolidação forçada com geodrenos e aterros de pré carga – **mais demorada**.

- **Prazo de execução da obra e controlo de custos**

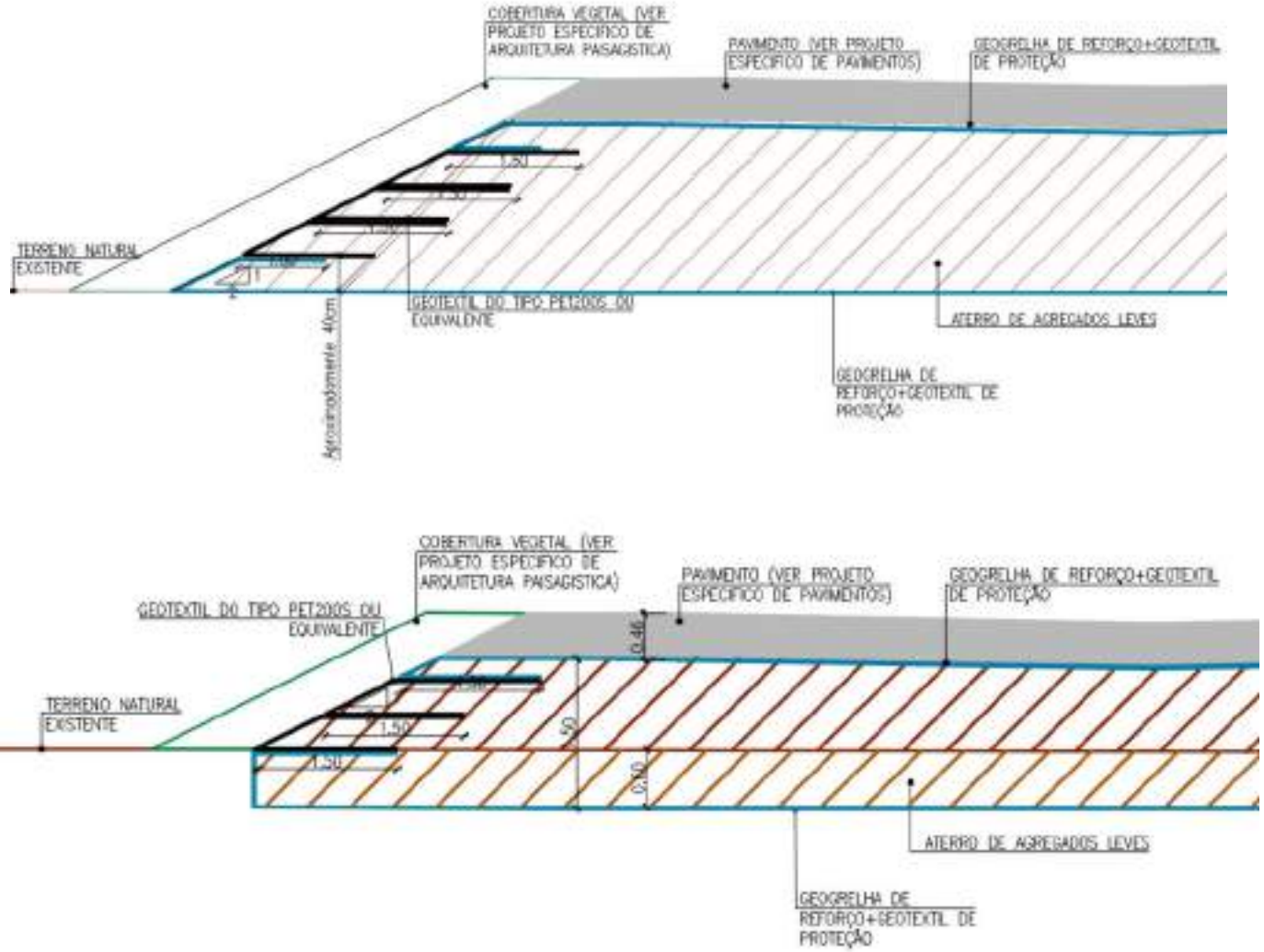
ÍNDICE

- Enquadramento geral
- Principais condicionamentos
- **Soluções adotadas**
- Plano de instrumentação e observação (PIO)
- Considerações finais



Soluções adotadas

- Aterro constituído por agregados leves em argila expandida com alturas entre 1 a 2m, confinado por geocompósito: geogrelhas + geotêxtil;
- Taludes reforçados com geotêxtil de alta resistência;
- **Pré-escavação de 60cm** nos locais em circulação de pesados – aterro de compensação.



Soluções adotadas

- **O QUE SÃO AGREGADOS LEVES**

  - Agregados leves são materiais de baixa densidade como é o caso da argila expandida.

Soluções adotadas

- **CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA**

  - Baixo **peso volúmico**

Situação	Peso volúmico a considerar
Presença ocasional de água	**4 kN/m³**
Presença frequente de água	**5 kN/m³**

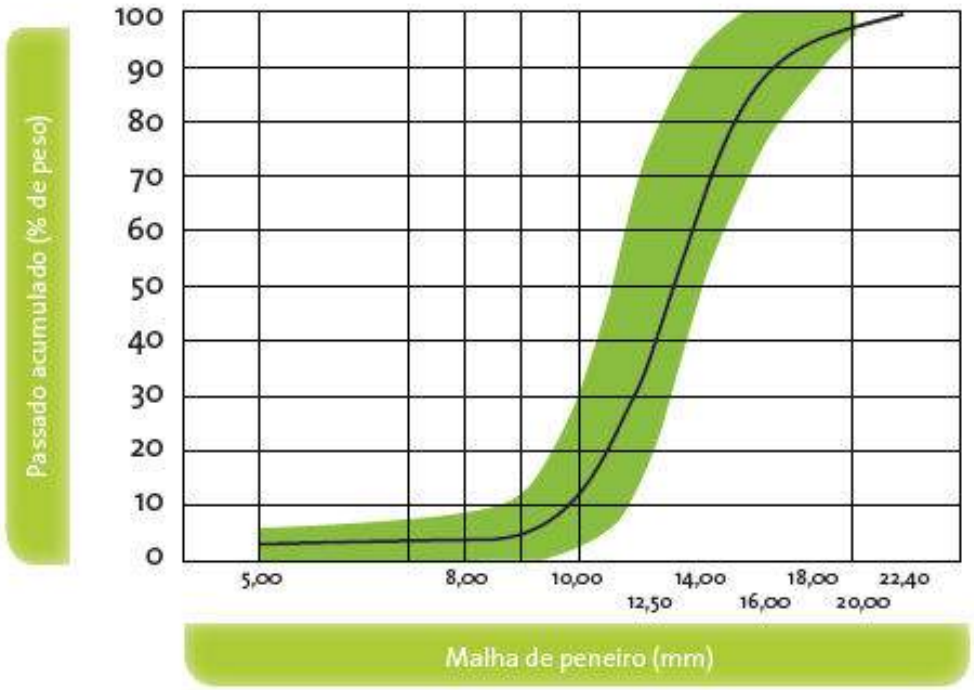
O facto de ser um material com peso reduzido, não só facilita o transporte e manuseio durante a construção, mas também contribui para a redução da carga estrutural sobre o solo de fundação, resultando em economia de materiais e custos operacionais ao longo do ciclo de vida da obra

Principalmente quando é necessário a realização de grandes aterros sobre solos de fundação com fracas características de resistência e de deformabilidade

Soluções adotadas

- **CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA**

  - **Elevada capacidade drenante** – na ordem de grandeza dos inertes britados que recebem a designação comercial de brita nº2



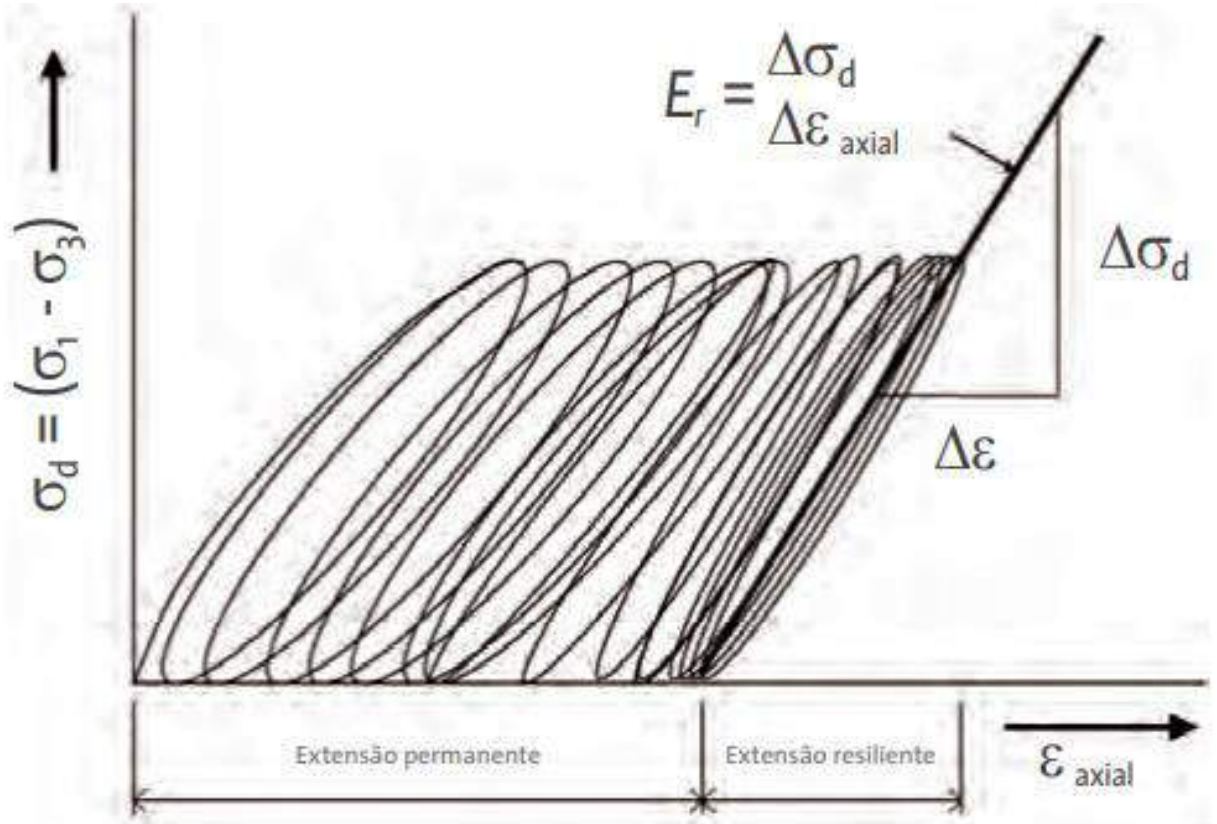
Soluções adotadas

- **CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA**

  - Elevado **módulo de resiliência**
    (módulo de deformabilidade sob ações cíclicas)

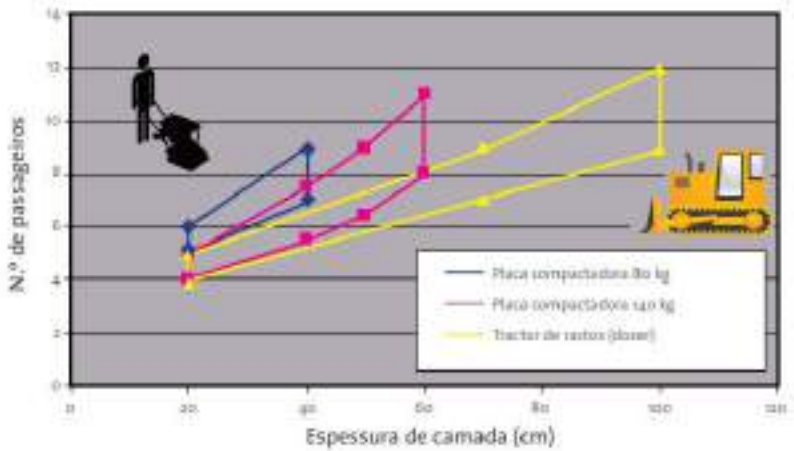
A capacidade dos agregados leves de argila expandida de manter um módulo de resiliência alto sob pressões confinantes variadas é crucial para aplicações em infraestruturas que requerem alta resistência e durabilidade.

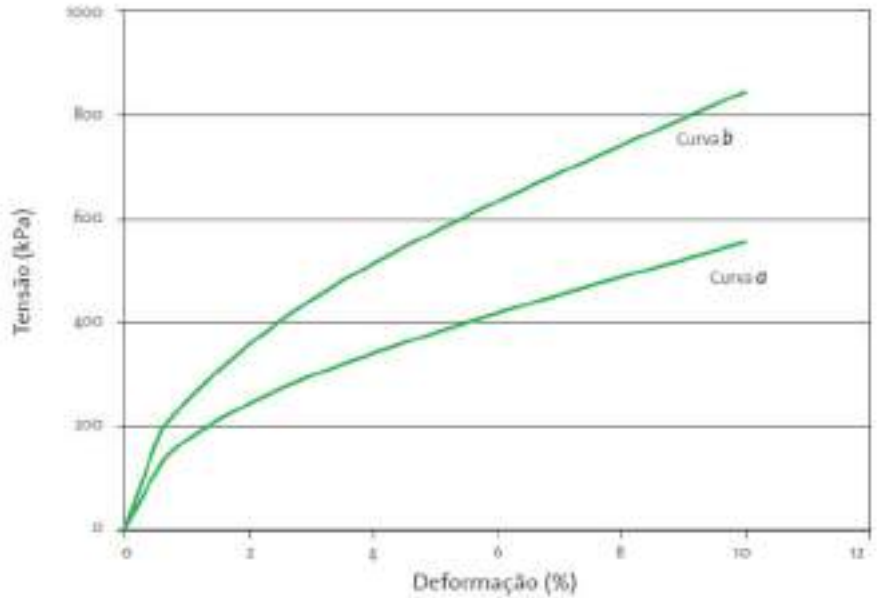
Os resultados obtidos pela Geo Leca nos ensaios realizados permitem a sua utilização em aterros e em obras ferroviárias e rodoviárias, uma vez que a deformação residual é muito baixa.



Soluções adotadas

- **IMPORTÂNCIA DO CONTROLO DA COMPACTAÇÃO (CONTROLADA)**
  - Melhoria da estabilidade estrutural
    - Aumenta a densidade do material, reduzindo os vazios internos – melhor capacidade de suporte de carga e menor risco de assentamentos
  - Redução da deformação permanente
    - Reduz a deformação permanente quando sujeita a cargas cíclicas
  - Aumenta a resistência ao corte
  - Uniformidade do desempenho

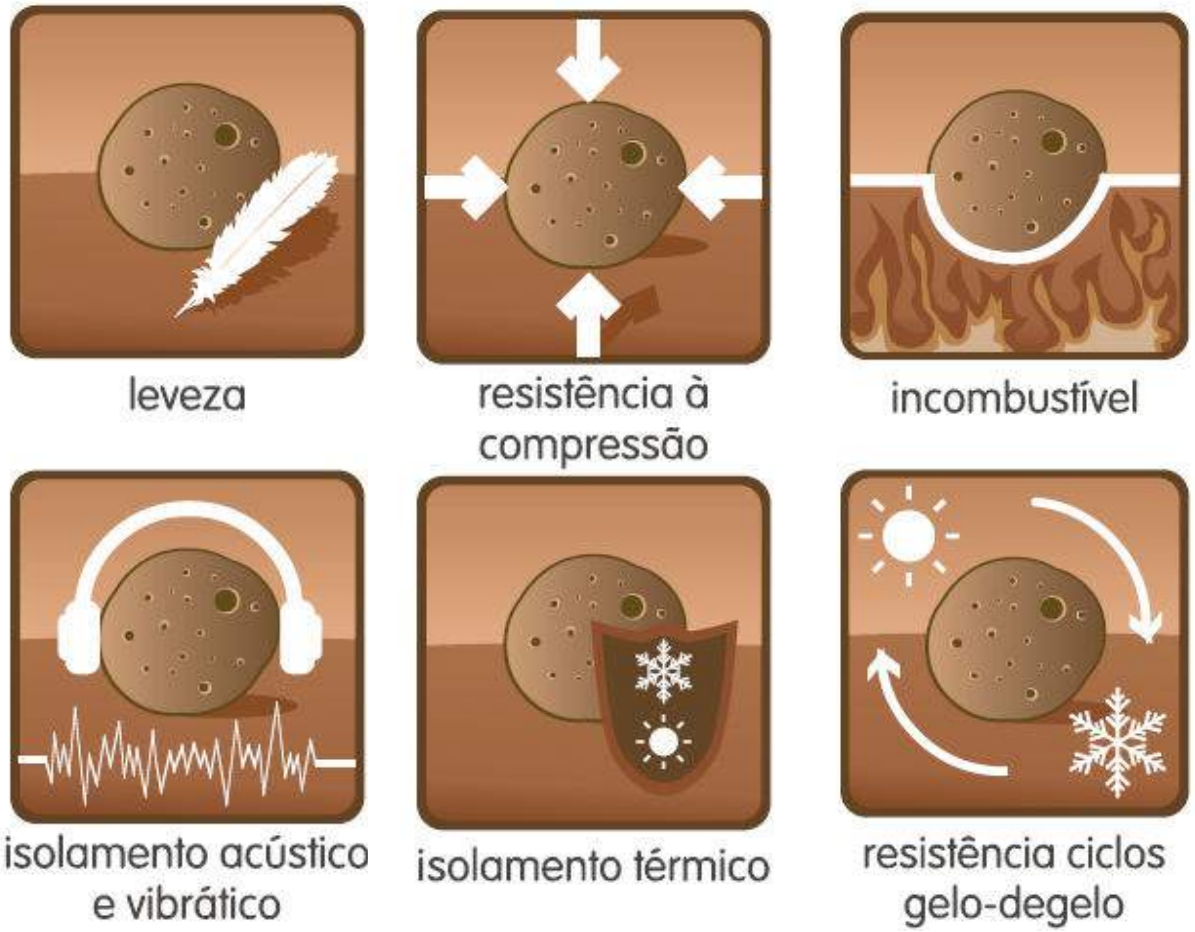




Soluções adotadas

- **VANTAGENS DA SOLUÇÃO DE ATERROS DE AGREGADOS LEVES**

  - Elevada capacidade drenante
  - Resistência à compressão/esmagamento
  - Fenómenos de fluência desprezáveis
  - Elevado módulo de resiliência
  - Elevada resistência ao corte
  - Baixo peso volúmico
  - Facilidade de transporte e colocação em obra
  - Redução na Pegada de Carbono
  - Conservação de Recursos Naturais
  - Potencial de Reutilização em Ciclos de Vida



Soluções adotadas

Soluções adotadas

Soluções adotadas

Soluções adotadas

- **ESTIMATIVA DE ASSENTAMENTOS AO LONGO DO TEMPO**

  - Os assentamentos estimados tiveram em consideração a existência de 4 zonas:

    i) zona com necessidade de realizar aterros para acomodação de tráfego de veículos pesados;

    ii) zona com necessidade de realizar aterros para acomodação de tráfego de ligeiros;

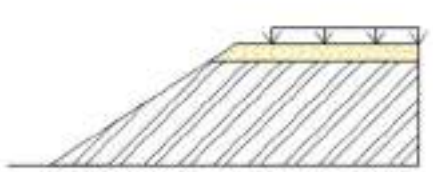
    iii) zona sem necessidade de alteamento de cota e sujeita a tráfego de pesados;

    iv) zona sem necessidade de alteamento de cota e sujeita a tráfego de ligeiros.

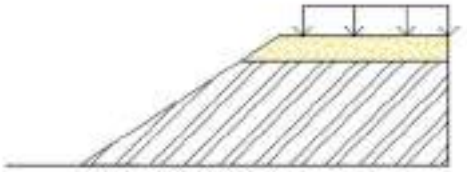
APENAS FINALIZAÇÕES

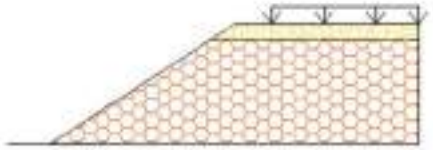
ATERRO COM AGREGADOS LEVES

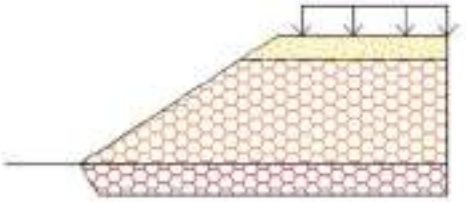
VEICULOS LIGEIROS



VEICULOS PESADOS

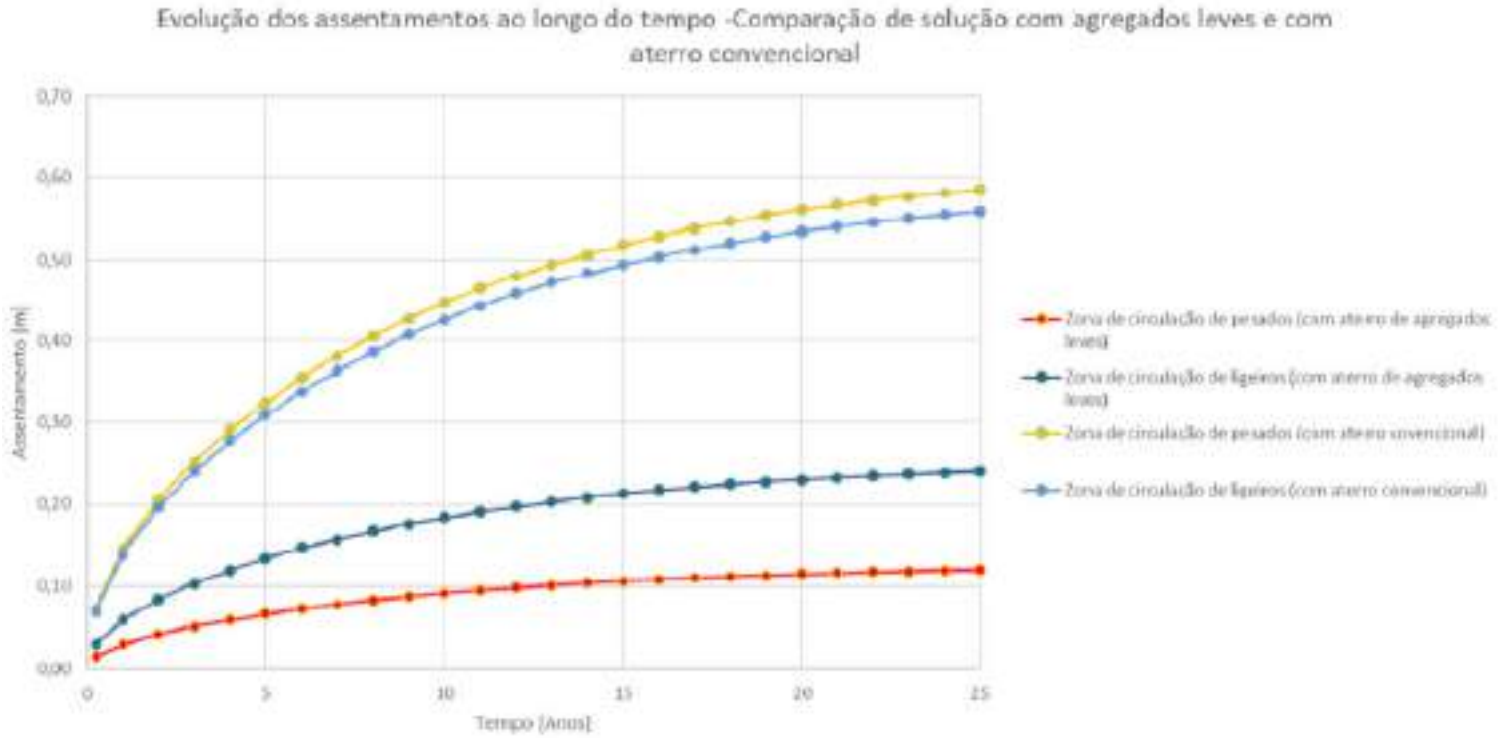






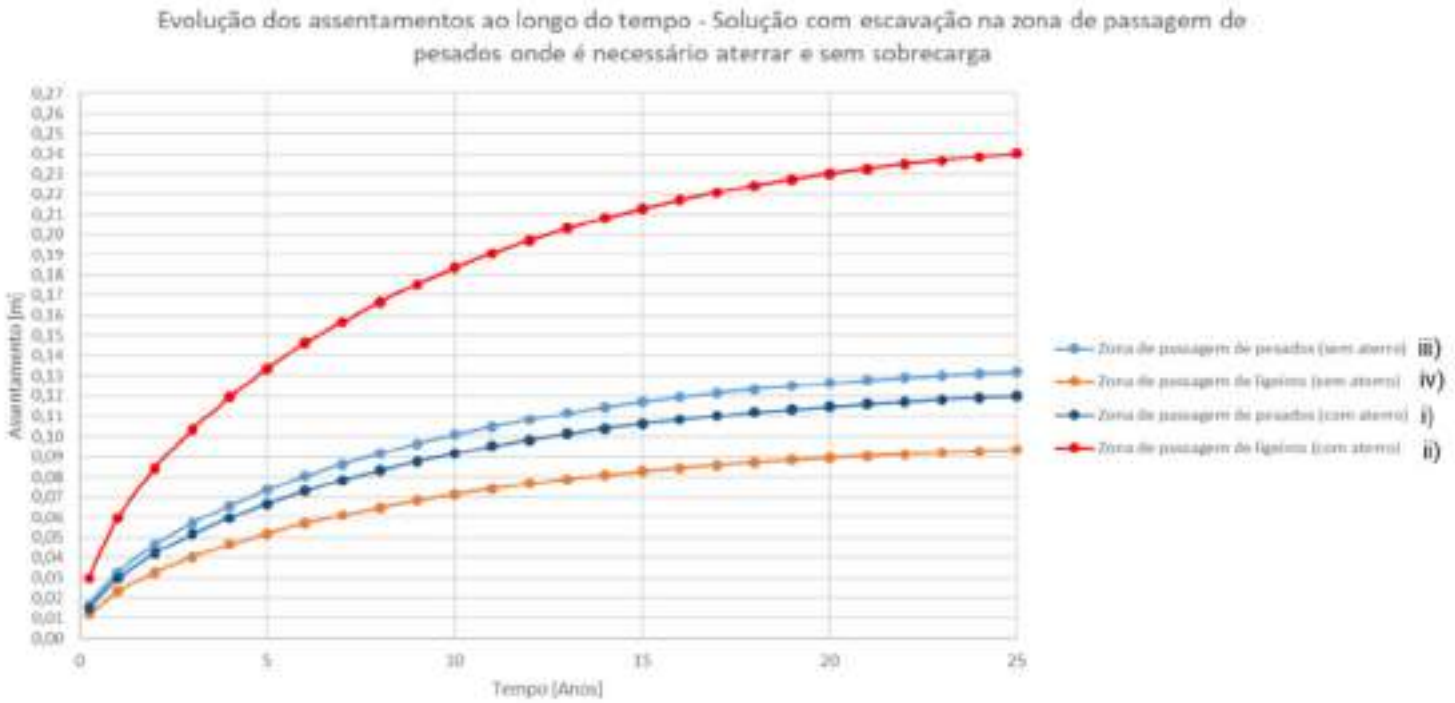
Soluções adotadas

- Zona de circulação de pesados: **34cm ao fim de 5 anos**
- Zona de circulação de ligeiros: **30cm ao fim de 5 anos**



Soluções adotadas

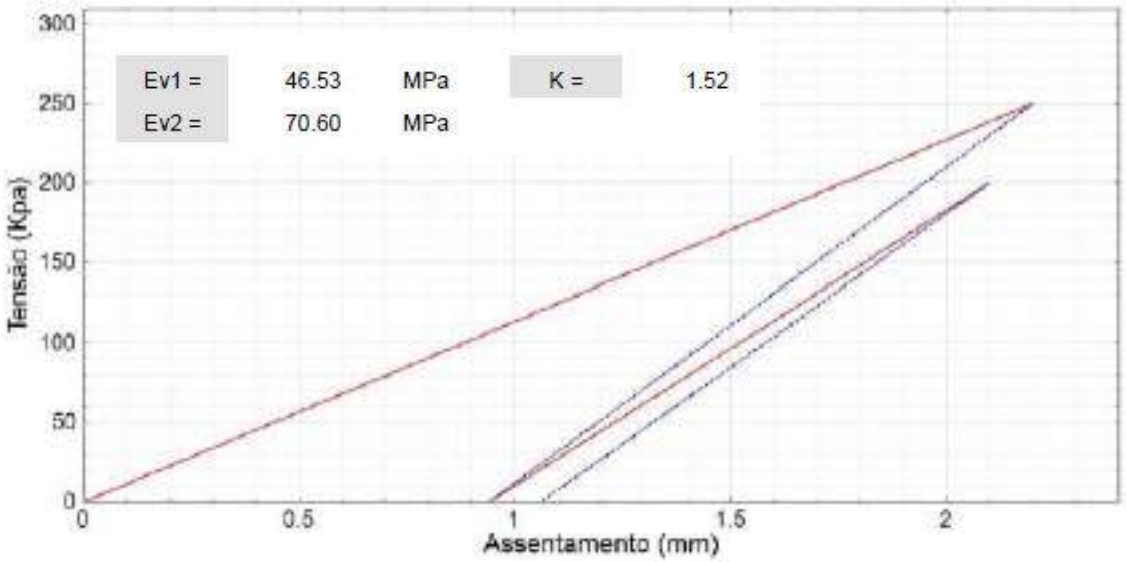
- Zona de circulação de pesados (com pré escavação): **7cm ao fim de 5 anos**
- Zona de circulação de ligeiros (sem pré-escavação): **13 cm ao fim de 5 anos**



Soluções adotadas

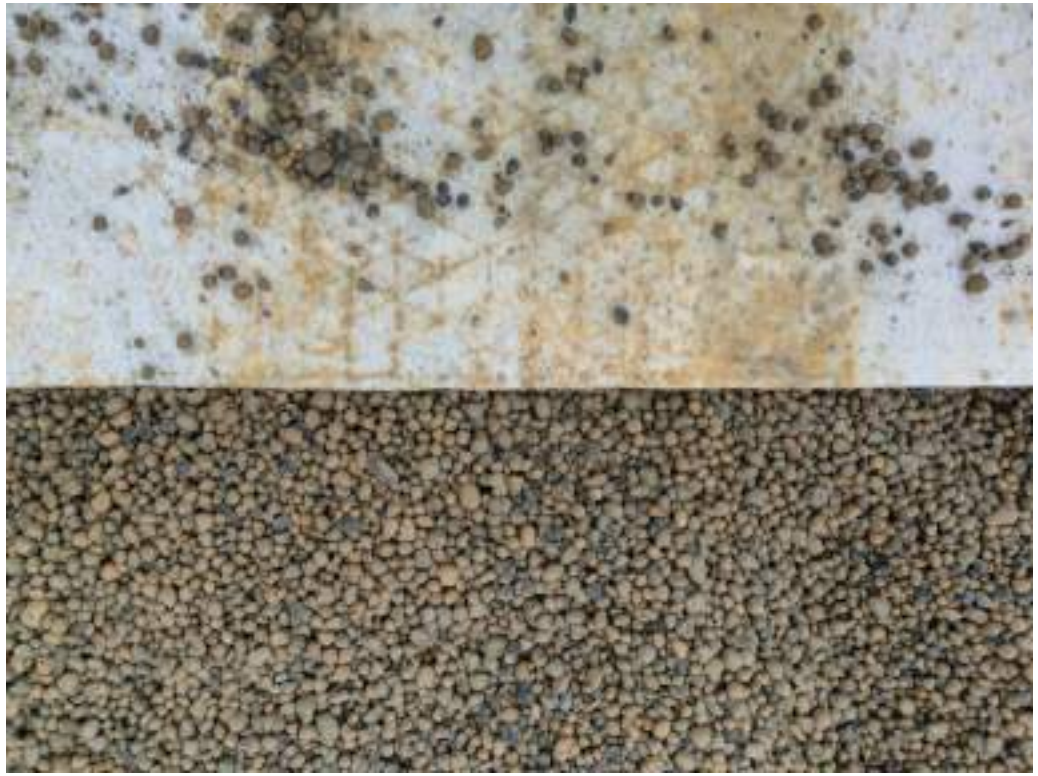
- **ENSAIOS DE CARGA EM PLACA**

- EV2 entre os 70MPa e os 80MPa,
- Critério de aceitação EV2 > 60MPa (Projeto Pavimentos)



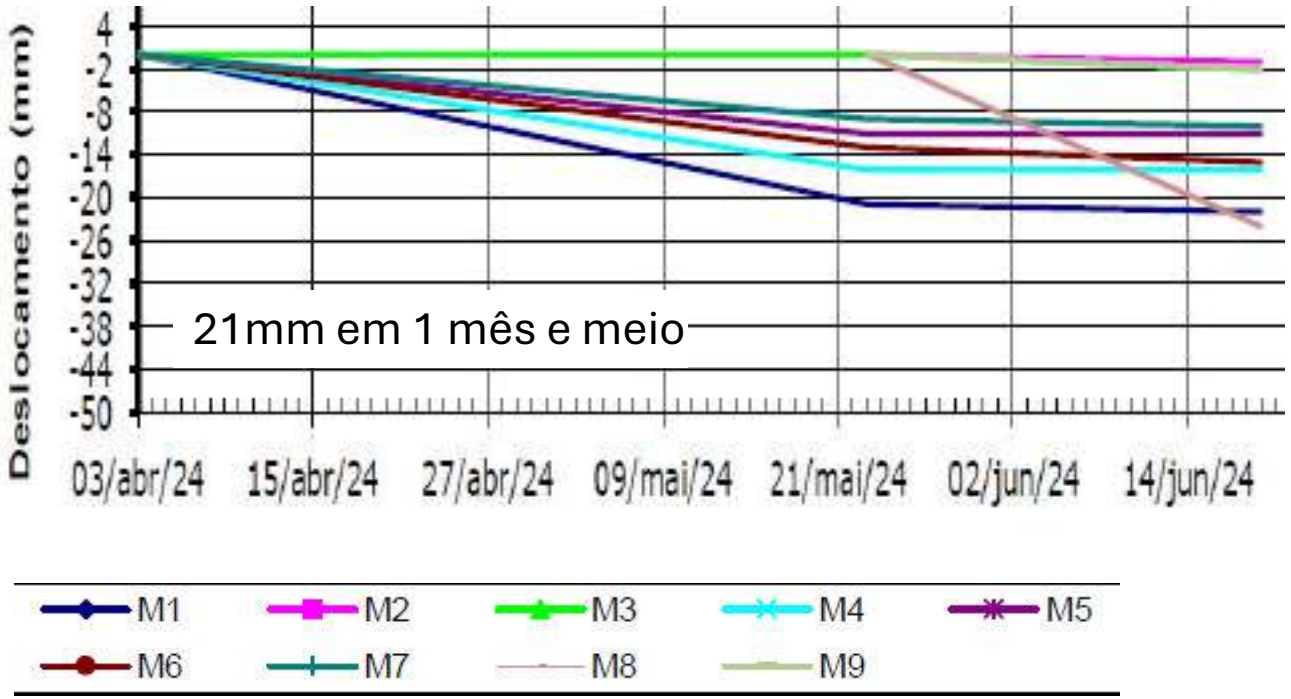
ÍNDICE

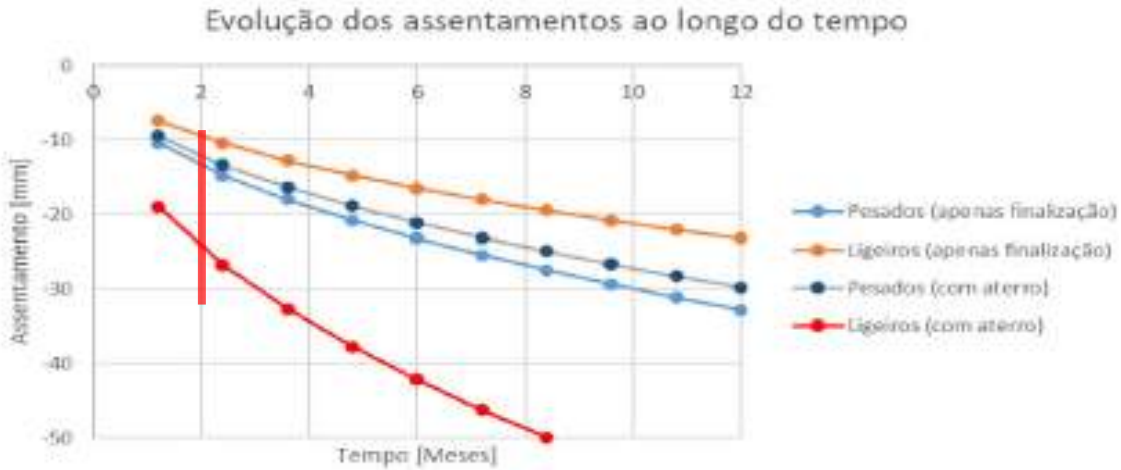
- Enquadramento geral
- Principais condicionamentos
- Soluções adotadas
- **Plano de instrumentação e observação (PIO)**
- Considerações finais



Plano de instrumentação e observação

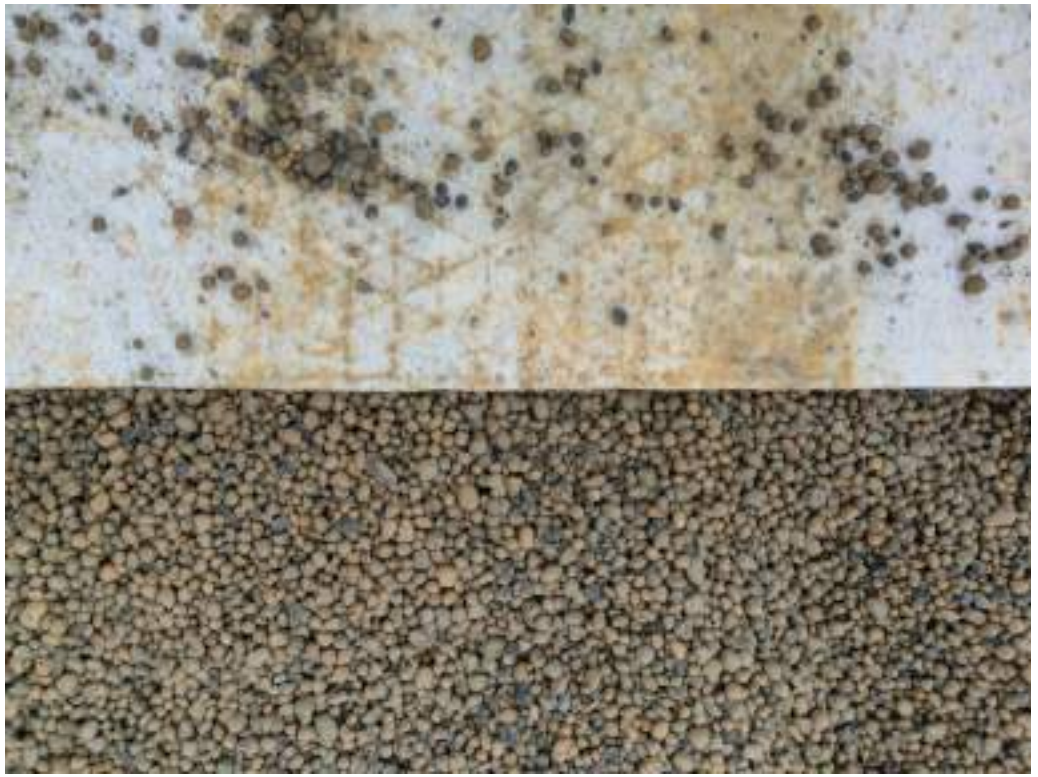
- **INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO**
  - 9 marcas de nivelamento de superfície
  - 3 piezómetros





ÍNDICE

- Enquadramento geral
- Principais condicionamentos
- Soluções adotadas
- Plano de instrumentação e observação (PIO)
- **Considerações finais**



Considerações finais

Mitigação de Assentamentos Diferenciais:

- Utilização de agregados leves no aterro proporcionou efetiva **mitigação de assentamentos diferenciais**;
- Assentamento total estimado de aproximadamente 7 cm ao longo de 5 anos para a zona de circulação de pesados (zona critica).

Considerações finais

Mitigação de Assentamentos Diferenciais:

- Utilização de agregados leves no aterro proporcionou efetiva **mitigação de assentamentos diferenciais**;
- Assentamento total estimado de aproximadamente 7 cm ao longo de 5 anos para a zona de circulação de pesados (zona critica).

Comparação com Solução Convencional:

- Solução convencional resultaria em assentamentos diferenciais da ordem de 20 cm;
- Alternativas mais onerosas, em prazo e custo, incluiriam consolidação forçada por geodrenos e aterros de pré-carga.

Considerações finais

Mitigação de Assentamentos Diferenciais:

- Utilização de agregados leves no aterro proporcionou efetiva **mitigação de assentamentos diferenciais**;
- Assentamento total estimado de aproximadamente 7 cm ao longo de 5 anos para a zona de circulação de pesados (zona critica).

Comparação com Solução Convencional:

- Solução convencional resultaria em assentamentos diferenciais da ordem de 20 cm;
- Alternativas mais onerosas, em prazo e custo, incluiriam consolidação forçada por geodrenos e aterros de pré-carga.

Benefícios da Utilização de Agregados Leves:

- **Redução significativa no incremento de tensões efetivas** nos materiais aluvionares de fundação;
- **Minimização dos assentamentos totais e diferenciais** quando associados a geossintéticos e comparados com aterros tradicionais;
- Resultados de ensaios de carga em placa demonstraram **condições de fundação do pavimento satisfatórias**;
- A utilização de agregados leves **reduz a necessidade de extração de materiais pétreos naturais**, como pedra britada. Isso ajuda a preservar recursos minerais limitados e habitats naturais, **minimizando o impacto ambiental** associado à exploração de pedreiras e minas;
- **Potencial de reutilização em Ciclos de Vida:** devido à sua durabilidade e propriedades técnicas, podem ser facilmente reutilizados em outras obras após o término do ciclo de vida da obra onde são aplicados.

A geotecnia ao serviço dos desafios da sociedade!

NOVA LINHA RUBI DO METRO DO PORTO: SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA PARA A CONSTRUÇÃO DA ESTAÇÃO DEVESAS

Thaís Maria Leite Paludeto / JETsj Geotecnia
André Henriques / JETsj Geotecnia
Rui Tomásio / JETsj Geotecnia
Filipa Duarte / Quadrante
António Pereira / Quadrante

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

JETsj

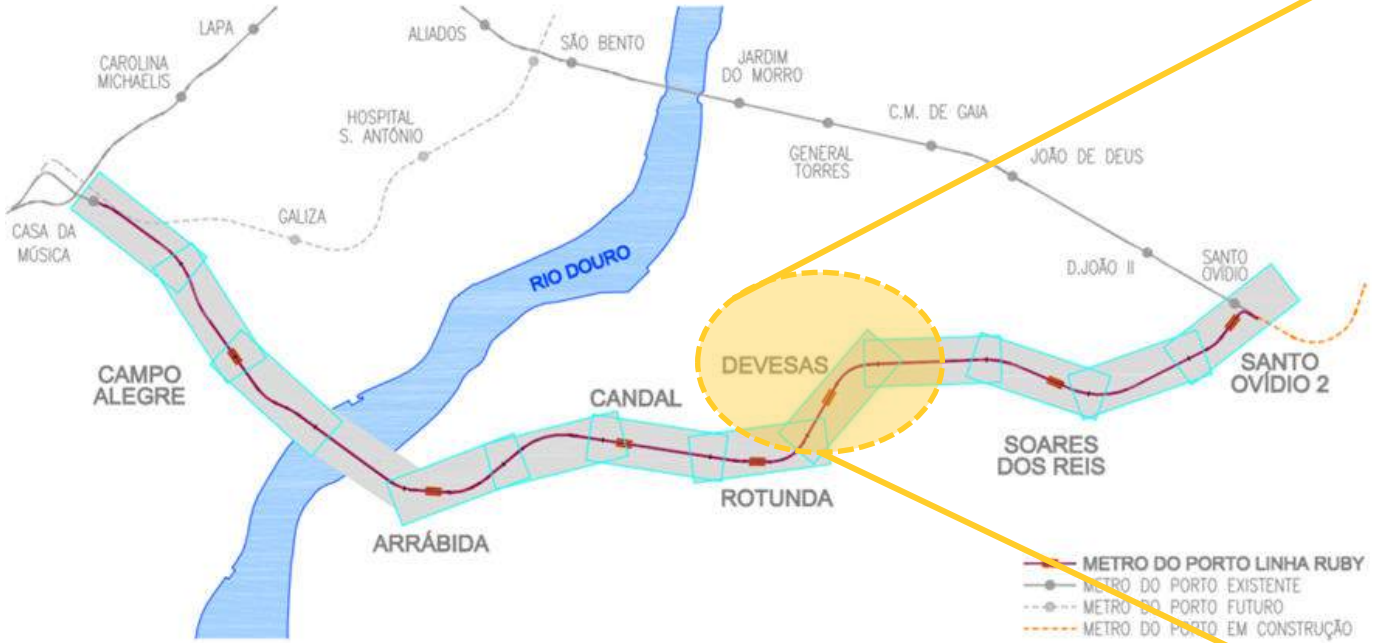
Sociedade Portuguesa de Geotecnia

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Enquadramento Geológico-Geotécnico
4. Soluções Adotadas
5. Processos Construtivos
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

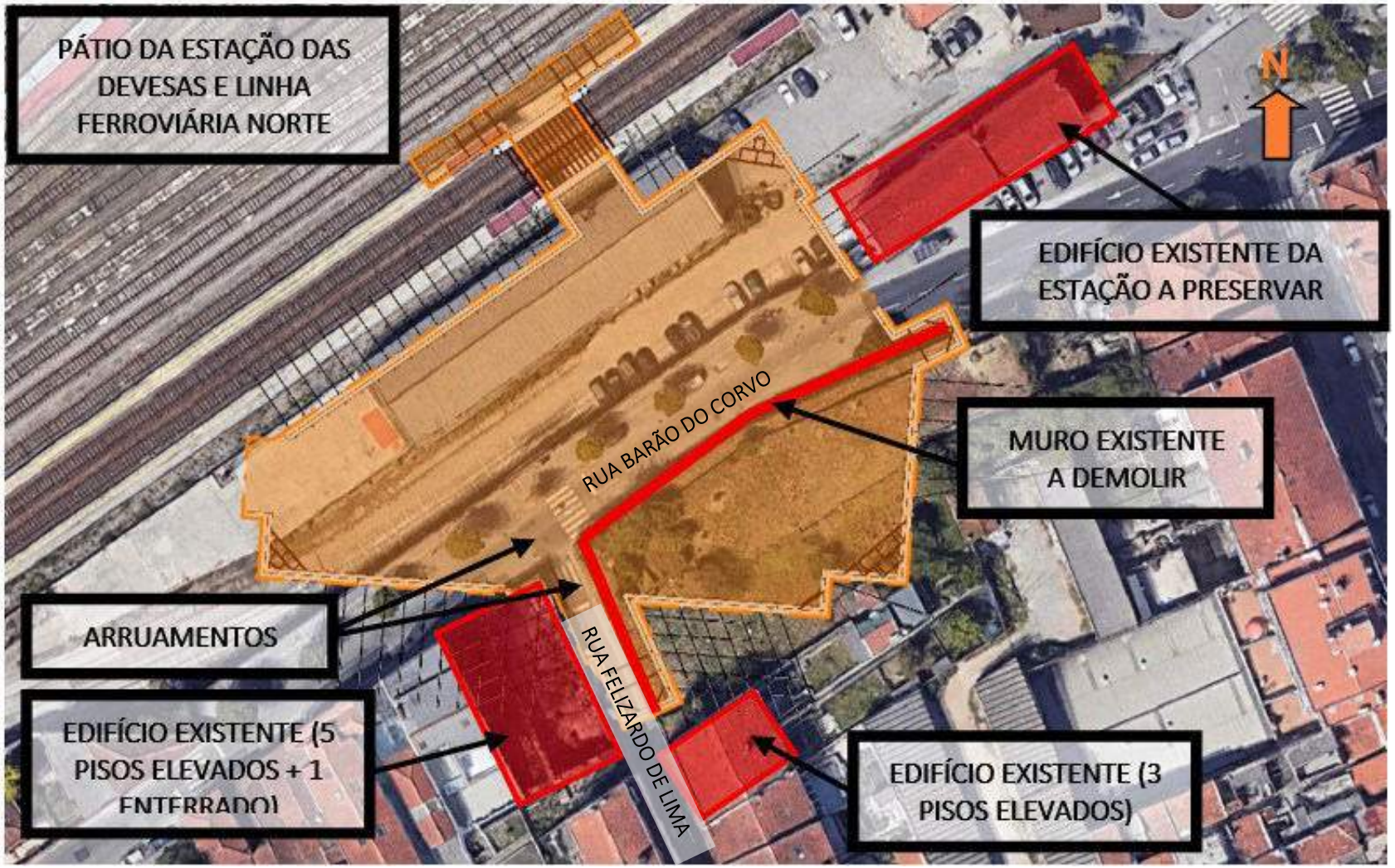
1. INTRODUÇÃO

- **Linha Rubi Metro Porto**: Casa da Música ⟶ Santo Ovídio
- Estação de Devesas realizada a céu aberto



2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

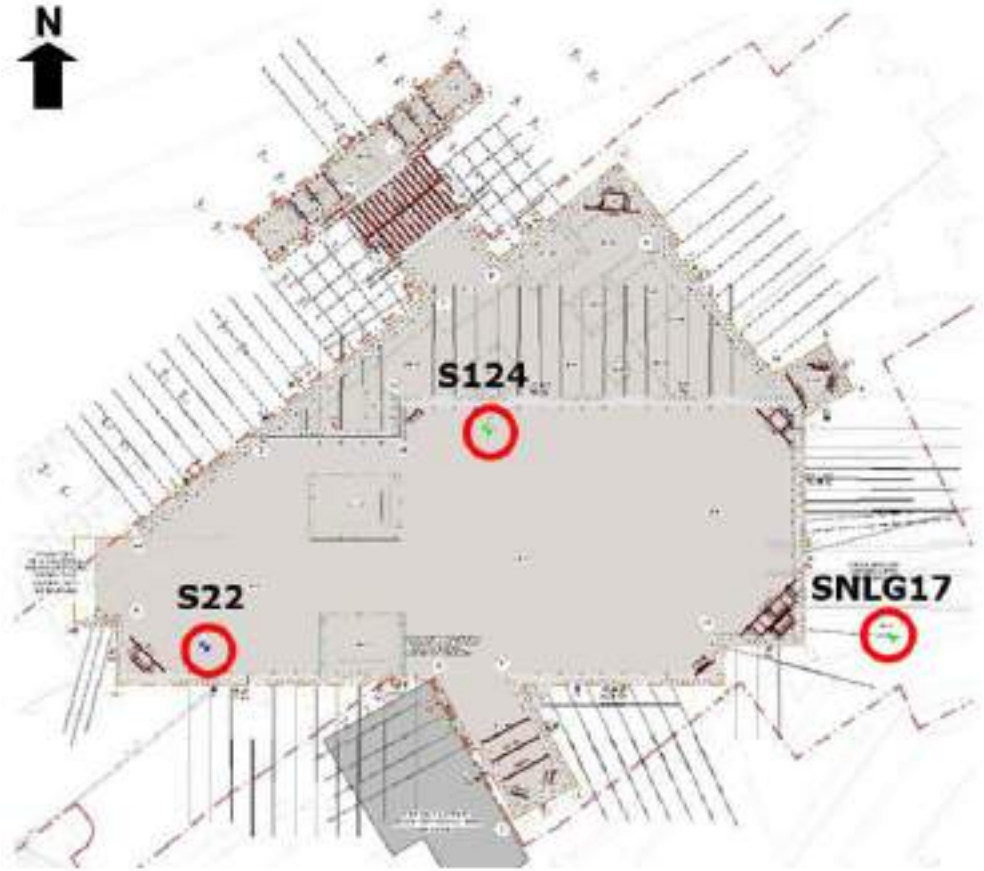
Escavação em Meio Urbano = Diversos Fatores Condicionantes



3. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO

Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000

- Caracteriza-se por formações do Complexo Xisto-Gnáissico-Migmatítico.



Fonte: Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, Folha 09-C - Porto

Prospeção Geológico-Geotécnico

- 3 Sondagens Geotécnicas à rotação com amostragem contínua;
- Ensaios SPT em profundidade.

3. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO

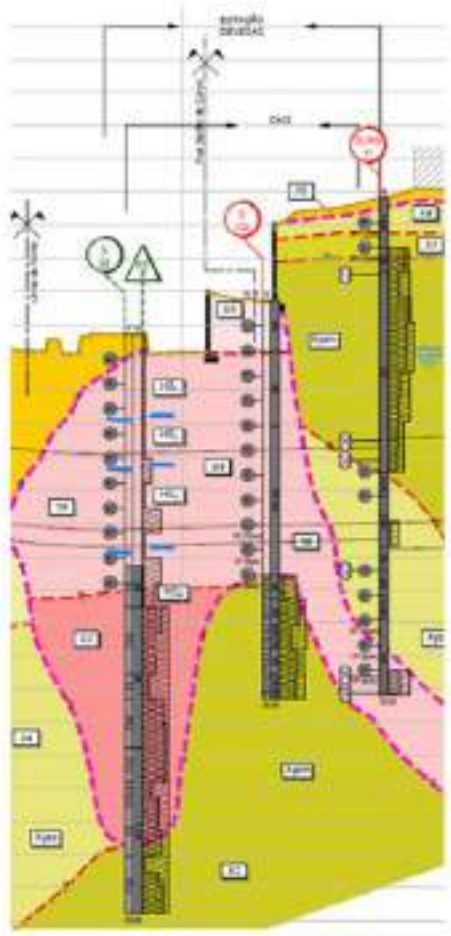
Caracterização Geomecânica

- Parâmetros de resistência e de deformabilidade estimados por correlações com base nos resultados dos ensaios laboratoriais e dos ensaios in situ

Zona Geotécnica	γ (kN/m³)	E (MPa)	υ	c' (kPa)	ϕ' (º)	K0
At/a	19	10	0,30	0	28	0,55

Zona geotécnica	Estado de alteração predominante (W)		N_{SPT} [pancadas]	γ [kN/m³]	c'_{ref} [kPa]	ϕ' [º]	E_{50}^{ref} [MPa]	E_{oed}^{ref} [MPa]	E_{ur}^{ref} [MPa]	ν'_{ur}
X4	W5	19.50	≥ 50 pancadas	19.70	18 21 - 28	25 – 34 31 - 33	6 – 33 37 - 56	6 – 33 37 - 56	18 – 99 111 - 168	0,20
XS	W6	Solo residual migmatítico	25 a 35 pancadas 35 a 50 pancadas	20.90	10 - 20	34 - 36	46	46	128	0,20

Zona geotécnica	Estado de alteração predominante (W)		N_{SPT} [pancadas]	γ [kN/m³]	c'_{ref} [kPa]	φ' [º]	E_{50}^{ref} [MPa]	E_{oed}^{ref} [MPa]	E_{ur}^{ref} [MPa]	ν'_{ur}
G4	W5	Granito decomposto	25 a 35 pancadas 35 a 50 pancadas	19.50	10 - 15	33 - 36	30 - 90	30 - 90	210 - 270	0,20
G5	W6	Solo residual granítico	≥ 50 pancadas	19.90	5 - 10	29 - 32	12 - 14 25 – 30	12 – 14 25 – 30	36 – 42 75 – 90	0,20

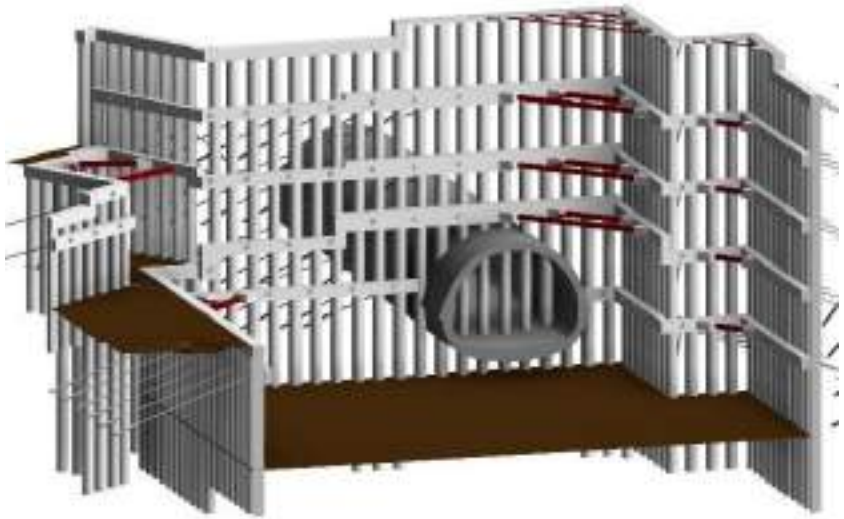


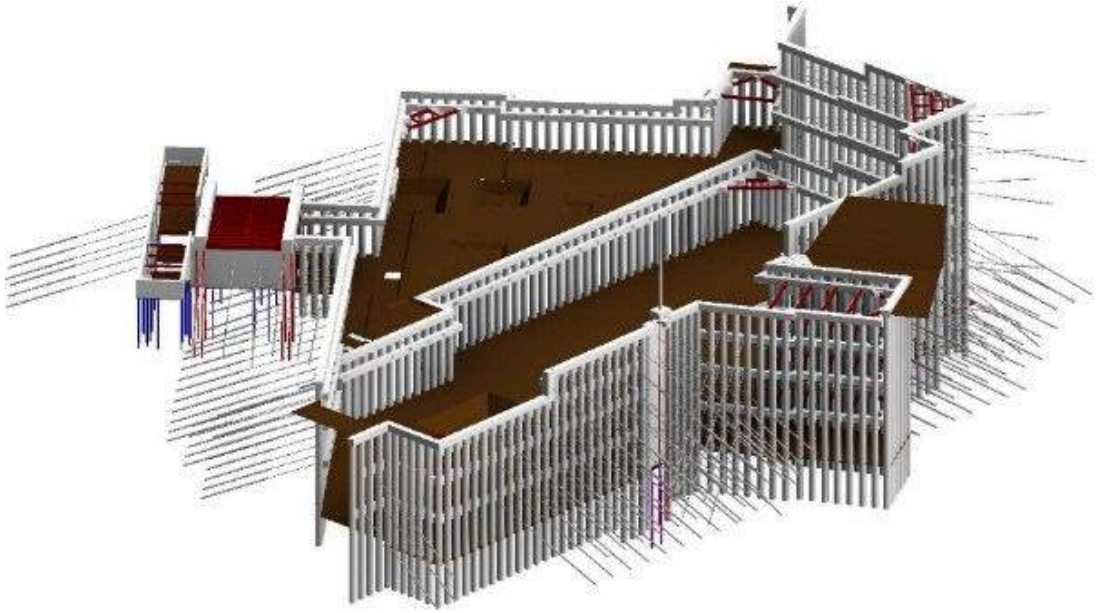
3. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO

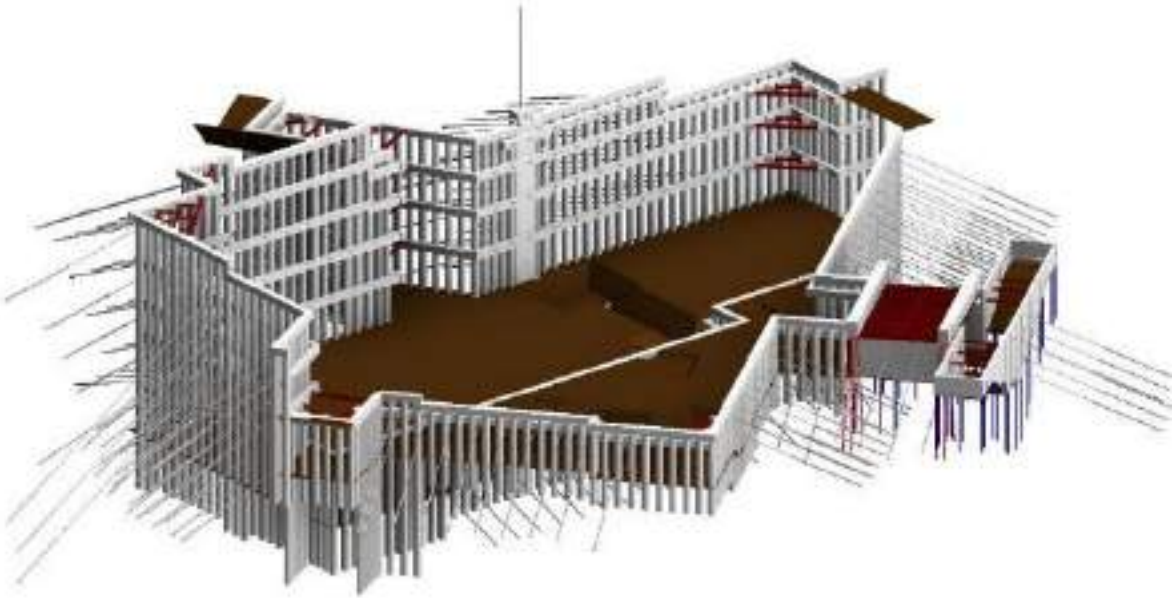
4. SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

CORTINA DE ESTACAS

- Estacas de Ø800 mm // 1,40 m
- Betão projetado
- 1 a 5 níveis de ancoragem
- Altura máxima de escavação: 22 m



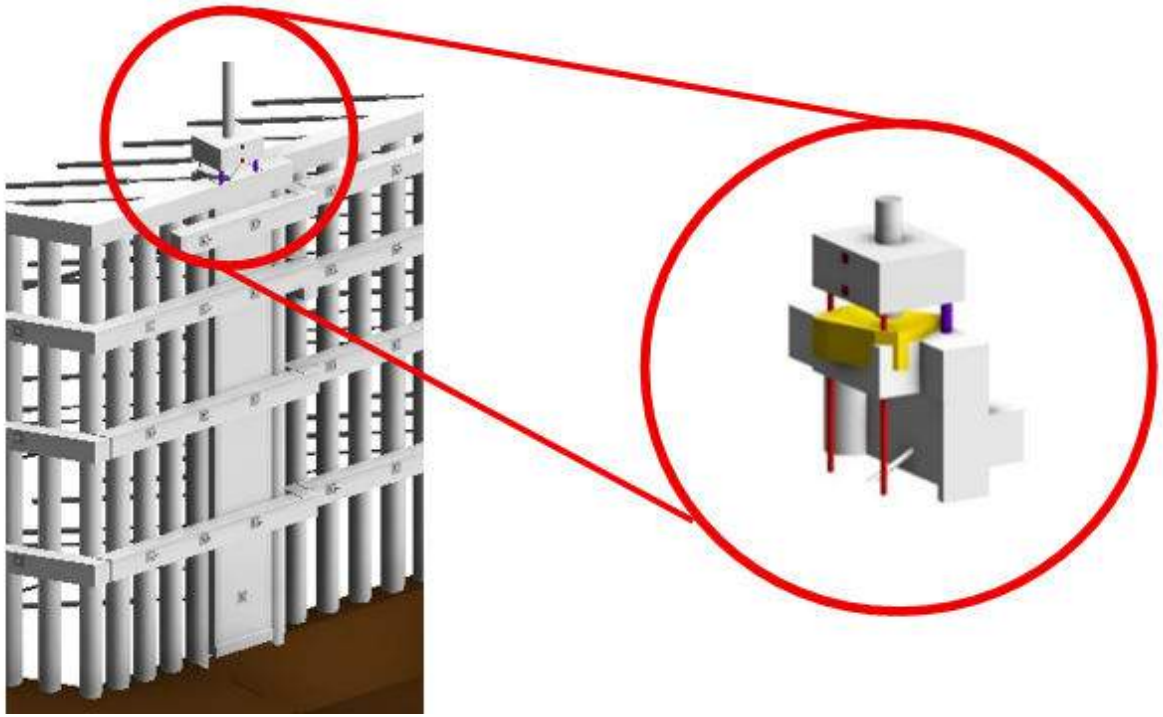


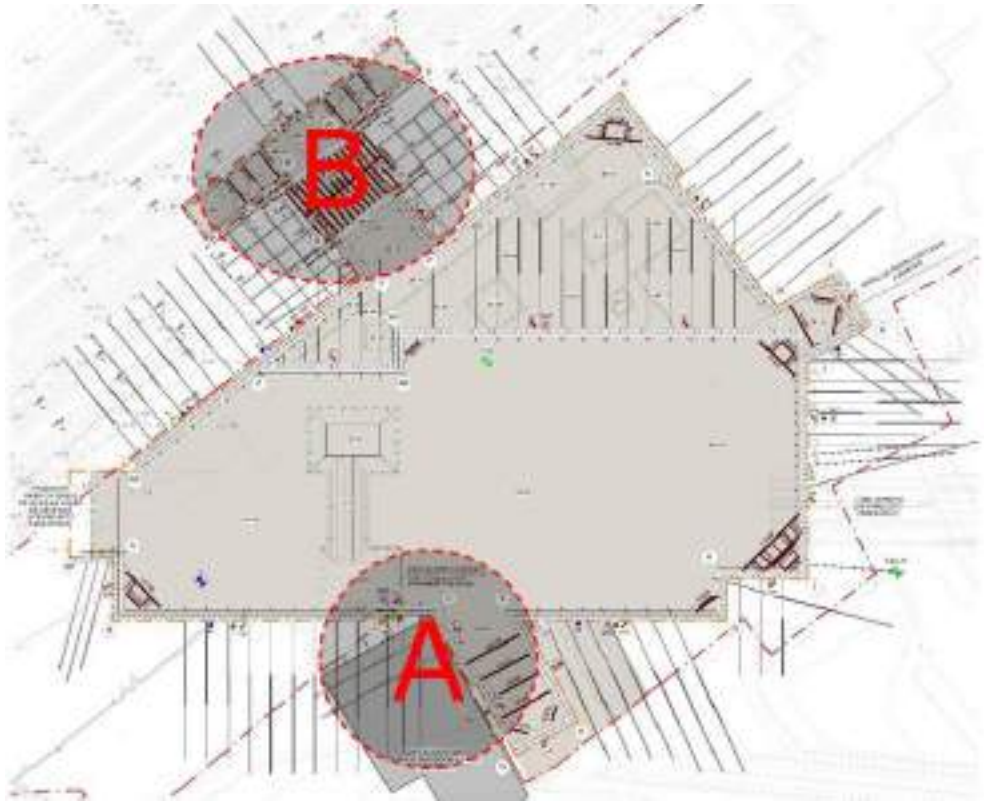


4. SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

BERLIM DEFINITIVO

- Zona A e B
- Zona A: necessidade de recalçamento de pilar
- Zona B: abaixo da linha férrea

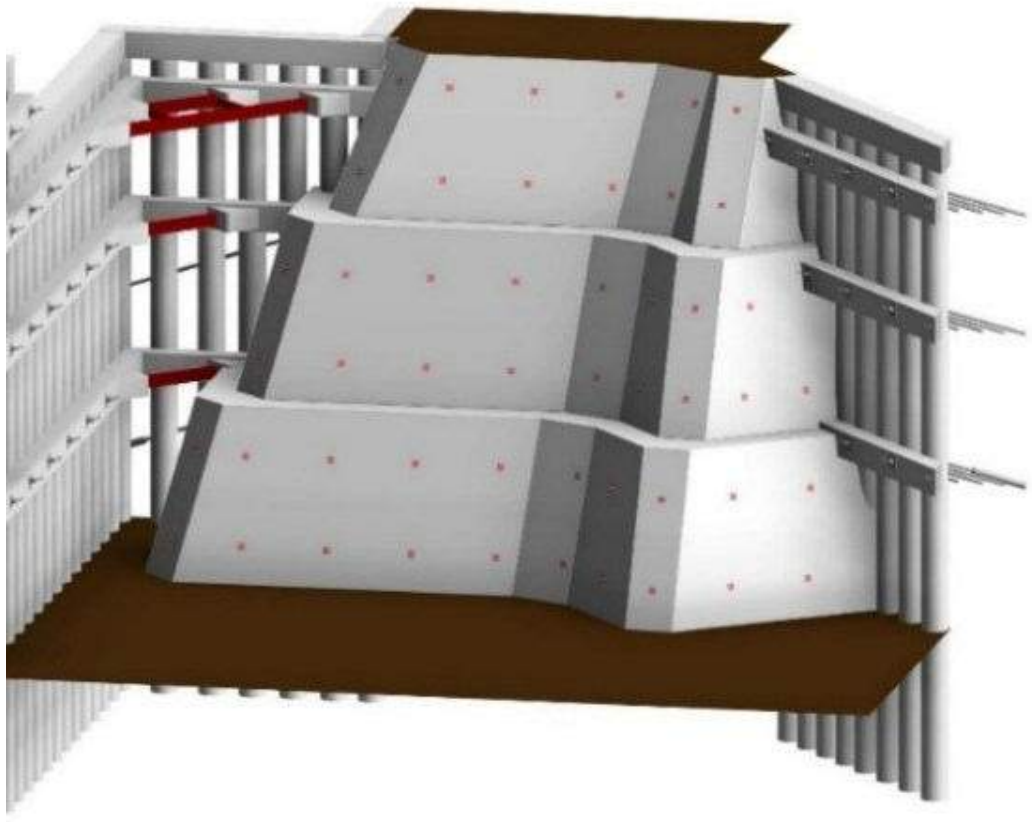




4. SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

TALUDE PROVISÓRIO E PREGAGENS

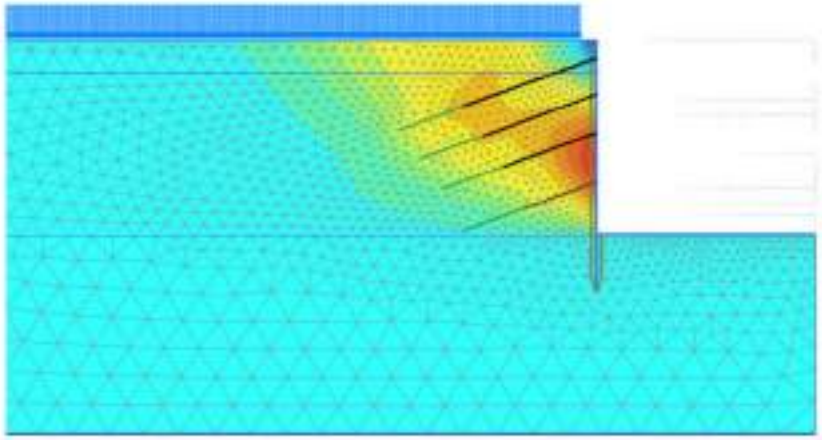
- Inclinações ajustadas ao tipo de terreno: 2,5:1 (V:H) no primeiro patamar e 4,0:1 (V:H) nos patamares seguintes;
- Banquetas intermédias de 1,0 m;
- Betão projetado com 25 cm de espessura, reforçado com fibras metálicas;
- Pregagens em varões de fibra de vidro Ø32 mm, com comprimentos entre 6 m e 10 m
- Malha de 2,5 m × 2,5 m
- Geodrenos sub-horizontais com 4 m de comprimento, para controlo das pressões hidrostáticas



4. SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo

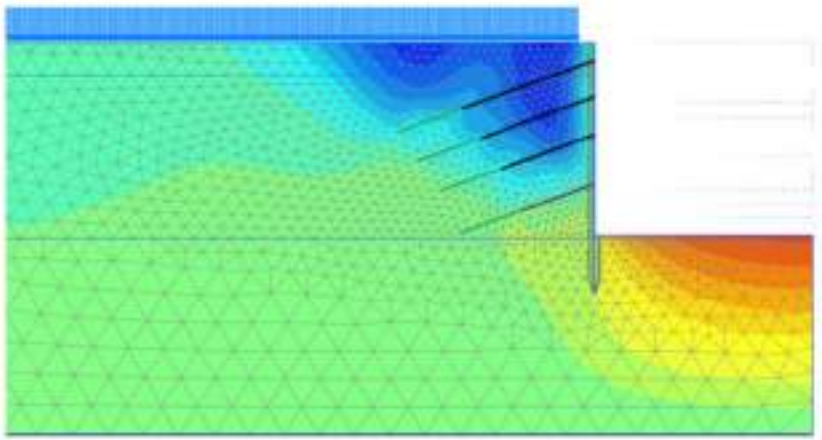
CORTINA DE ESTACAS – 4 NÍVEIS DE ANCORAGEM



Total displacements u_x (scaled up 200 times)

Maximum value = 0.01024 m (Element 3757 at Node 24624)

Minimum value = $-5.763*10^{-3}$ m (Element 519 at Node 37830)



Total displacements u_y (scaled up 500 times)

Maximum value = $4.903*10^{-3}$ m (Element 4391 at Node 21188)

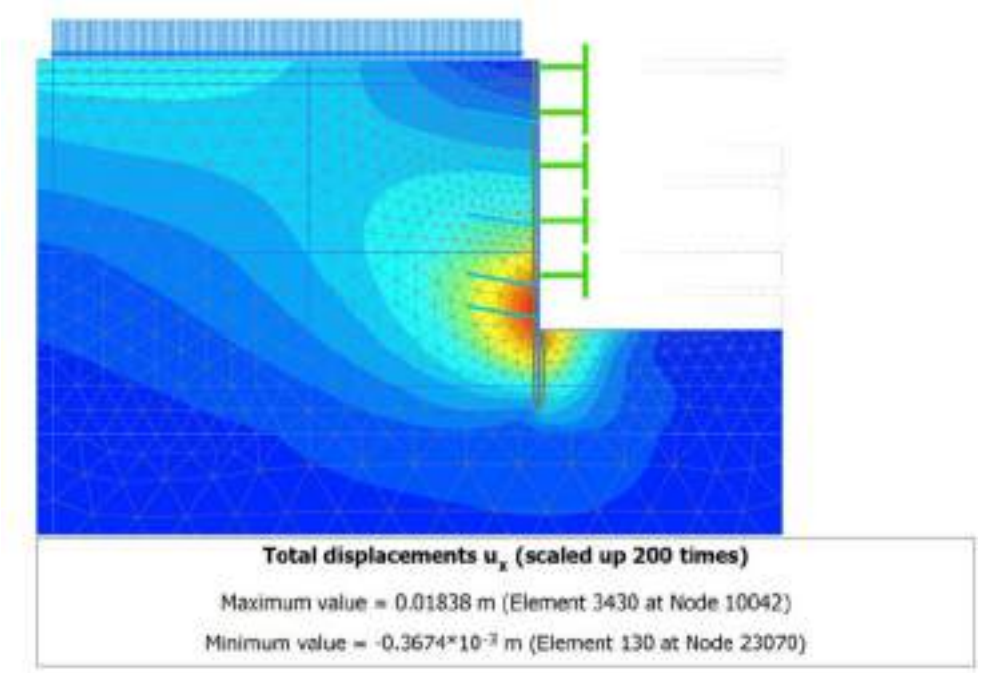
Minimum value = $-4.084*10^{-3}$ m (Element 450 at Node 32379)

Deslocamento horizontal	Deslocamento vertical

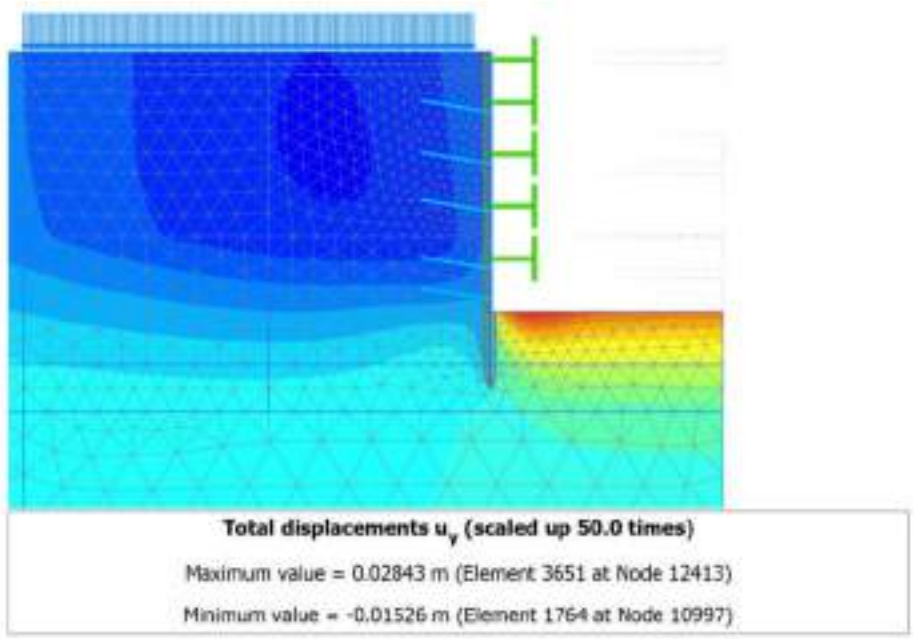
4. SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo

CORTINA DE ESTACAS – 5 NÍVEIS DE ESCORAS METÁLICAS



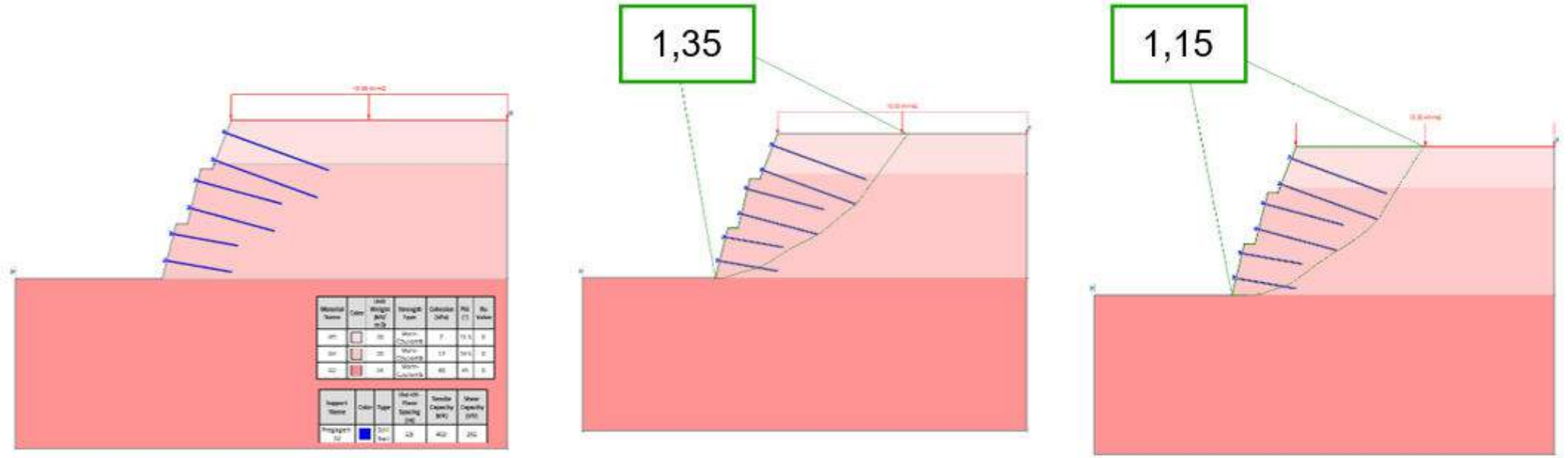
Deslocamento horizontal



Deslocamento vertical

4. SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

TALUDE PROVISÓRIO – Modelo de Cálculo de Estabilidade



Modelo de Cálculo – SLIDE	Combinação 1	Combinação 2

5. PROCESSOS CONSTRUTIVOS

TRABALHOS DE ESCAVAÇÃO

5. PROCESSOS CONSTRUTIVOS

TRABALHOS DE ESCAVAÇÃO

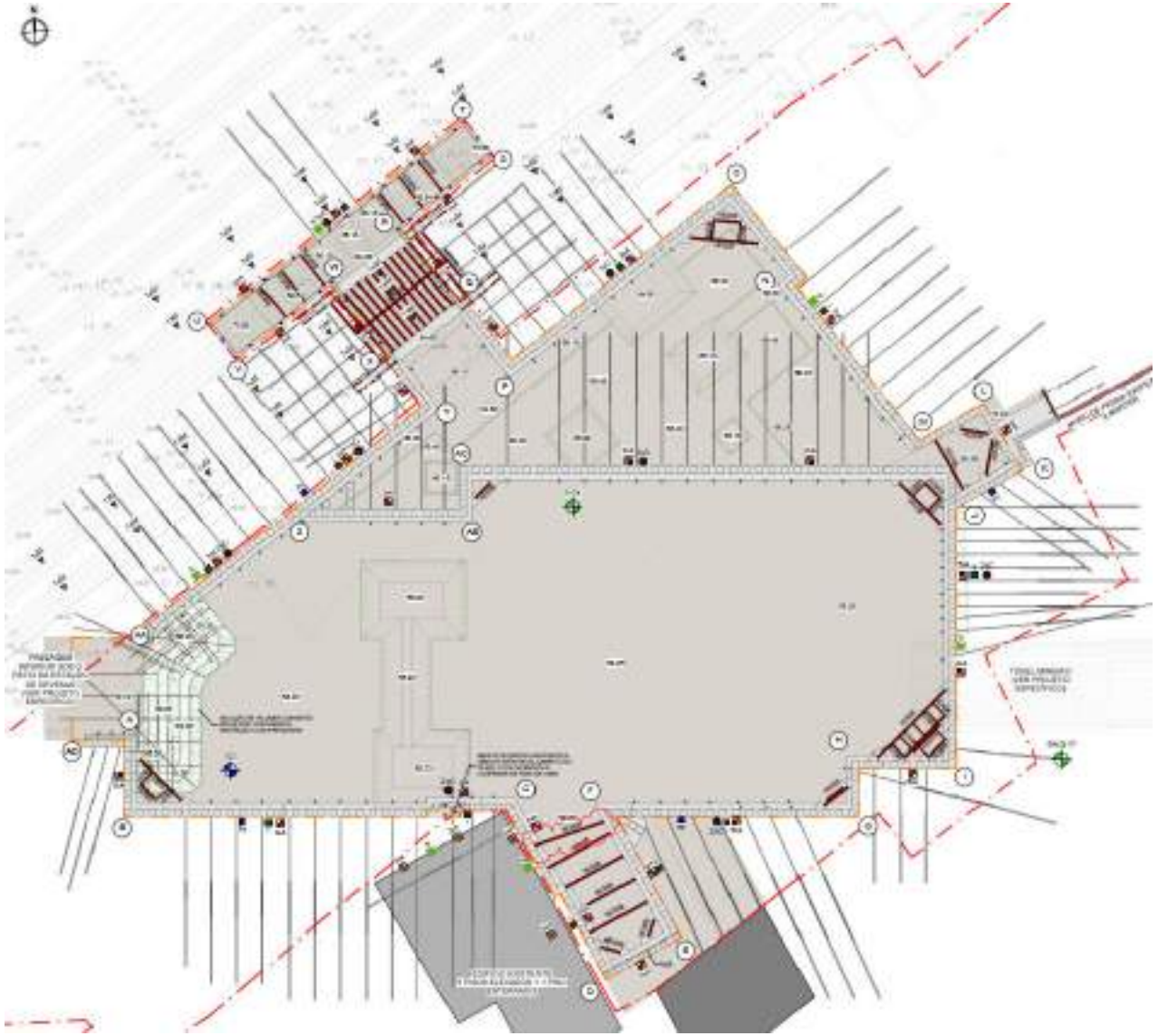
5. PROCESSOS CONSTRUTIVOS

TRABALHOS DE ESCAVAÇÃO

5. PROCESSOS CONSTRUTIVOS

TRABALHOS DE ESCAVAÇÃO

6. PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO



Alvos Topográficos: 92

Marcos de Nivelamento: 31

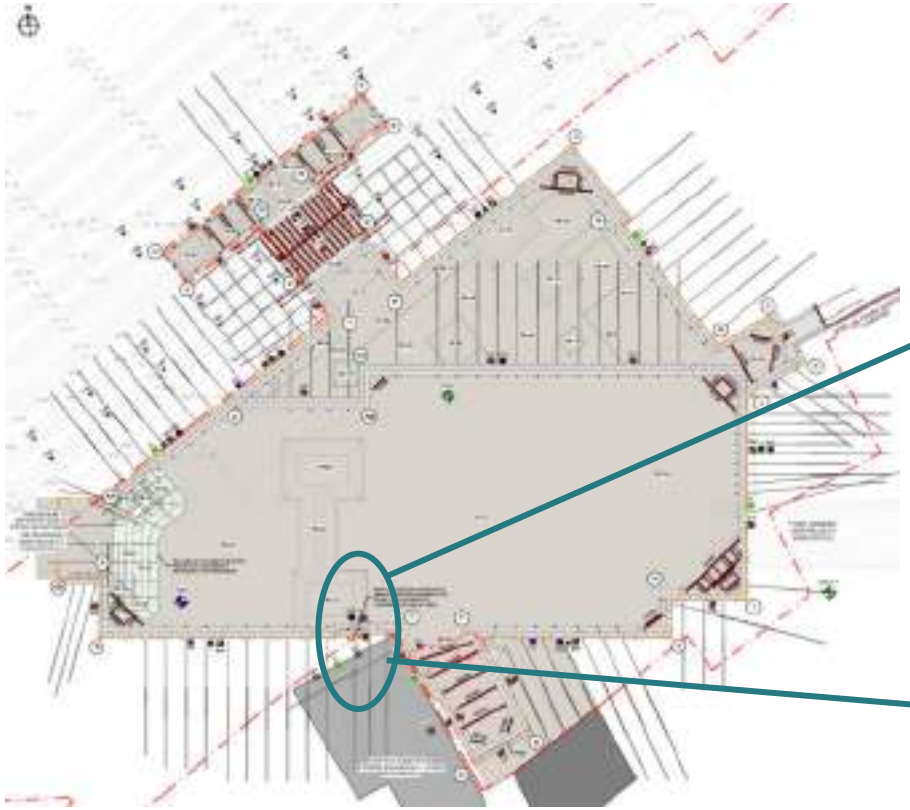
Inclinómetros: 8

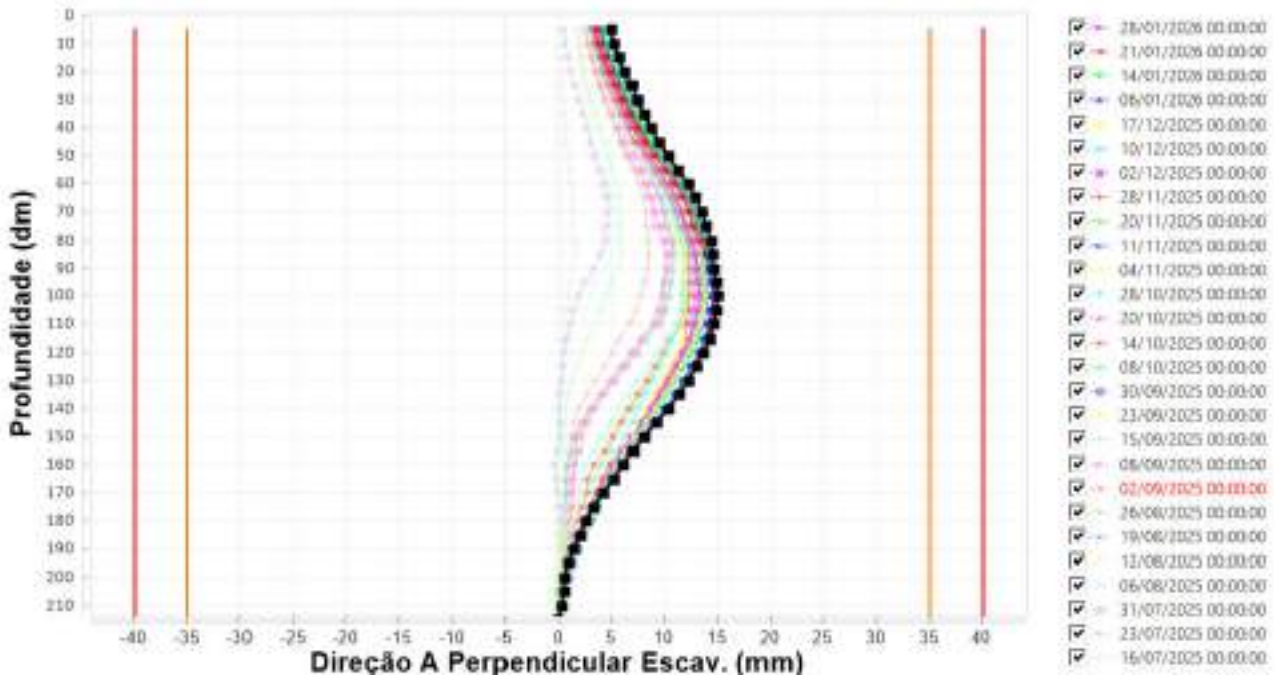
Células de Carga: 12

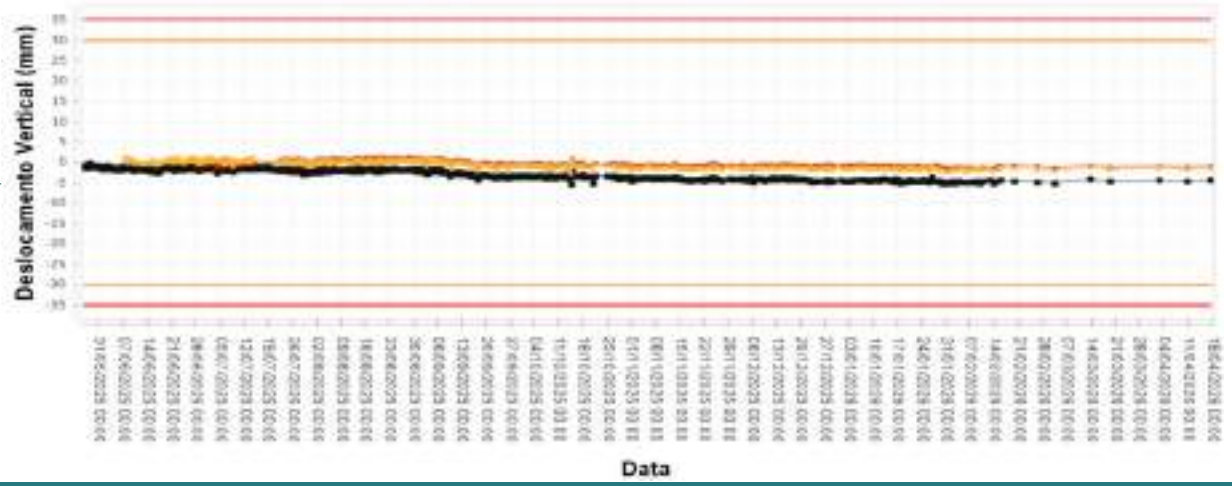
Piezómetros: 4

Sismógrafos: 6

6. PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO







7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

1

Importância do Papel da Geotecnia nas escavações em meio urbano complexo, caracterizada por fortes condicionamentos geométricos, geológicos e operacionais.

2

Importância da avaliação prévia das Condicionantes Locais na adoção de soluções

3

A importância do recurso a modelos numéricos de elementos finitos revelou-se essencial para a compreensão do comportamento da escavação e para o apoio às decisões de projeto

4

Importância do Plano de Instrumentação de Observação, indispensável para a gestão do risco

JET SJ
Obrigada pela vossa atenção
Agradecimentos
QUADRANTE
Metro do Porto

DESAFIOS DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM EDIFÍCIO MULTIFAMILIAR BENFICA, LISBOA

Pedro Tigre / JETsj Geotecnia
Ricardo Justiniano / JETsj Geotecnia

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

JETsJ

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

ÍNDICE

1. **Introdução**
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

INTRODUÇÃO

EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO MULTIFAMILIAR

Limitado por Edifícios Vizinhos e Arruamento

3 pisos enterrados

Área de Implantação: 625 m^2

Perímetro de construção: 100 m

Altura máxima: 10 m

Escavação: 6250 m^3

INTRODUÇÃO

OBJETIVOS DA INTERVENÇÃO

- Escavação para execução de 3 pisos enterrados
- Preservação das estruturas e infraestruturas vizinhas
- Compatibilização com Arquitetura e Estabilidade
- Controlo de custos e de prazos de execução

ÍNDICE

1. Introdução
2. **Principais Condicionamentos**
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

- Meio densamente urbano, com edifícios confinantes em três frentes;
- Cenário geológico e geotécnico desafiante; aterros com profundidades de cerca de 5 metros;
- Condicionamentos construtivos e arquitetónicos.

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

- ✓ **Condicionamentos construtivos e arquitetónicos:**
  - Espaço disponível para a estrutura de contenção ao nível dos pisos enterrados
  - Alçado Norte e Sul encostados ao limite do lote
  - Alçado Sul sem espaço para implementação de cortina de estacas.

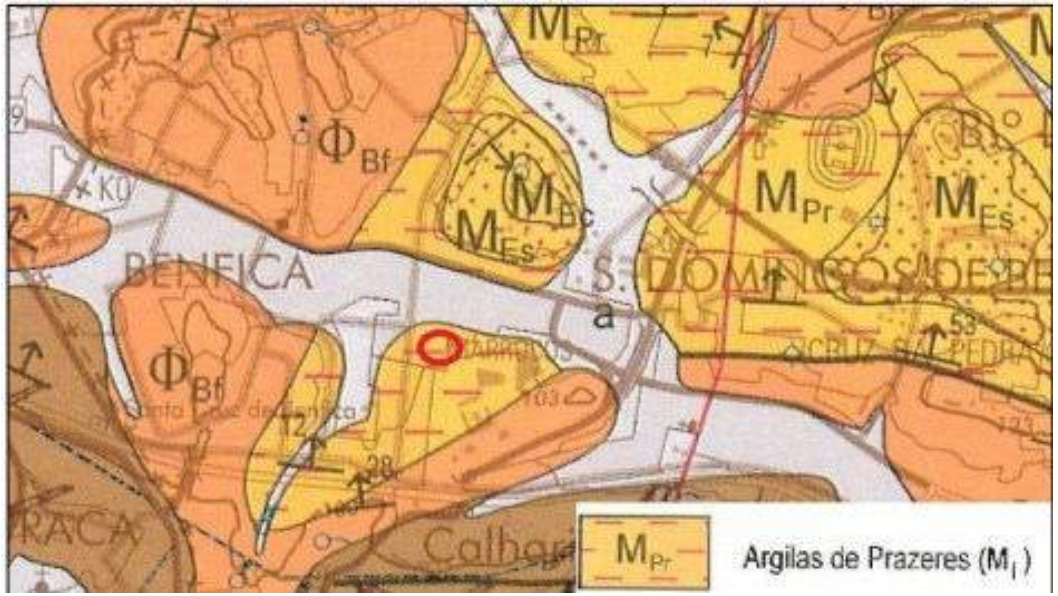
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. **Estudo Geológico-Geotécnico**
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

No local da obra afloram regionalmente:

- Aterros de natureza silto-argilosa
- Solos do Miocénico:
  - Argila dos Prazeres (M_{PR}):
    - Argilas siltosas, com passagens carbonatadas, por vezes calcárias na base

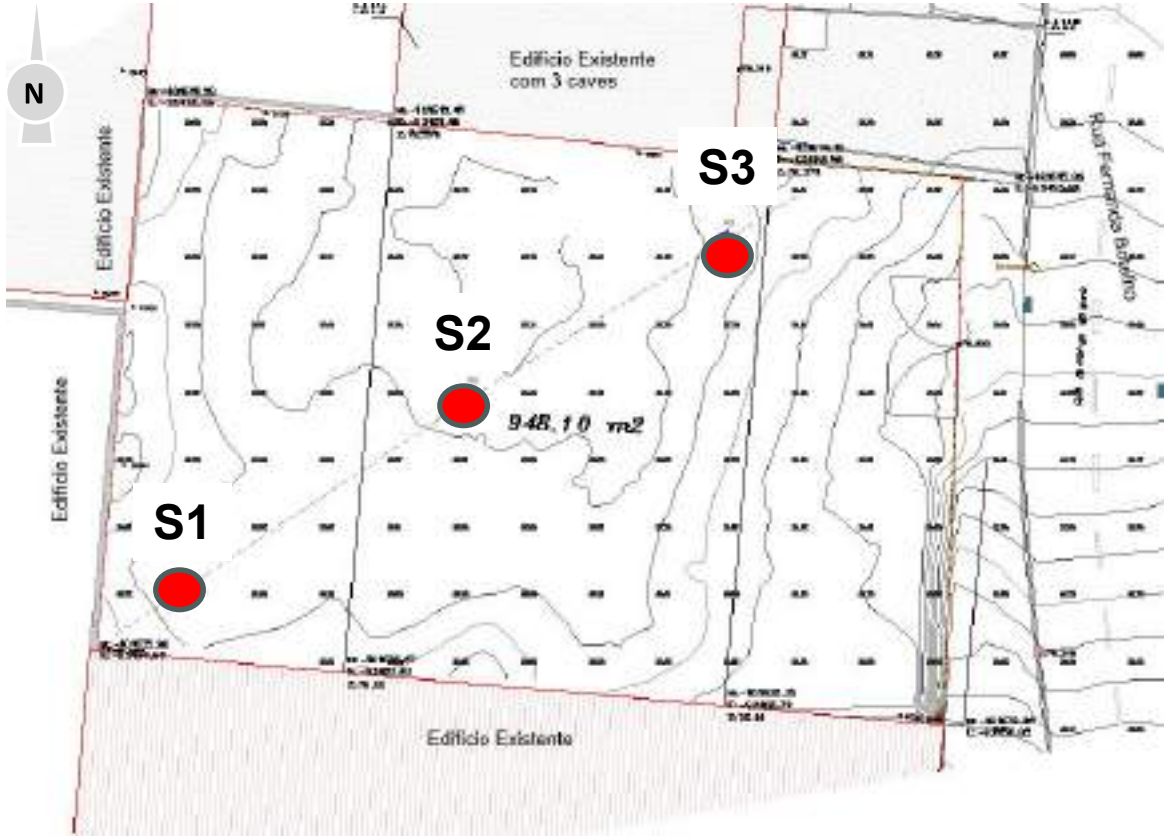


ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Plano de Prospeção Geológico-Geotécnico realizado

Elaborado em Outubro de 2021:

- 3 sondagens geotécnicas à rotação com ensaios de penetração SPT



ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

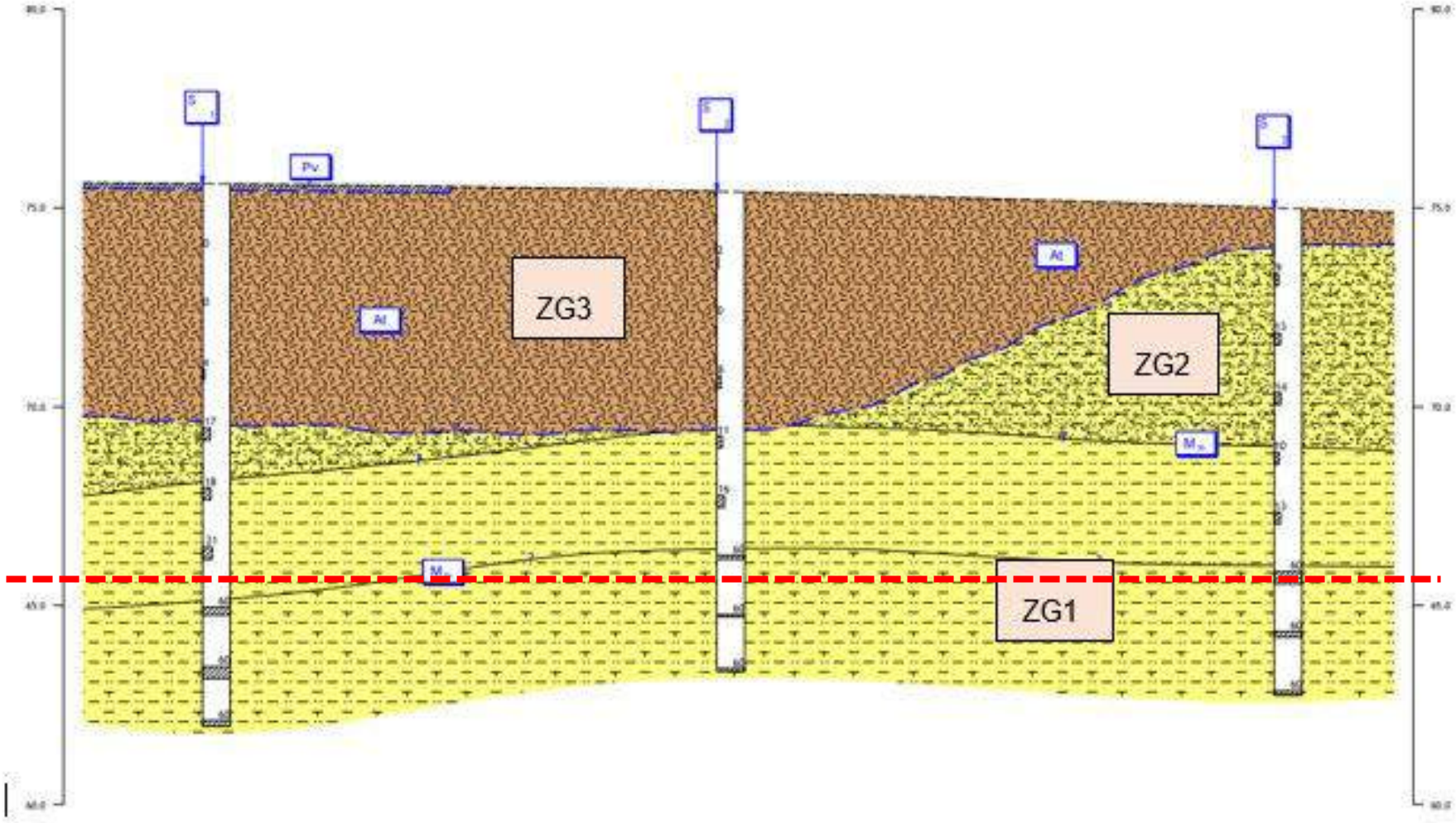
Estratigrafia Observada

ESTRATIGRAFIA	Símbolo	FORMAÇÃO	LITOLOGIA
RECENTE	***At***	***Depósitos de aterro***	Aterro silto-argiloso, por vezes areno-siltoso, com seixo e restos de tijolo dispersos, castanho acinzentado e castanho
MIOCÉNICO	***M_{Pr}***	***Camadas dos Prazeres***	Argila siltosa ou silte argiloso, por vezes arenosa, castanho e castanho acinzentado
			Argila siltosa, cinzento escura, por vezes castanho escura
			Argila silto-margosa, com passagens carbonatadas, por vezes calcária na base, cinzenta

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Zonamento geoténcnico

Cota de fundo de escavação



ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Caracterização Geotécnica das camadas intersetadas

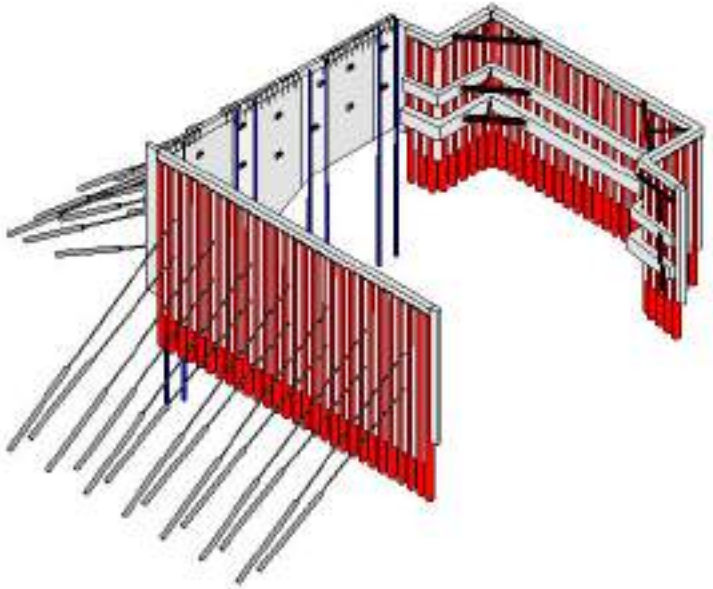
Tipo de terreno	LITOLOGIA	N_{SPT} (valores mais frequentes)	Peso volúmico γ_t (kN/m³)	Ângulo de atrito interno ϕ' (º)	Coesão c' (kN/m²)	Módulo de deformab. E' (MN/m²)
Aterros (At)	Aterro silto-argiloso, por vezes areno-siltoso, com seixo e restos de tijolo dispersos, castanho acinzentado e castanho	$0 \leq N_{SPT} \leq 8$	18	25	nula	-
Miocénico (M_{Pr})	Argila siltosa ou silte argiloso, por vezes arenosa, castanha, castanho acinzentada e cinzento escura	$9 \leq N_{SPT} \leq 21$	18	28 - 30	0	10 - 20
	Argila silto-margosa, com passagens carbonatadas, por vezes calcária na base, cinzenta	$N_{SPT} \geq 60$	20	35	0 - 10	50

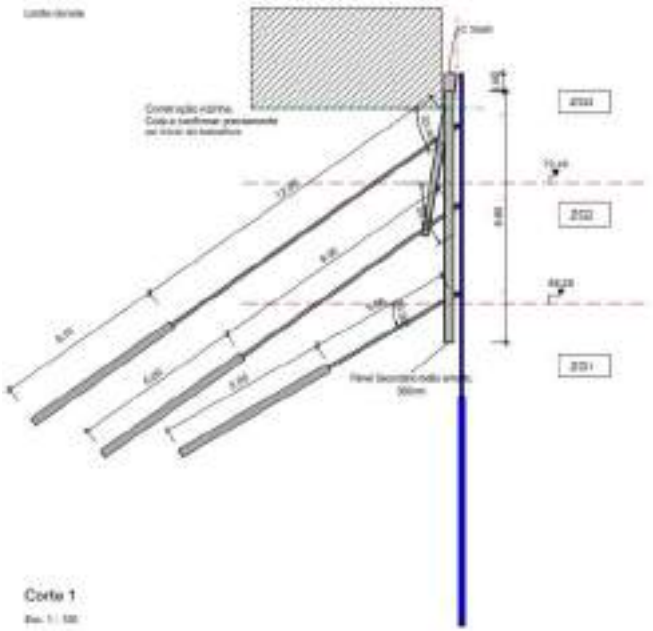
ÍNDICE

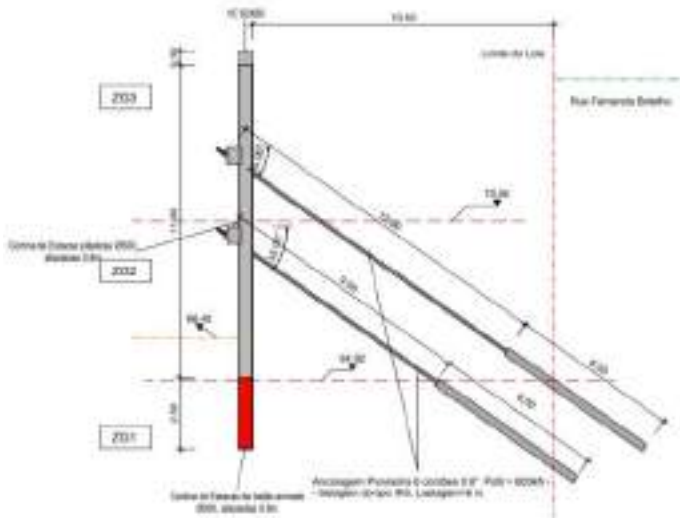
1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. **Soluções de Escavação e Contenção Periférica**
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

- Cortina de estacas secantes de diâmetro 500mm e afastamento 0,8m com ancoragens provisórias // 3,2m- Alçado Este
- Parede tipo Munique 300mm de espessura apoiado por microestacas Ø139.7x12,5mm travada por ancoragens com colunas de calda de cimento 250mm de diâmetro tangentes nos primeiros 4 metros - Alçado Sul
- Cortina de estacas de diâmetro 500mm e afastamento 0,8m com 3 níveis de escoramentos - Alçado Oeste



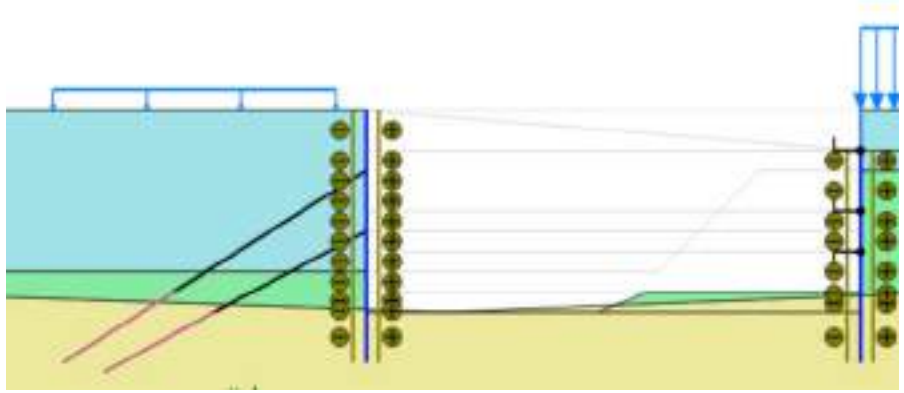


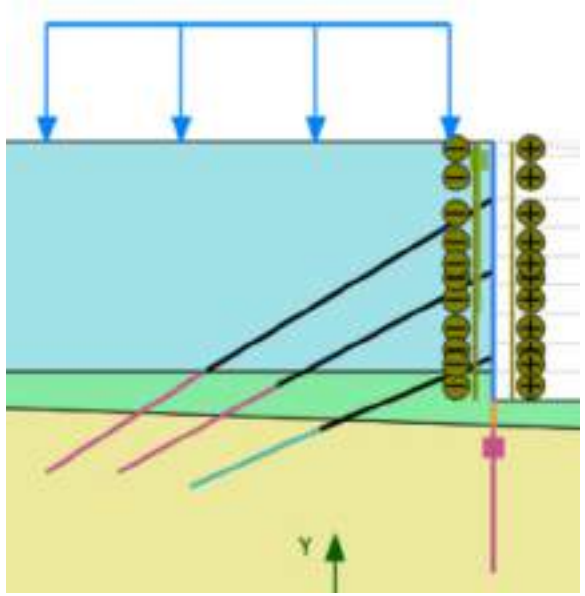


SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Cortes tipo - solução adotada

- Zona A - Cortina de estacas em ambos os alçados
- Zona B - Muro tipo “Munique”
- Geometria do zonamento geotécnico equivalente à geometria do relatório geológico-geotécnico

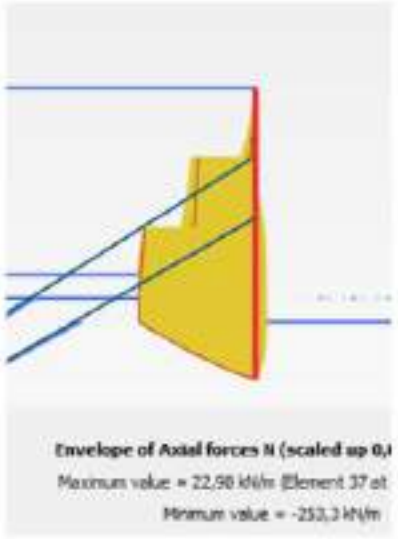




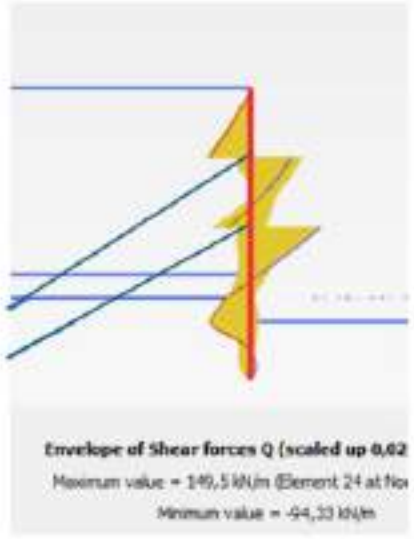
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Resultados PLAXIS 2D

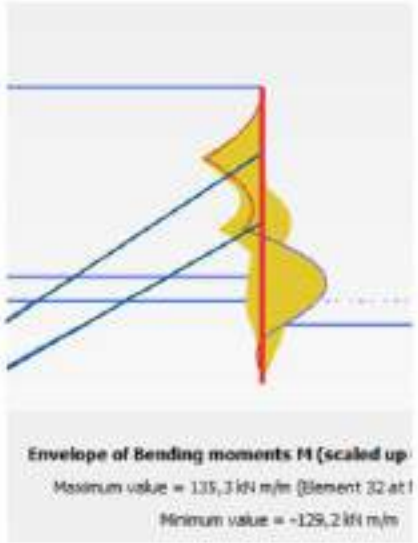
Esforço Normal



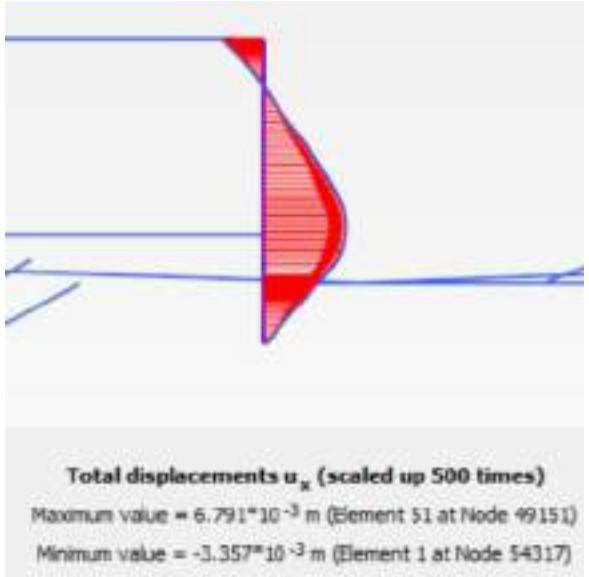
Esforço Transverso



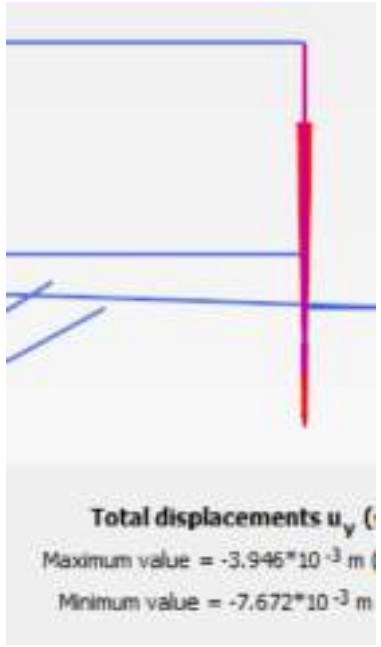
Momento Fletor



Deformação Horizontal



Deformação Vertical

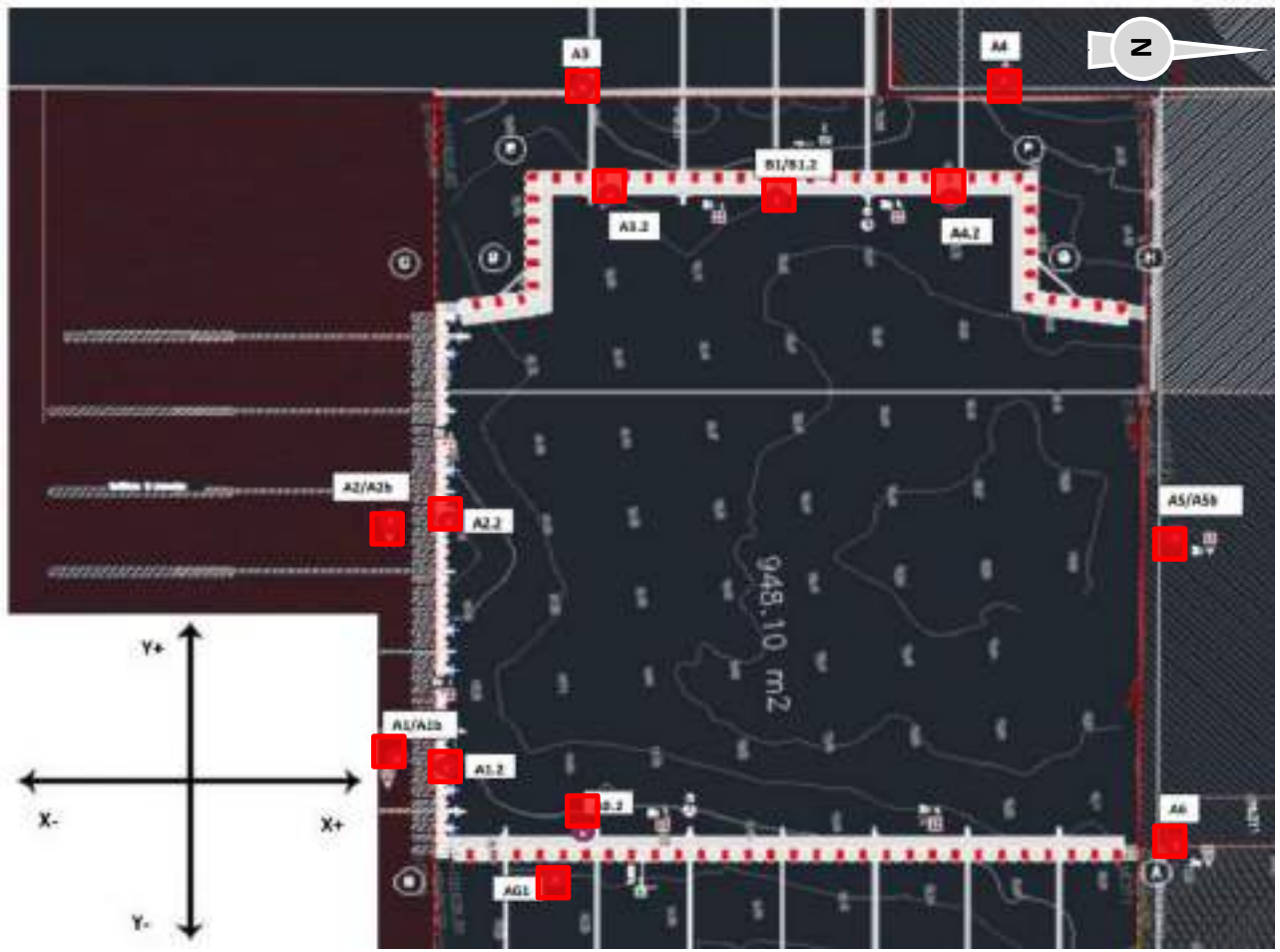


ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. **Plano de Instrumentação e Observação**
6. Considerações Finais

PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Instrumentação adotada

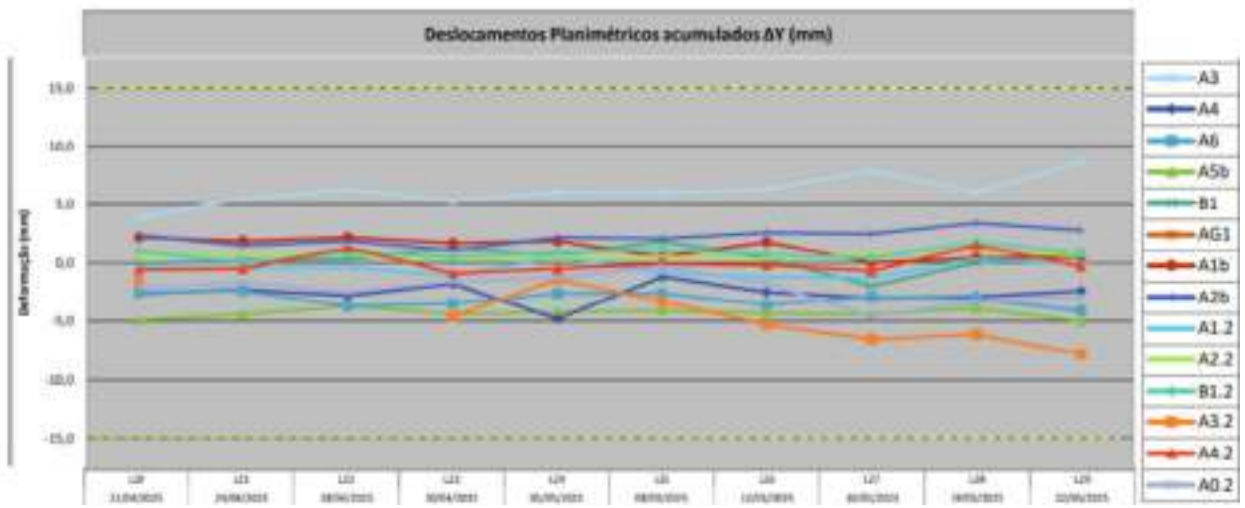


Alvos topográficos

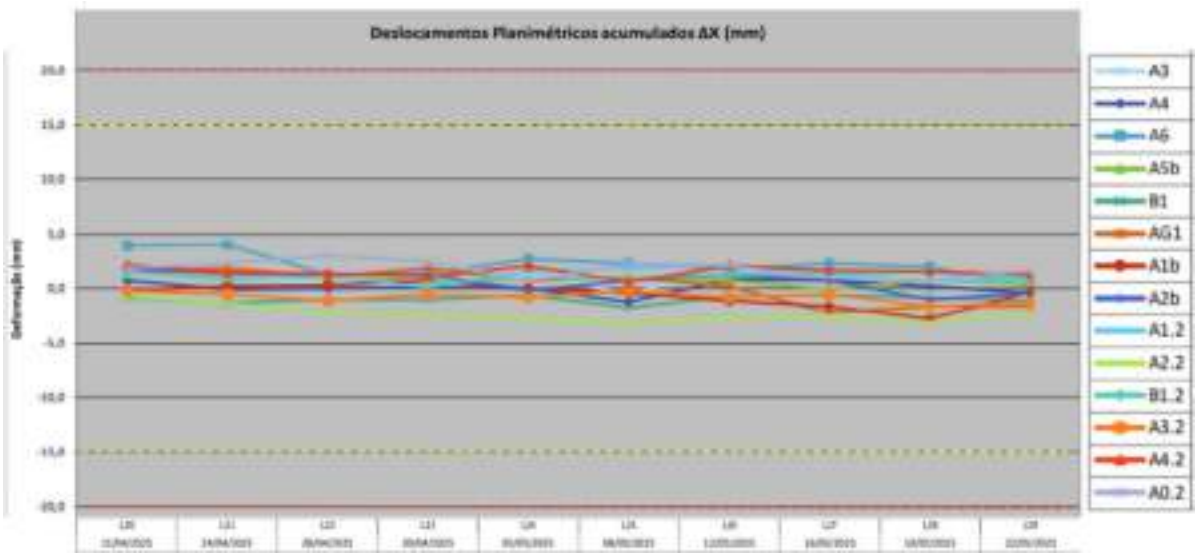
PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Resultados da instrumentação

Deformação Horizontal Δy (mm)



Deformação Horizontal Δx (mm)



ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. **Considerações Finais**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Soluções híbridas são muitas vezes a resposta mais eficiente em meio urbano permitindo otimizar segurança, espaço e custo.
- O tratamento dos terrenos com colunas de calda de cimento foi decisivo para melhorar a segurança da escavação no alçado Sul.
- O Plano de Instrumentação e Observação foi indispensável para validar o projeto e gerir o risco em meio urbano.

Obrigado pela vossa atenção

Agradecimentos: Groupe Legendre, Planirest Construções Lda. e GCCM Arquitectos

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA COM RECALÇAMENTO DE FACHADA DE UM EDIFÍCIO HISTÓRICO, EM LISBOA

Inês Braz / JETsj Geotecnia

Alexandre Pinto / JETsj Geotecnia

Eduardo Freitas / PPE – Planeamento e Projetos de Engenharia Lda

Rogério Santos/ PPE – Planeamento e Projetos de Engenharia Lda

utad

19.º Congresso Nacional Geotecnia

11-14 Maio 2026

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

ÍNDICE

- Enquadramento geral
- Principais condicionamentos
- Soluções adotadas
- Plano de instrumentação e observação (pio)
- Desafios em fase de obra
- Considerações finais

ÍNDICE

- **Enquadramento geral**
- Principais condicionamentos
- Soluções adotadas
- Plano de instrumentação e observação (pio)
- Desafios em fase de obra
- Considerações finais

Enquadramento geral

Enquadramento geral

- Construção de um empreendimento hoteleiro;
- Edifícios históricos: Palácio Lavra, do século XVII e o Palácio de Pedrosas construído em 1764 para um comerciante italiano e posteriormente vendido aos correios portugueses

TURISMOS RURAIS E HOTÉIS

Six Senses chega a Lisboa: vai abrir um luxuoso hotel na capital

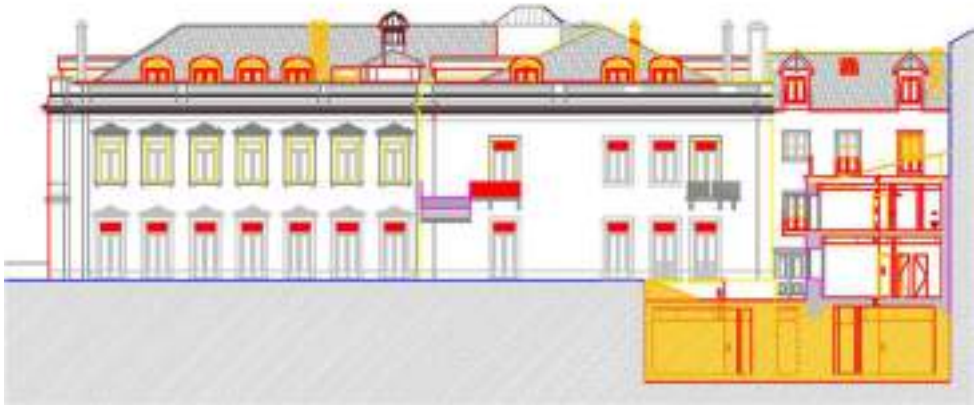
A unidade vai situar-se no Palácio Lavra e no adjacente Palácio das Pedrosas. Será o segundo empreendimento da marca no País.

texto
Patrícia Neves

24/11/2021 às 17:52

Enquadramento geral

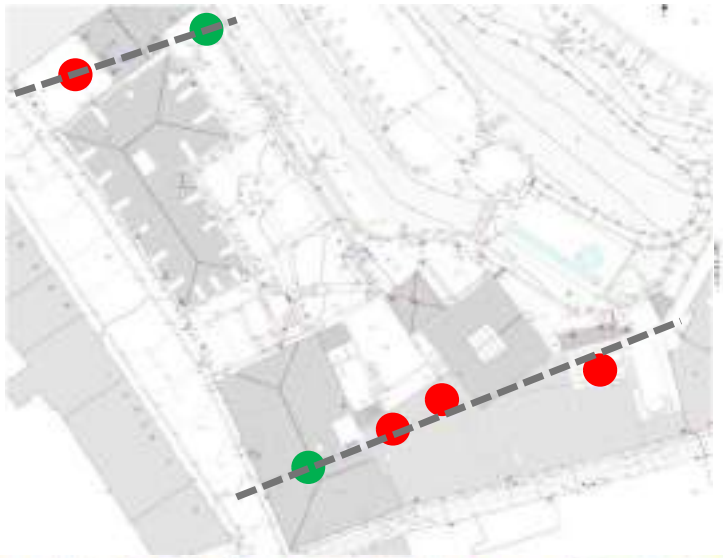
- Construção de vários pisos enterrados
- Necessidade de preservação das fachadas antigas com valor patrimonial

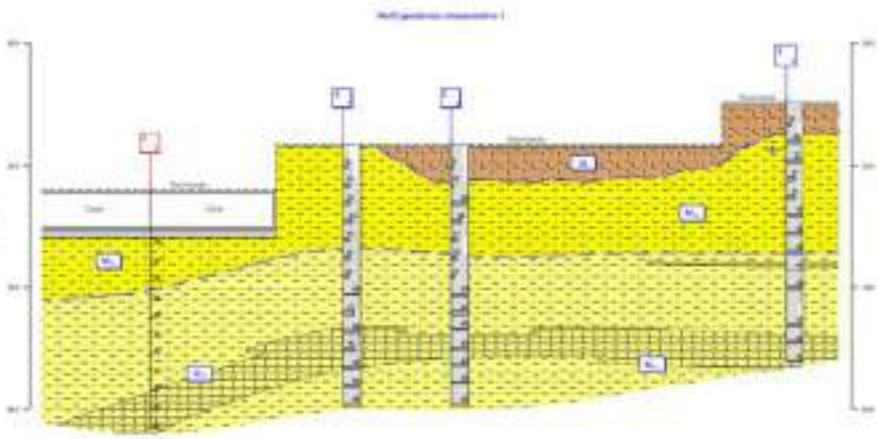


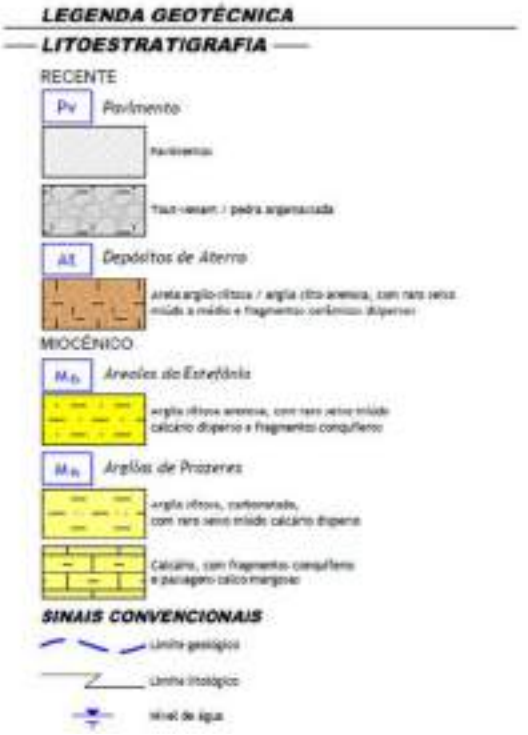
ÍNDICE

- Enquadramento geral
- **Principais condicionamentos**
- Soluções adotadas
- Plano de instrumentação e observação (pio)
- Desafios em fase de obra
- Considerações finais

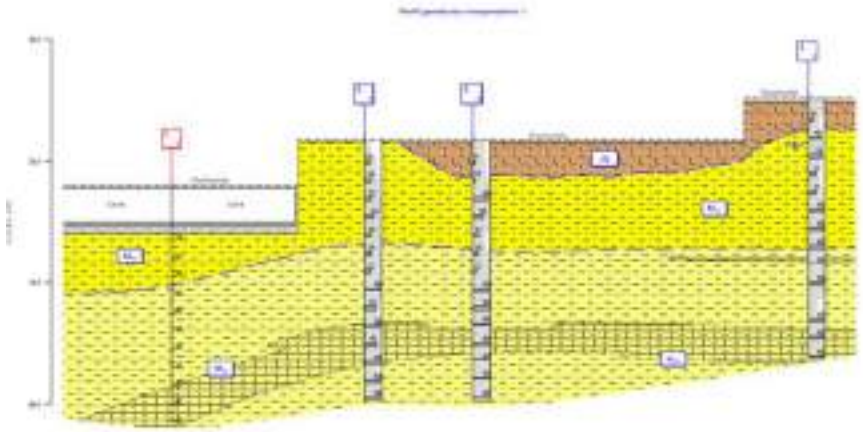
Condicionantes geológicas e geotécnicas







Condicionantes geológicas e geotécnicas



Quadro 5.1 - Parâmetros geotécnicos.

Terreno geológico (litologias)	N_{SPT}	Peso volúmico γ (kN/m³)	Ângulo de atrito interno ϕ' (°)	Coesão C' (kPa)	Módulo de deformab. drenado, E' (MN/m²)	Zonamento
ATERROS HETEROGÉNEOS (At)						
Areia argilo-siltosa a argila silto-arenosa, com raro seixo miúdo a médio e fragmentos cerâmicos dispersos.	9 – 16(?)	17	24	Nula	4	ZG3
MIOCÉNICO (M_{ES} + M_{PR})						
Argilas siltosas e silto-arenosas, carbonatadas com seixo miúdo a médio heterogéneo, com níveis de siltito/argilito gresoso com seixo miúdo calcário disperso	10 – 12	19	26	0 – 2	6	ZG2-a
	18 – 25	19	28	5	10	ZG2-b
	31 – 42	20	30	15	20	ZG2-a
Argilas siltosas e silto-arenosas carbonatadas, muito consolidadas com passagens de calcário conquífero fragmentável e passagens calco-margosas	≥ 60	21	32	30	40 – 50	ZG1

Outras condicionantes

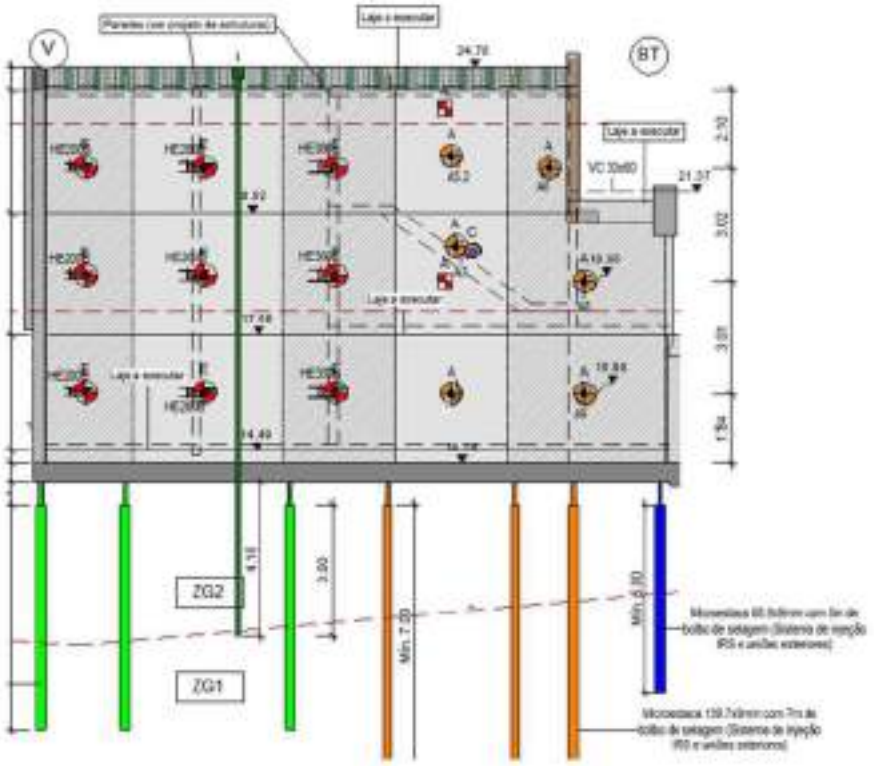
- Existência do Elevador do Lavra
- Envolvente densamente urbanizada – maioritariamente edifícios antigos
- Limitação de espaço para implementação da solução – proximidade ao limite do lote

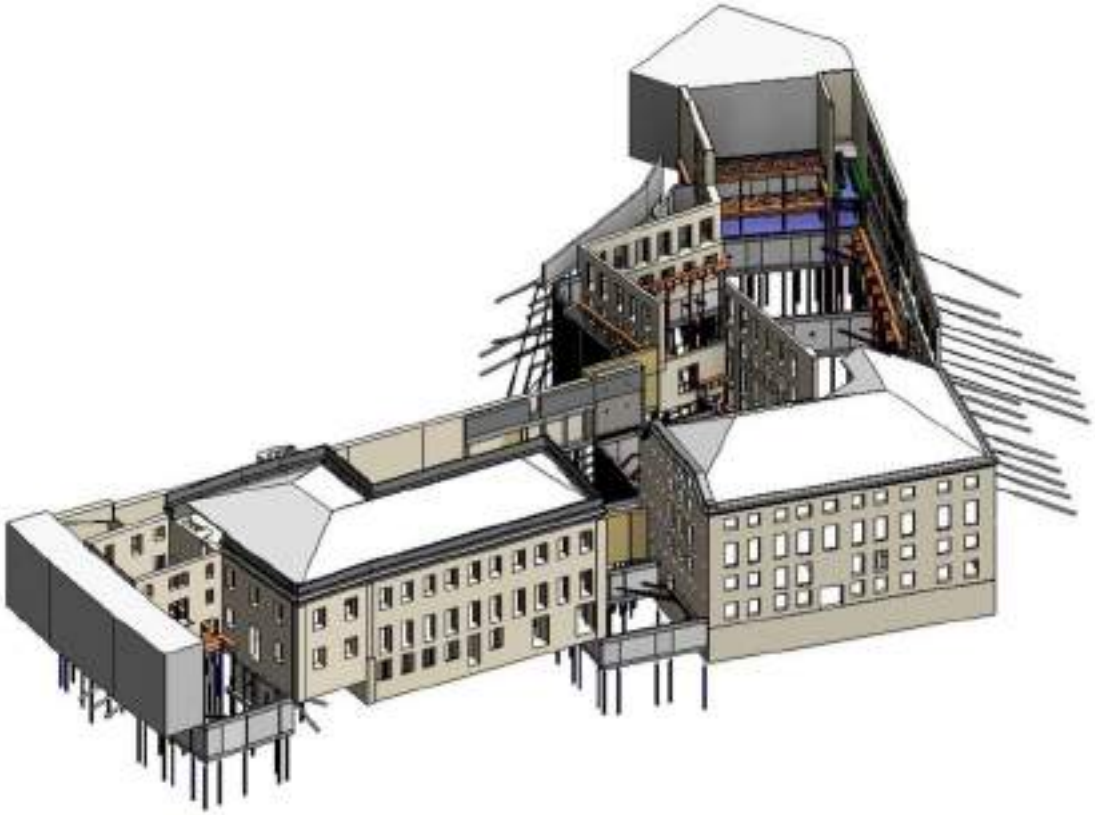
ÍNDICE

- Enquadramento geral
- Principais condicionamentos
- **Soluções adotadas**
- Plano de instrumentação e observação (pio)
- Desafios em fase de obra
- Considerações finais

Soluções adotadas

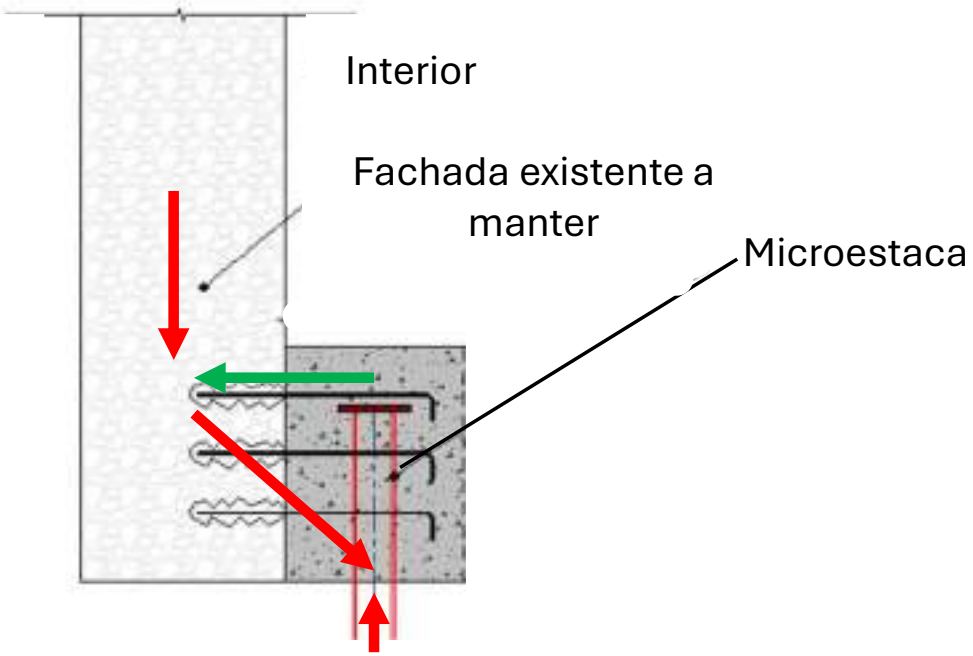
- Muro de Berlim Definitivo travado horizontalmente com escoras, ancoragens e tirantes provisórios





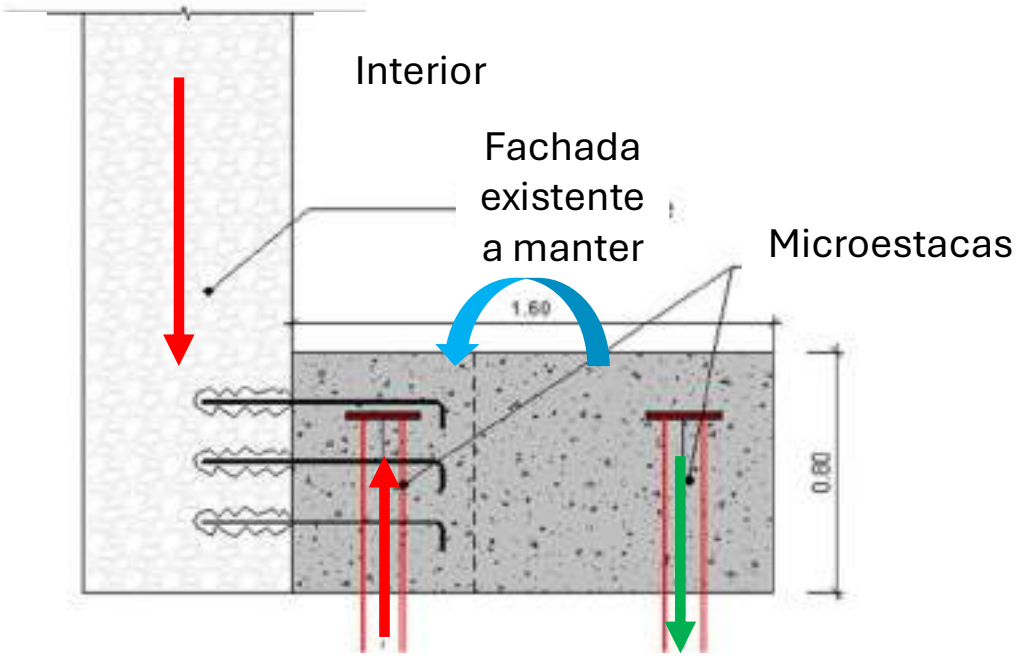
Soluções adotadas

- Recalçamento das fachadas a manter
  - Viga de recalçamento assimétrica devido à impossibilidade de acesso aos dois lados da fachada
  - Utilização das microstacas de recalçamento para apoio da Muro de Berlim Definitivo



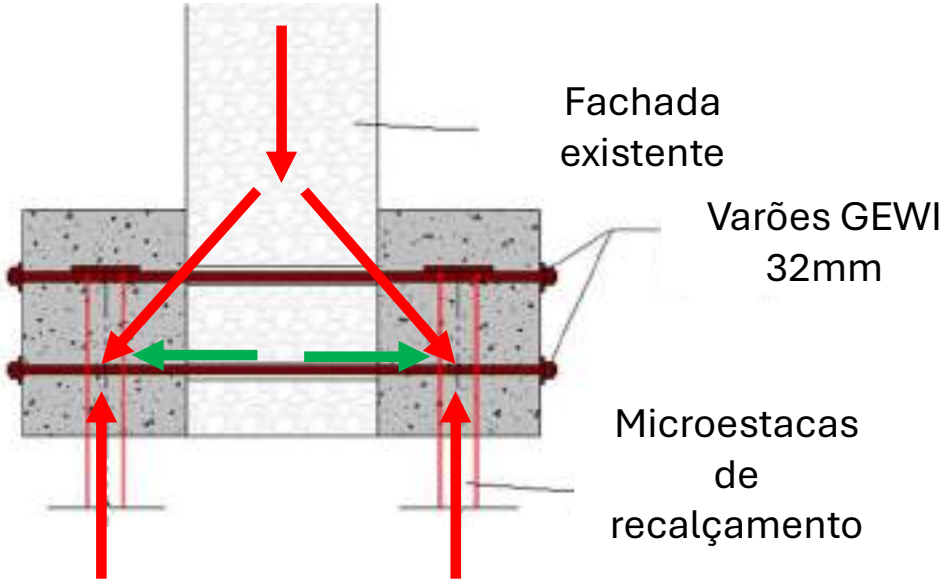
Soluções adotadas

- Recalçamento das fachadas a manter
  - Viga de recalçamento assimétrica devido à impossibilidade de acesso aos dois lados da fachada
  - Utilização das microstacas de recalçamento para apoio da Muro de Berlim Definitivo



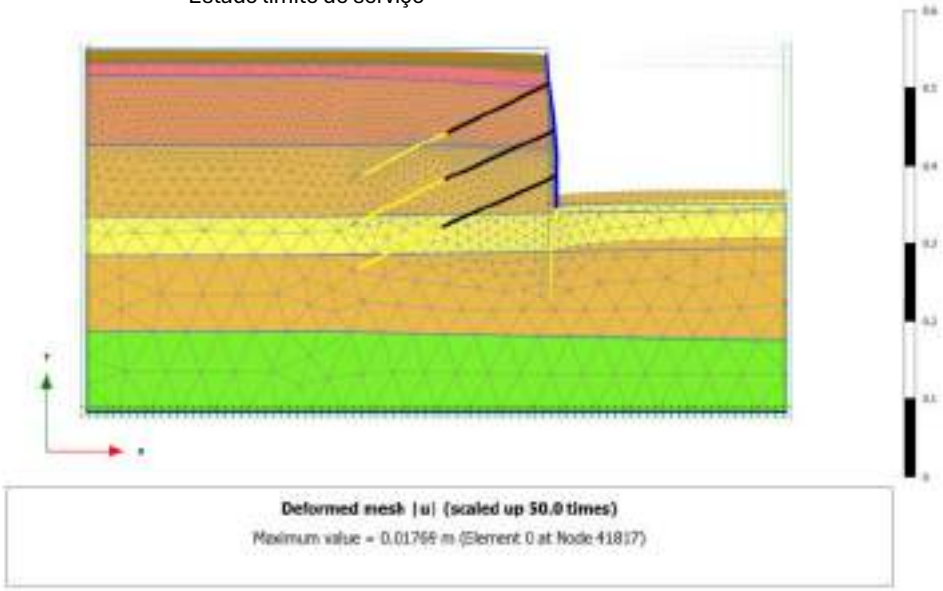
Soluções adotadas

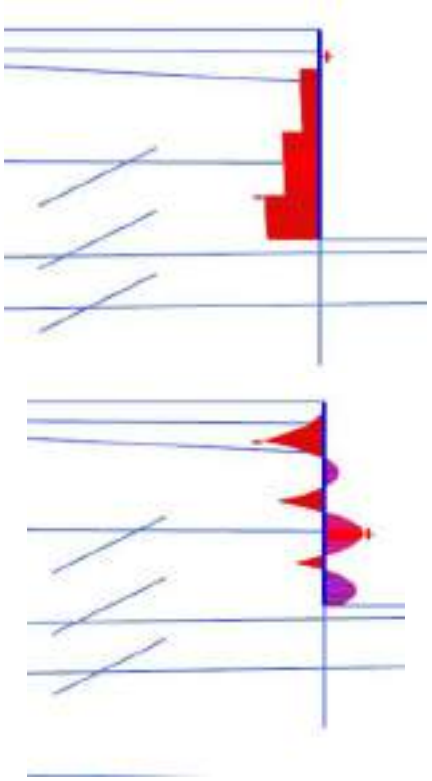
- Recalçamento das fachadas a manter
  - Viga de recalçamento simétrica

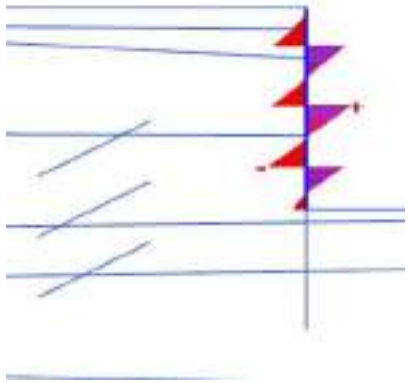


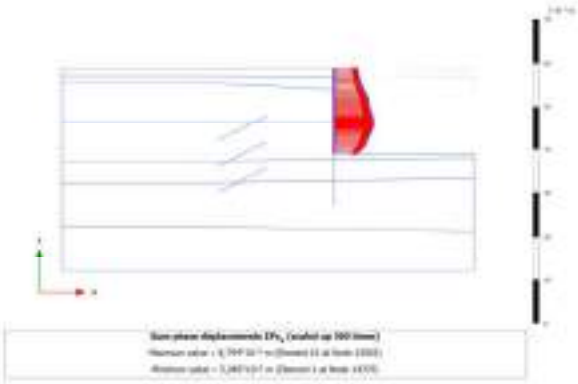
Soluções adotadas

- Modelo de elementos finitos, Plaxis 2D
  - Analise da secção critica e dimensionamento da parede de contenção
    - Estado limite ultimo
    - Estado limite de serviço



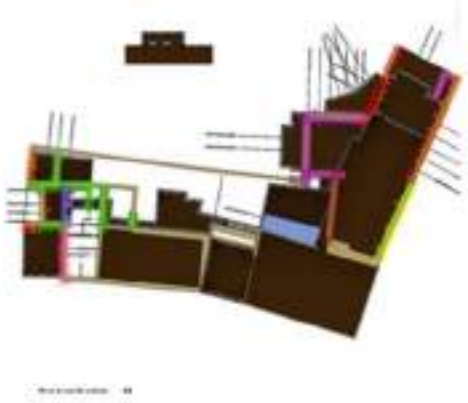






Soluções adotadas

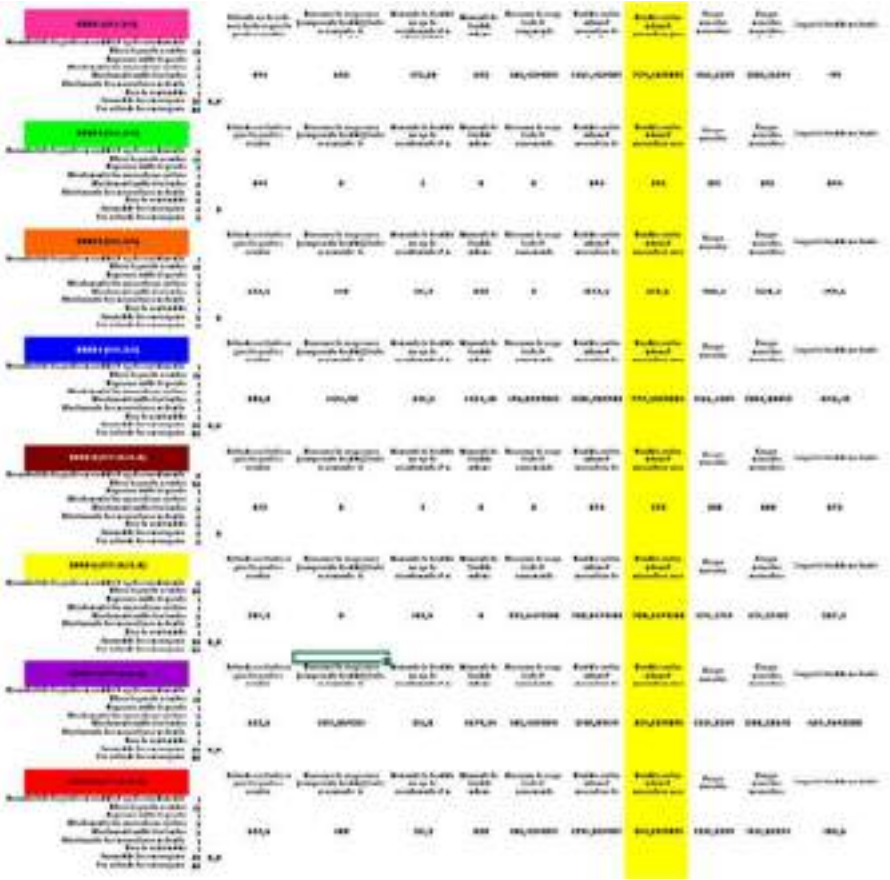
- Cálculos simplificados com base em modelos lineares para dimensionamento das vigas de recalçamento
  - Altura da fachada
  - Espessura das paredes
  - Tipo de solução
    - Recalçamento simétrico
    - Recalçamento assimétrico



- Dimensionamento das microestacas
  - Carga associada ao recalçamento
  - Peso próprio da parede de contenção
  - Carga vertical associada às ancoragens

→ Dimensionamento da secção

→ Dimensionamento do Bolbo de Selagem



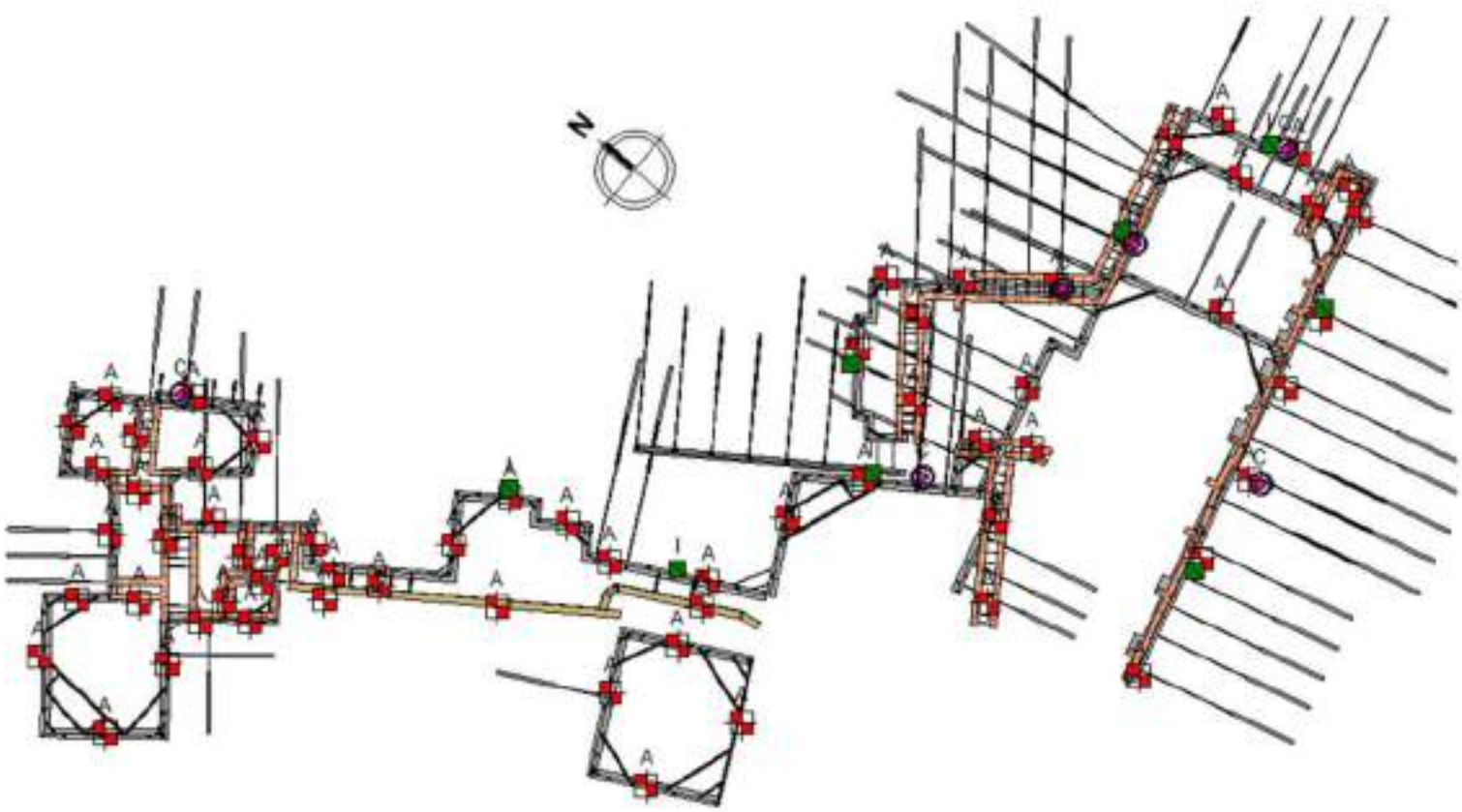
Soluções adotadas

ÍNDICE

- Enquadramento geral
- Principais condicionamentos
- Soluções adotadas
- **Plano de instrumentação e observação (pio)**
- Desafios em fase de obra
- Considerações finais

Plano de instrumentação e observação

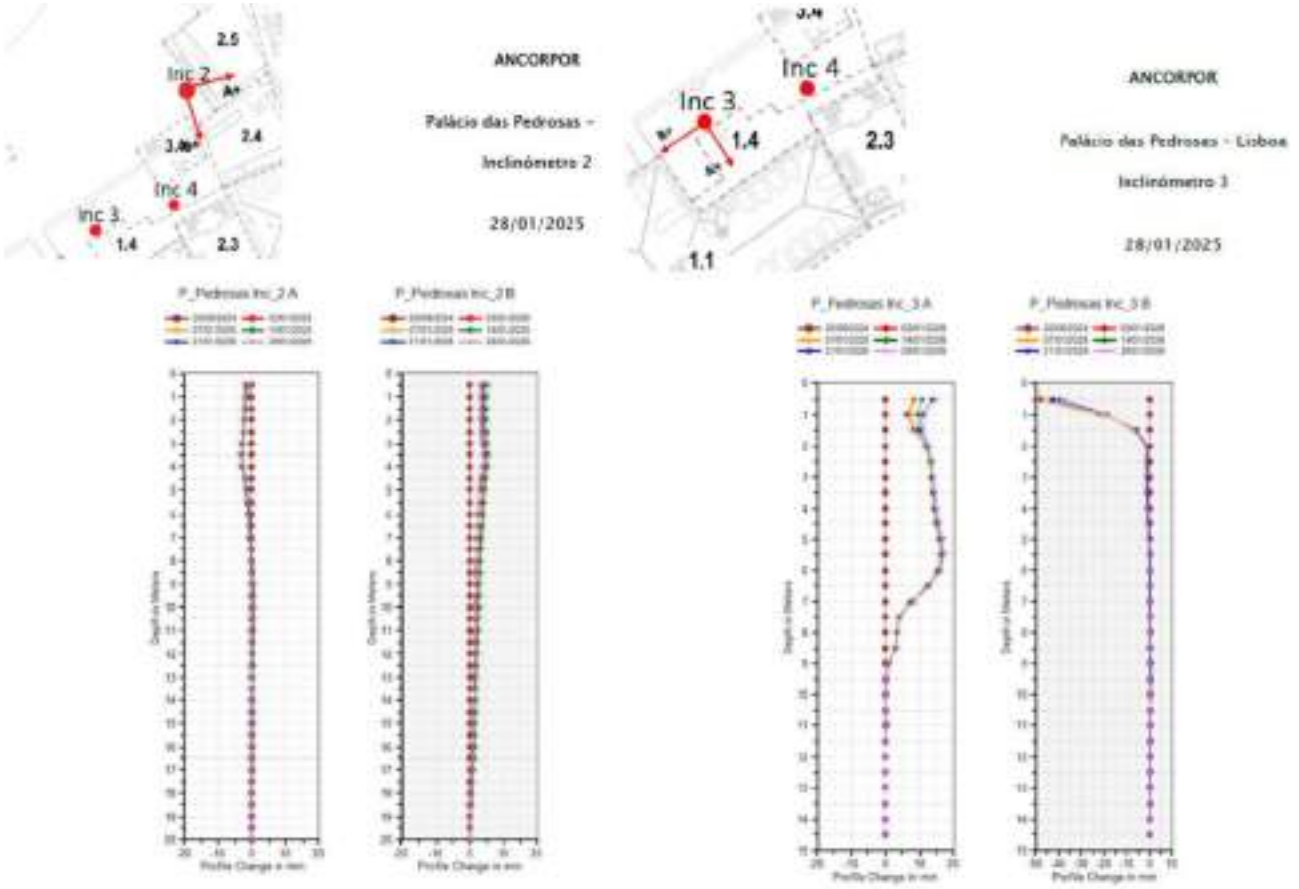
- Monitonização das estruturas
  - Alvos Topográficos – 100 alvos
  - Inclinómetros – 9 unidades
  - Células de carga – 5 unidades



Plano de instrumentação e observação

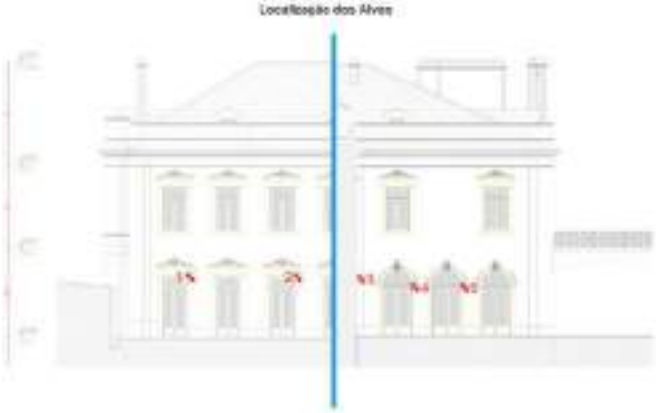
- Monitonização das estruturas

- Validação dos pressupostos de projeto
- Ajuste das soluções em caso de necessidade



Plano de instrumentação e observação

- Monitonização das estruturas
  - Apresentação dos resultados com registo fotográfico para interpretação dos resultados



Plano de instrumentação e observação

FOTO 05/05/2025

FOTO 29/01/2026

FOTO 24/03/2026

ÍNDICE

- Enquadramento geral
- Principais condicionamentos
- Soluções adotadas
- Plano de instrumentação e observação (pio)
- **Desafios em fase de obra**
- Considerações finais

Desafios em fase de obra

- Ajustes das cotas de execução da viga de recalçamento

- Execução de poços de prospeção de forma a aferir as cotas e geometria das fundações existentes

Ajuste das soluções ao cenário real

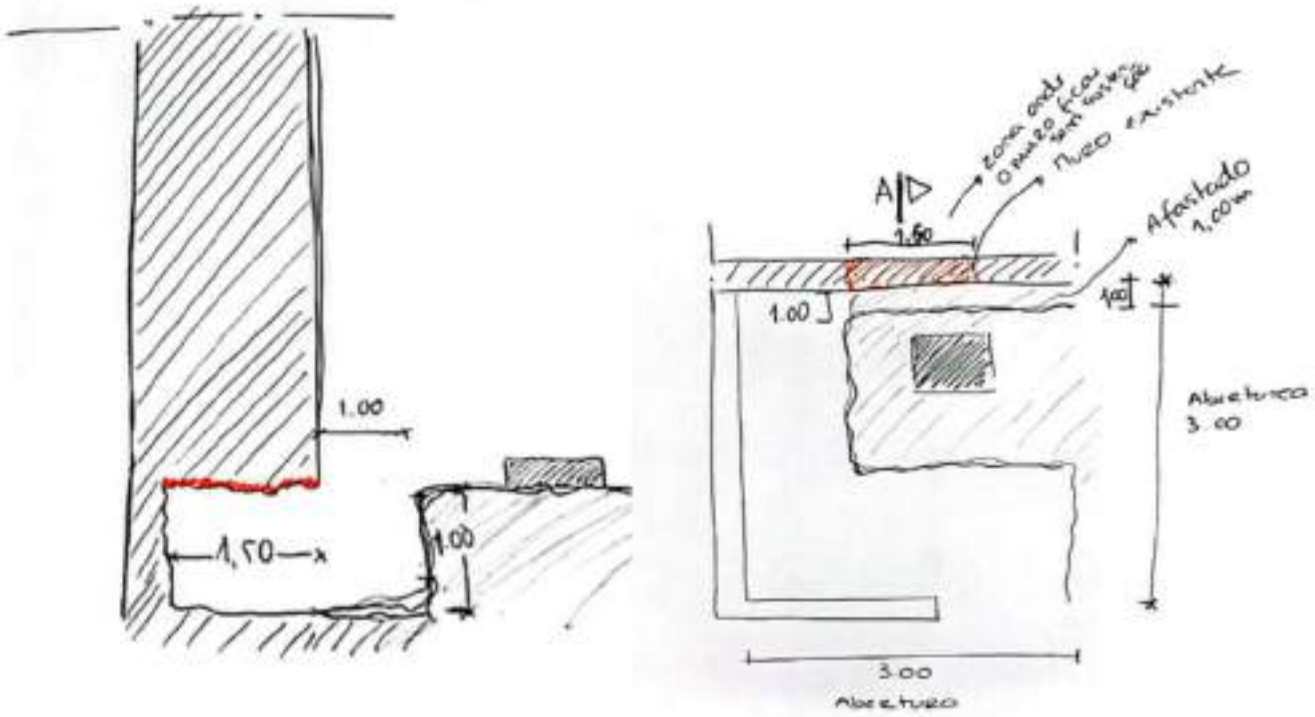
Desafios em fase de obra

- Situações não previstas em projeto

- Colapso do pavimento na zona do jardim do Palácio das Pedrosas

Desafios em fase de obra

- Situações não previstas em projeto (frequentes em trabalhos de geotecnia)

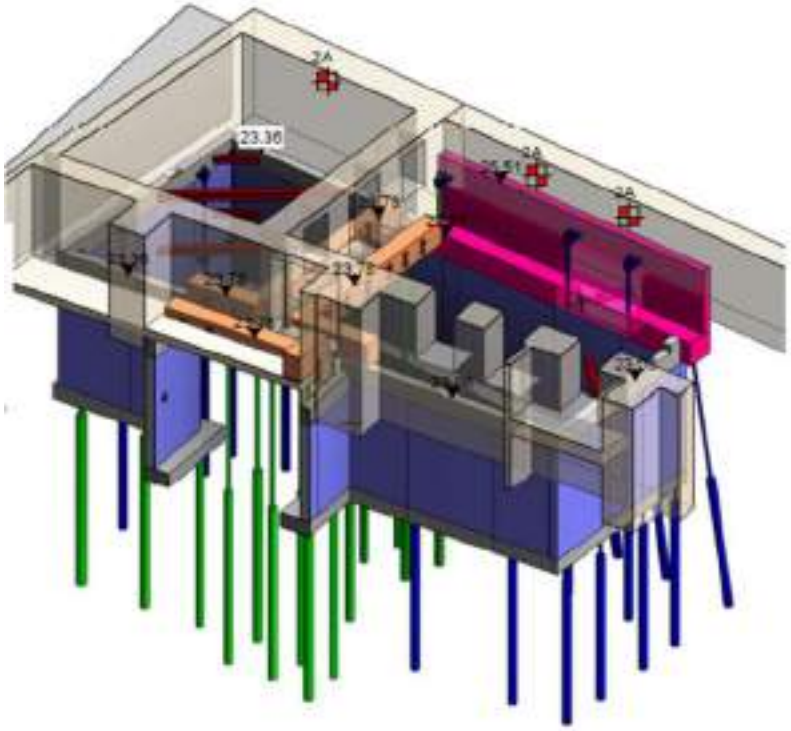


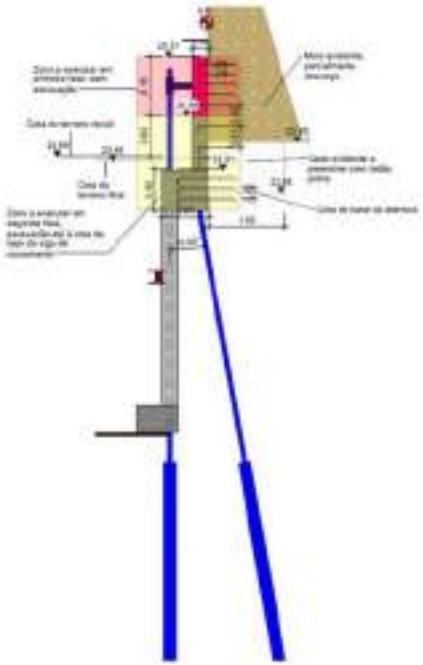
- Colapso do pavimento na zona do jardim do Palácio das Pedrosas

Necessário definir solução de reforço

Desafios em fase de obra

- Solução de reforço → Realização de projeto durante a fase de obra



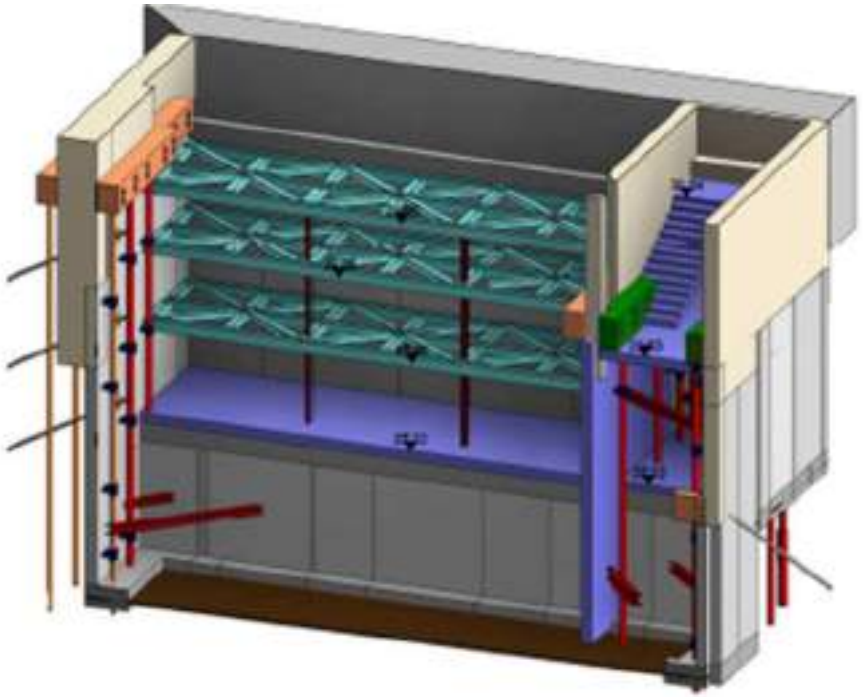


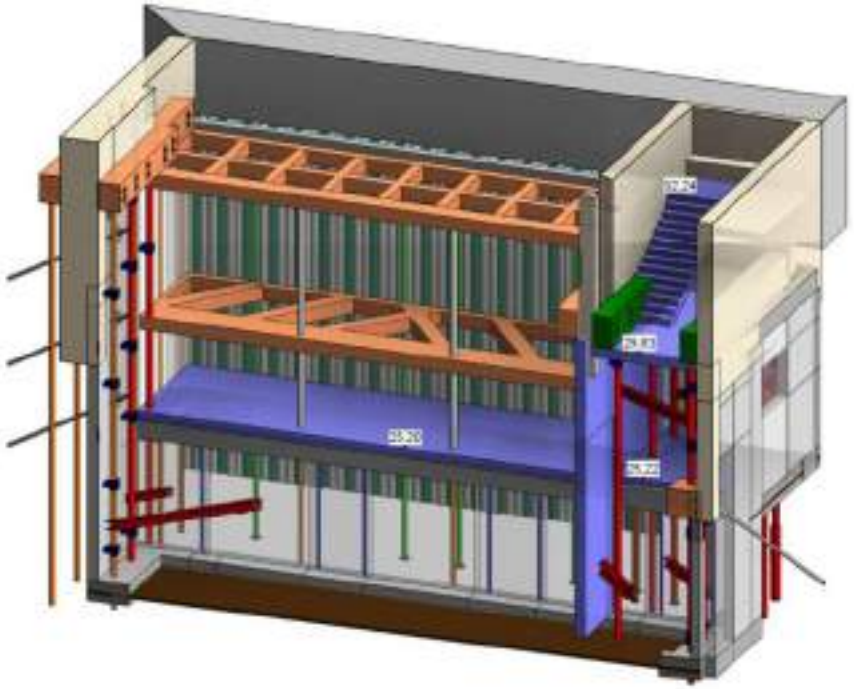
Desafios em fase de obra

- Dificuldade de execução de ancoragens → Comprimento previsto=19m → Terreno competente aos 26m

Desafios em fase de obra

- Revisão da solução → Solução Top-Down → Estrutura metálica – 3 níveis de travamento
  → Estrutura em betão armado com execução de colunas de calda de cimento – 2 níveis de travamento





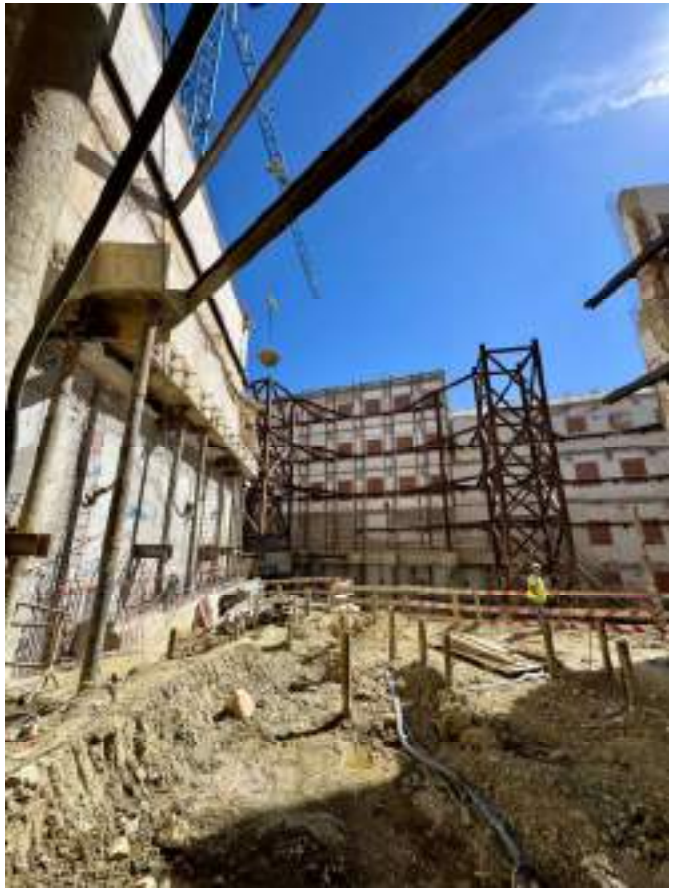
Desafios em fase de obra

ÍNDICE

- Enquadramento geral
- Principais condicionamentos
- Soluções adotadas
- Plano de instrumentação e observação (pio)
- Desafios em fase de obra
- **Considerações finais**

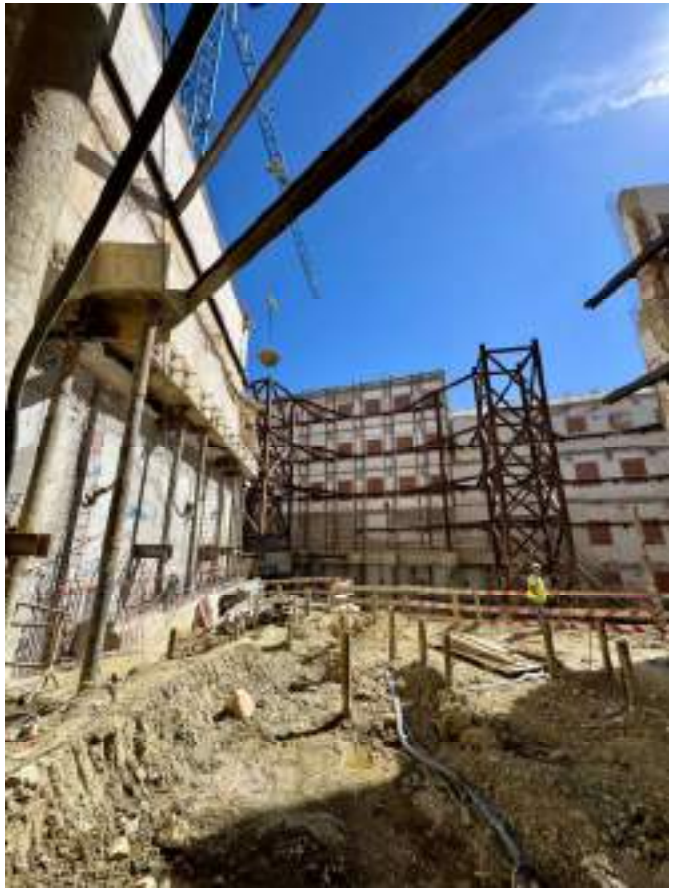
Considerações finais

- A obra evidenciou a importância de desenvolver soluções flexíveis, capazes de serem adaptadas às condições reais encontradas durante a execução;



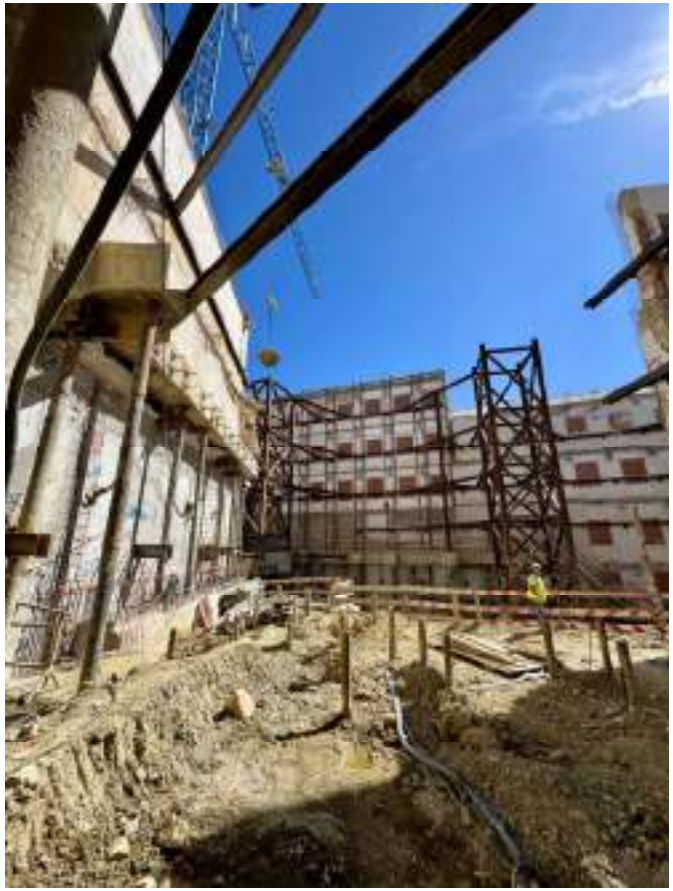
Considerações finais

- A obra evidenciou a importância de desenvolver soluções flexíveis, capazes de serem adaptadas às condições reais encontradas durante a execução;
- Em projetos desta complexidade, existem frequentemente condicionantes que só são percetíveis após o início da escavação, não sendo possível identificá-las integralmente na fase de projeto;



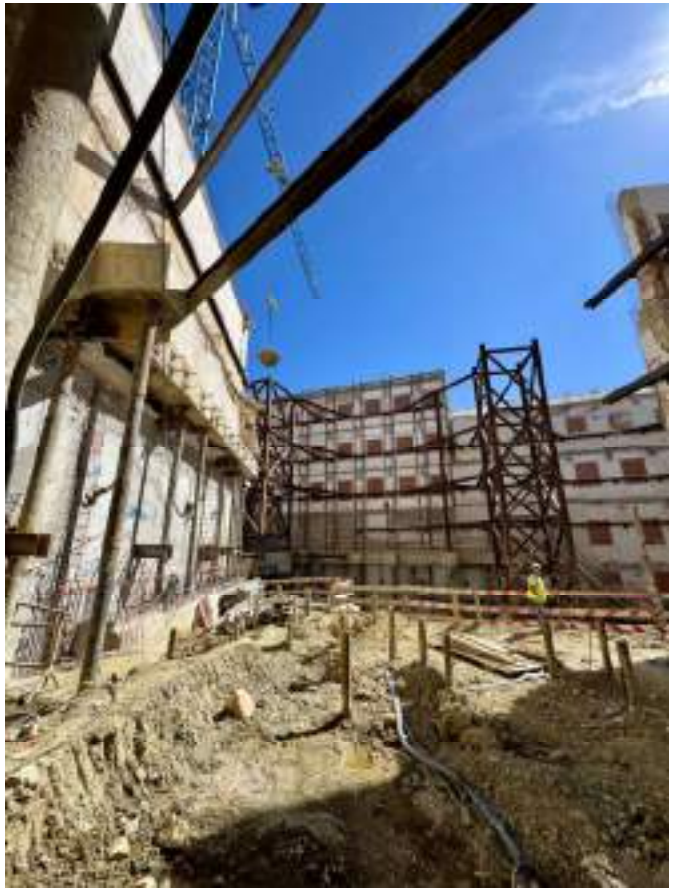
Considerações finais

- A obra evidenciou a importância de desenvolver soluções flexíveis, capazes de serem adaptadas às condições reais encontradas durante a execução;
- Em projetos desta complexidade, existem frequentemente condicionantes que só são percetíveis após o início da escavação, não sendo possível identificá-las integralmente na fase de projeto;
- A monitorização e o acompanhamento contínuo da obra foram fundamentais para permitir a adaptação atempada das soluções e garantir a segurança da obra;



Considerações finais

- A obra evidenciou a importância de desenvolver soluções flexíveis, capazes de serem adaptadas às condições reais encontradas durante a execução;
- Em projetos desta complexidade, existem frequentemente condicionantes que só são percetíveis após o início da escavação, não sendo possível identificá-las integralmente na fase de projeto;
- A monitorização e o acompanhamento contínuo da obra foram fundamentais para permitir a adaptação atempada das soluções e garantir a segurança da obra;
- O sucesso da intervenção dependeu de uma articulação próxima entre Dono de Obra, Projetista, Empreiteiro e Fiscalização, promovendo uma resposta rápida e eficaz aos desafios identificados.



Obrigada pela atenção!

Inês Braz / ibraz@jetsj.com

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA PARA EXECUÇÃO DA NOVA SUPERFÍCIE COMERCIAL DA MERCADONA EM EIRAS, COIMBRA

Lourenço Fernandes / JETsj Geotecnia
Carlos de Oliveira Martins / JETsj Geotecnia

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

JETsj

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

ÍNDICE

1. **Introdução**
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

INTRODUÇÃO

Superfície Comercial

Eiras, Coimbra

Piso Térreo

Área:
8000 m^2

Altura máxima:
7 m

Escavação:
18 000 m^3

Aterro selecionado:
1 500 m^3

ÍNDICE

1. Introdução
2. **Principais Condicionamentos**
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

Escavação em Meio Urbano

- Vias Circundantes
  - Estrada de Eiras
  - Bairro de Santa Apolónia
- Lojas nas proximidades

ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. **Estudo Geológico-Geotécnico**
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000

- Margas e Calcários da idade Jurássica (J1)

Fonte: Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, Folha 19B - Coimbra

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Plano de Prospeção Geológico-Geotécnico

Base

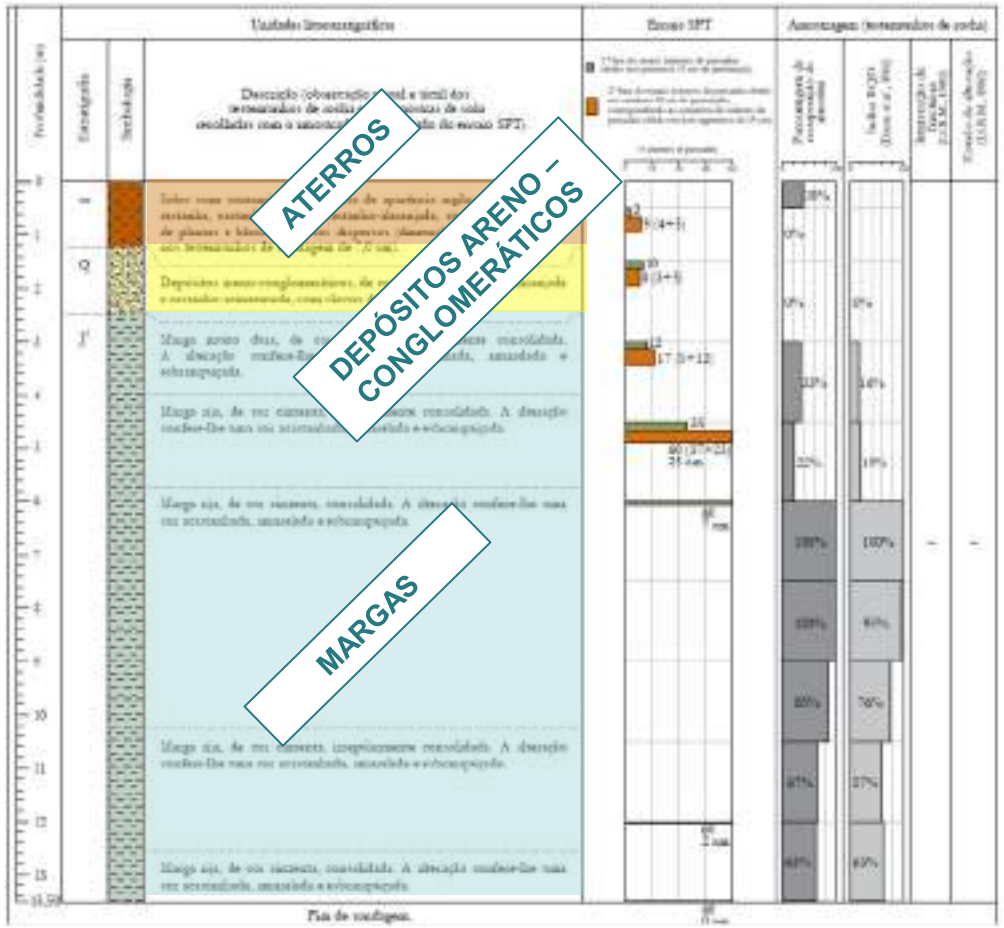
julho de 2023 (ENGGEO):

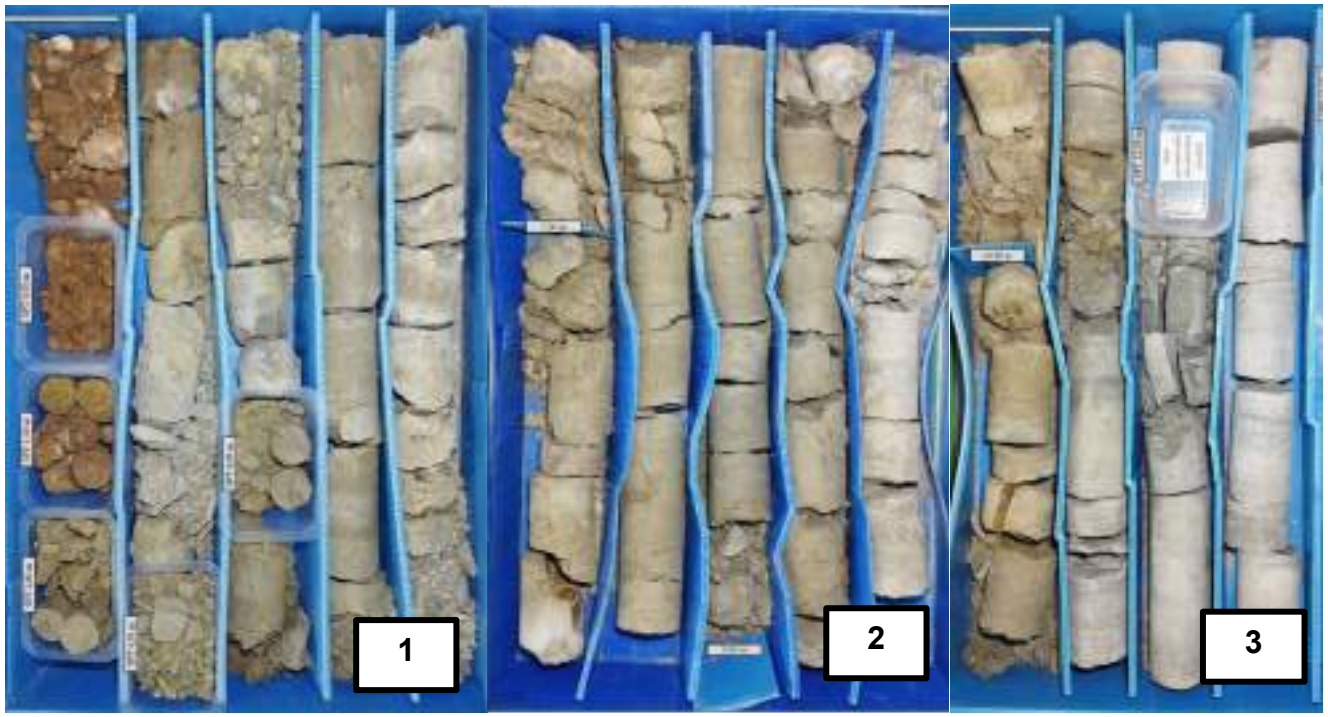
- ✓ 6 Sondagens Geotécnicas à rotação com amostragem contínua
- ✓ 6 Poços de prospeção para reconhecimento de formações geológicas superficiais
- ✓ Ensaios SPT em profundidade
- ✓ 2 Piezómetros
- ✓ Ensaios laboratoriais
  - ✓ **Determinação da agressividade química do solo ao betão**
  - ✓ **Identificação e caracterização de solos**

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Sondagens Geotécnicas:

O exemplo da Sondagem 3





0,00-7,00 m

7,00-10,00 m

10,00-13,50 m

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Caracterização Geomecânica

- Parâmetros de resistência e de deformabilidade dos maciços terrosos, estimados por correlações com base nos resultados dos ensaios laboratoriais e dos ensaios in situ

Horizonte e Formações	Intervalos N_{SPT}	γ [kN/m³]	c' [kPa]	ϕ [°]	E [MPa]	$\sigma_{Admi.}$ [kPa]	Escavabilidade
ZG9 Aterro	< 8	17 - 18	< 5	< 26	< 5	--	Ligeiros
ZG8 Marga pouco consolidada	4 <NSPT< 8	17 - 18	5 - 10	22 – 24	4 - 8	< 100	Ligeiros
ZG7 Depósitos areno-conglomeráticos	11 <NSPT< 30	18 - 19	5 - 10	29 - 31	8 - 25	150 - 200	Ligeiro a médio
ZG6 Depósitos areno-conglomeráticos	31 <NSPT< 42	19 - 20	8 - 15	31 - 34	25 – 40	300 - 400	Médios a pesados
ZG5 Marga pouco consolidada a irregularmente consolidada	16 <NSPT< 30	19 - 20	20 - 30	27 - 29	15 - 30	150 - 200	Médios a pesados

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Caracterização Geomecânica

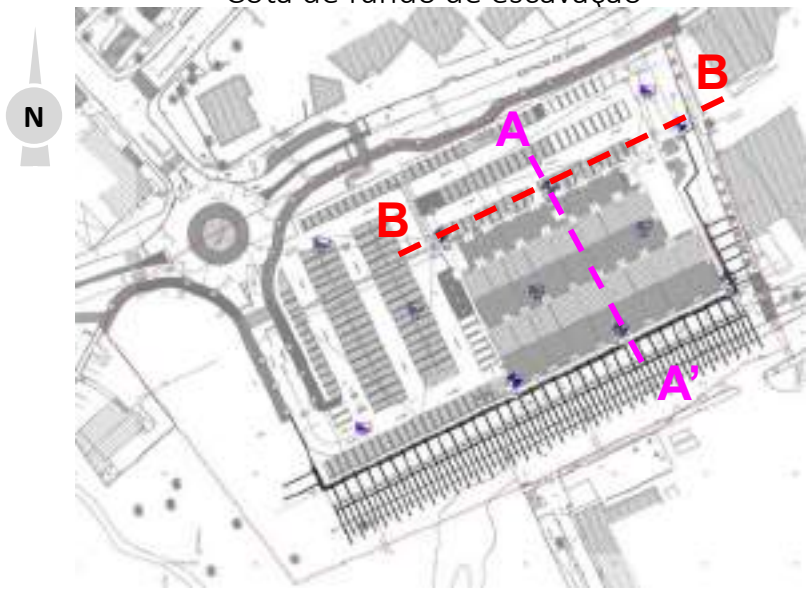
- Parâmetros de resistência e de deformabilidade dos maciços rochosos, estimados por correlações com base nos resultados dos ensaios laboratoriais e dos ensaios in situ

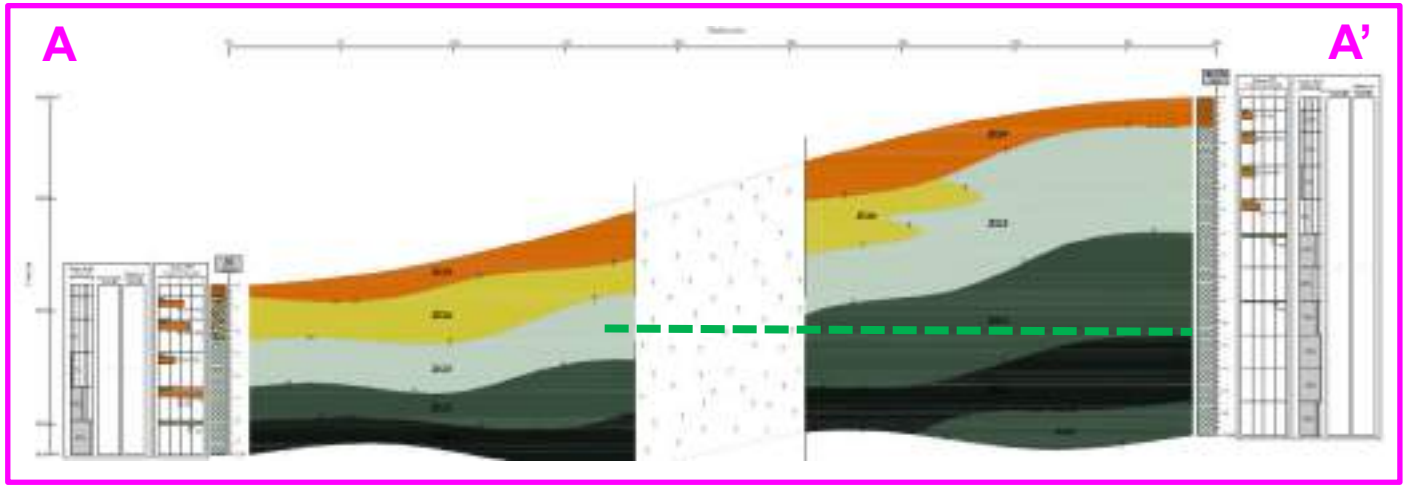
Horizonte e Formações	Intervalos N_{SPT}	γ [kN/m^3]	c' [kPa]	ϕ [°]	E [GPa]	$\sigma_{Admi.}$ [kPa]	Escavabilidade
ZG4 Marga pouco consolidada a irregularmente consolidada	> 60	22 - 24	30 - 190	23 - 25	0,1 – 0,2	400 - 500	Muito Pesada
ZG3 Marga irregularmente consolidada	> 60	24	100 - 450	23 - 28	0,4 – 1,5	500 - 600	Ligeiro a médio
ZG2 Marga irregularmente consolidada a consolidada	> 60	25	220 - 1680	28 - 33	2 - 6	1000 - 2500	Muito pesada a extremamente pesada
ZG1 Marga consolidada	> 60	25 - 26	1180 - 5020	28 - 33	5 – 10	2500 - 5000	Extremamente pesada

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Zonamento Geológico-Geotécnico

Cota de fundo de escavação





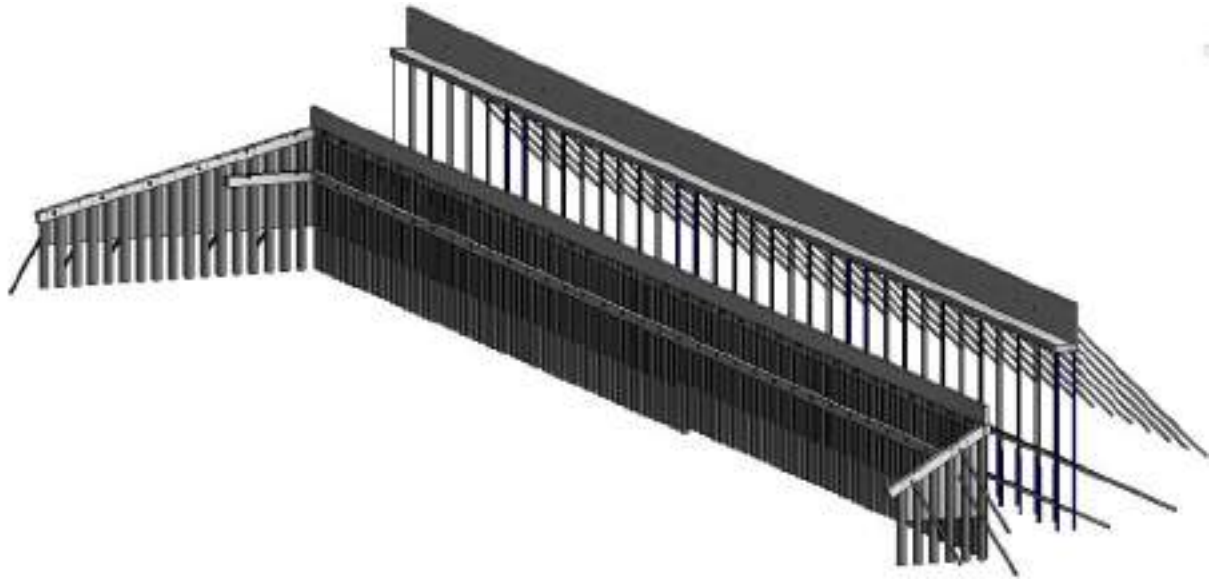
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. **Soluções de Escavação e Contenção Periférica**
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Considerações Finais

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Cortina de Estacas 600mm // 1.20m Espaçadas:

- Betão projetado 10cm
- Vigas de distribuição em betão armado
- Encastramento mínimo de 3,0m
- Pregagens definitivas GEWI Ø32
  - 1º e 2º nível de travamento// 3.60m
- Geodrenos drenagem paramento // 3.60m.



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Superestrutura da superfície comercial

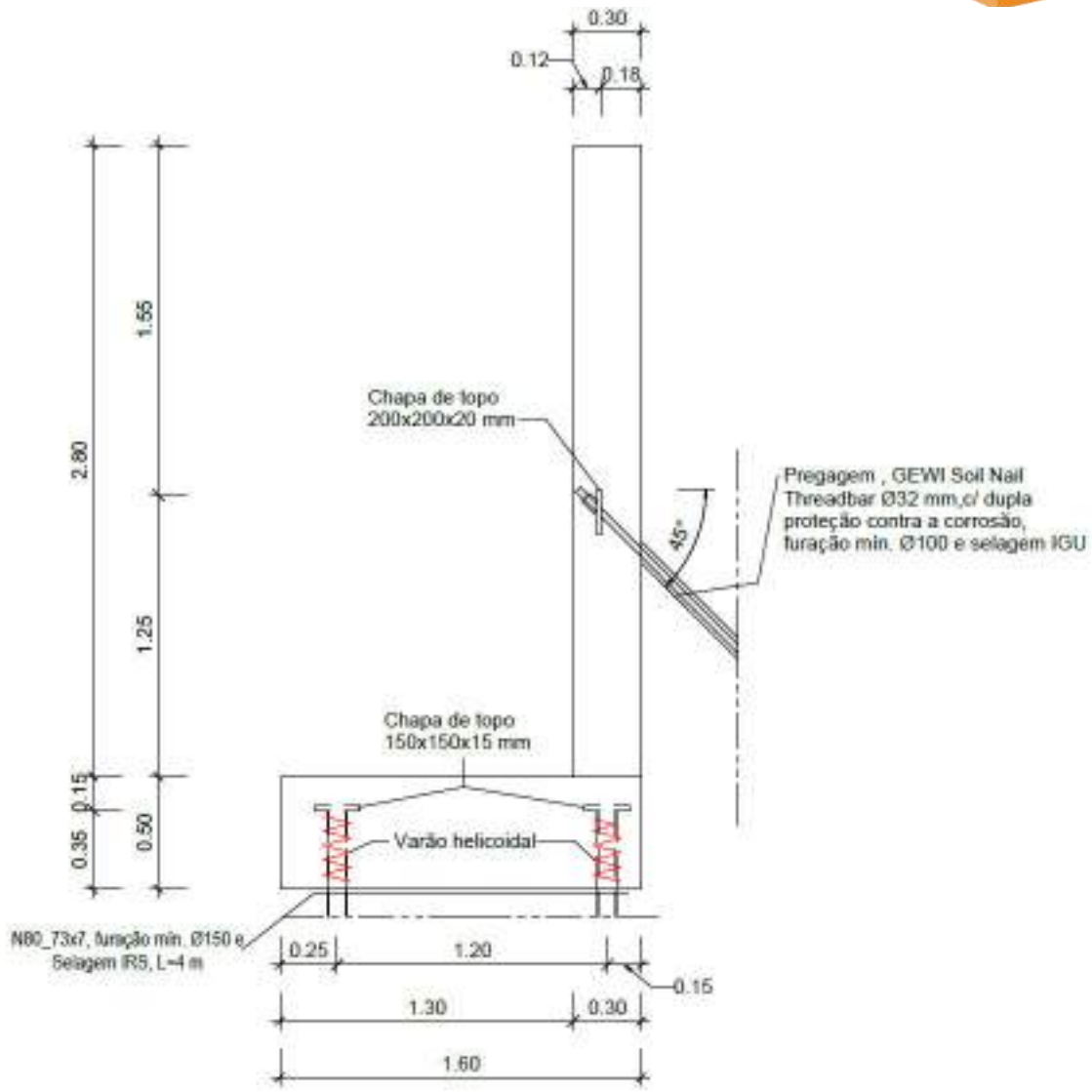
Localização do Muro em L a executar

Cortina de estacas + platibanda

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

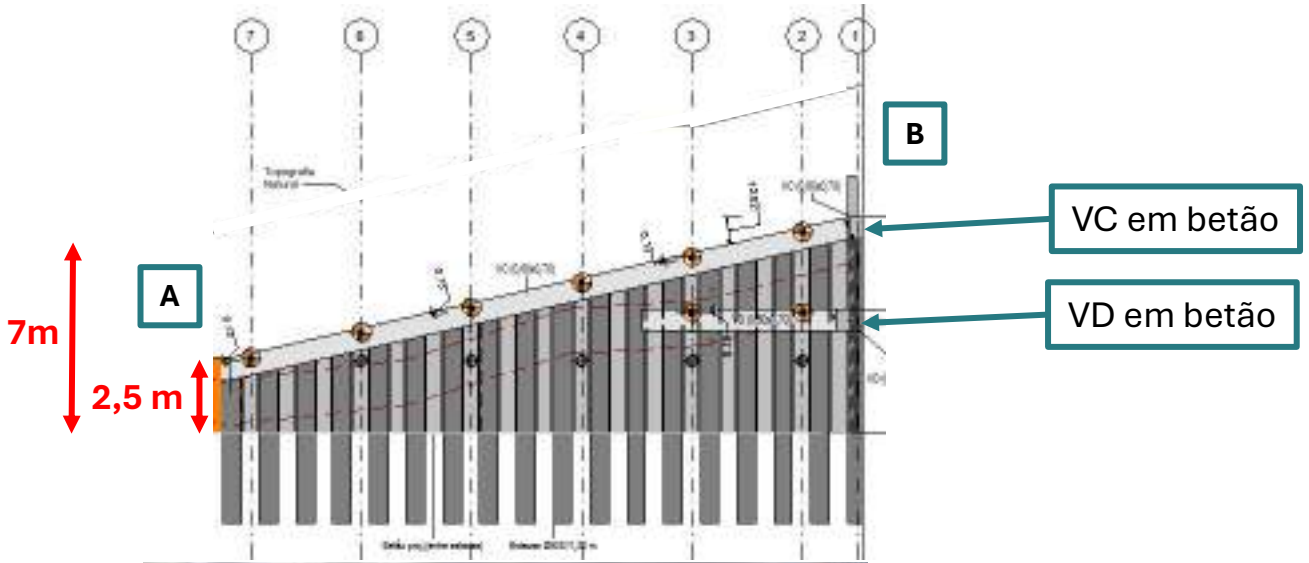
Muro de Contenção:

- Fundado em microestacas N80 Ø 73X7 //
- Pregagens definitivas GEWI Ø32
  - 1º nível de travamento//3.60m



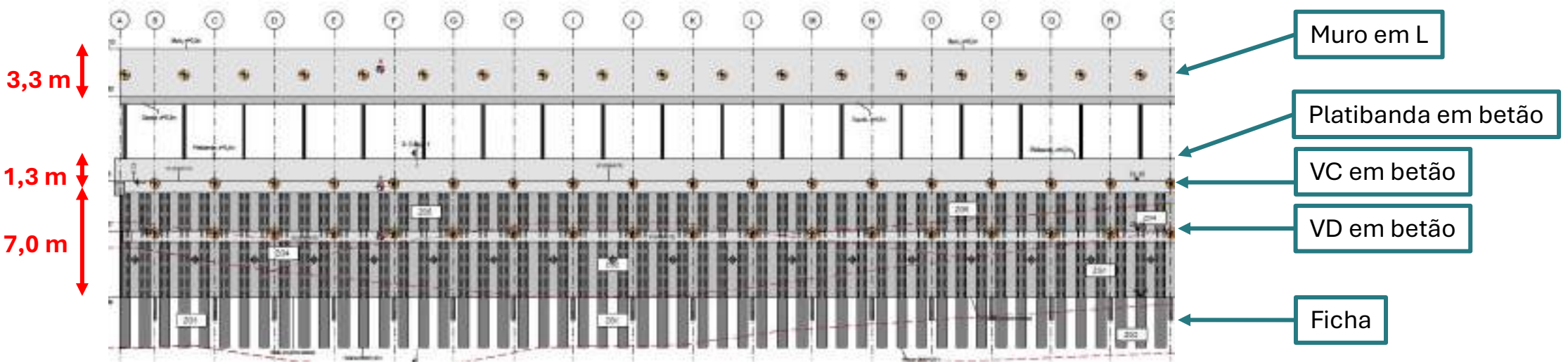
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

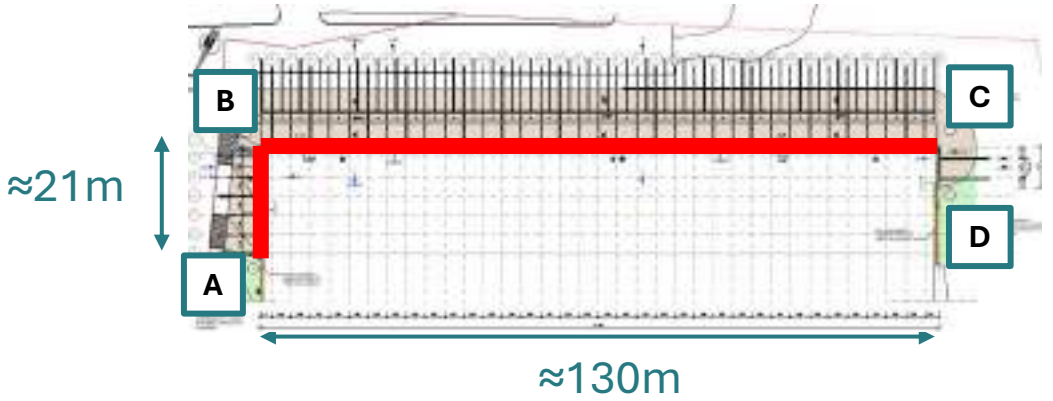
Alçado AB



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

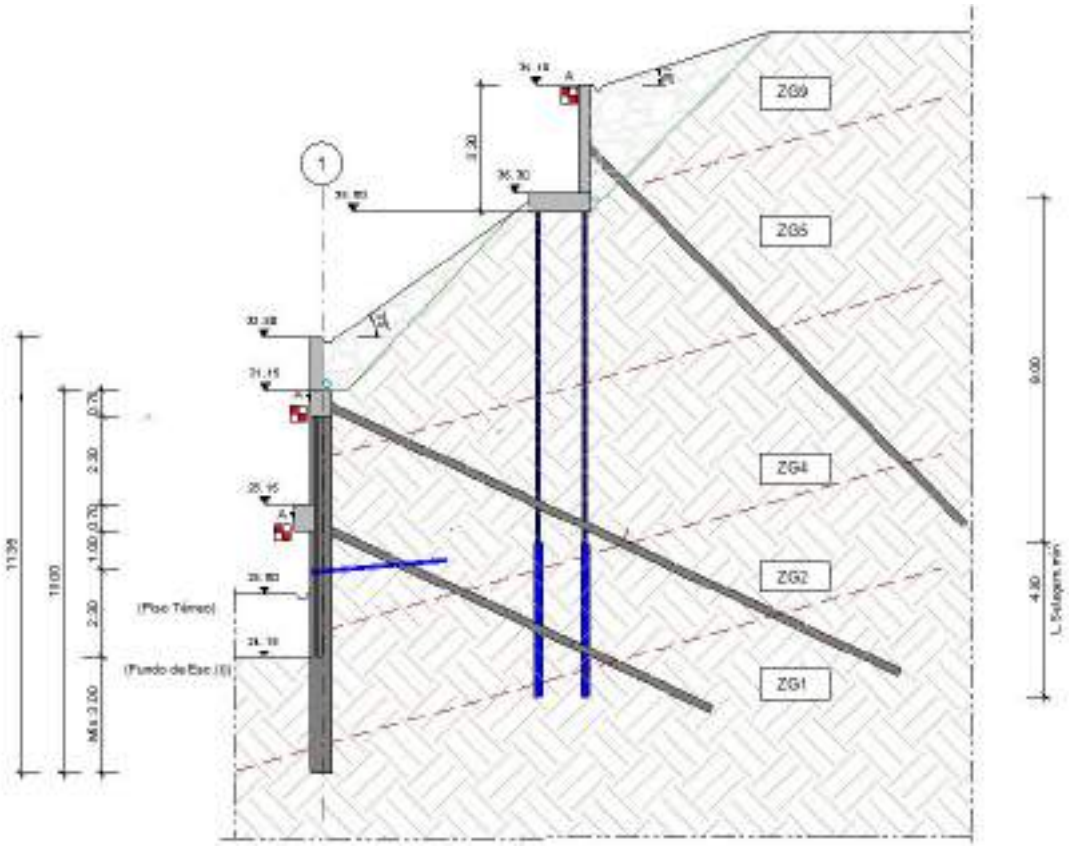
Alçado BC

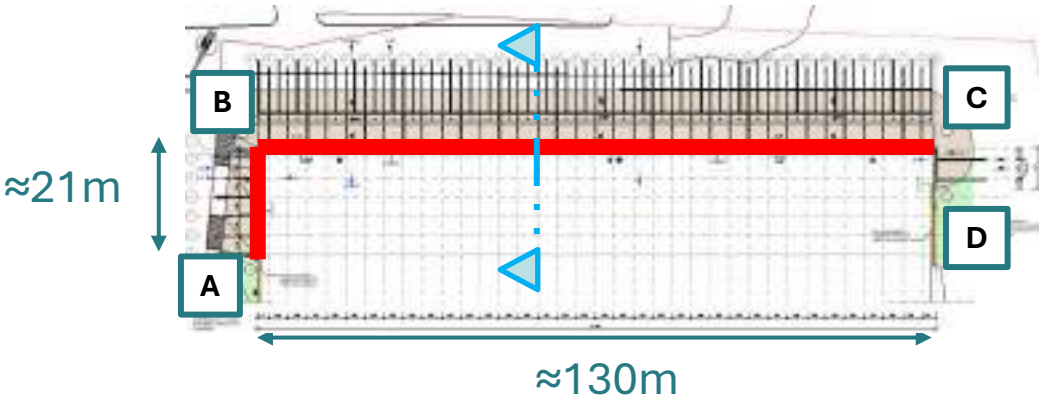




SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Corte Representativo Alçado BC



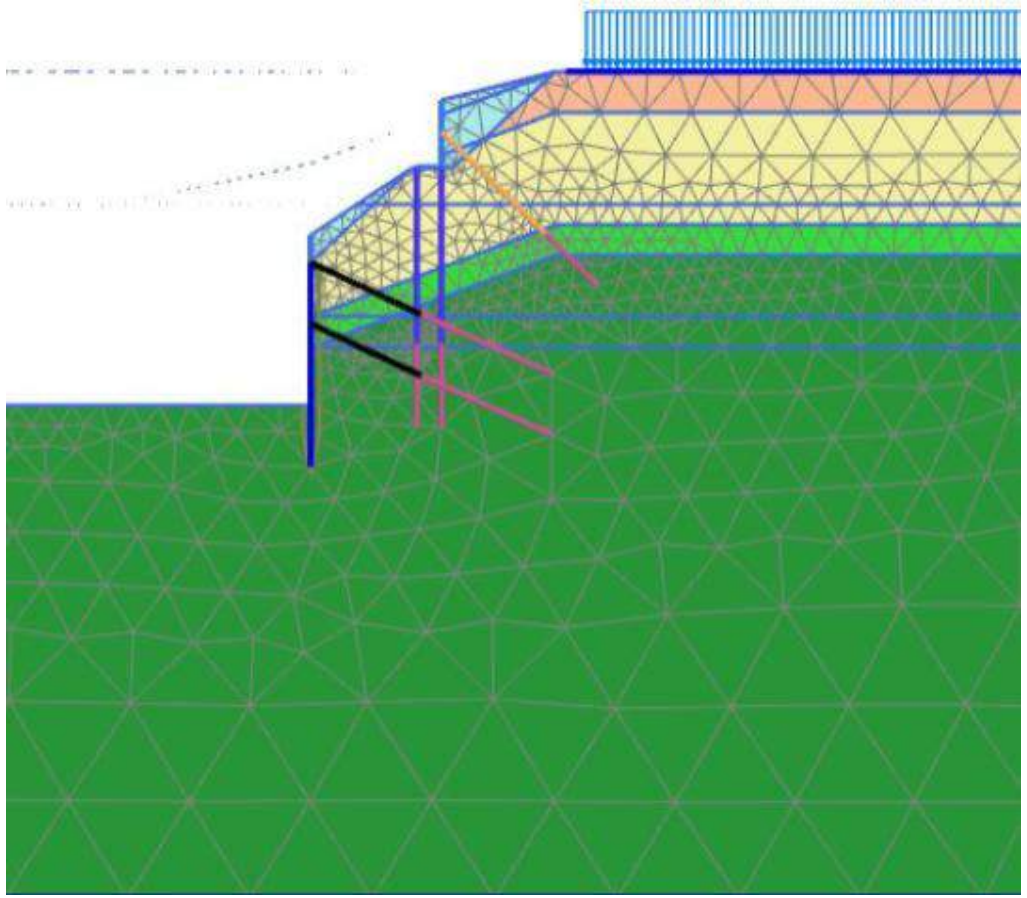


SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo *PLAXIS 2D*

- Secção tipo de análise representativa.

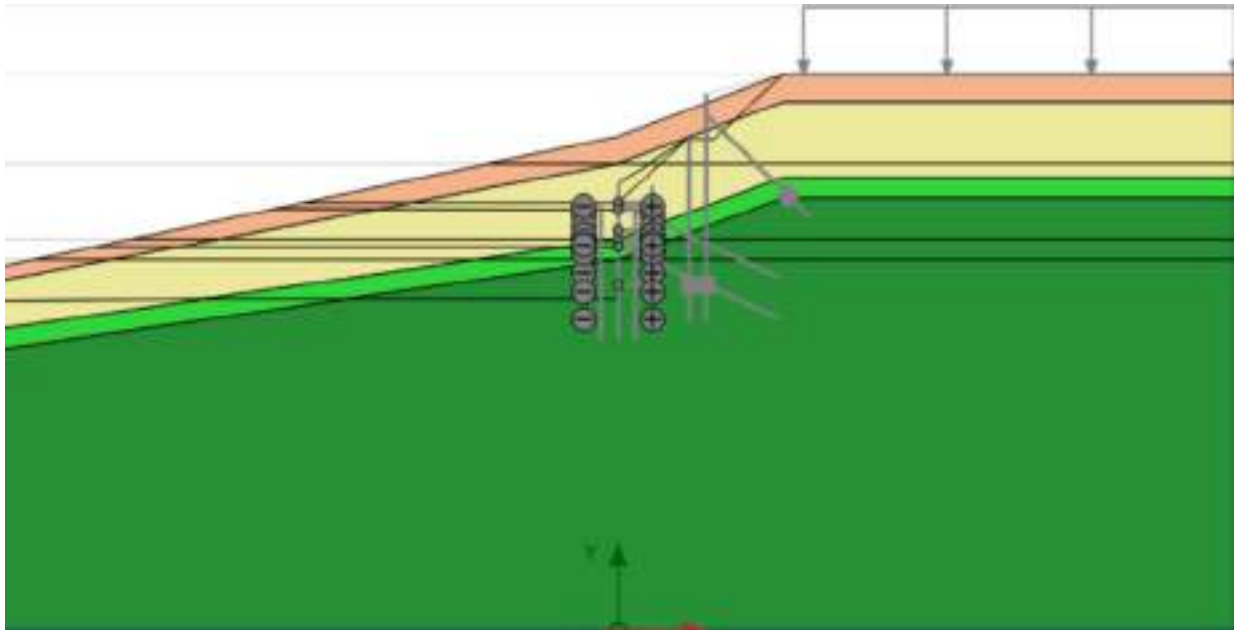
- Terrenos:
  - Modelo constitutivo, segundo o modelo de "Hardening Soil" e "Hoek-Brown";
- Cortina de estacas e Muros:
  - Elementos do tipo "Plate";
- Pregagens e microestacas:
  - Elementos tipo tirante "Node-to-node anchor";
- Bolbos de selagem:
  - Elementos do tipo "Embedded beam row".



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo *PLAXIS 2D*

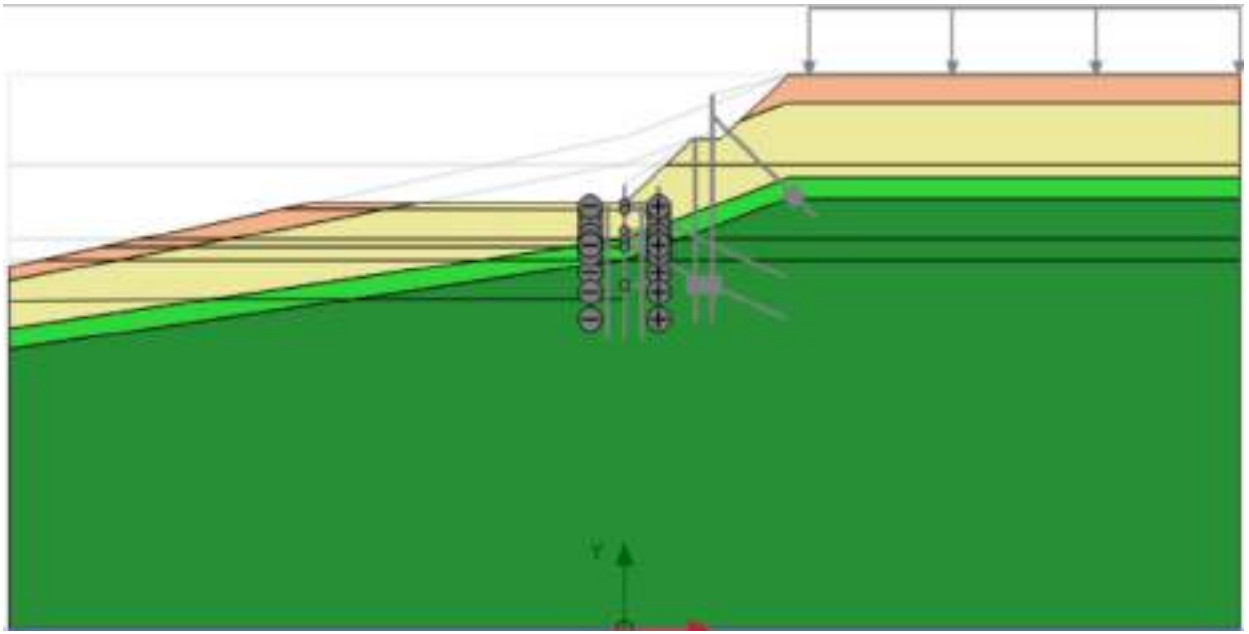
- Faseamento:
  - Terreno Natural
  - Escavação de taludes
  - Cortina de estacas e S.C.
  - Platibanda + aterro selecionado
  - Muro em L + Micros + pregagem + aterro selecionado
  - Pregagem 1ºnível
  - Escavação
  - Pregagem 2º nível
  - Fundo de Escavação



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo *PLAXIS 2D*

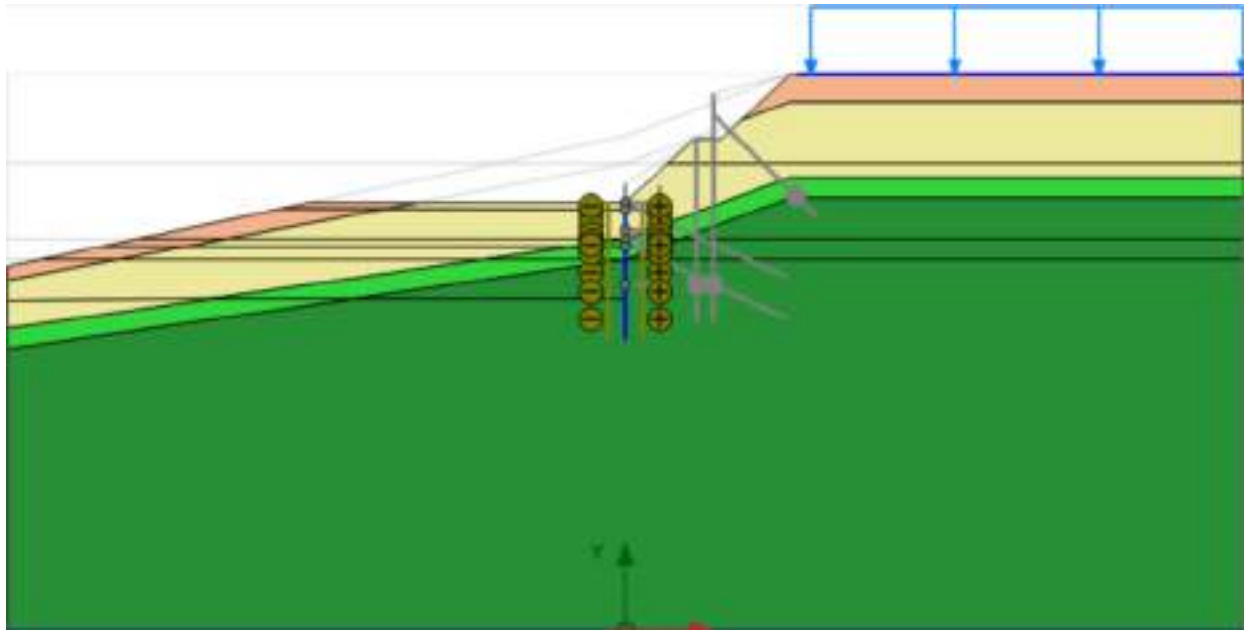
- Faseamento:
  - Terreno Natural
  - Escavação de taludes
  - Cortina de estacas e S.C.
  - Platibanda + aterro selecionado
  - Muro em L + Micros + pregagem + aterro selecionado
  - Pregagem 1ºnível
  - Escavação
  - Pregagem 2º nível
  - Fundo de Escavação



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo *PLAXIS 2D*

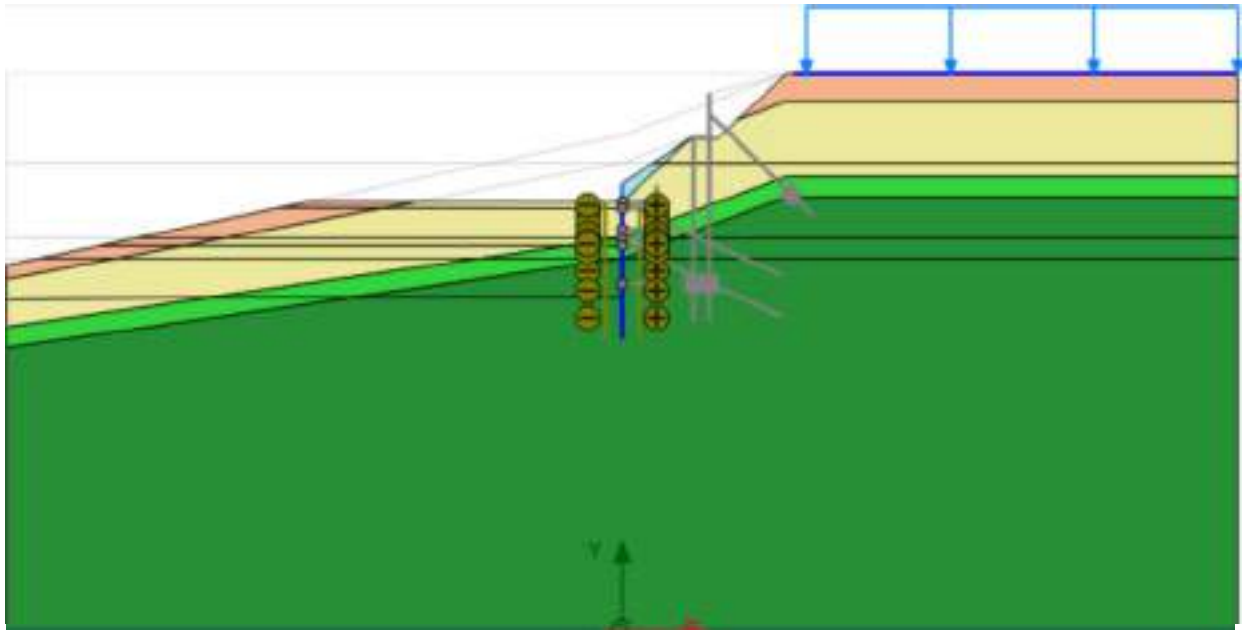
- Faseamento:
  - Terreno Natural
  - Escavação de taludes
  - Cortina de estacas e S.C.
  - Platibanda + aterro selecionado
  - Muro em L + Micros + pregagem + aterro selecionado
  - Pregagem 1ºnível
  - Escavação
  - Pregagem 2º nível
  - Fundo de Escavação



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo *PLAXIS 2D*

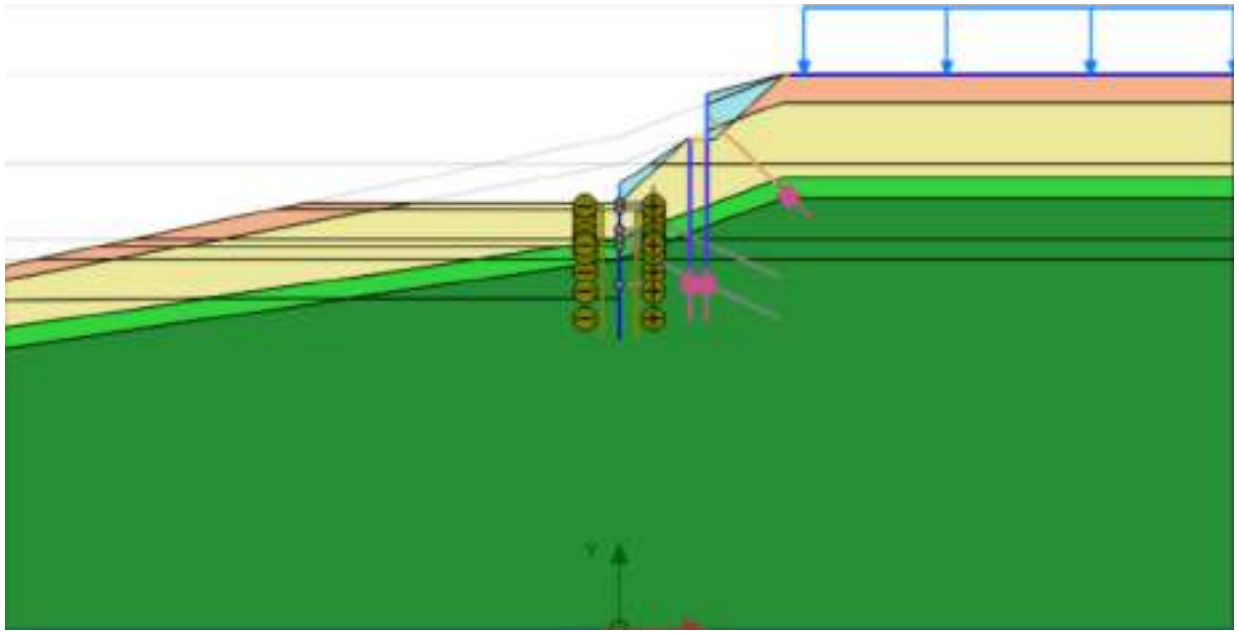
- Faseamento:
  - Terreno Natural
  - Escavação de taludes
  - Cortina de estacas e S.C.
  - Platibanda + aterro selecionado
  - Muro em L + Micros + pregagem + aterro selecionado
  - Pregagem 1ºnível
  - Escavação
  - Pregagem 2º nível
  - Fundo de Escavação



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo *PLAXIS 2D*

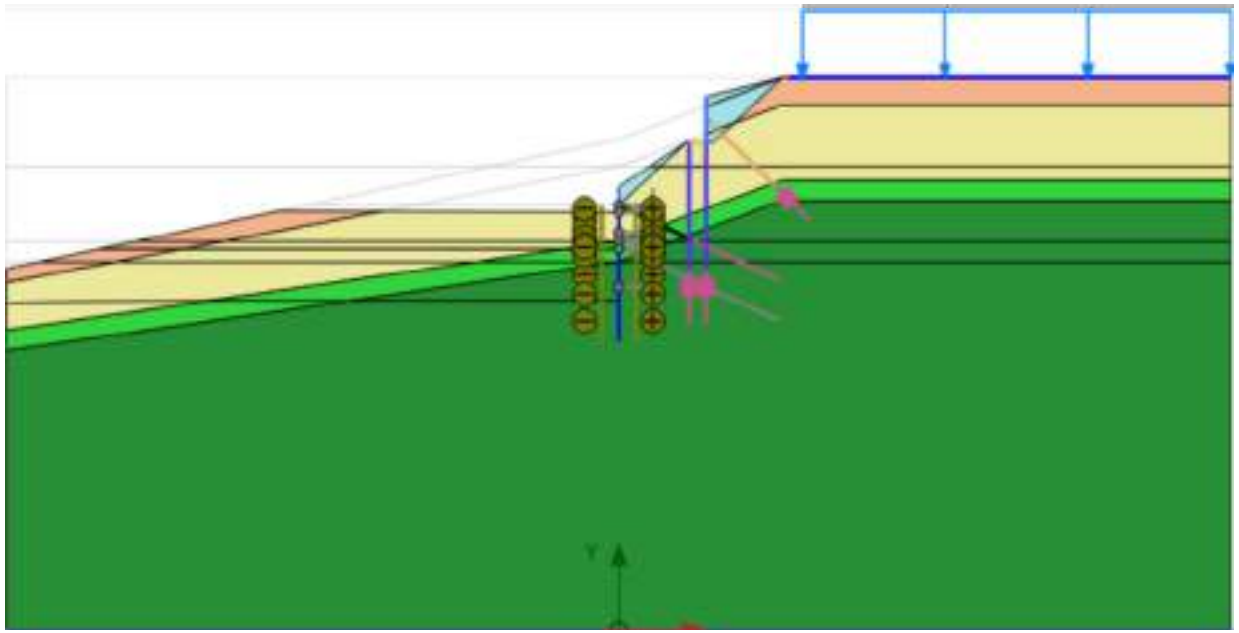
- Faseamento:
  - Terreno Natural
  - Escavação de taludes
  - Cortina de estacas e S.C.
  - Platibanda + aterro selecionado
  - Muro em L + Micros + pregagem + aterro selecionado
  - Pregagem 1ºnível
  - Escavação
  - Pregagem 2º nível
  - Fundo de Escavação



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo *PLAXIS 2D*

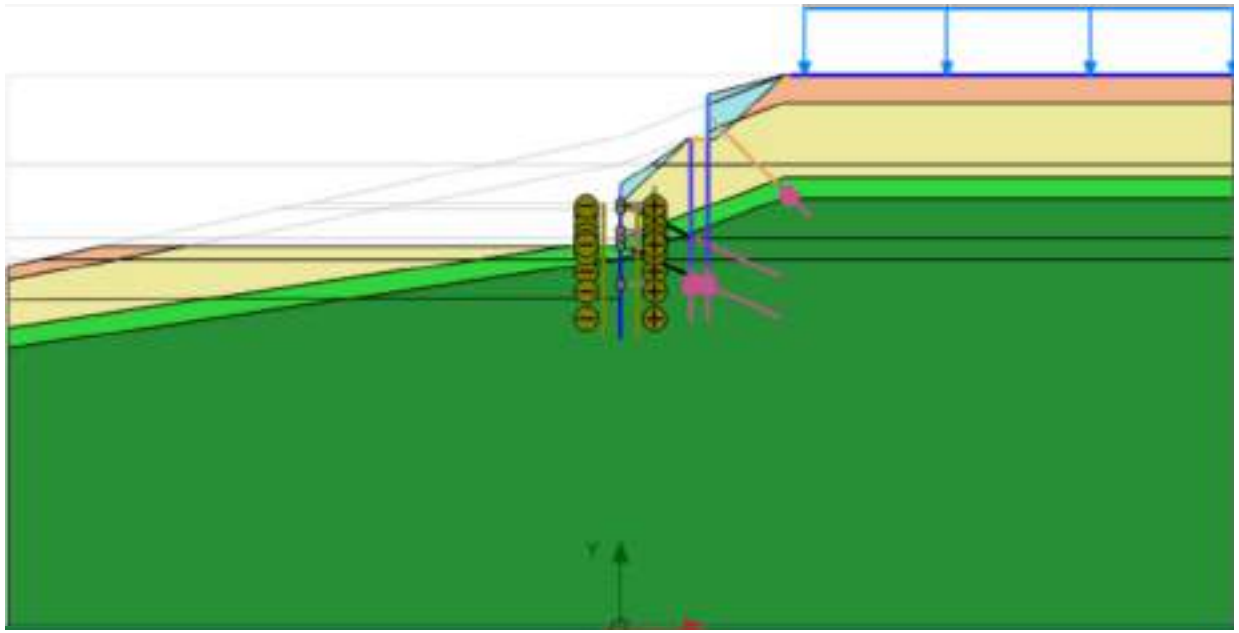
- Faseamento:
  - Terreno Natural
  - Escavação de taludes
  - Cortina de estacas e S.C.
  - Platibanda + aterro selecionado
  - Muro em L + Micros + pregagem + aterro selecionado
  - Pregagem 1ºnível
  - Escavação
  - Pregagem 2º nível
  - Fundo de Escavação



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo *PLAXIS 2D*

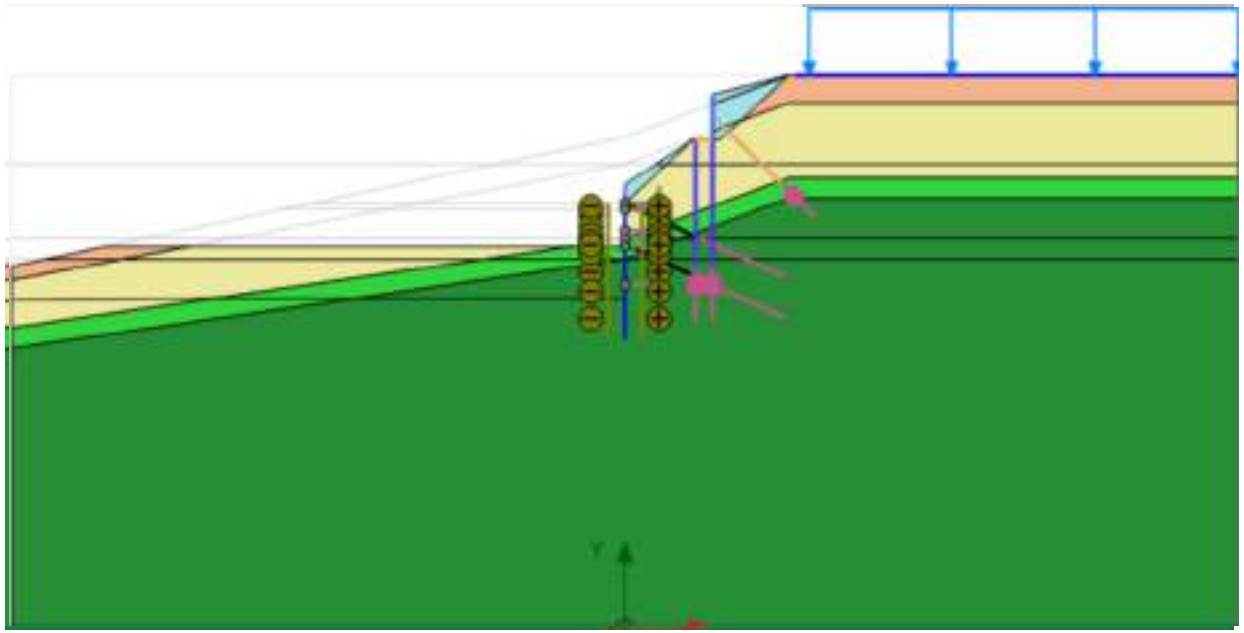
- Faseamento:
  - Terreno Natural
  - Escavação de taludes
  - Cortina de estacas e S.C.
  - Platibanda + aterro selecionado
  - Muro em L + Micros + pregagem + aterro selecionado
  - Pregagem 1ºnível
  - Escavação
  - Pregagem 2º nível
  - Fundo de Escavação



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo *PLAXIS 2D*

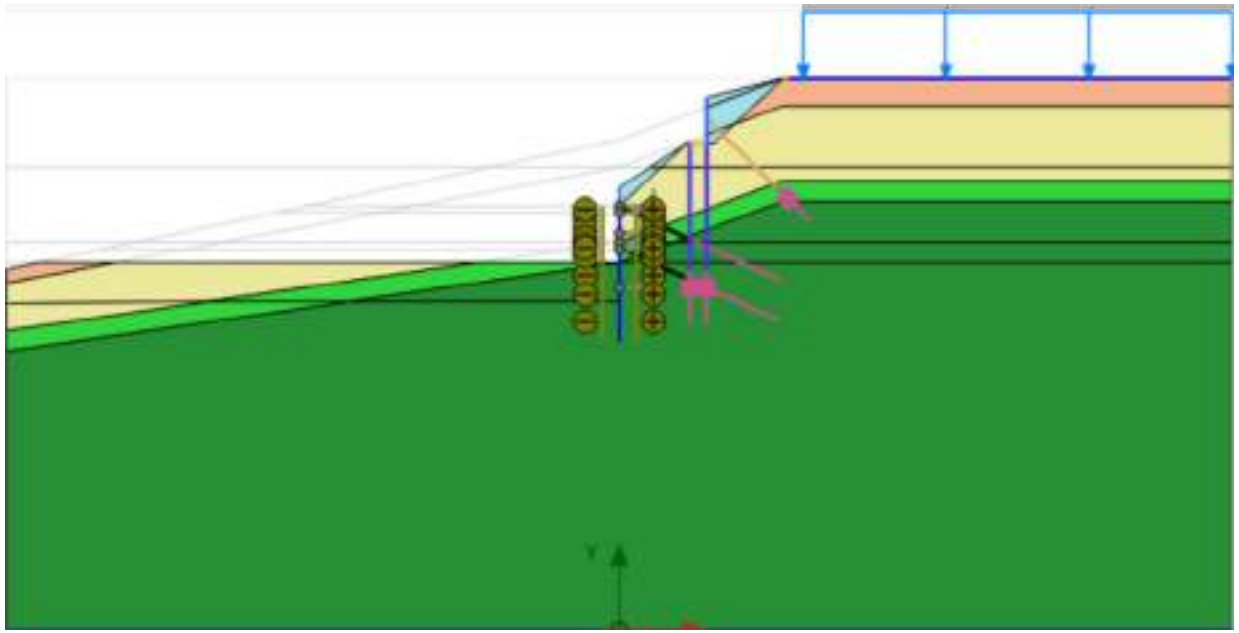
- Faseamento:
  - Terreno Natural
  - Escavação de taludes
  - Cortina de estacas e S.C.
  - Platibanda + aterro selecionado
  - Muro em L + Micros + pregagem + aterro selecionado
  - Pregagem 1ºnível
  - Escavação
  - Pregagem 2º nível
  - Fundo de Escavação



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo *PLAXIS 2D*

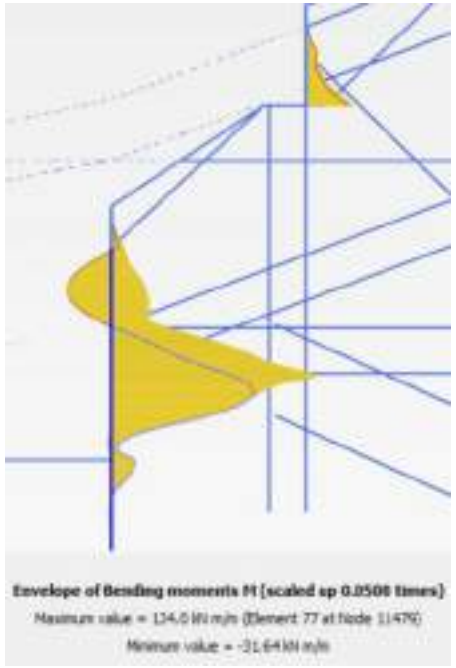
- Faseamento:
  - Terreno Natural
  - Escavação de taludes
  - Cortina de estacas e S.C.
  - Platibanda + aterro selecionado
  - Muro em L + Micros + pregagem + aterro selecionado
  - Pregagem 1ºnível
  - Escavação
  - Pregagem 2º nível
  - Fundo de Escavação



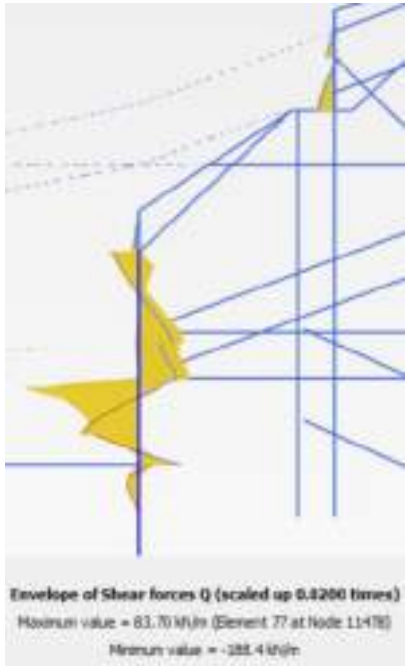
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Resultados de Cálculo *PLAXIS 2D*

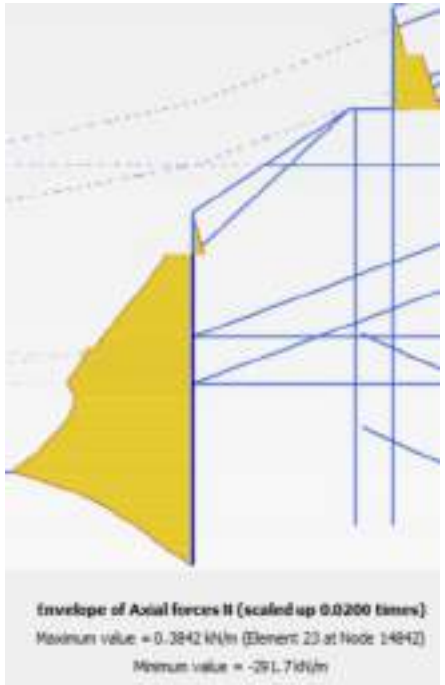
Esforços



Momento Fletor

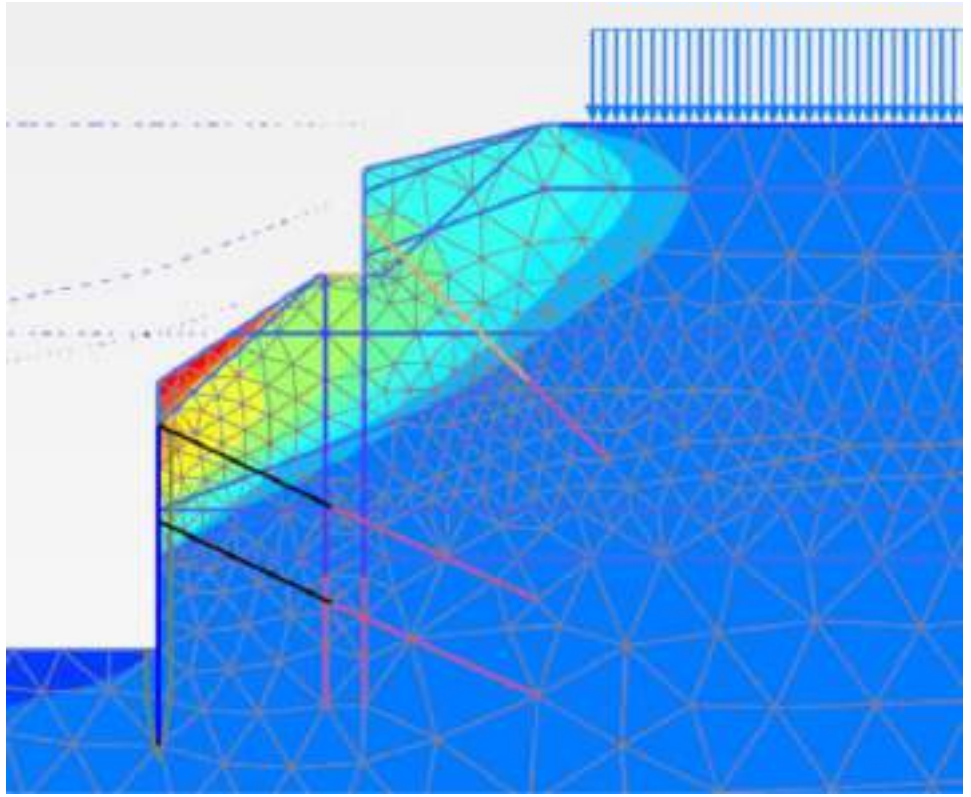


Esforço Transverso



Esforço Normal

Deformações



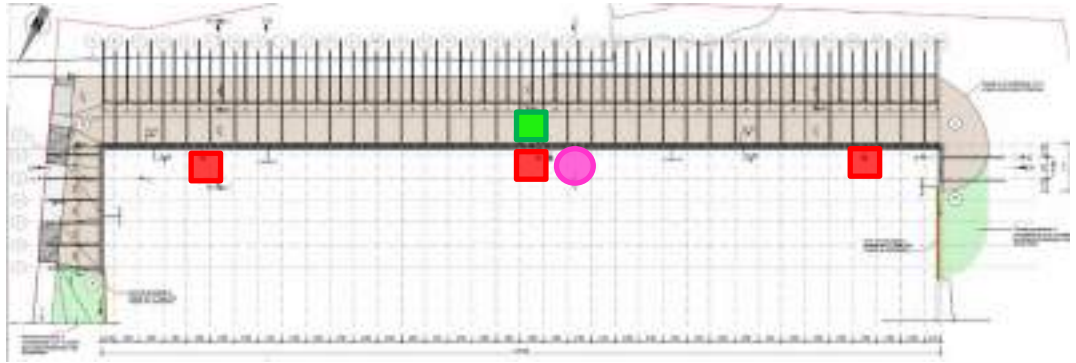
Ux= 0.5 mm

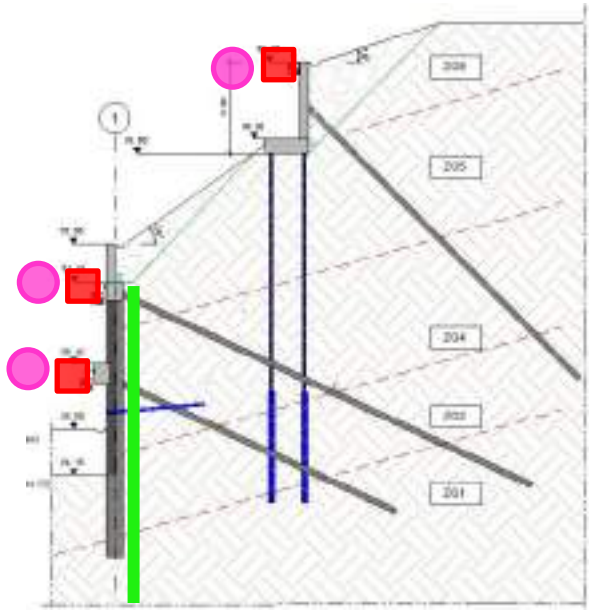
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. **Plano de Instrumentação e Observação**
6. Considerações Finais

PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Localização dos dispositivos





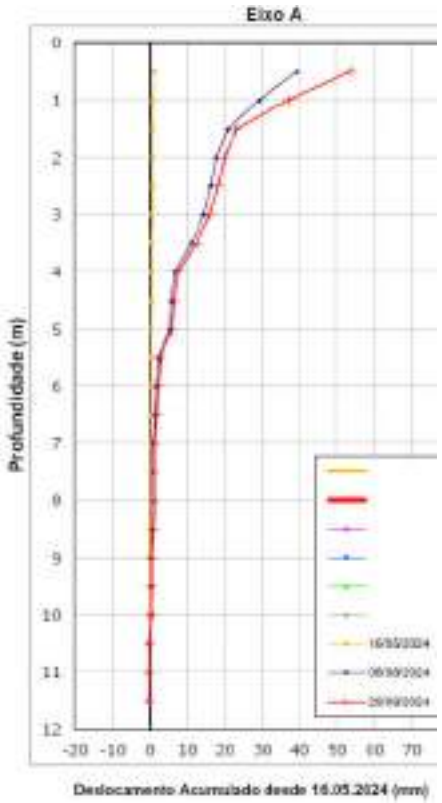
Célula de Carga

Alvos topográficos

Inclinómetro

PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Leitura dos dispositivos



ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. **Considerações Finais**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Importância da avaliação prévia das **Condicionantes Locais** (Arquitetura, Edifícios Vizinhos e Infraestruturas)

Importância da realização de um **Estudo Geológico Geotécnico** que caracterize os terrenos em profundidade

Importância do **Papel da Geotecnia** nas escavações em meio urbano

Importância do **Plano de Instrumentação de Observação**, ferramenta indispensável para a gestão do risco

Reflexão pós-obra: alternativas às decisões tomadas tendo por base a informação recolhida em obra

Obrigado pela vossa atenção

Agradecimentos

Empreiteiro

PROJETO DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA COM 3 PISOS ENTERREADOS, NUMA ZONA URBANA DENSA, EM VILA NOVA DE GAIA

André Sousa / JETsj Geotecnia

Carlos de Oliveira Martins / JETsj Geotecnia

utad

19.º Congresso Nacional Geotecnia

11-14 Maio 2026

JETsj

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

ÍNDICE

1. **Introdução**
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Processos Construtivos

INTRODUÇÃO

EDIFÍCIO DESTINADO A HOTELARIA (200 quartos)

Cruzamento Avenida da República com a Rua Luís de Camões

13 pisos elevados
3/4 caves

Área:
2 150 m²

Altura máxima:
15 m

Escavação:
27 000 m³

ÍNDICE

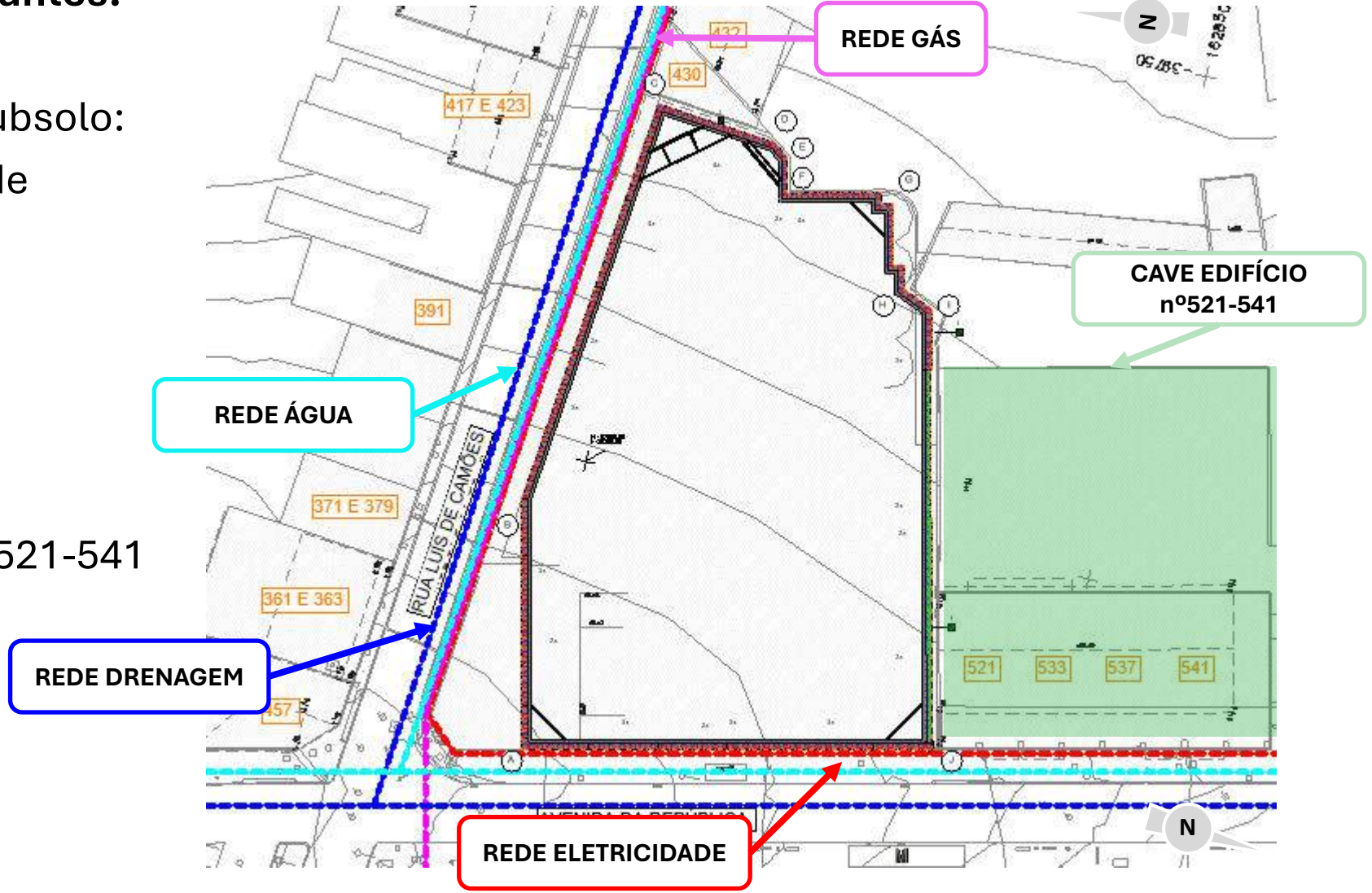
1. Introdução
2. **Principais Condicionamentos**
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Processos Construtivos
6. Plano de Instrumentação e Observação

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

- ✓ **Condicionamentos construtivos e arquitetónicos:**
  - Espaço disponível para a estrutura de contenção ao nível dos pisos enterrados
  - Desnível de cotas do embasamento

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

- ✓ **Infraestruturas circundantes:**
  - Infraestruturas no subsolo:
    - Rede Eletricidade
    - Rede Água
    - Rede Drenagem
    - Rede de Gás
  - Edifícios vizinhos:
    - Cave edifício nº521-541



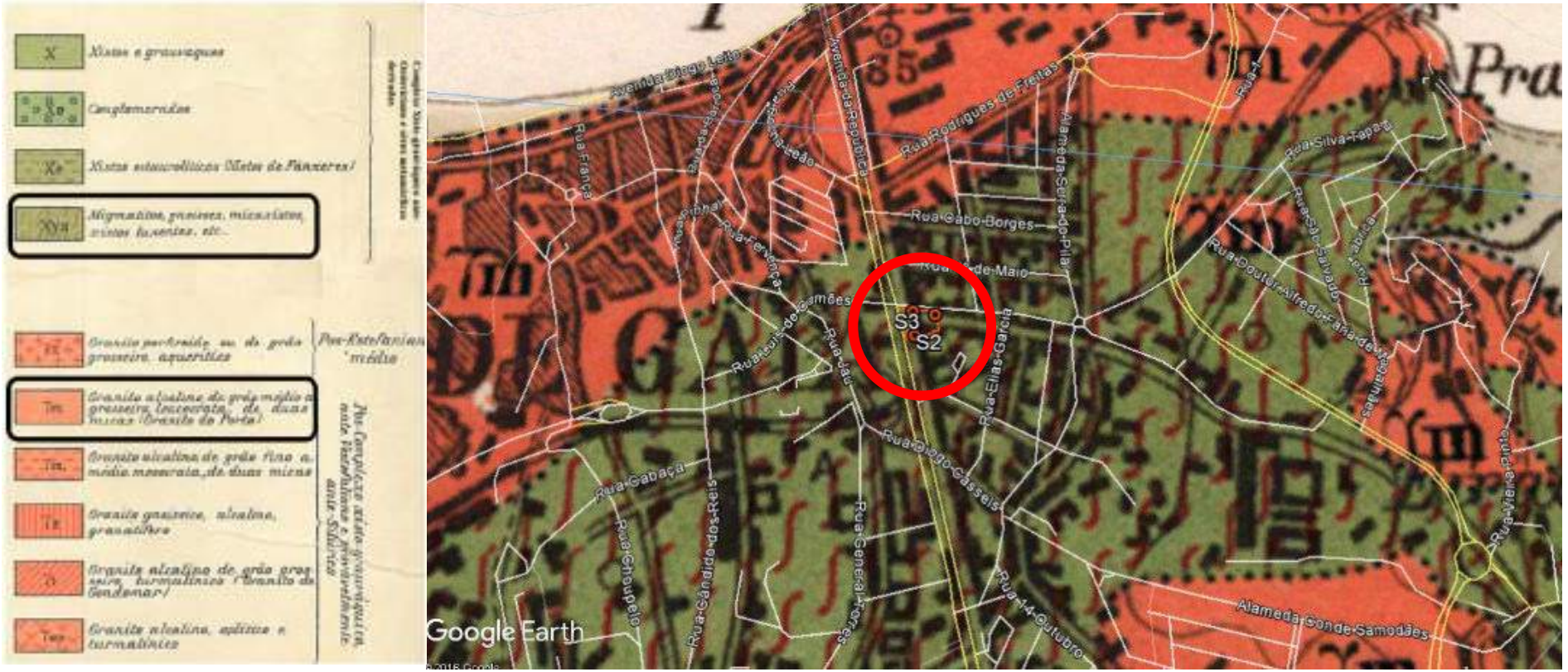
ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. **Estudo Geológico-Geotécnico**
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Processos Construtivos

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

No local de implantação da obra afloram:

- Depósitos de aterro (superficialmente e espessuras reduzidas);
- Complexo Xisto-Grauváquico (X_{yz});
- Granitos do Porto (γ_m).



Fonte: Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, Folha 9C - Porto

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

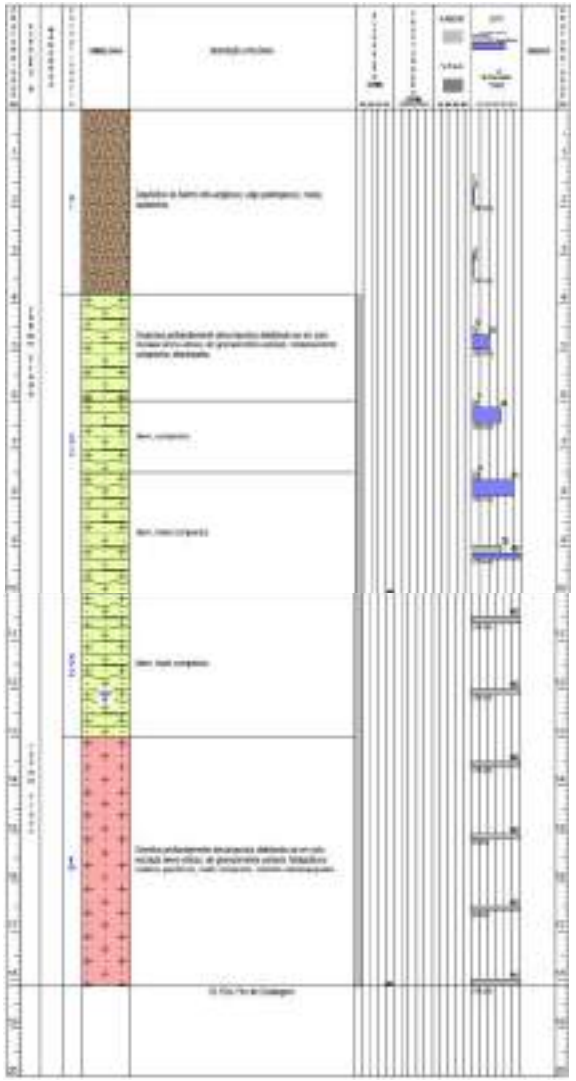
Plano de Prospeção Geológico-Geotécnico

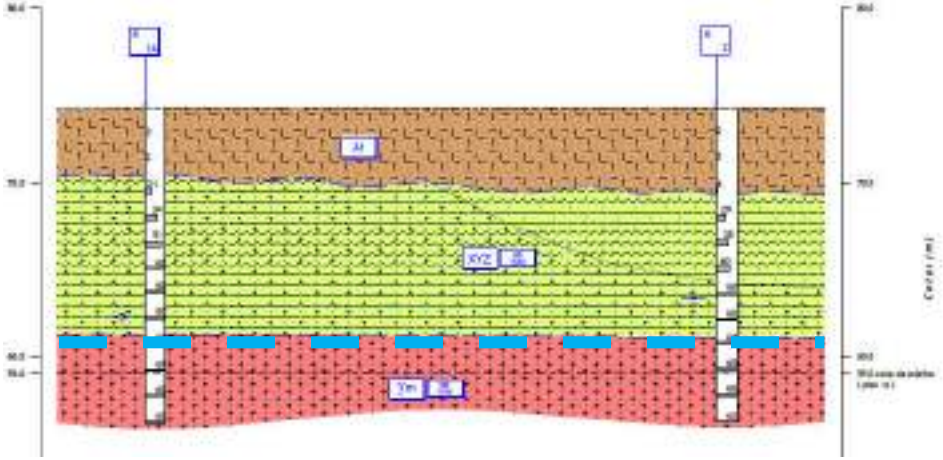
Abril de 2017 (Dono de Obra):

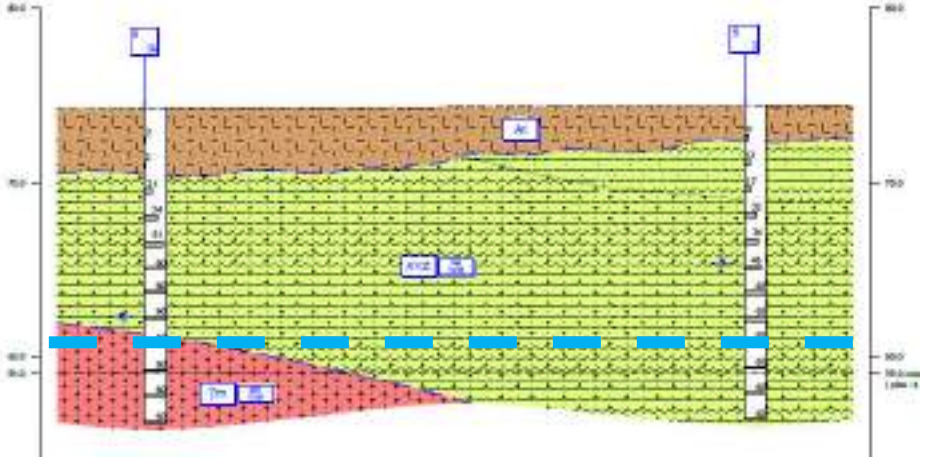
- ✓ 3 Sondagens Geotécnicas à rotação com amostragem contínua
- ✓ Ensaios SPT em profundidade
- ✓ 1 Piezómetros

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

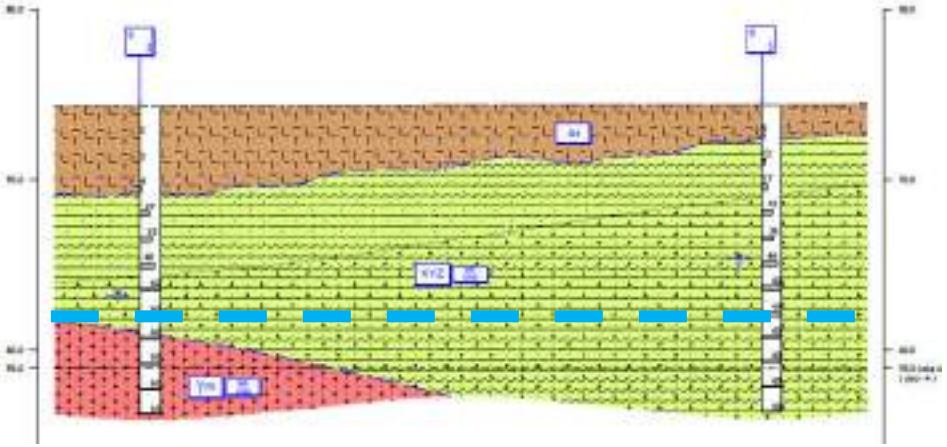
Sondagens, Zonamento e Perfis Interpretativos:







Descrição / ZG	Nspt
Aterro silto-argiloso	<10
[Xyz] Migmatitos gnaissicos (silte arenoso)	13-40
[Xyz] Gnaisses (areia siltosa de grão variável)	>60
Granitos profundamente decompostos , W5 (areia de grão variável, siltosa)	>60



ÍNDICE

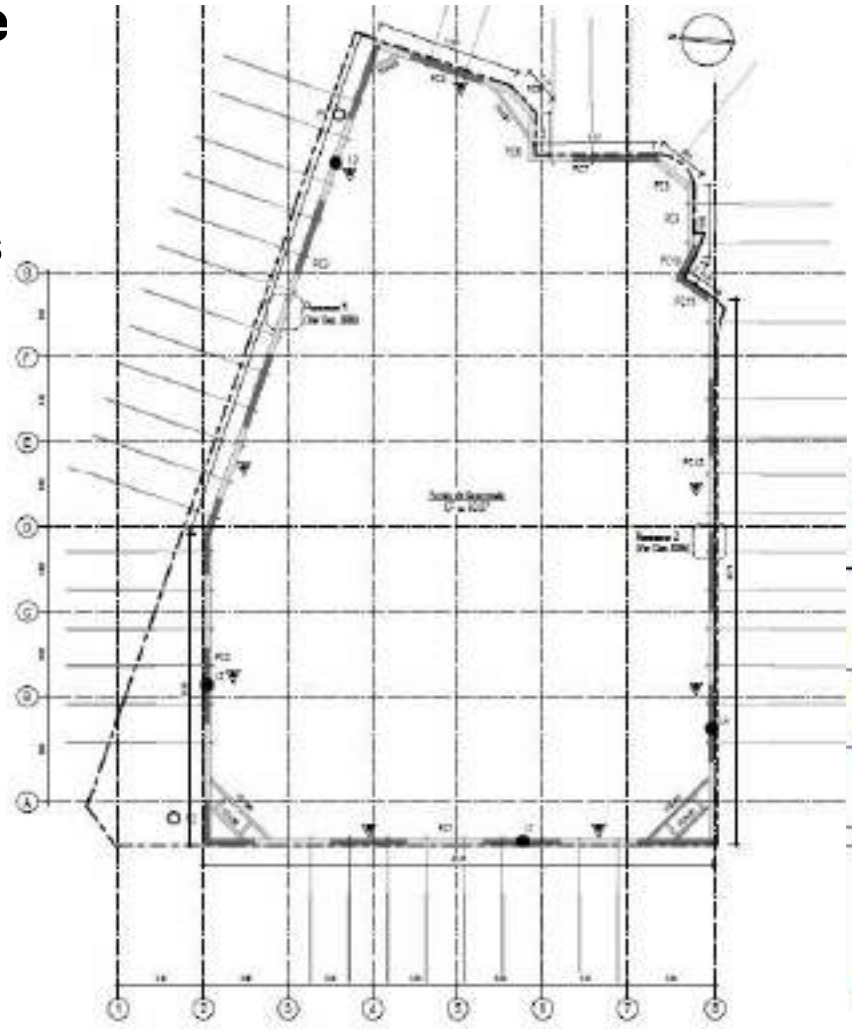
1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. **Soluções de Escavação e Contenção Periférica**
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. Processos Construtivos

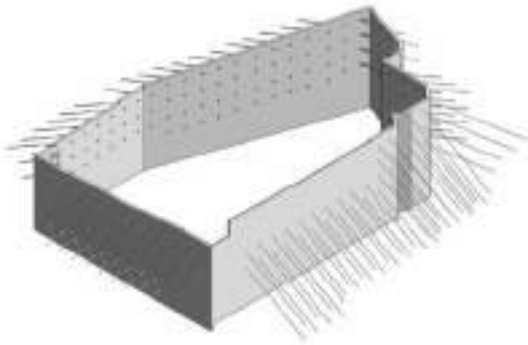
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

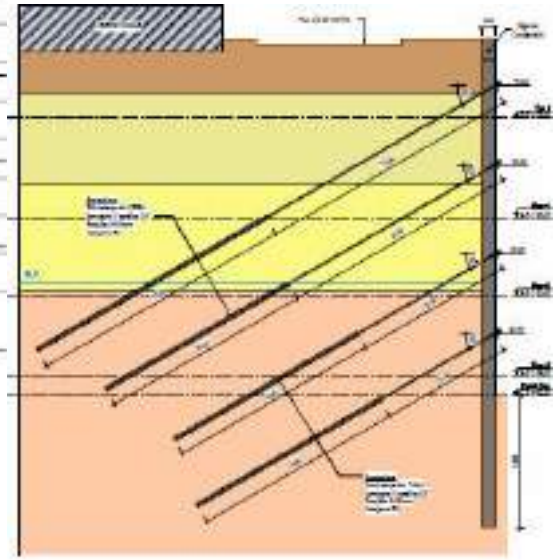
Projeto alternativo a projeto base

- Parede moldada com 50cm de espessura
- Travamentos por ancoragens e escoras metálicas

- Procura de solução alternativa mais adequada aos condicionamentos:
  - Cenário geológico e geotécnico
  - Hidrogeologia
  - Custo-Benefício







Fonte: Projeto base disponibilizado pelo Dono de Obra

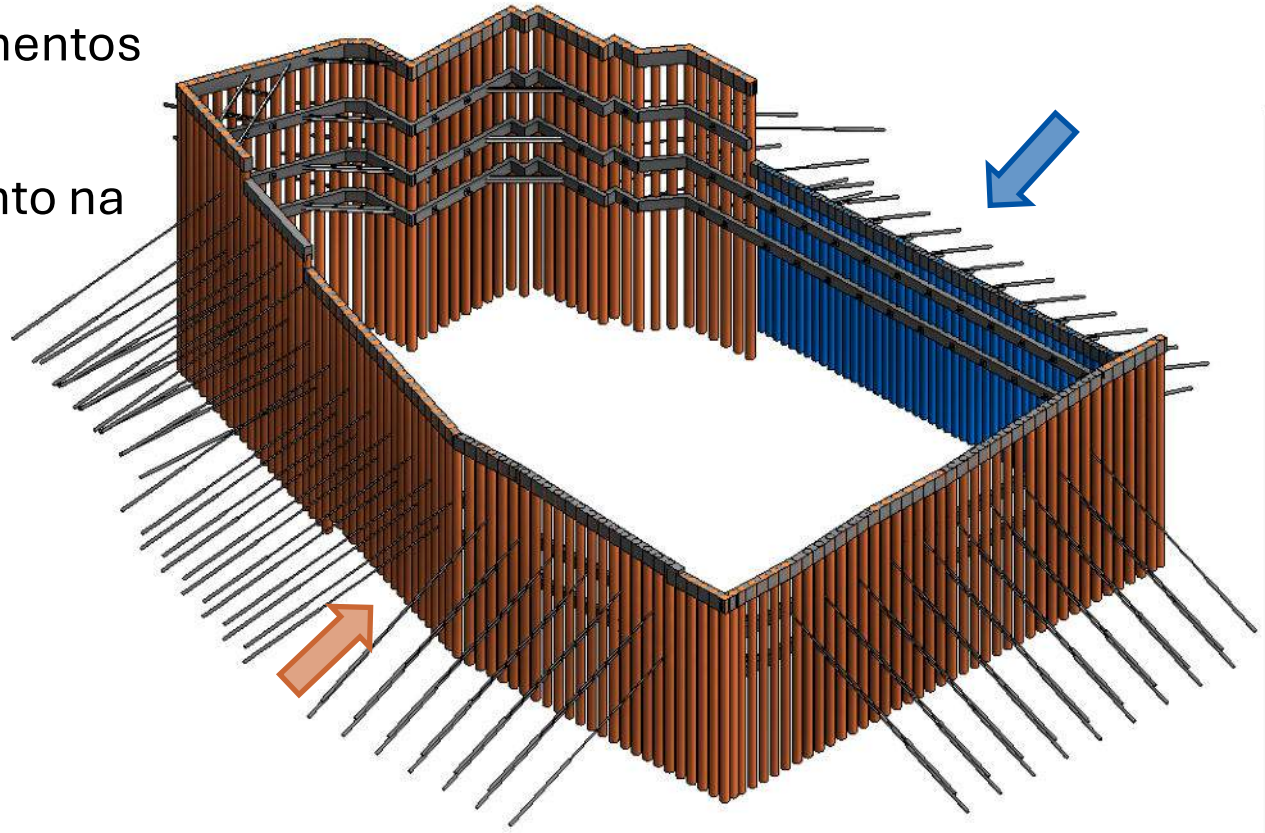
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Cortina de Estacas Espaçadas:

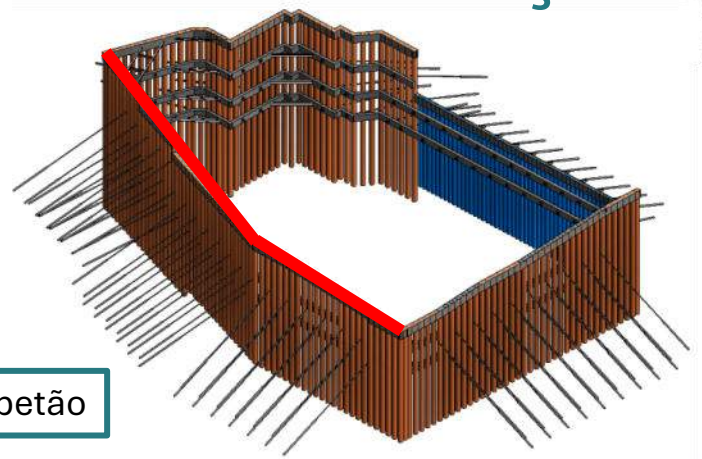
- Betão projetado 10cm
- Viga de coroamento compatível com arruamentos
- Vigas de distribuição em betão armado;
- Comprimento compatível com encastramento na formação Granitos do Porto;
- Escoras metálicas de canto
- Geodrenos de drenagem paramento.

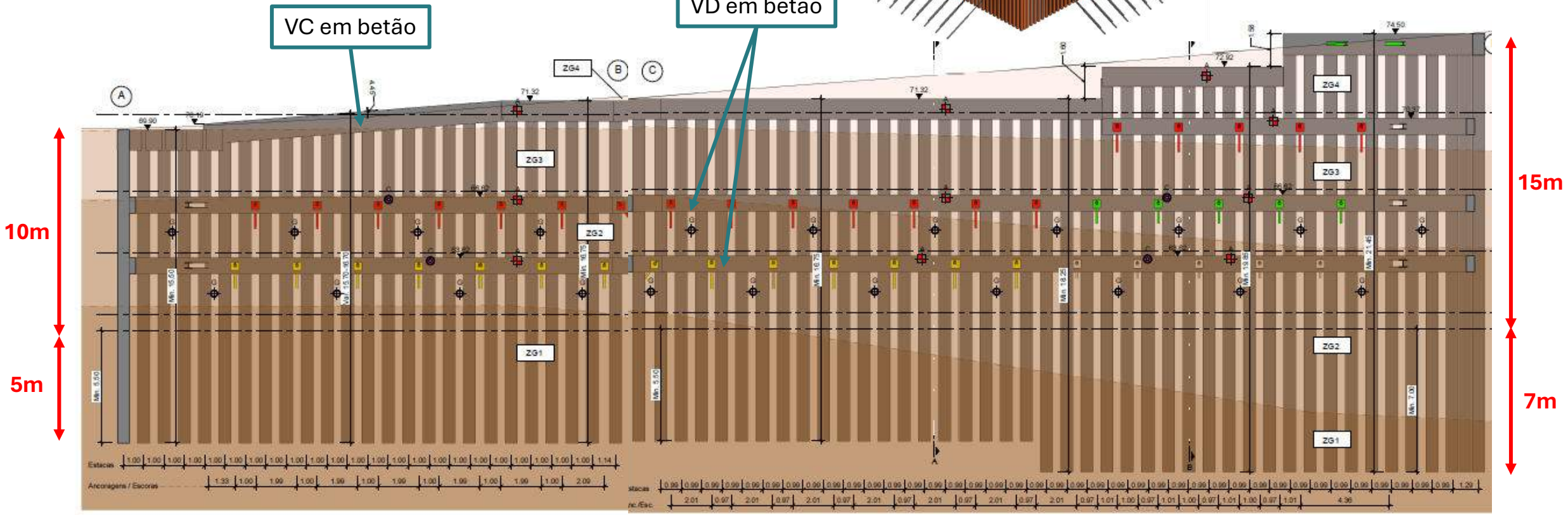
- **Diâmetros de Ø500mm // 0.70m**
  - **Ancoragens 5, 6 e 7 cordões // 2.80m**

- **Diâmetros de Ø600mm // 1.00m**
  - **Ancoragens 5, 6 e 7 cordões // 3.00m**

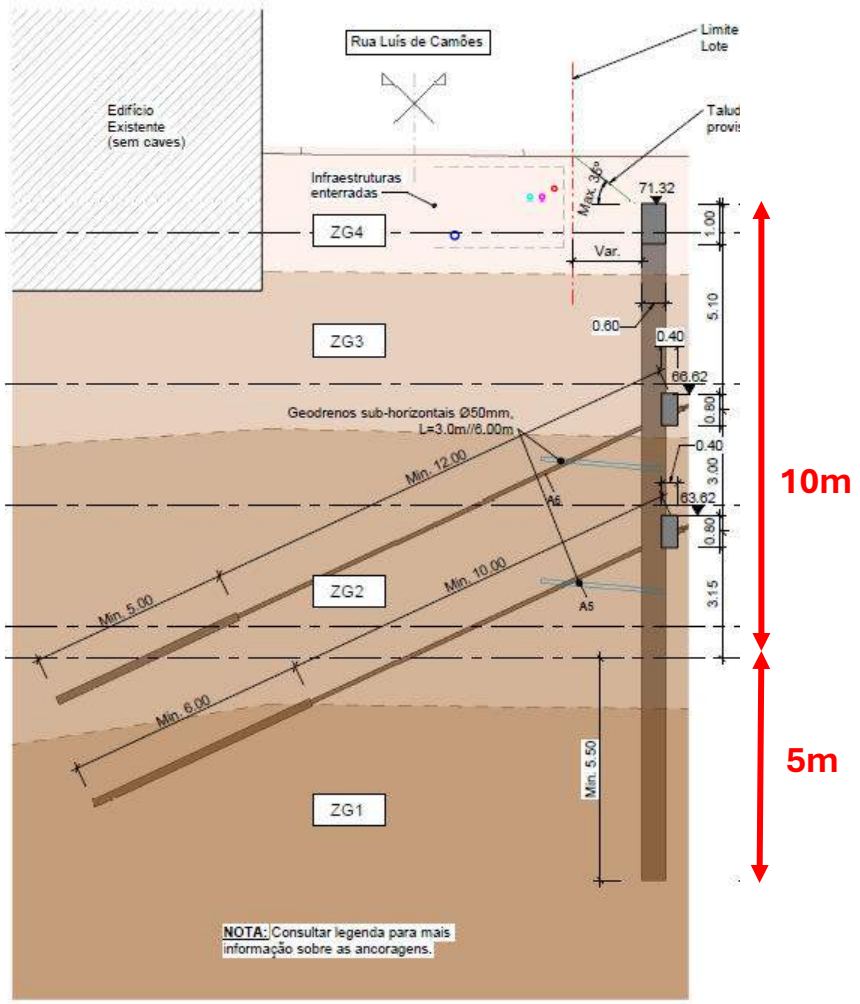


SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

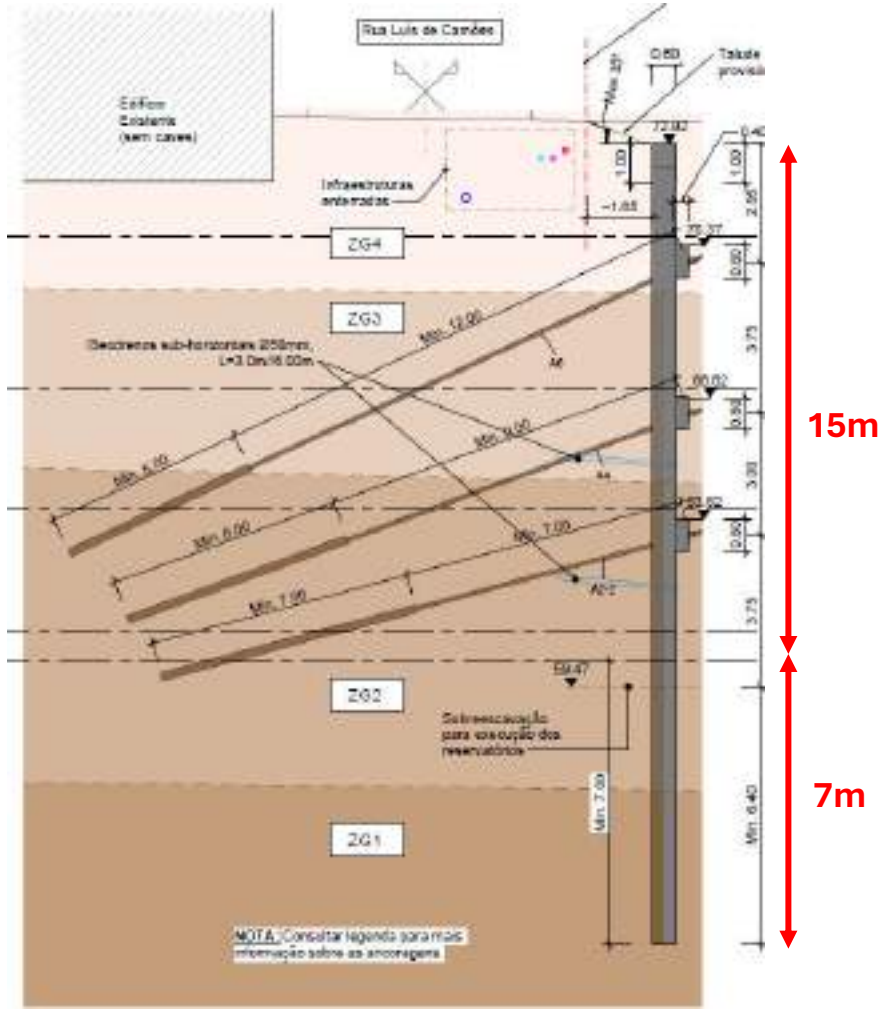




SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA



Secção com 2 níveis de travamento



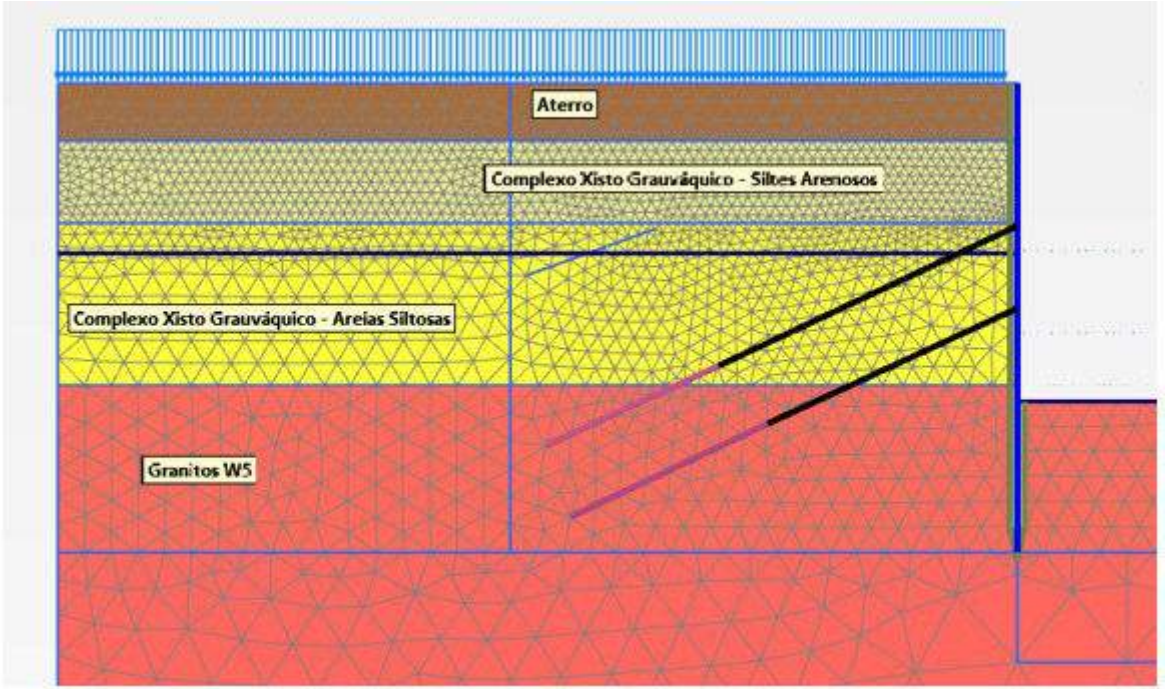
Secção com 3 níveis de travamento

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Secções Representativas de Cálculo *PLAXIS 2D*

- Secção tipo de análise.

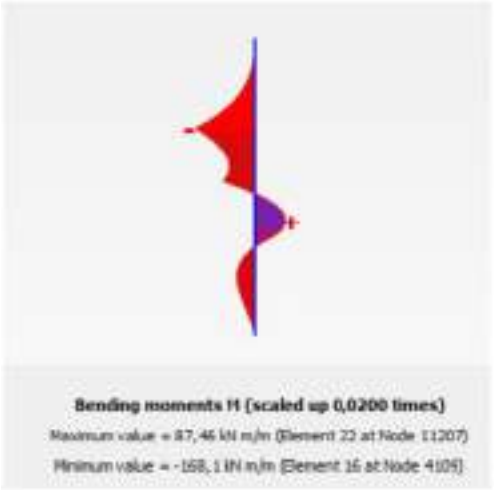
- Terrenos:
  - Modelo constitutivo, “Hardening Soil”;
- Cortina de estacas:
  - Elementos do tipo “Plate”;
- Ancoragens:
  - Elementos tipo “Node-to-node anchor”;
- Bolbos de selagem:
  - Elementos do tipo ”Embedded beam row”.



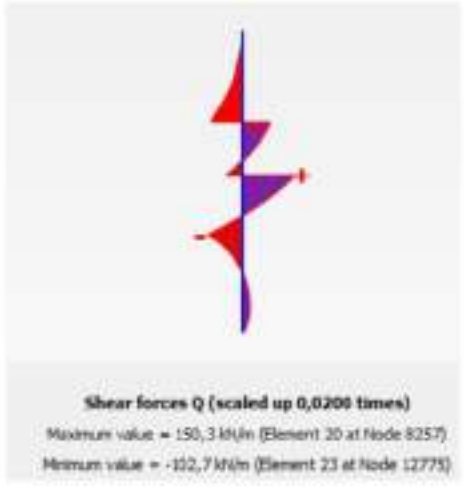
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Modelos de Elementos Finitos: Resultados de Cálculo *PLAXIS 2D*

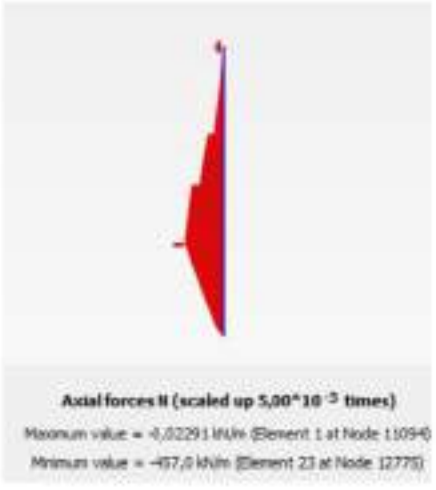
Esforços



Momento Fletor

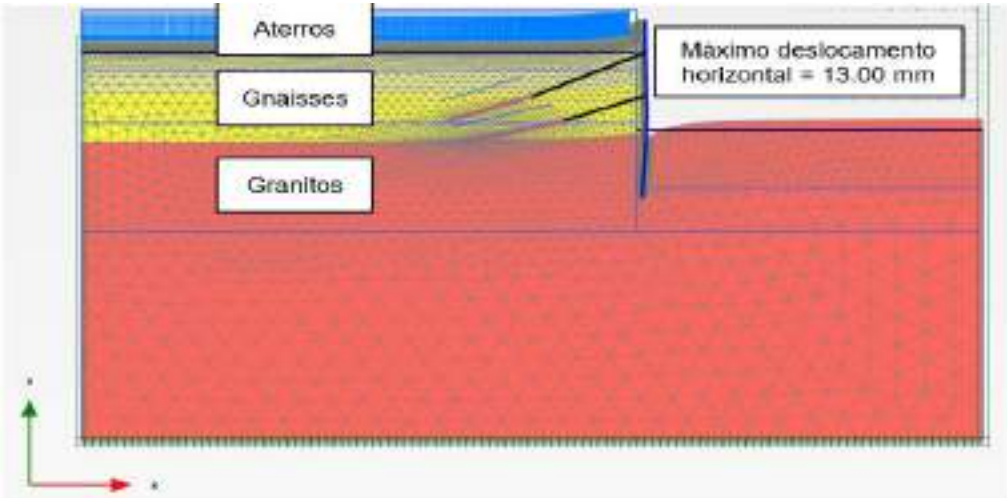


Esforço Transverso



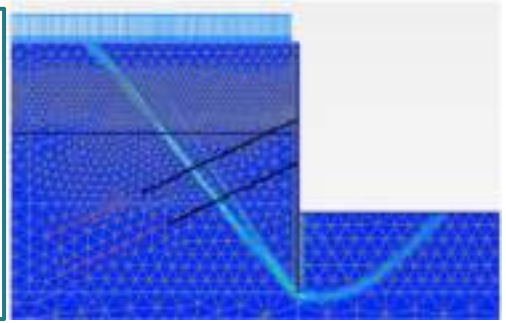
Esforço Normal

Deformações



Ux 13mm

Análise Safety Factor



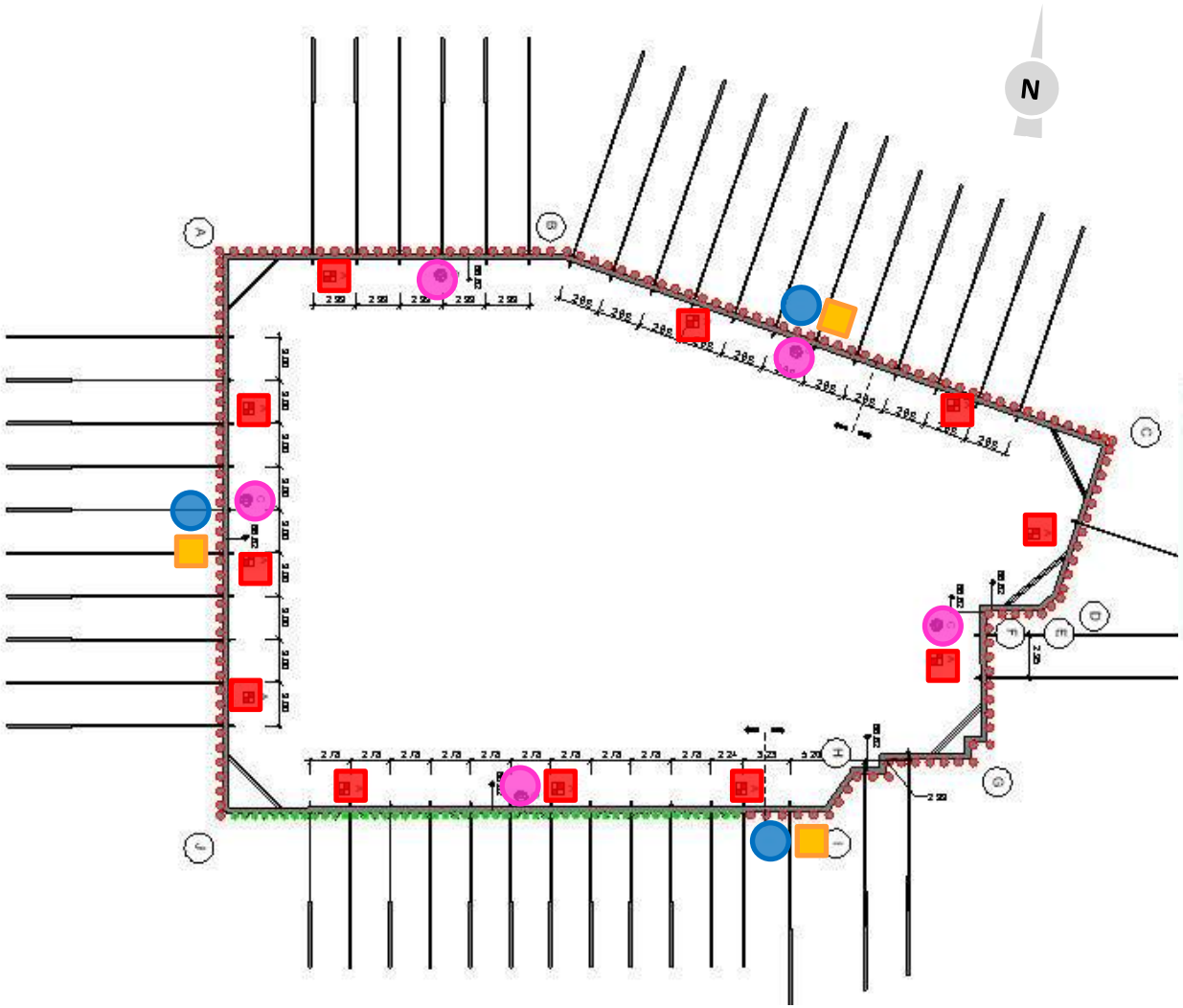
DF (AC1: C2)
1.31

ÍNDICE

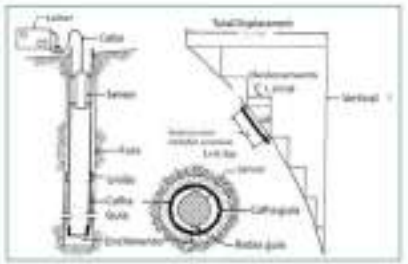
1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. **Plano de Instrumentação e Observação**
6. Processos Construtivos

PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Dispositivos e Localização

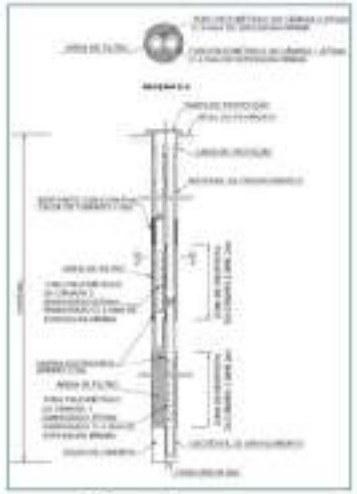


- Alvo Topográfico
- Piezómetro
- Inclinómetro
- Célula de Carga



Inclinómetro

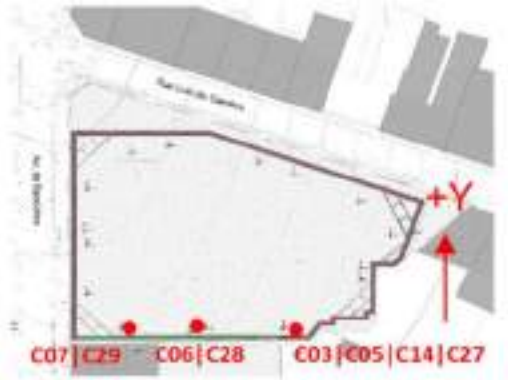
Alvo Topográfico

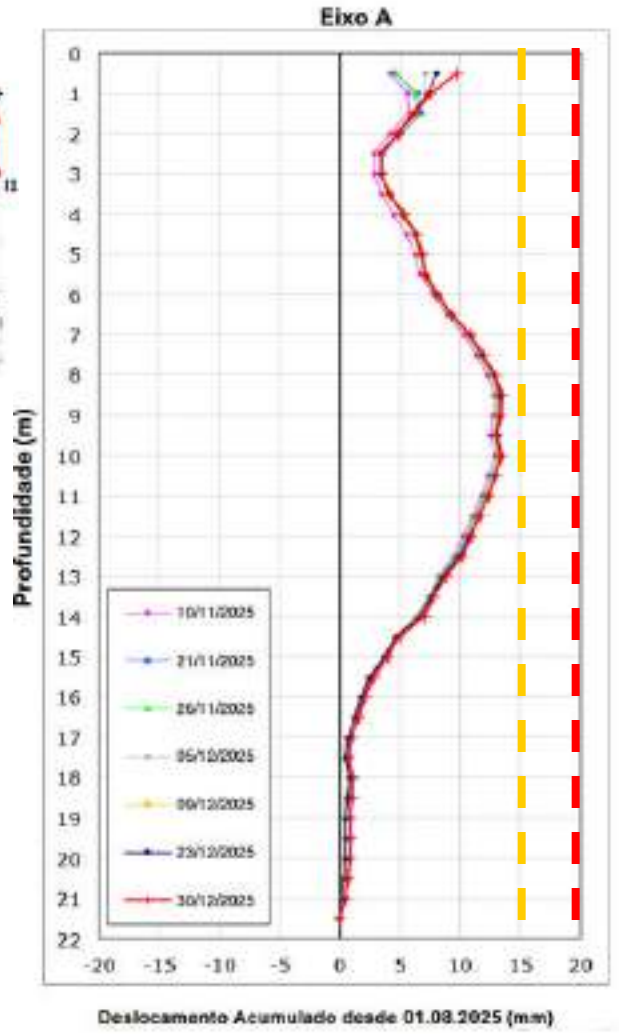


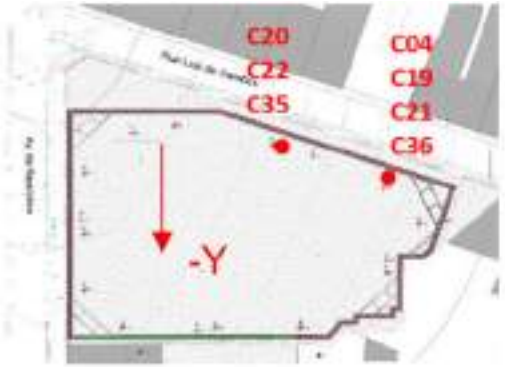
Piezómetro

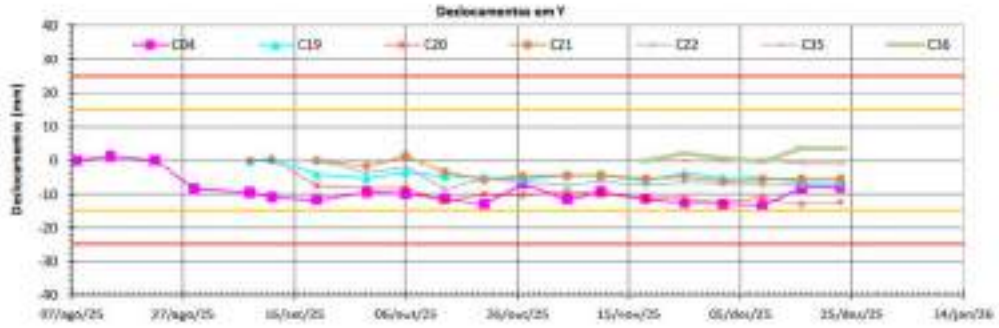
Célula de Carga

PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO









ÍNDICE

1. Introdução
2. Principais Condicionamentos
3. Estudo Geológico-Geotécnico
4. Soluções de Escavação e Contenção Periférica
5. Plano de Instrumentação e Observação
6. **Processos Construtivos**

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

JET SJ
Obrigado pela vossa atenção
Agradecimentos
Empreiteiro Geotecnia
drill GO
GEOTECNIA E
OBRAS SUBTERRÂNEAS
Fiscalização
VHM

NOVA LINHA CIRCULAR DO METROPOLITANO DE LISBOA: SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO DO TROÇO DE TÚNEL REALIZADO A CÉU ABERTO

Catarina Fartaria / JETsj Geotecnia
Carlos de Oliveira Martins / JETsj Geotecnia
Pedro Marques / JETsj Geotecnia
Rui Tomásio / JETsj Geotecnia
Alexandre Pinto / JETsj Geotecnia

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

JETsj

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

ÍNDICE

1. Introdução
2. Condicionamentos Locais
3. Cenário Geológico-Geotécnico
4. Descrição das Soluções Adotadas
5. Dimensionamento
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

ÍNDICE

1. **Introdução**
2. Condicionamentos Locais
3. Cenário Geológico-Geotécnico
4. Descrição das Soluções Adotadas
5. Dimensionamento
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

INTRODUÇÃO

Estação de Santos
Recalçamento de Edifícios Centenários (INT 41/45) (INT49/55)
Escavação em Cut&Cover
Recalçamento de Edifícios (Obra Especial 3)
Escavação em Cut&Cover
Ligação ao Término da Estação Cais do Sodré
Passagem Inferior Acesso Estação Cais Sodré

ÍNDICE

1. Introdução
2. **Condicionamentos Locais**
3. Cenário Geológico-Geotécnico
4. Descrição das Soluções Adotadas
5. Dimensionamento
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

CONDICIONAMENTOS LOCAIS

ESCAVAÇÃO EM CUT & COVER

Área Fortemente Urbanizada

- **Densidade elevada de estruturas e serviços no subsolo**

Cenário Geológico-Geotécnico e Hidrogeológico complexo:

- **Área em aterramento marítimo**
- **Nível de água elevado**
- **Efeito maré**

Zona Histórica da Cidade

- **Edificado Centenário**
- **Antigo Convento da Esperança**
- **Zona com Potencial Arqueológico**

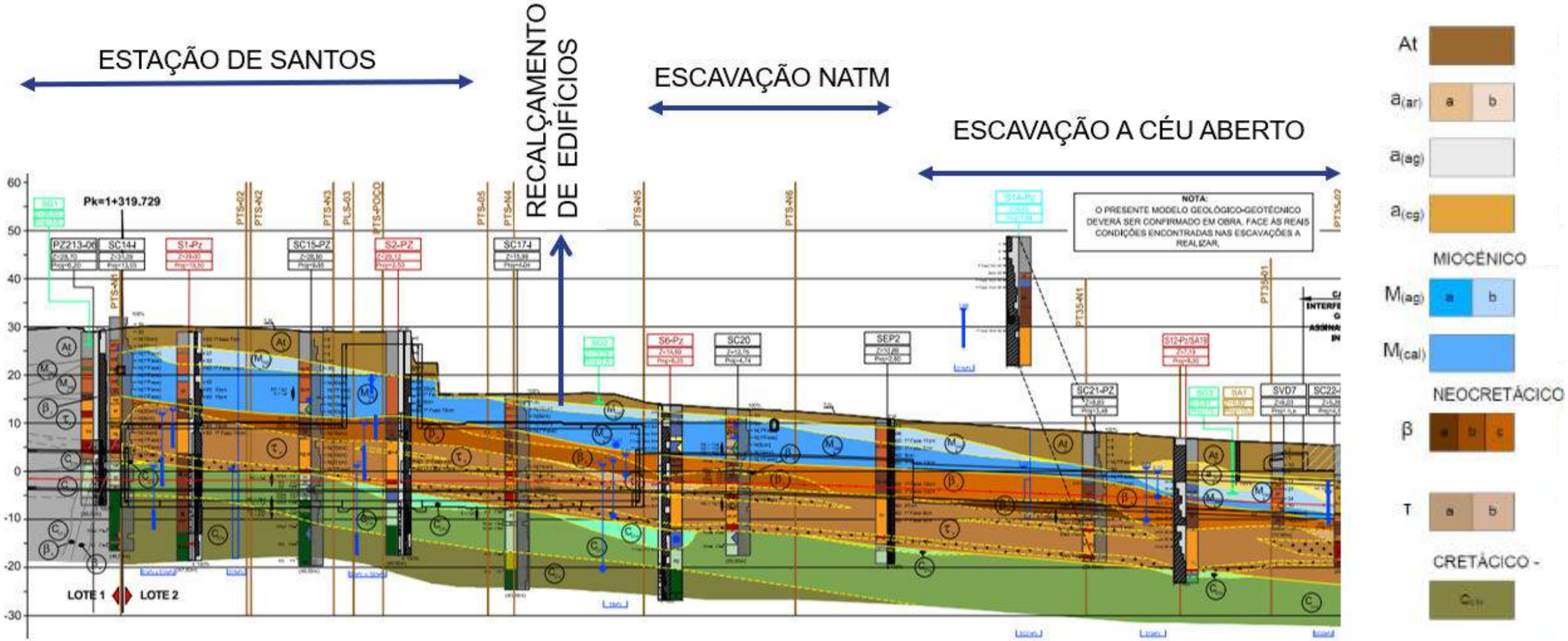
Cartografia Histórica Local (fonte: LXi)

ÍNDICE

1. Introdução
2. Condicionamentos Locais
3. **Cenário Geológico-Geotécnico**
4. Descrição das Soluções Adotadas
5. Dimensionamento
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

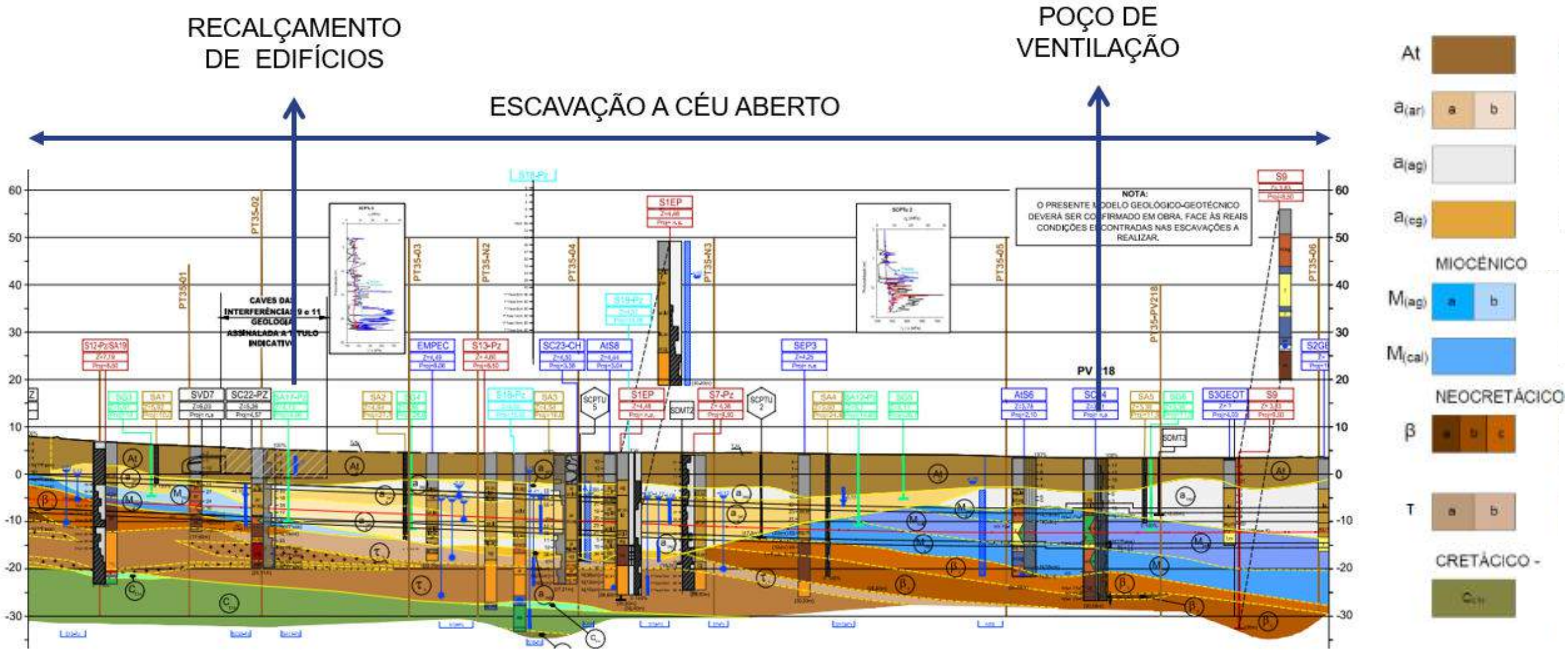
CENÁRIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

ESCAVAÇÃO EM CUT & COVER



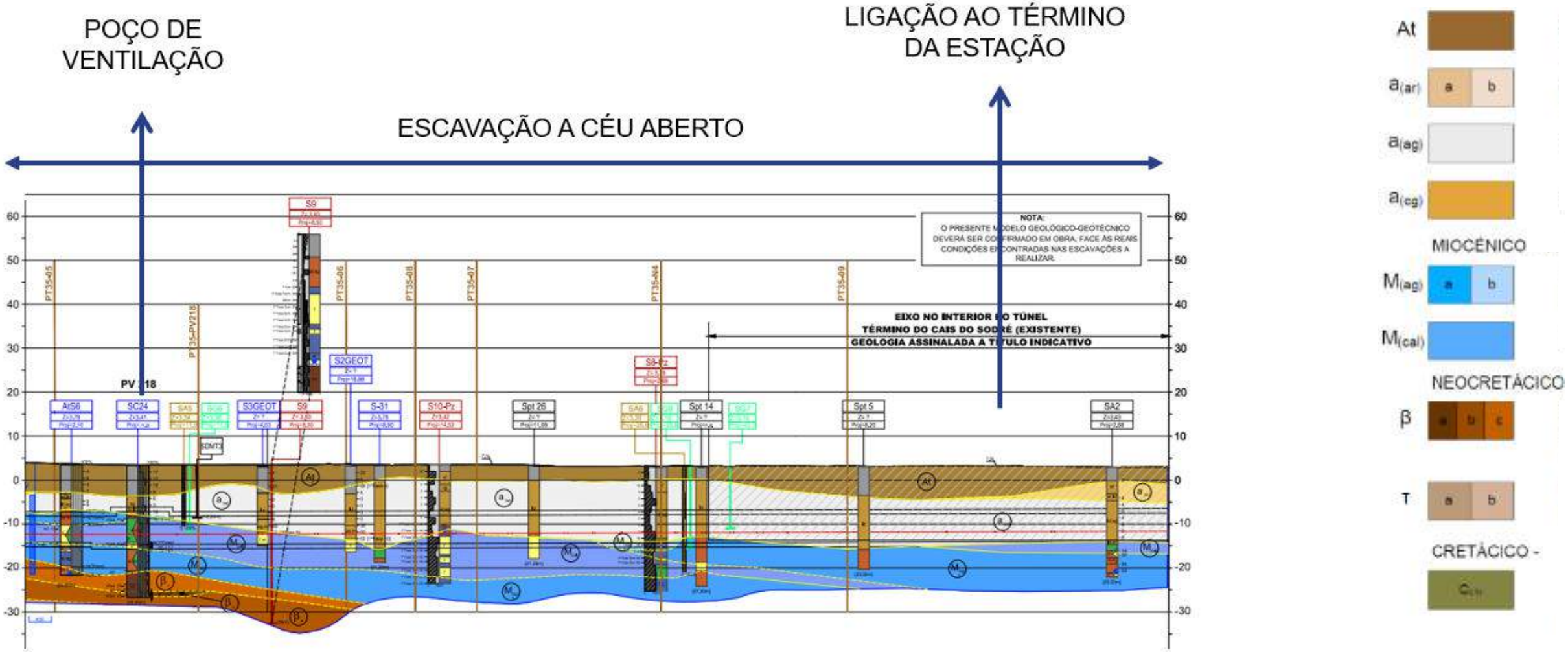
CENÁRIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

ESCAVAÇÃO EM CUT & COVER



CENÁRIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

ESCAVAÇÃO EM CUT & COVER



ÍNDICE

1. Introdução
2. Condicionamentos Locais
3. Cenário Geológico-Geotécnico
4. **Descrição das Soluções Adotadas**
5. Dimensionamento
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

SOLUÇÕES ADOTADAS

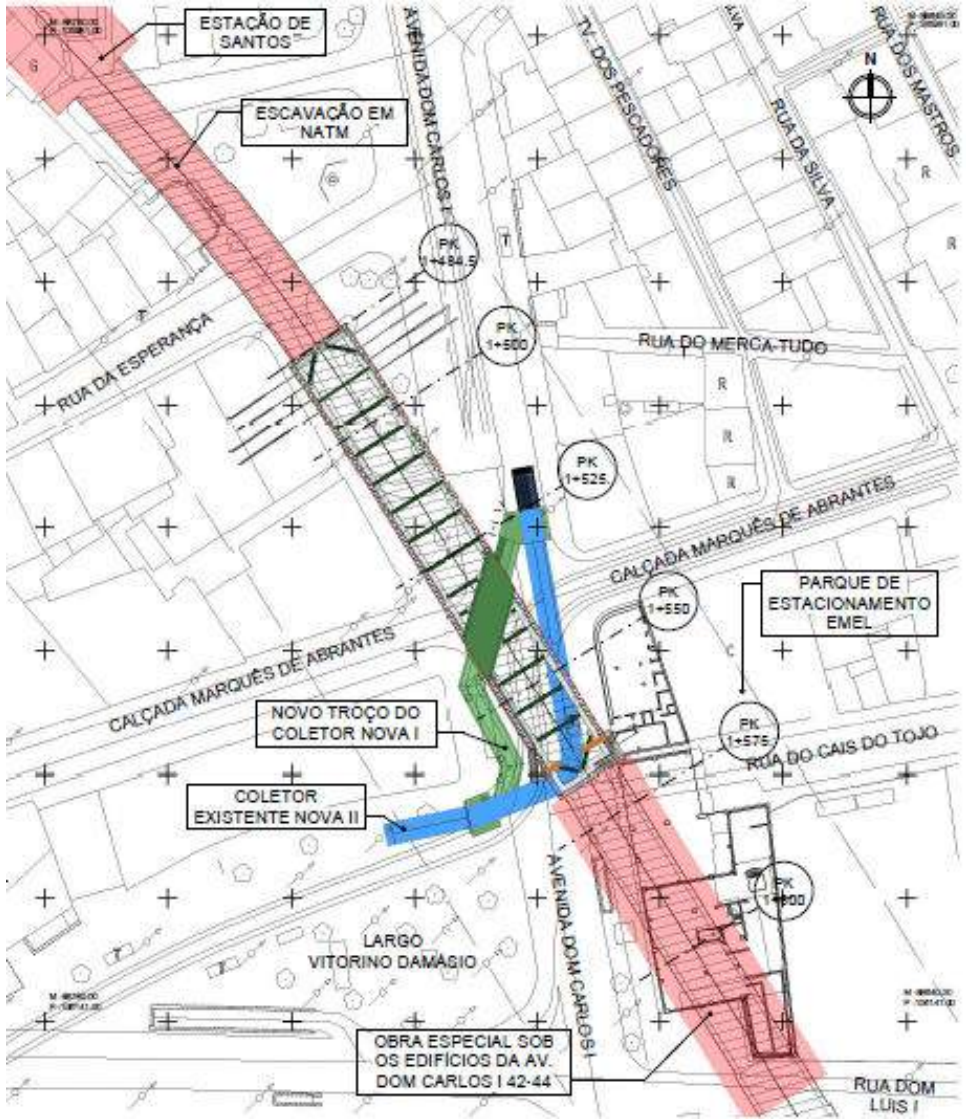
ESCAVAÇÃO EM CUT & COVER
PK1+484.5 A PK 1+569.2

Solução:

- **Cortina de Estacas**
- **Escoras metálicas**
- **Vigas de distribuição em betão armado**
- **Longarinas metálicas**
- **Ancoragens provisórias**

Condicionamentos:

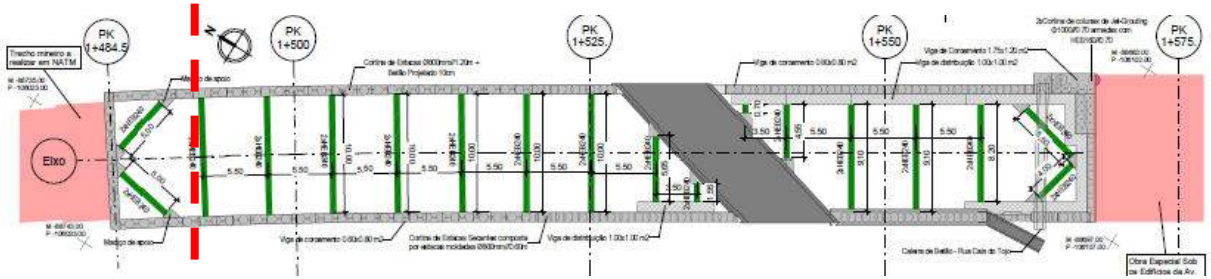
- **Emboquilhamento Túnel NATM**
  - **Compatibilização de travamentos**
- **Desvio do coletor Nova II**
  - **Faseamento associado**



SOLUÇÕES ADOTADAS

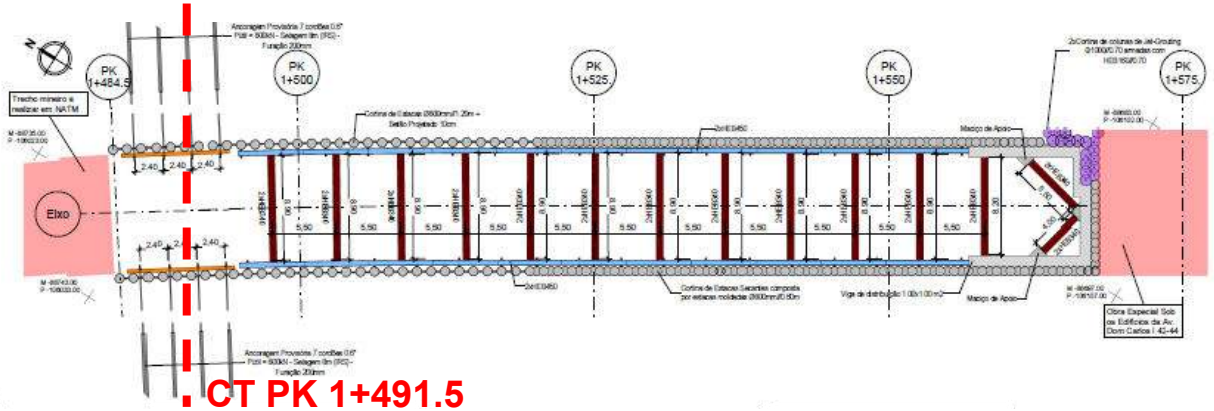
ESCAVAÇÃO EM CUT & COVER
PK1+484.5 A PK 1+569.2

Planta de Dimensionamento: 1º Nível de Travamento

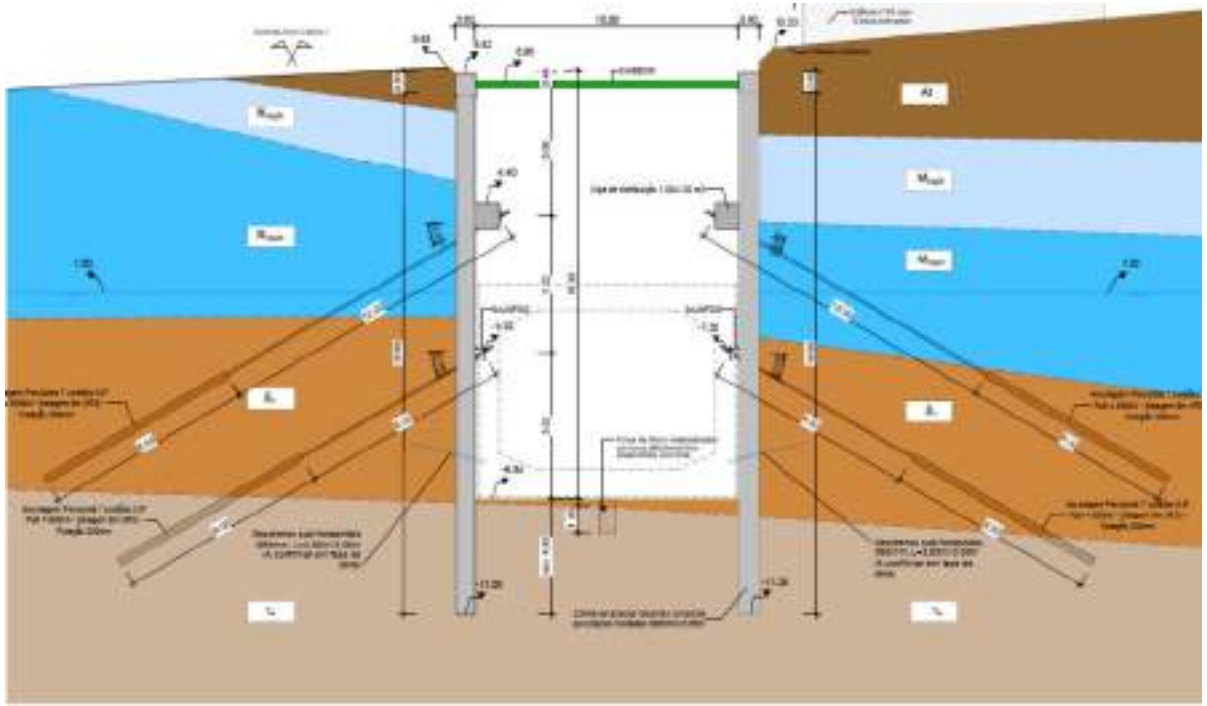


CT PK 1+491.5

Planta de Dimensionamento: 3º Nível de Travamento



CT PK 1+491.5

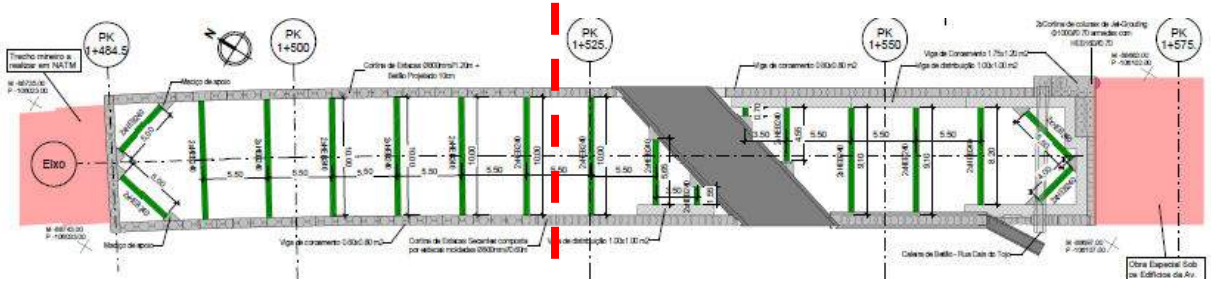


Corte Transversal PK 1+491.5

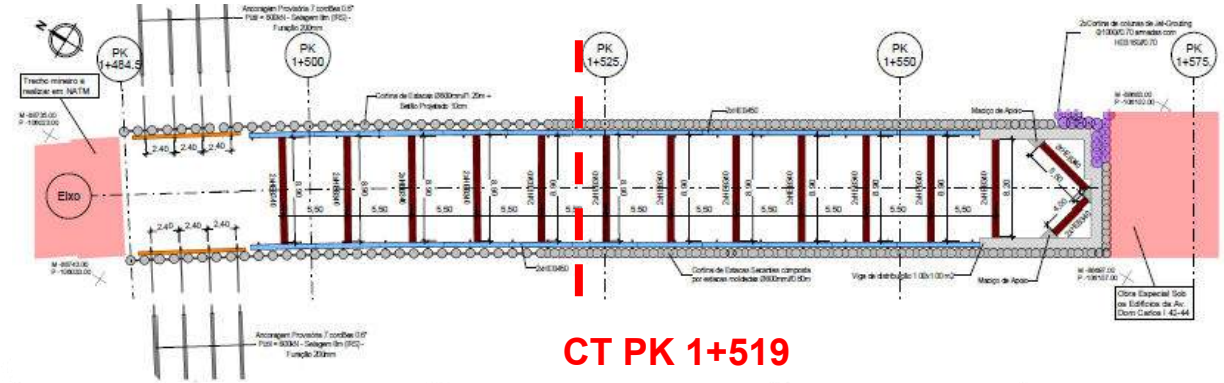
SOLUÇÕES ADOTADAS

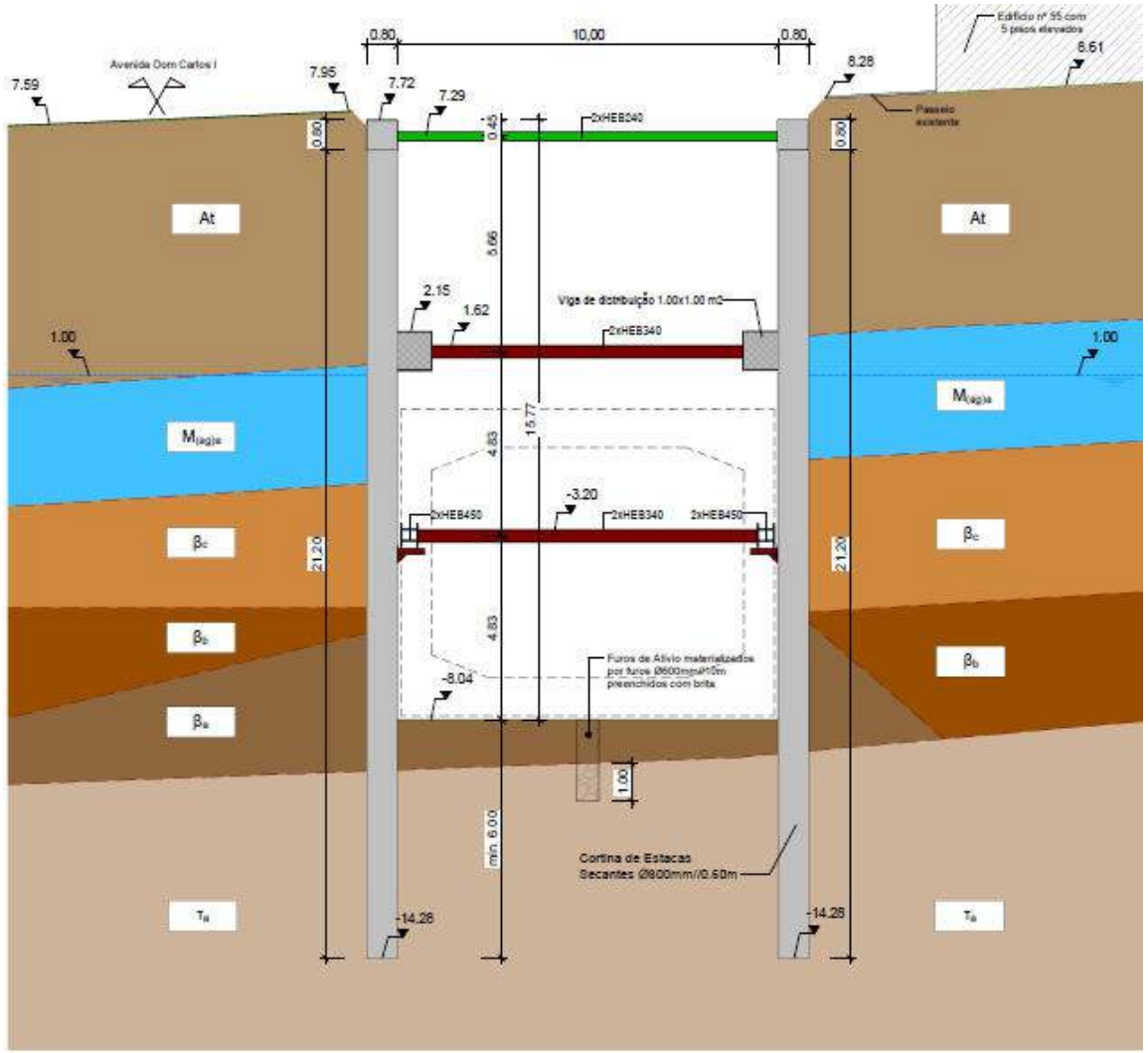
ESCAVAÇÃO EM CUT & COVER
PK1+484.5 A PK 1+569.2

Planta de Dimensionamento: 1º Nível de Travamento



Planta de Dimensionamento: 3º Nível de Travamento





Corte Transversal PK 1+519

SOLUÇÕES ADOTADAS

ESCAVAÇÃO EM CUT & COVER

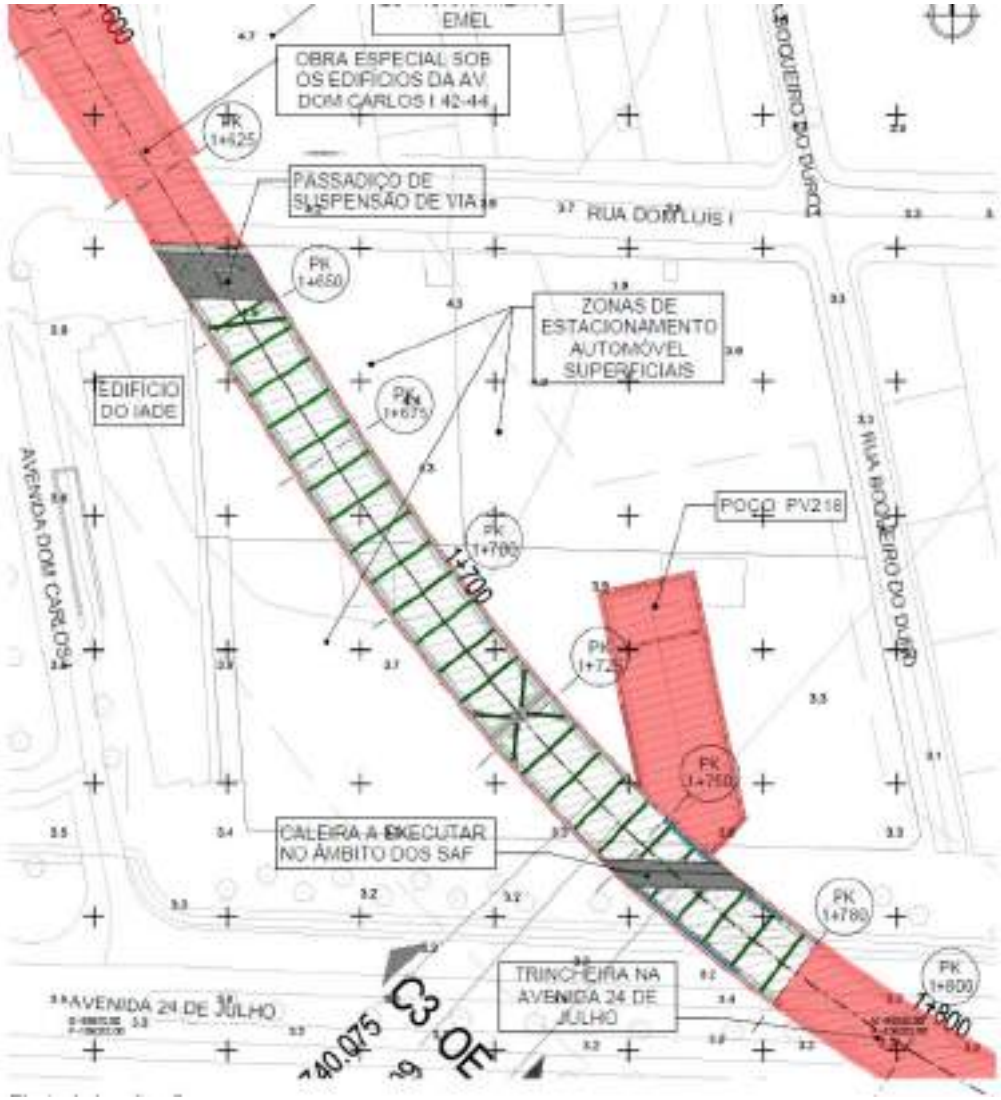
PK1+627 A PK 1+780

<u>Solução:</u>

- **Parede Moldada e=60mm**
- **Escoras metálicas**
- **Vigas de distribuição de betão armado**
- **Longarinas metálicas**

<u>Condicionamentos:</u>

- **Poço arqueológico**
  - **Faseamento associado**
- **Viaduto rodoviário suspenso**
  - **Compatibilização**
- **Ligação ao PV218**
  - **Compatibilização**

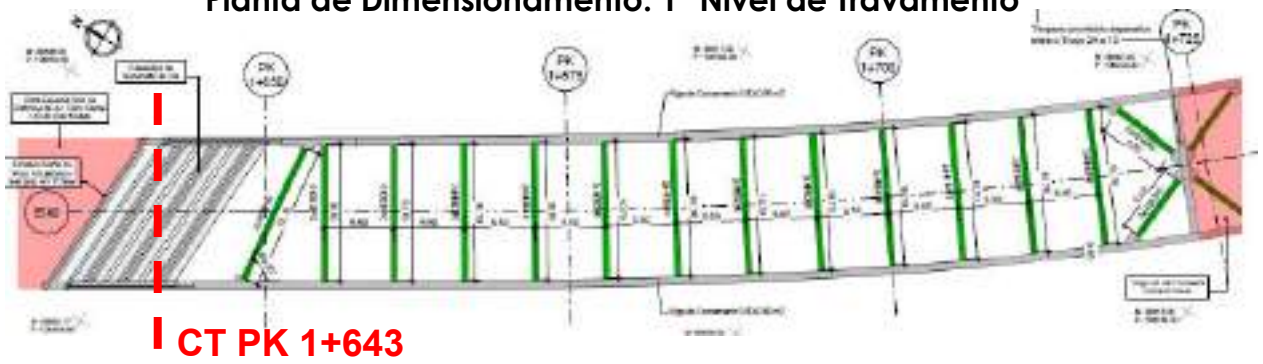


SOLUÇÕES ADOTADAS

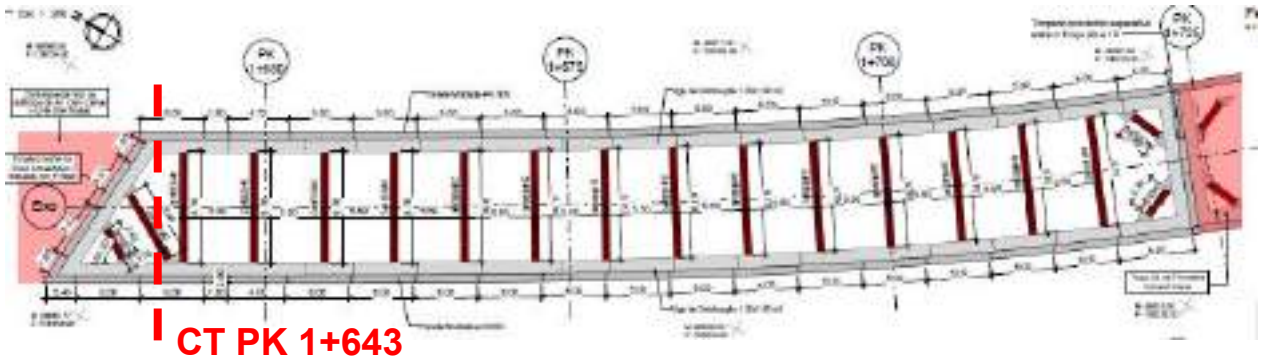
ESCAVAÇÃO EM CUT&COVER

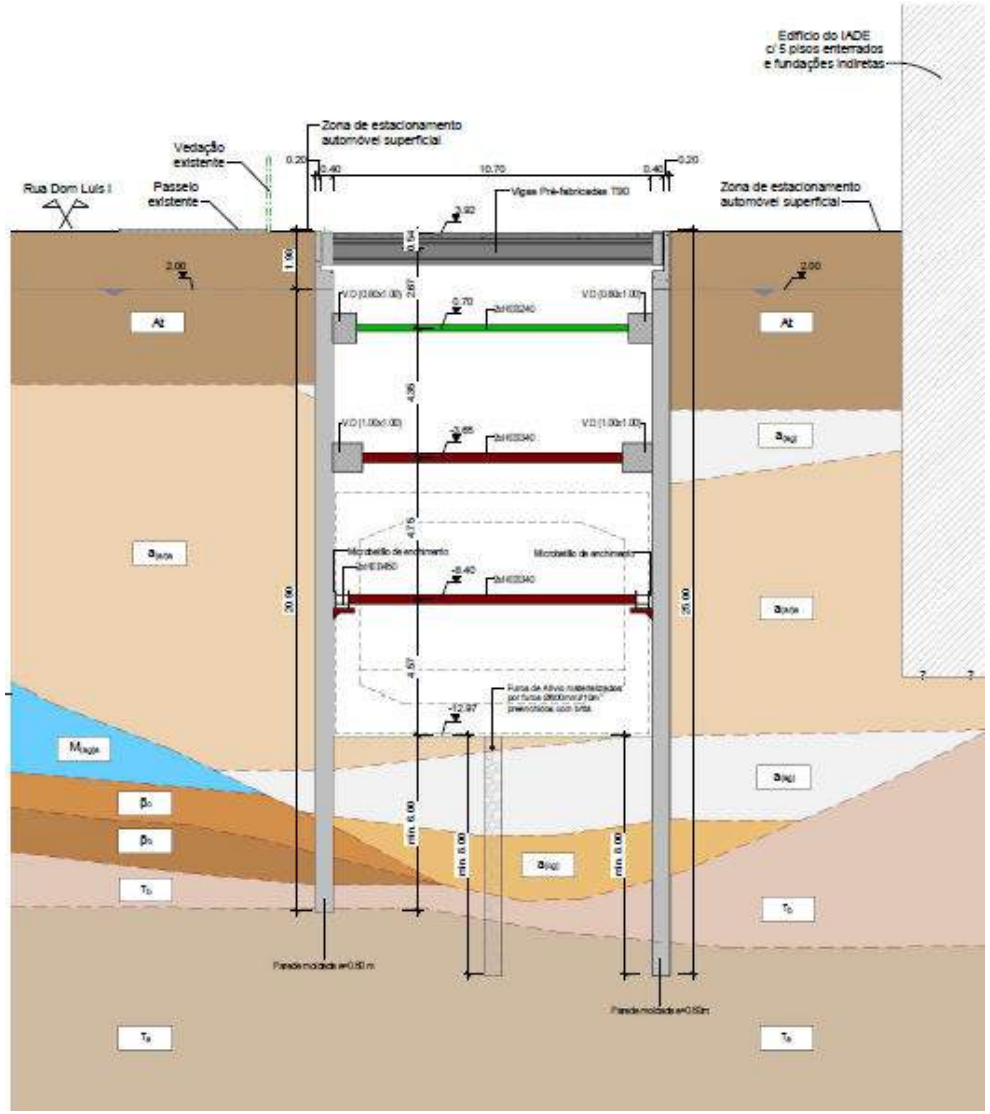
PK1+627 A PK 1+780

Planta de Dimensionamento: 1º Nível de Travamento



Planta de Dimensionamento: 3º Nível de Travamento





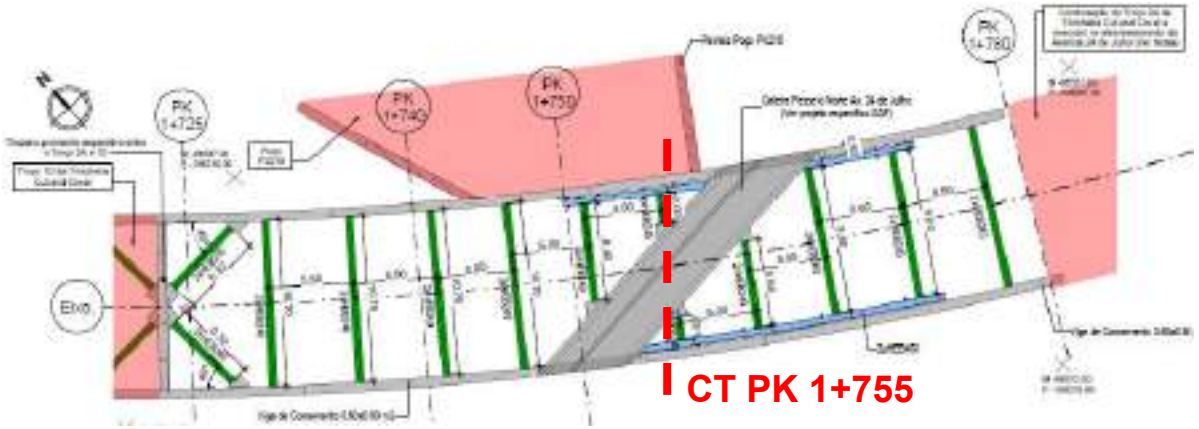
Corte Transversal PK 1+643

SOLUÇÕES ADOTADAS

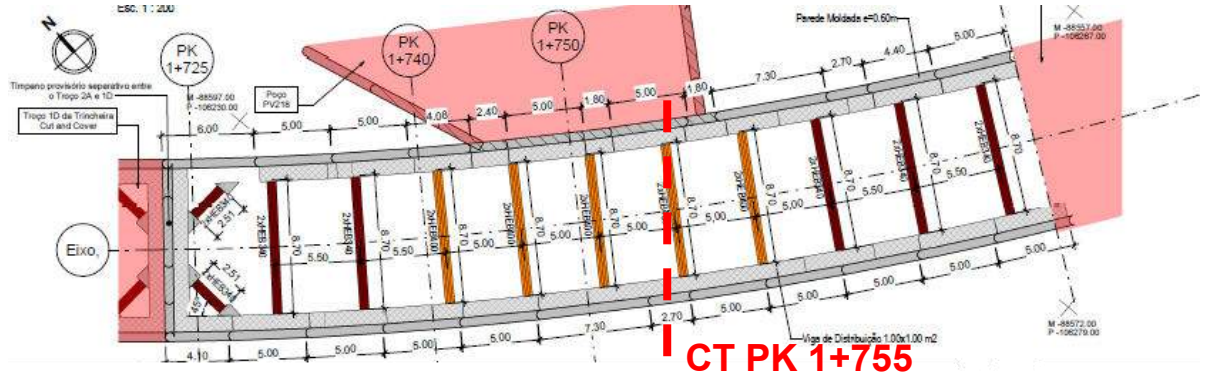
ESCAVAÇÃO EM CUT & COVER

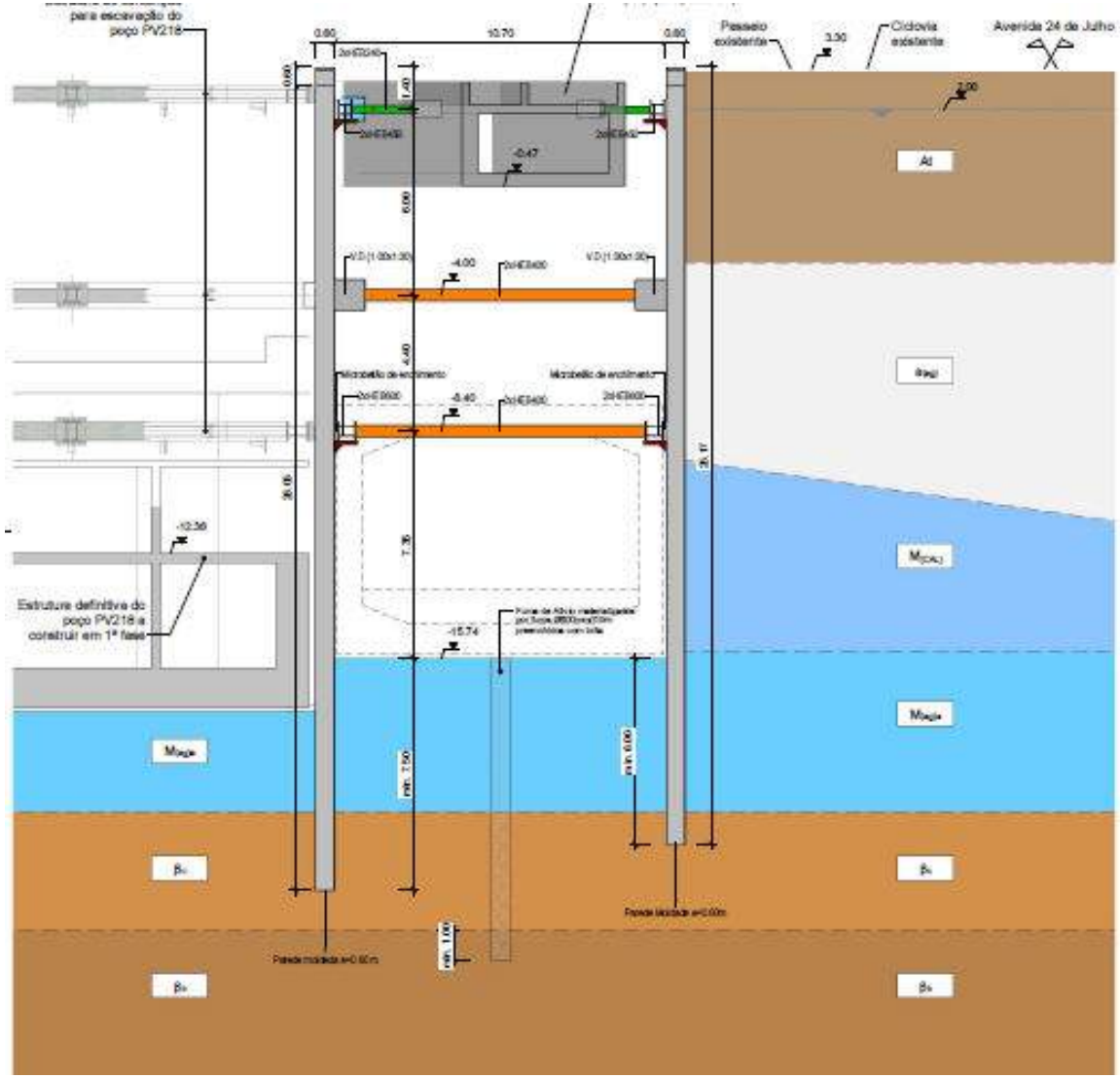
PK1+627 A PK 1+780

Planta de Dimensionamento: 1º Nível de Travamento



Planta de Dimensionamento: 3º Nível de Travamento





Corte Transversal PK 1+755

SOLUÇÕES ADOTADAS

ESCAVAÇÃO EM CUT & COVER

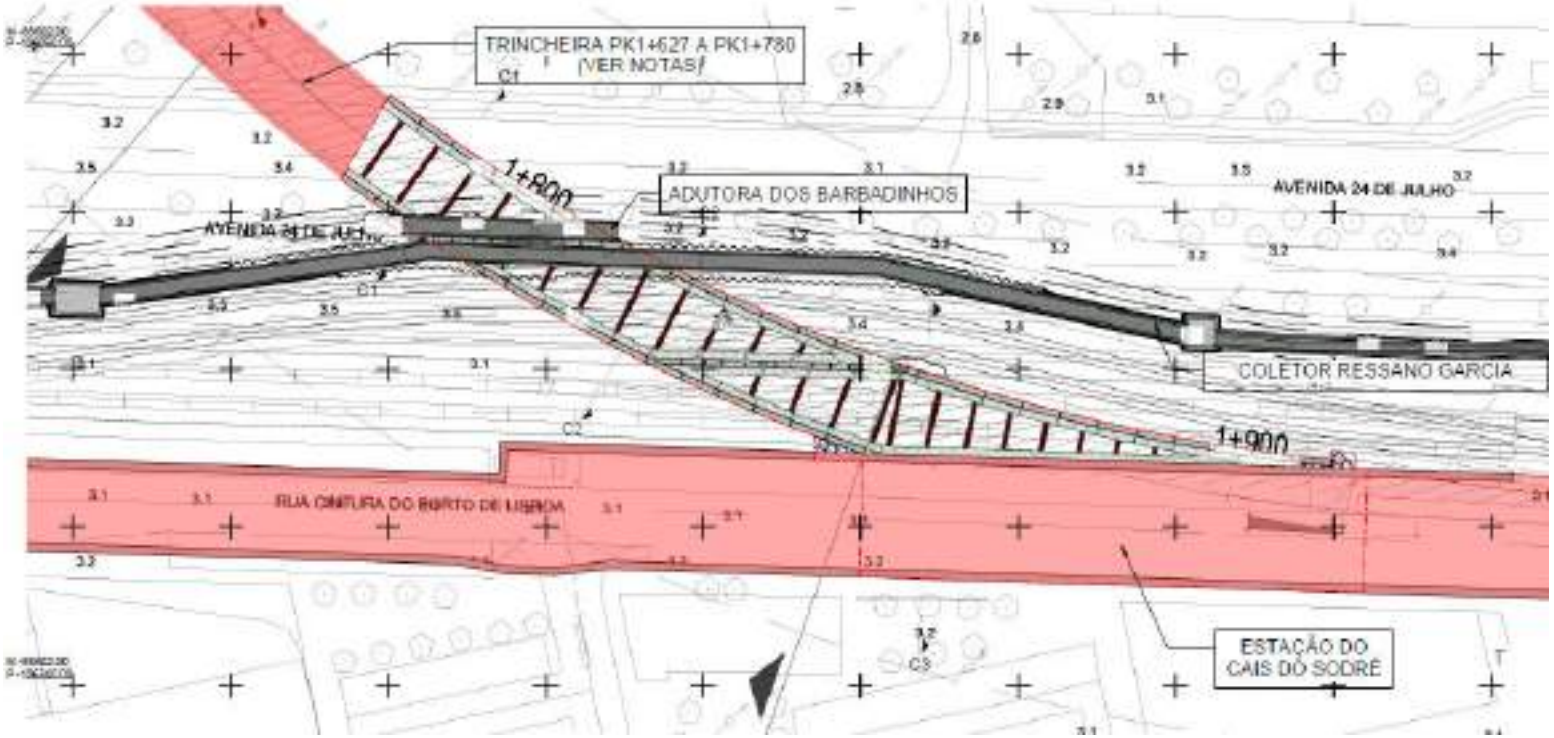
PK1+780 A PK 1+900

Solução:

- **Parede Moldada e=80mm**
- **Escoras metálicas**
- **Vigas de distribuição de betão armado**
- **Longarinas metálicas**

Condicionamentos:

- **Ligação ao Término da ECS (OE7)**
- **Desvios Coletores e Caleiras**
- **Desvio do Transito da Av. 24 Julho**
- **Desvio da Linha da Carris**
- **Desvio da Linha da IP**

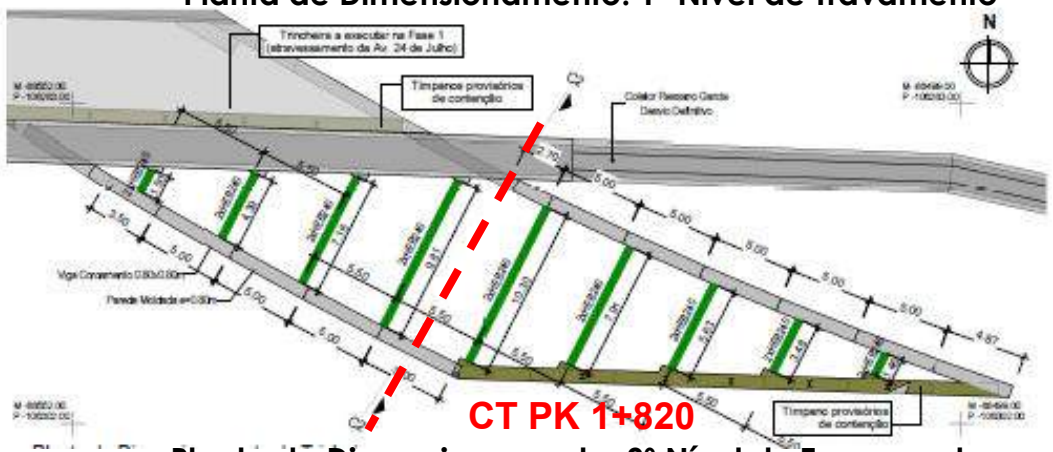


SOLUÇÕES ADOTADAS

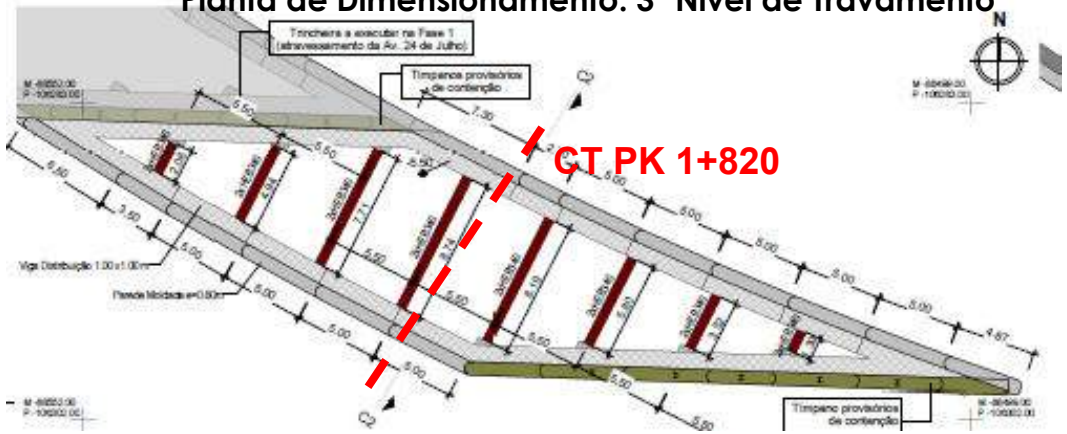
ESCAVAÇÃO EM CUT & COVER

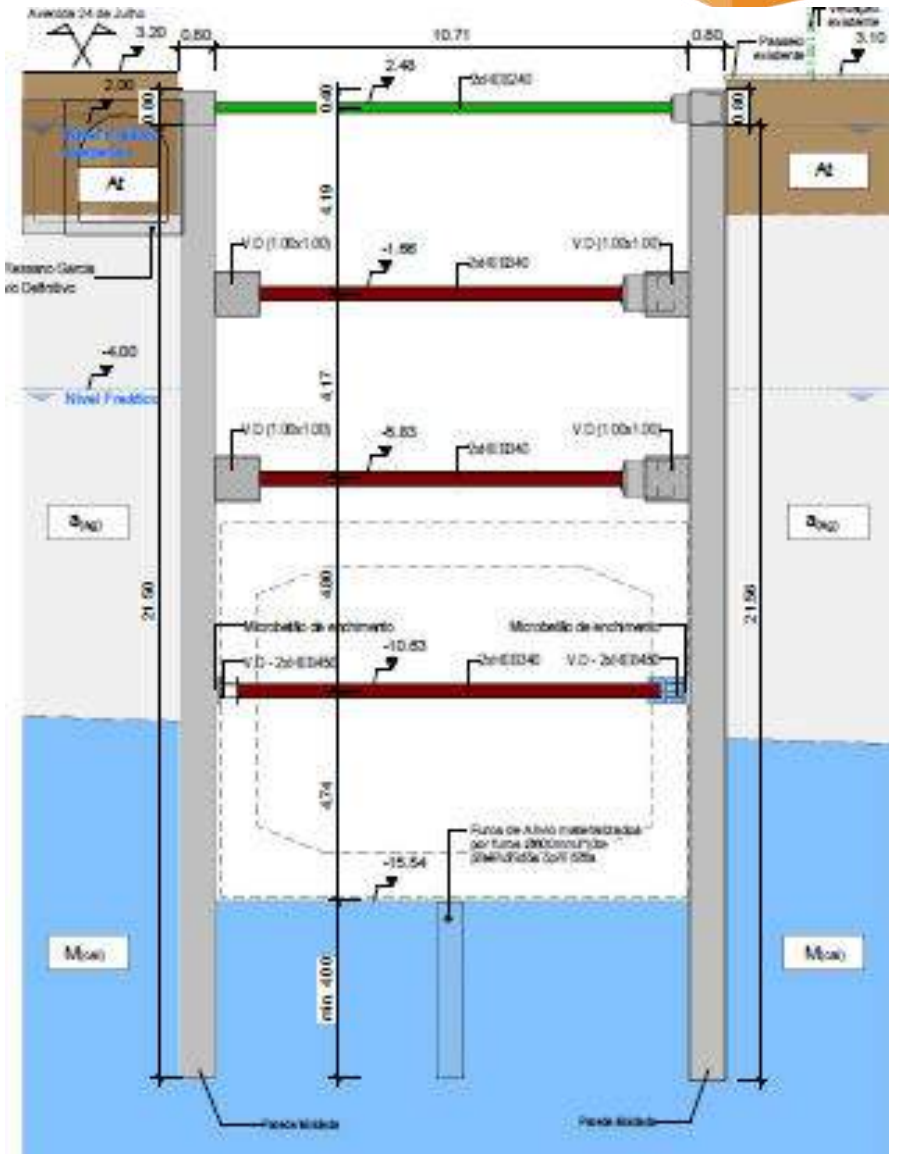
PK1+780 A PK 1+900

Planta de Dimensionamento: 1º Nível de Travamento



Planta de Dimensionamento: 3º Nível de Travamento





Corte Transversal PK 1+820

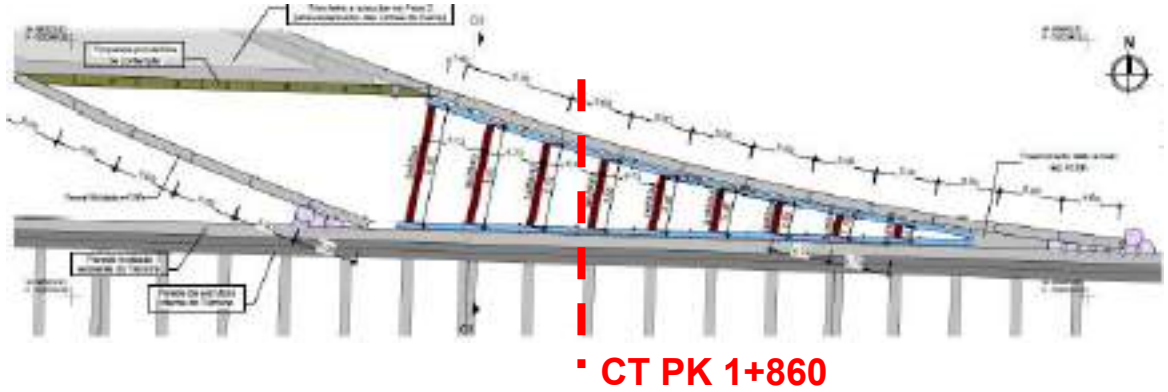
SOLUÇÕES ADOTADAS

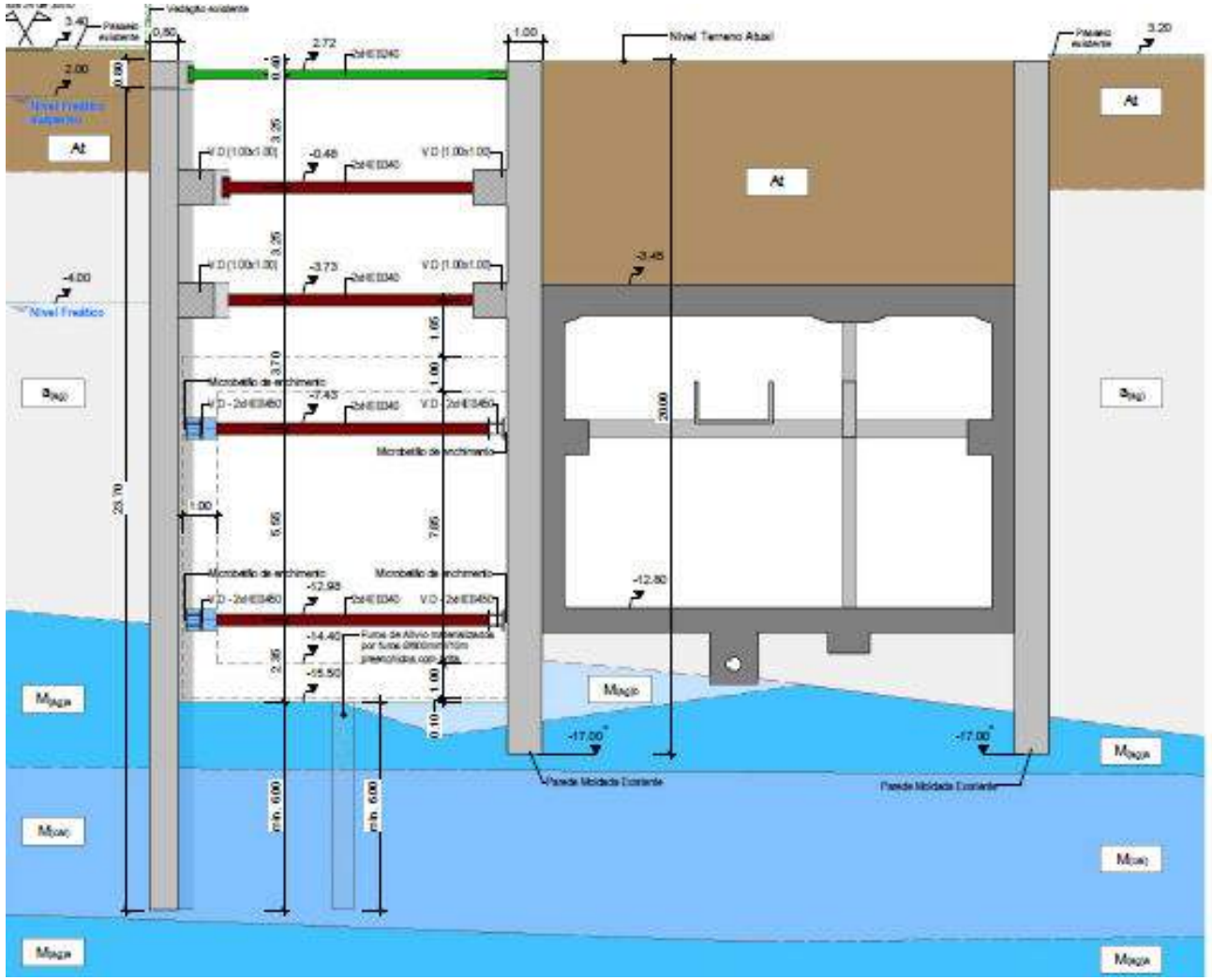
ESCAVAÇÃO EM CUT & COVER

PK1+780 A PK 1+900

Planta de Dimensionamento: 1º Nível de Travamento

Planta de Dimensionamento: 4º Nível de Travamento





Corte Transversal PK 1+860

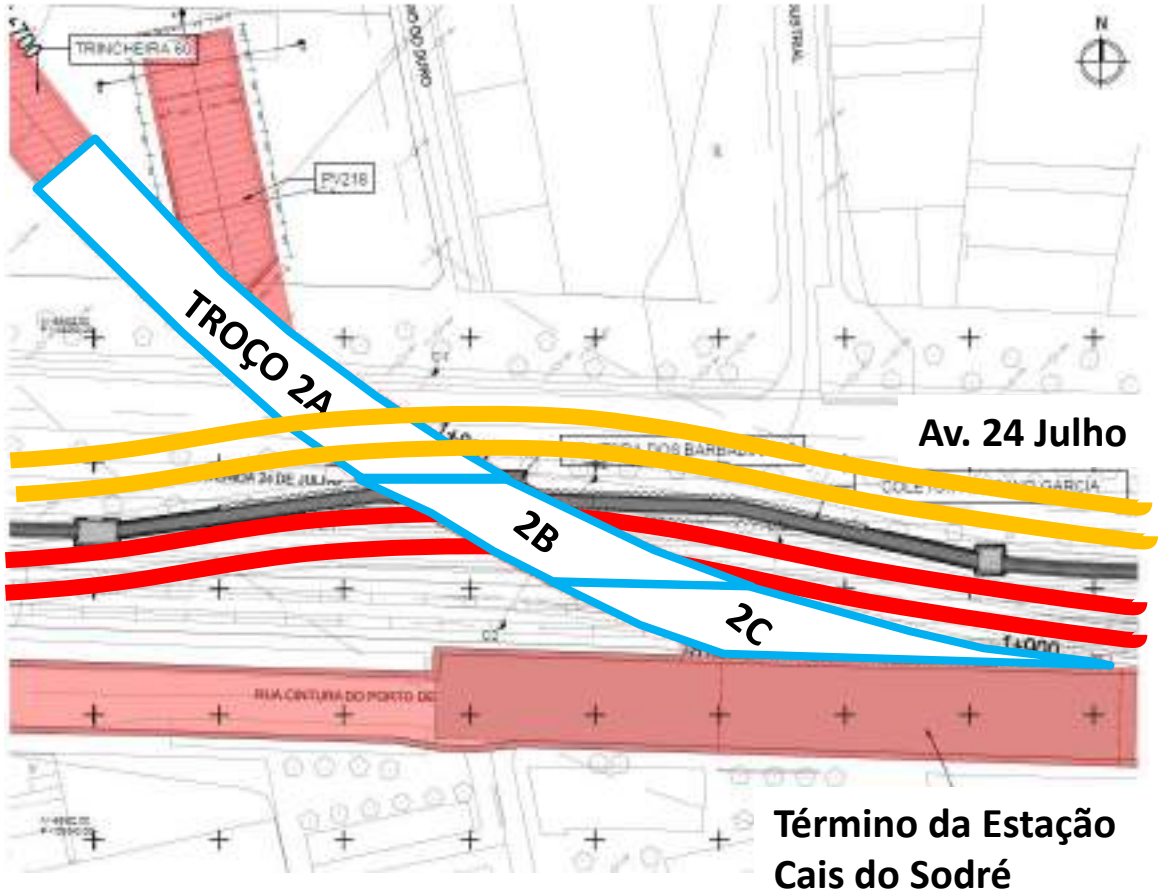
SOLUÇÕES ADOTADAS

ESCAVAÇÃO EM CUT & COVER

PK1+780 A PK 1+900

Faseamento:

- Desvio de Transito da Av. 24 Julho
- Execução do túnel no troço 2ª
- Desvio das Linhas da Carris para Norte
- Desvio das Linhas da IP para Norte
- Execução do túnel no Troço 2C
- Execução da Ligação ao Término
- Reposição das Linhas da IP para Sul
- Execução do túnel no troço 2B
- Reposição das Linhas da Carris para Sul
- Reposição do transito na Av.24 Julho

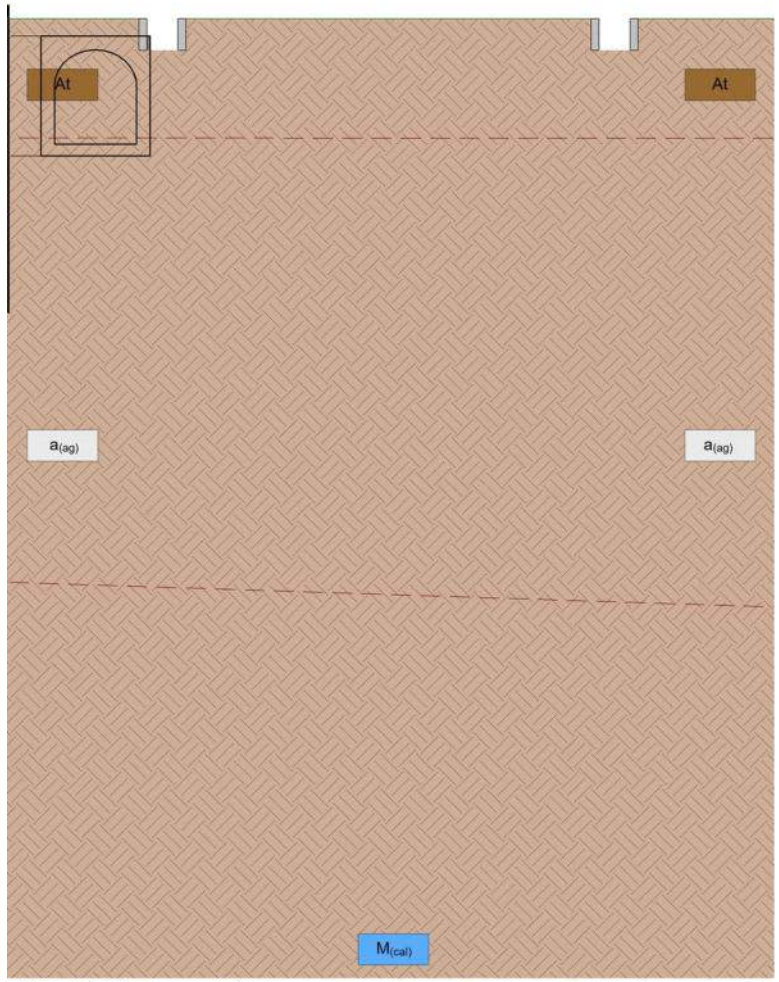


ÍNDICE

1. Introdução
2. Condicionamentos Locais
3. Cenário Geológico-Geotécnico
4. Descrição das Soluções Adotadas
5. **Dimensionamento**
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. Considerações Finais

DIMENSIONAMENTO

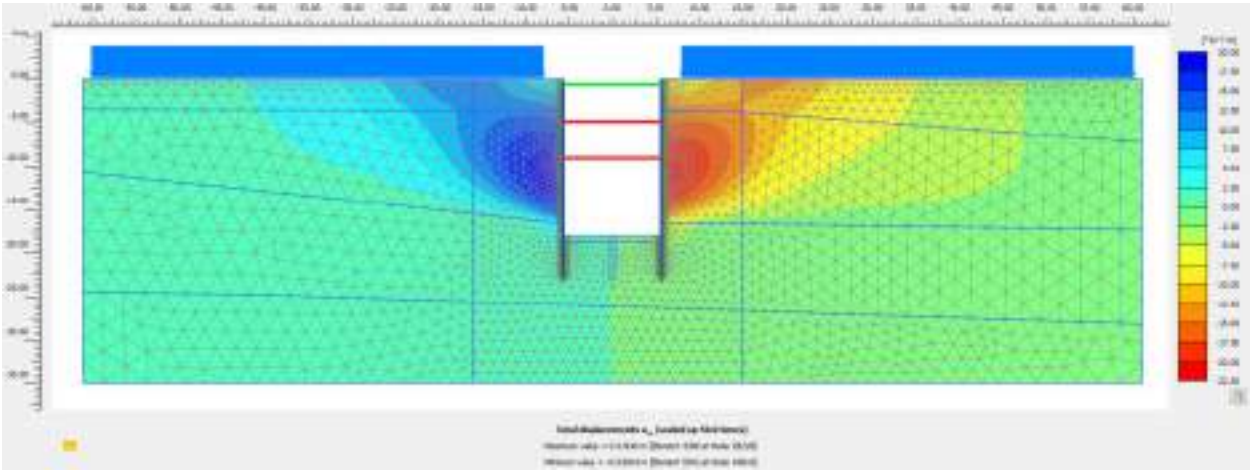
ESCAVAÇÃO EM CUT & COVER
Faseamento Construtivo

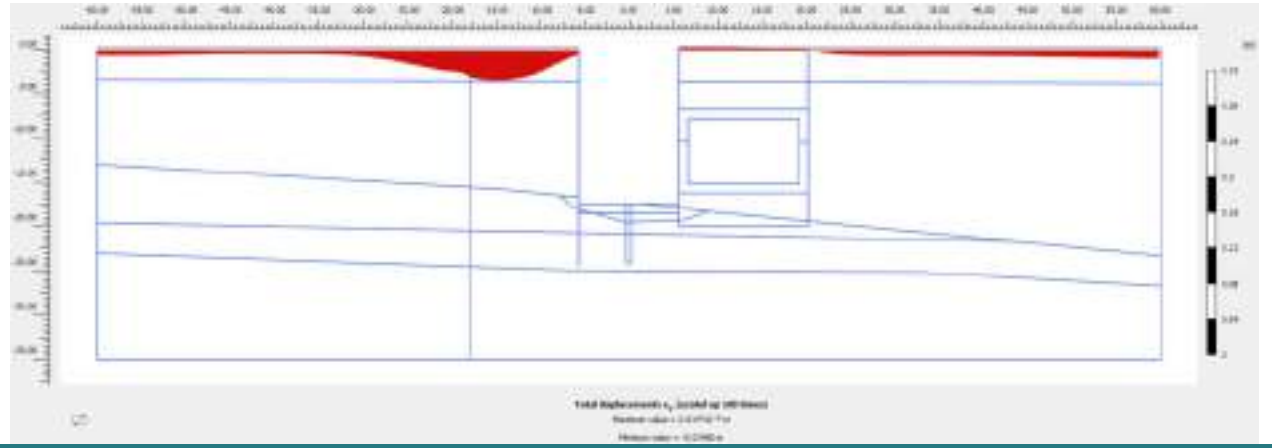


- Execução dos muros guia.

Modelos *Plaxis 2D*

- **Avaliação de deformações da estrutura de contenção**
- **Avaliação de assentamentos à superfície**



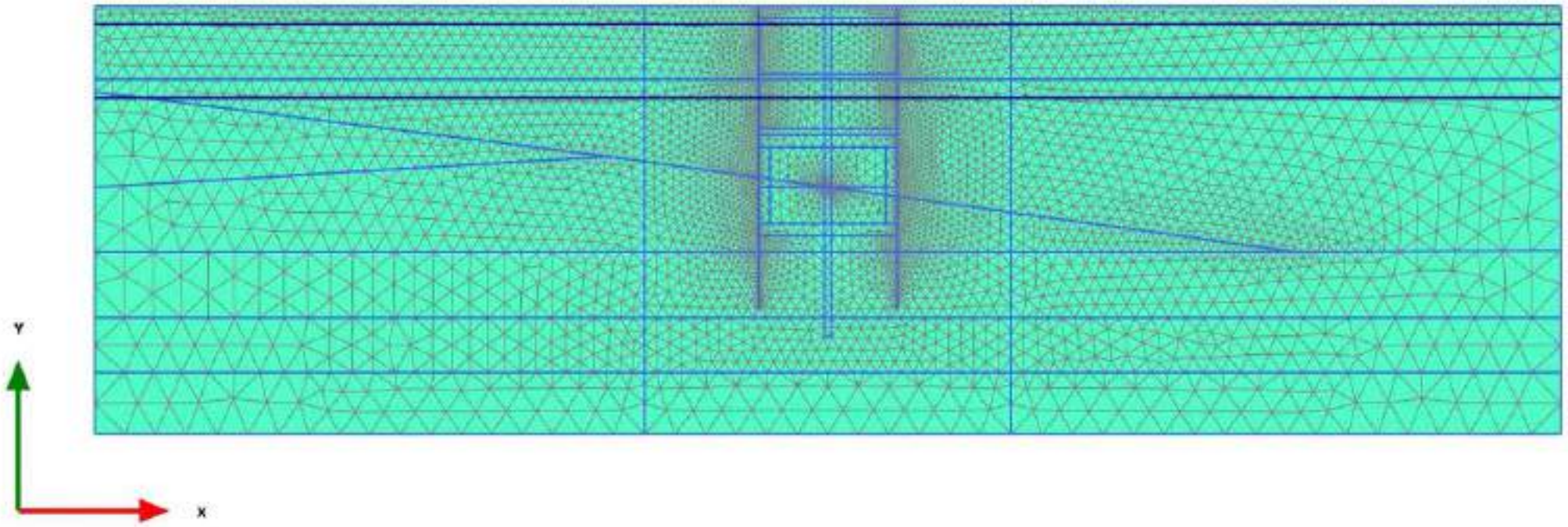


DIMENSIONAMENTO

ESCAVAÇÃO EM CUT & COVER

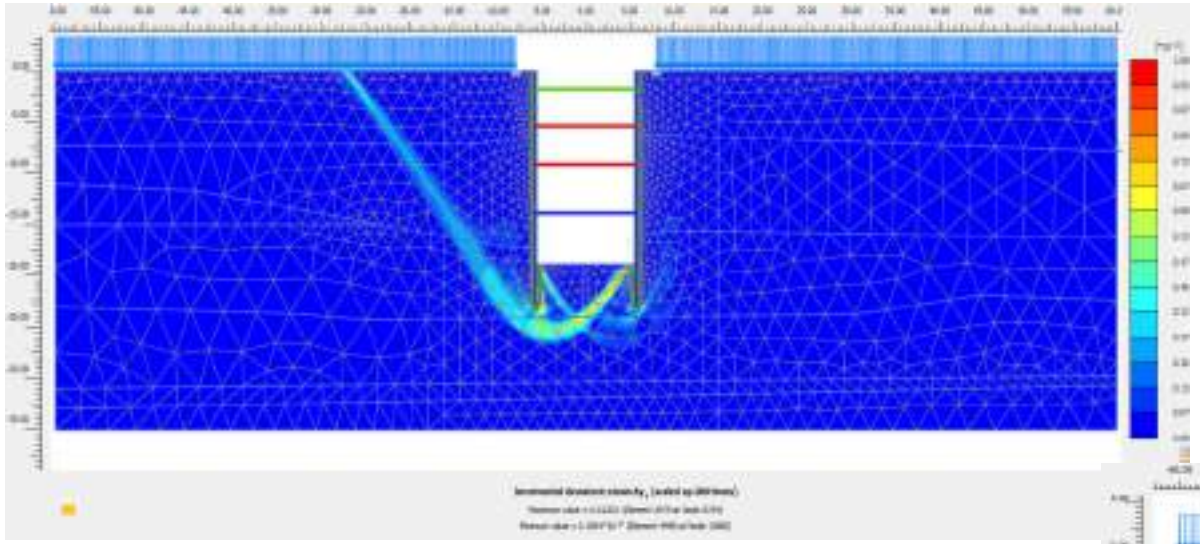
Modelos *Plaxis 2D*

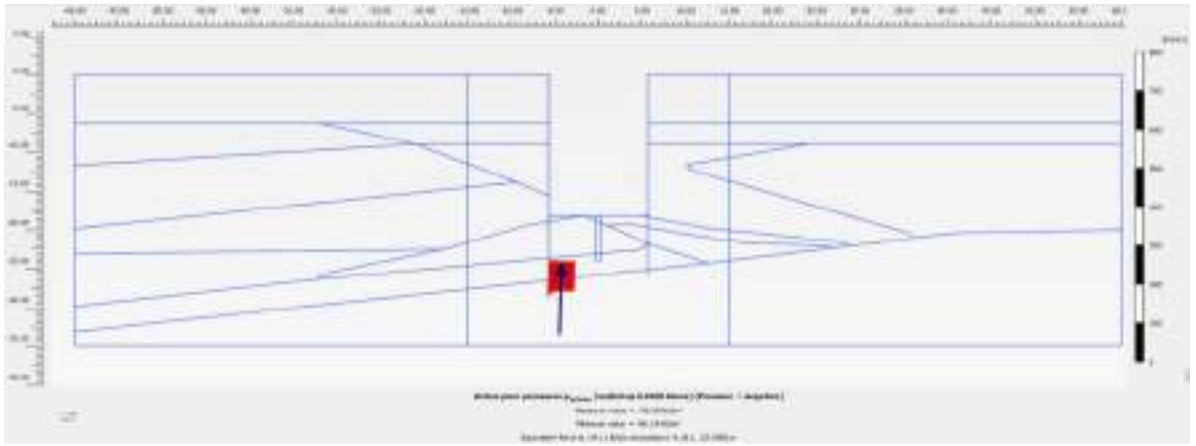
- **Avaliação de deformações com simulação do faseamento construtivo**

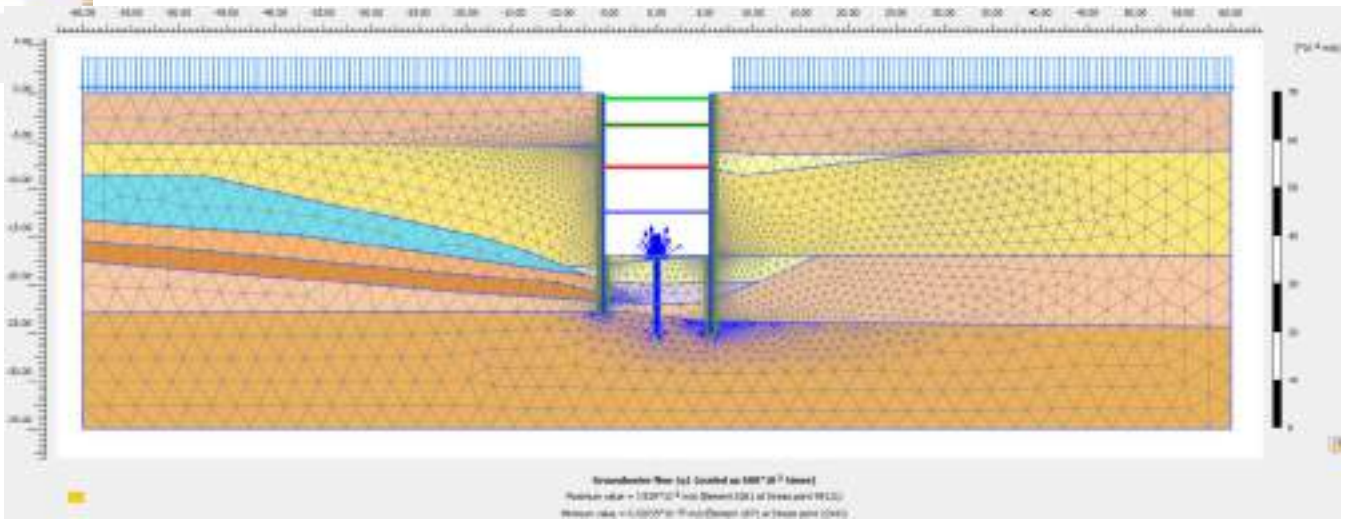


DIMENSIONAMENTO

ESCAVAÇÃO EM CUT & COVER







Modelos *Plaxis 2D*

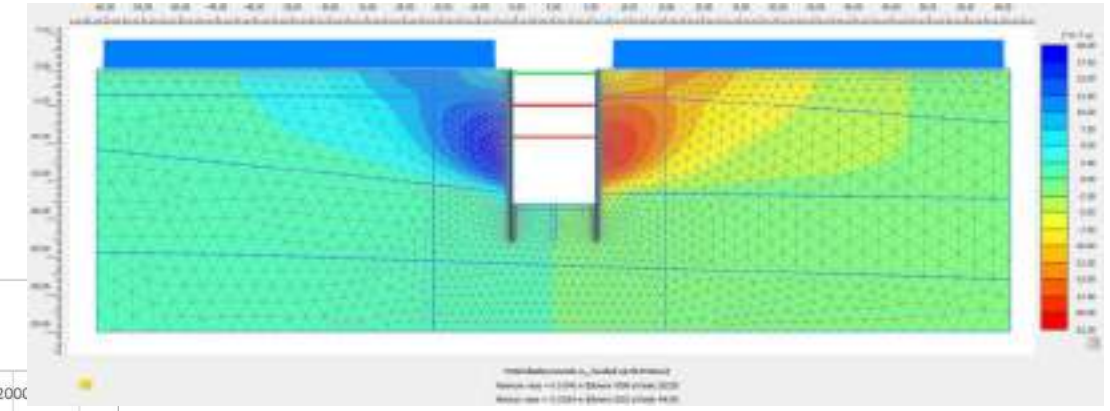
- Avaliação da estabilidade do fundo de escavação
  - Rotura por fraca capacidade do terreno
  - Rotura hidráulica
- Estimativa de caudais

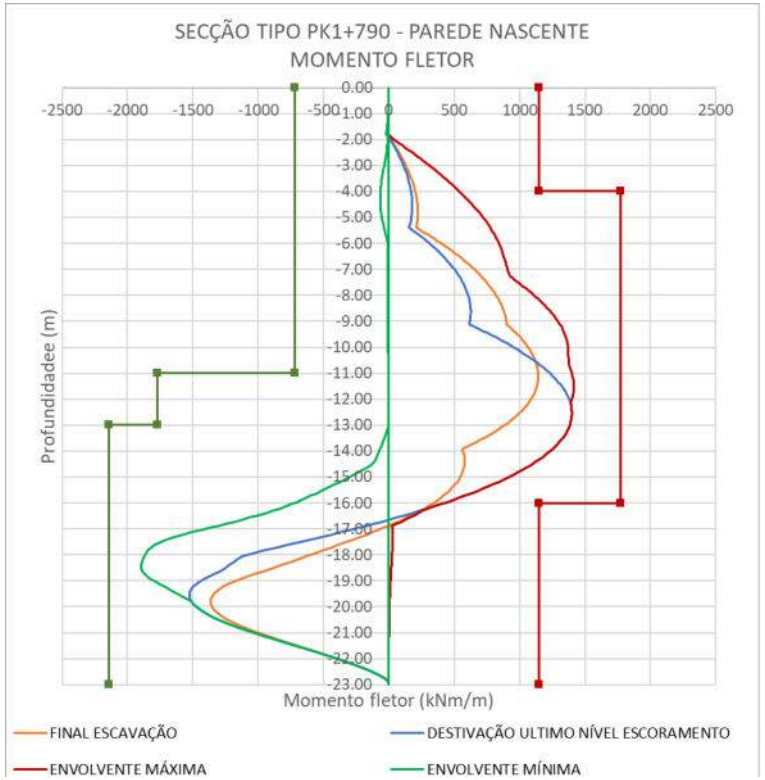
DIMENSIONAMENTO

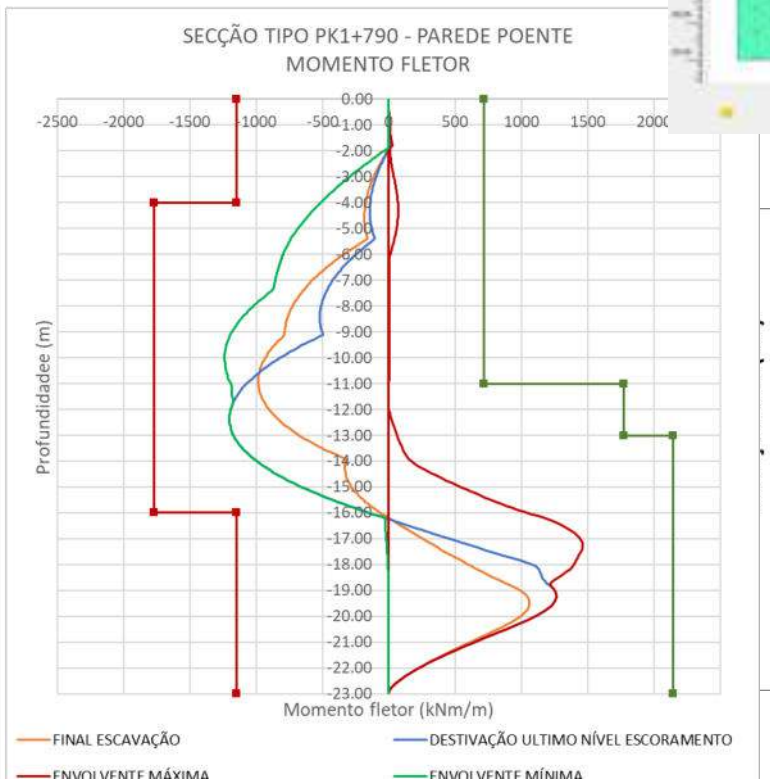
ESCAVAÇÃO EM CUT & COVER

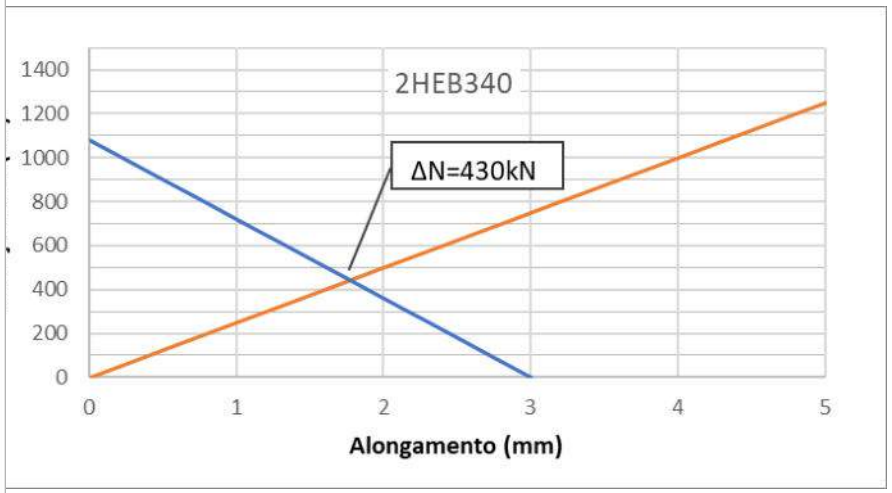
Modelos Plaxis 2D

- **Avaliação de esforços atuantes dos elementos de contenção**
- **Avaliação do efeito da temperatura nas escoras metálicas**





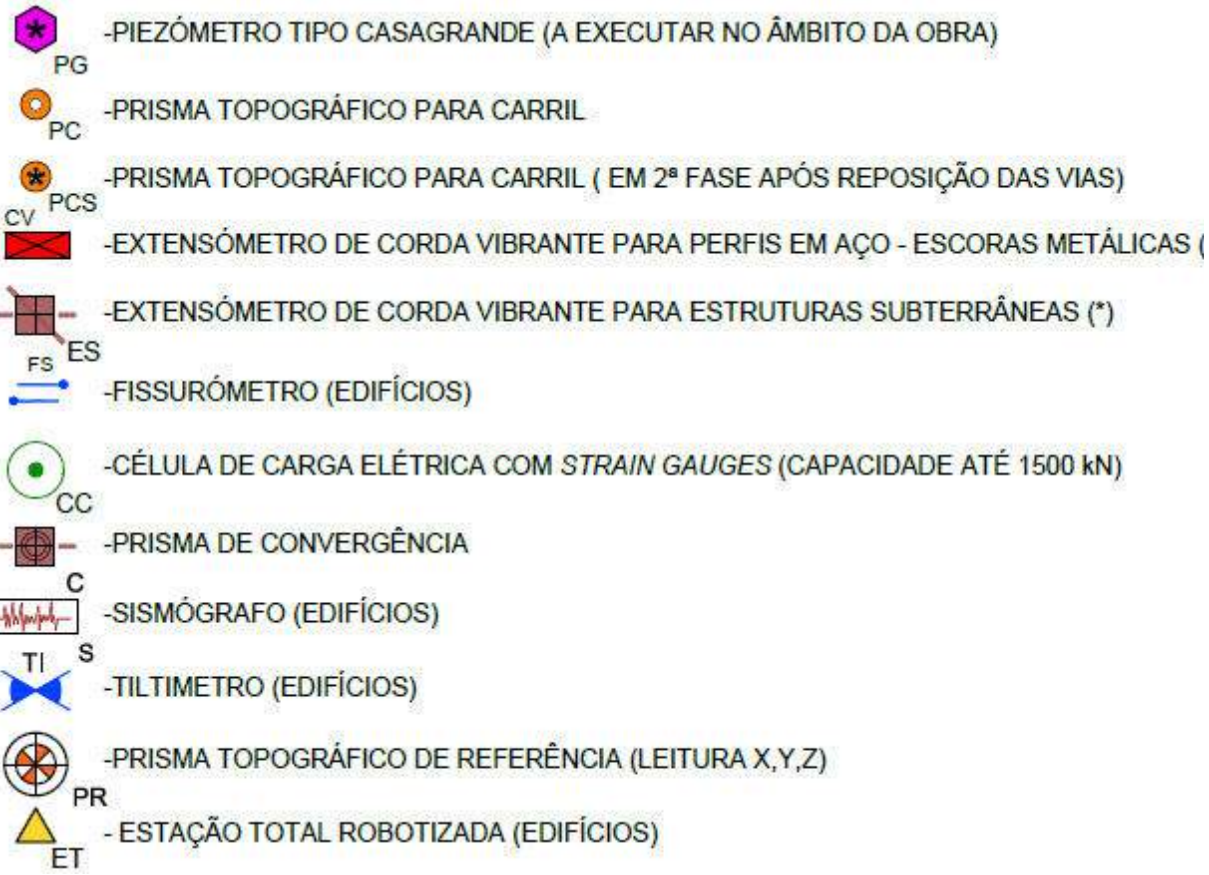


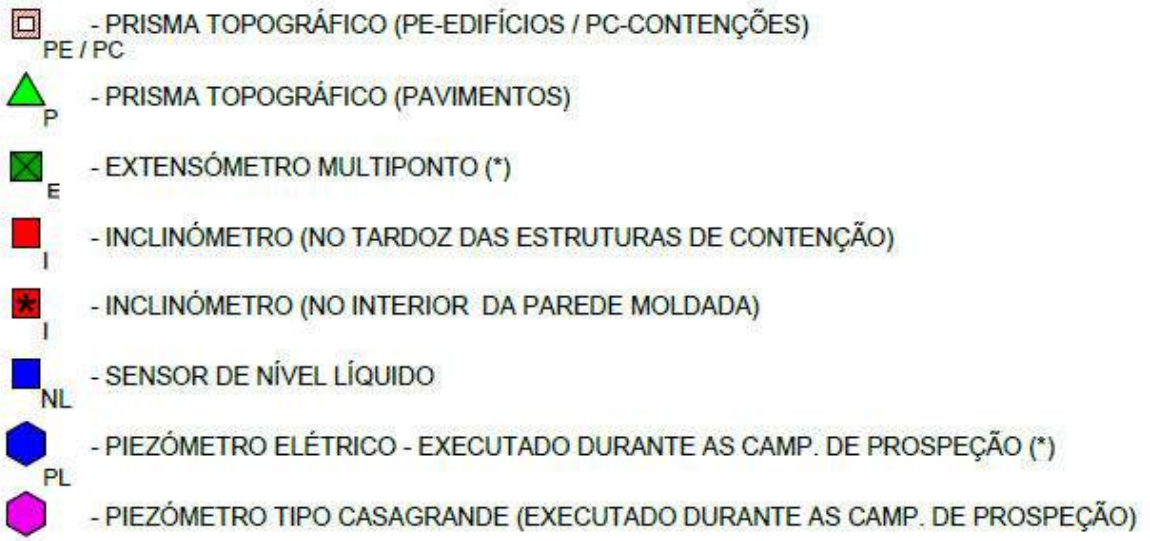


ÍNDICE

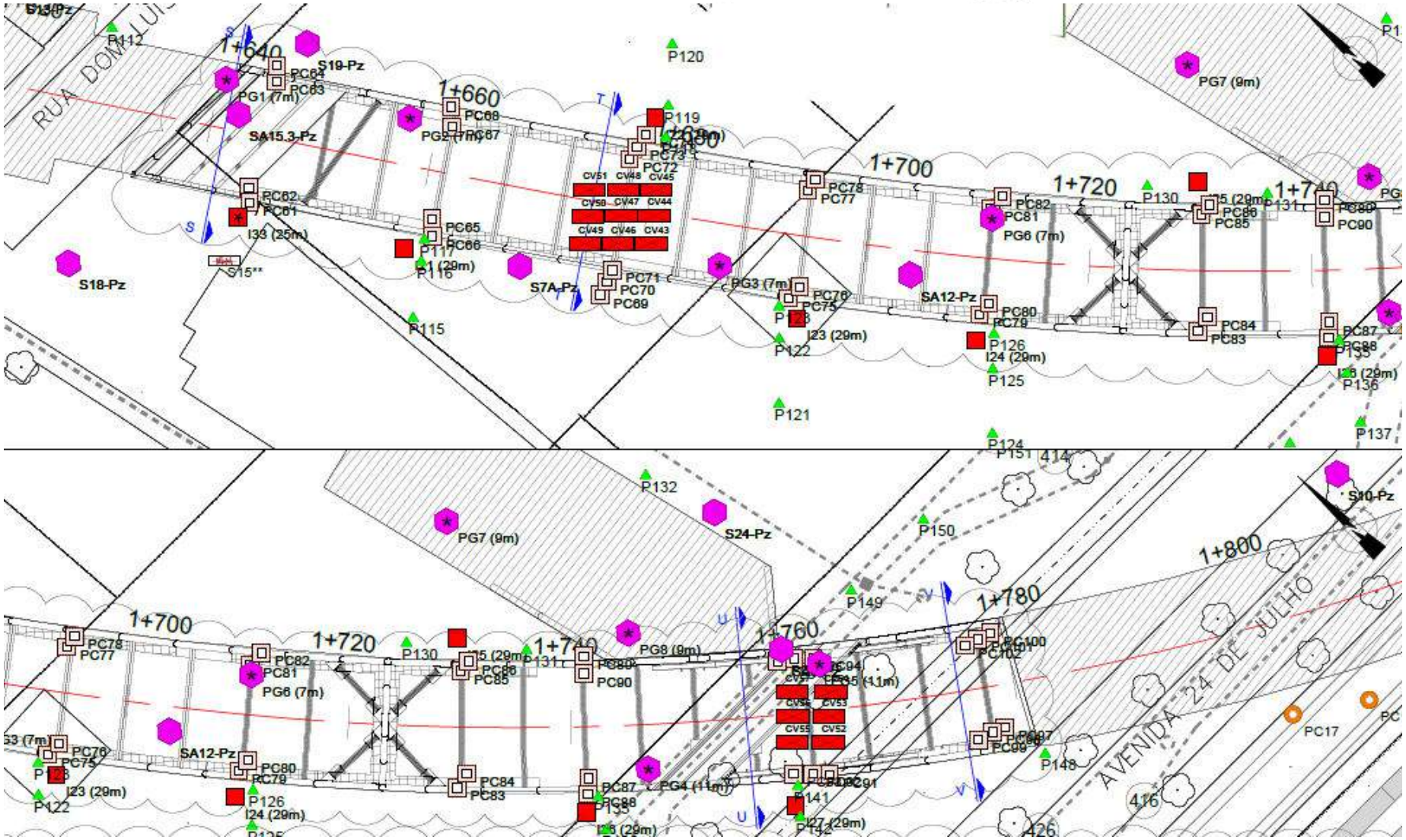
1. Introdução
2. Condicionamentos Locais
3. Cenário Geológico-Geotécnico
4. Descrição das Soluções Adotadas
5. Dimensionamento
6. **Plano de Instrumentação e Observação**
7. Considerações Finais

PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO





PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO



PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

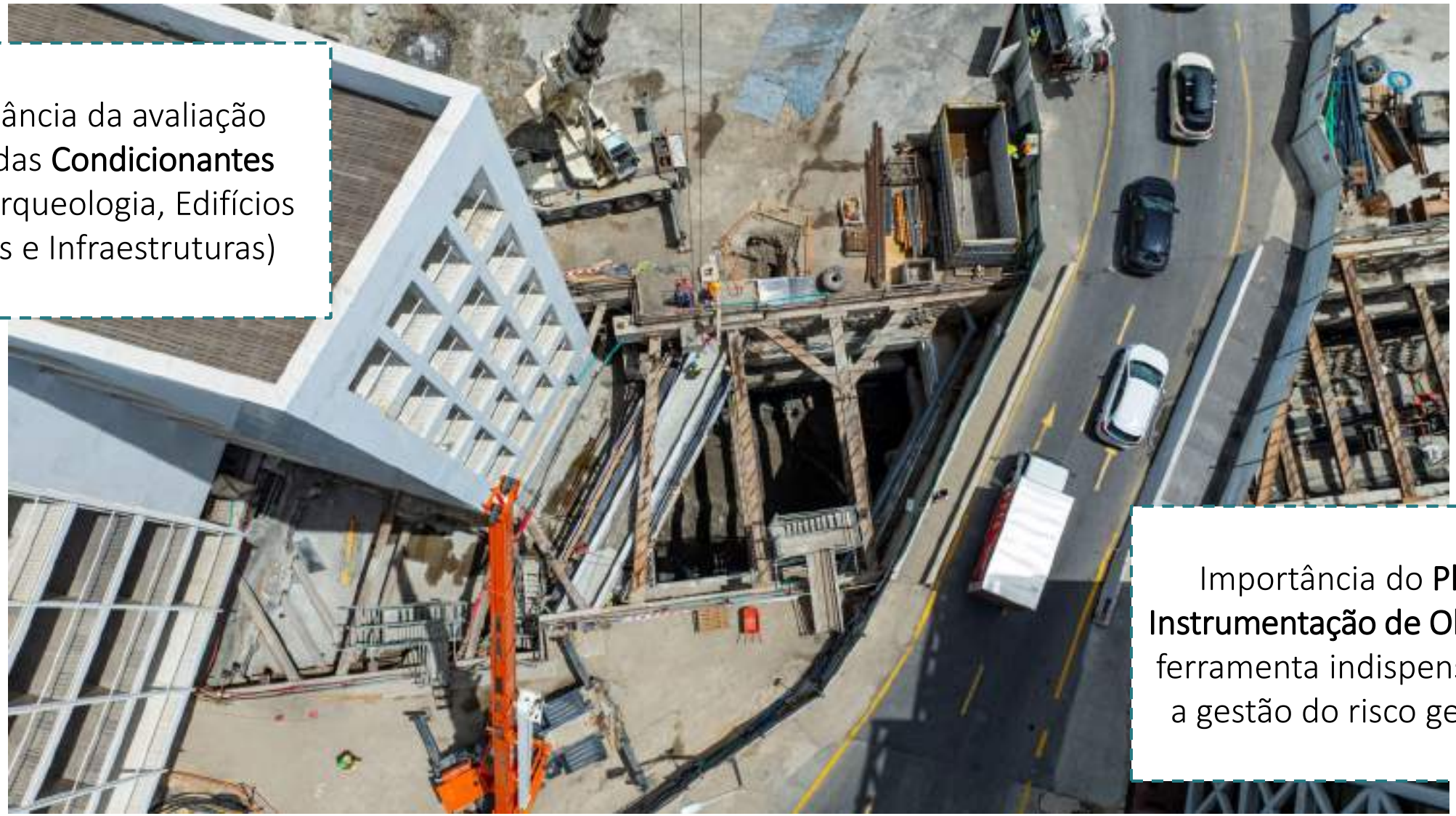
Faseamento construtivo	Prisma topográfico (P) No terreno no tardoz da parede Assentamento vertical (mm)			Prisma topográfico (PC) Na parede ao nível da 1ª Escora Deslocamento horizontal (mm)			Deslocamento vertical (mm)			Prisma topográfico (PC) Na parede ao nível da 2ª Escora Deslocamento horizontal (mm)			Deslocamento vertical (mm)			Prisma topográfico (PC) Na parede ao nível da 3ª Escora Deslocamento horizontal (mm)			Deslocamento vertical (mm)			Inclinómetro (I) No terreno no tardoz da parede Deformação horizontal da parede (mm)		
	80%	100%	130%	80%	100%	130%	80%	100%	130%	80%	100%	130%	80%	100%	130%	80%	100%	130%	80%	100%	130%	80%	100%	130%
	Alerta		Alarme	Alerta		Alarme	Alerta		Alarme	Alerta		Alarme	Alerta		Alarme	Alerta		Alarme	Alerta		Alarme	Alerta		Alarme
Escavação para a instalação do 1º Nível de escoras	5	6	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	6	8
Escavação para a instalação do 2º Nível de escoras	5	6	8	5	6	8	5	6	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	9	12
Escavação para a instalação do 3º Nível de escoras	5	6	8	5	6	8	5	6	8	5	6	8	5	6	8	-	-	-	-	-	-	8	11	15
Escavação para a instalação do 4º Nível de escoras	8	10	13	5	6	8	5	6	8	5	6	8	5	6	8	5	6	8	5	6	8	10	13	17
Escavação até à cota final	14	18	24	5	6	8	5	6	8	5	6	8	5	6	8	5	7	10	5	6	8	16	24	32
Execução da estrutura interna e desinstalação do 4º Nível de escoras	16	20	26	5	6	8	5	6	8	5	6	8	5	6	8	7	9	12	5	6	8	20	25	33
Desinstalação do 3º Nível de escoras e execução do alarme	16	21	28	5	6	8	5	6	8	5	6	8	5	6	8	-	-	-	-	-	-	20	25	33
Desinstalação do 2º Nível de escoras e execução do alarme	16	21	28	5	6	8	5	6	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	25	33
Desinstalação do 1º Nível de escoras e execução do alarme	16	21	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	25	33

ÍNDICE

1. Introdução
2. Condicionamentos Locais
3. Cenário Geológico-Geotécnico
4. Descrição das Soluções Adotadas
5. Dimensionamento
6. Plano de Instrumentação e Observação
7. **Considerações Finais**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Importância da avaliação prévia das **Condicionantes Locais** (Arqueologia, Edifícios Vizinhos e Infraestruturas)



Importância do **Plano de Instrumentação de Observação**, ferramenta indispensável para a gestão do risco geotécnico

Dono de Obra:

Projetista:

Empreiteiro Geral:

Fiscalização de Obra:

Obrigada pela atenção

ATERROS DE COMPENSAÇÃO SOBRE SOLOS MOLES ALUVIONARES

Solução para limitação geométrica de pré-carga na Plataforma Logística Lisboa Norte

Miriam Lopes / JETsj Geotecnia
Alexandre Pinto / JETsj Geotecnia

utad
19.º Congresso Nacional
Geotecnia
11-14 Maio 2026

JETsj

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

ÍNDICE

1. **Enquadramento**
2. Limitação identificada
3. Soluções estudadas
4. Solução adotada
5. Verificação do estado de tensões
6. Processo construtivo
7. Considerações finais

1. ENQUADRAMENTO

OBJETIVO

- Construção de nave industrial na PLLN
- Necessidade de garantir sobrecarga de utilização de 50 kPa

CENÁRIO GEOTÉCNICO

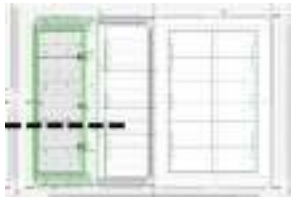
- Depósitos aluvionares espessos e compressíveis
- Consistência mole a muito mole
- Nível freático superficial
- Substrato competente a grande profundidade

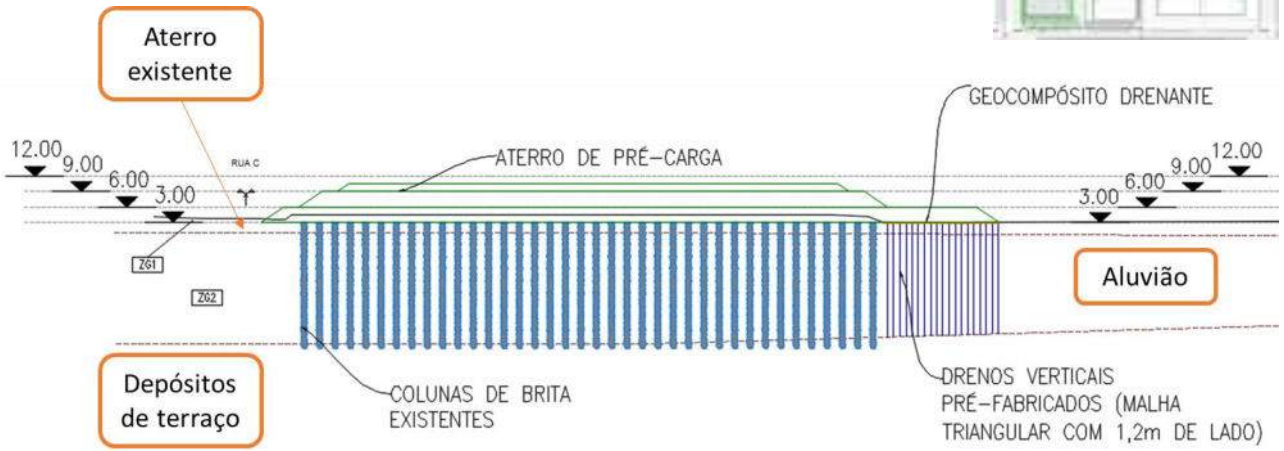
Risco de comportamento deformável acentuado e evolutivo ao longo do tempo

1. ENQUADRAMENTO

SOLUÇÃO

- Tratamento por consolidação forçada com aterros de pré-carga
- Antecipar os assentamentos por consolidação hidrodinâmica de magnitude elevada
- Garantir os critérios de assentamentos admissíveis em serviço.

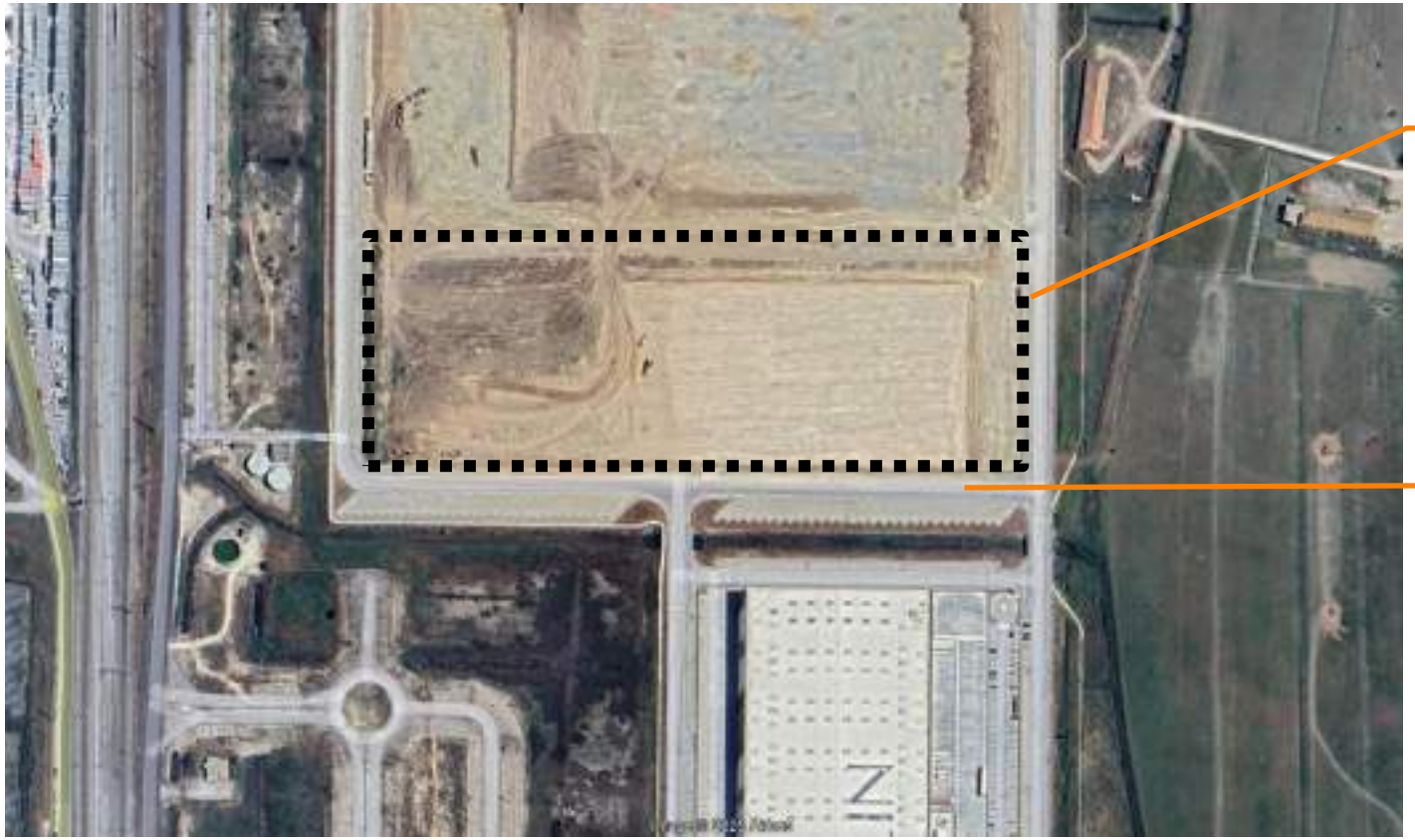




ÍNDICE

1. Enquadramento
2. **Limitação identificada**
3. Soluções estudadas
4. Solução adotada
5. Verificação do estado de tensões
6. Processo construtivo
7. Considerações finais

2. LIMITAÇÃO IDENTIFICADA



Limite de propriedade

Arruamento existente

2. LIMITAÇÃO IDENTIFICADA

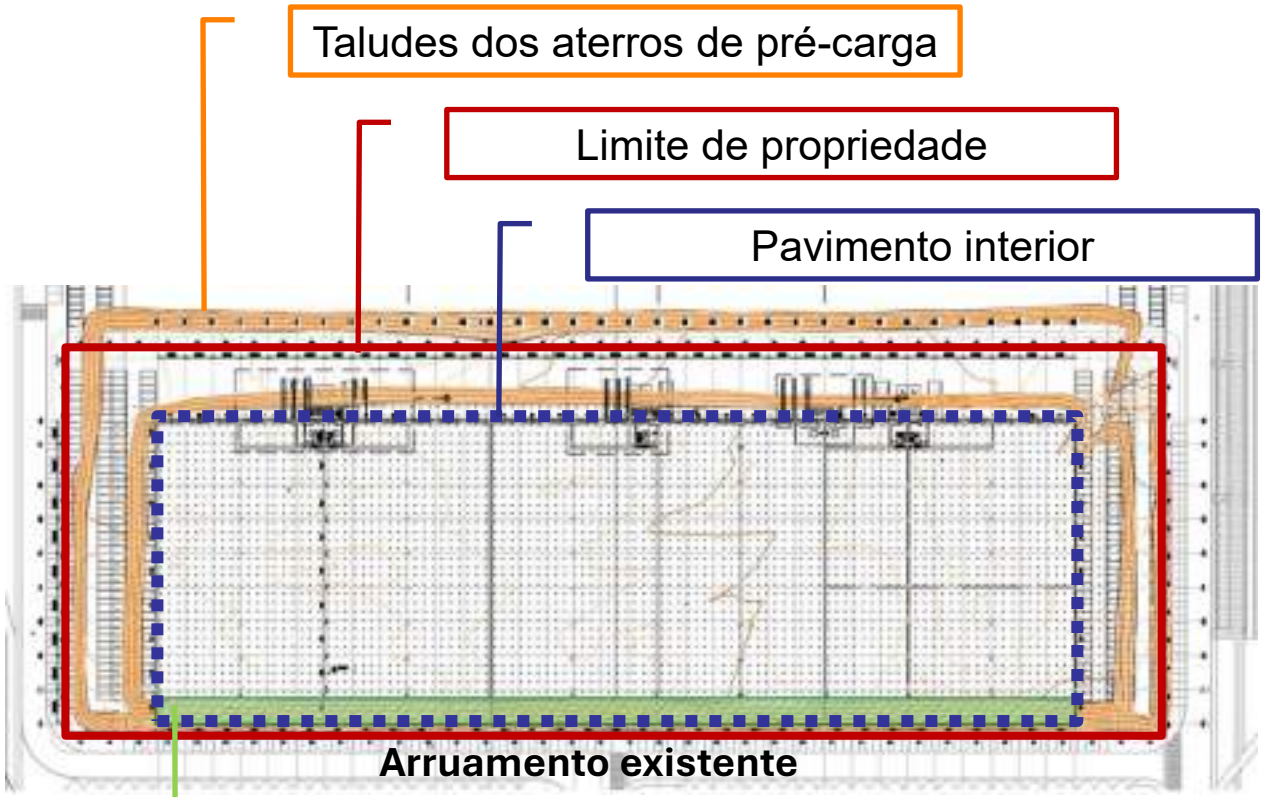
Limitação geométrica associada ao limite de propriedade (impossibilidade de execução da pré-carga com a altura prevista junto ao arruamento)

↓

Redução da tensão de pré-consolidação mobilizada

↓

Risco de assentamentos adicionais em serviço



ÍNDICE

1. Enquadramento
2. Limitação identificada
3. **Soluções estudadas**
4. Solução adotada
5. Verificação do estado de tensões
6. Processo construtivo
7. Considerações finais

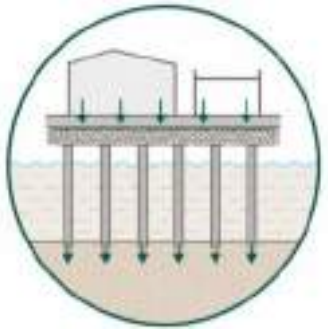
3. SOLUÇÕES ESTUDADAS

OBJETIVO: reduzir o incremento de tensão a transmitir aos solos aluvionares

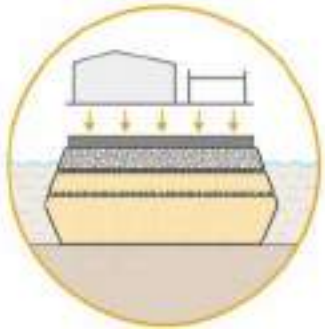
Garantir que não seria excedida a tensão de pré-consolidação

Controlar assentamentos em serviço

Inclusões rígidas



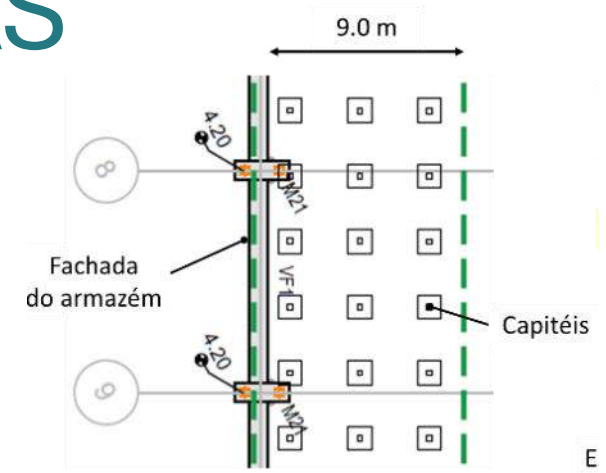
Aterros de compensação

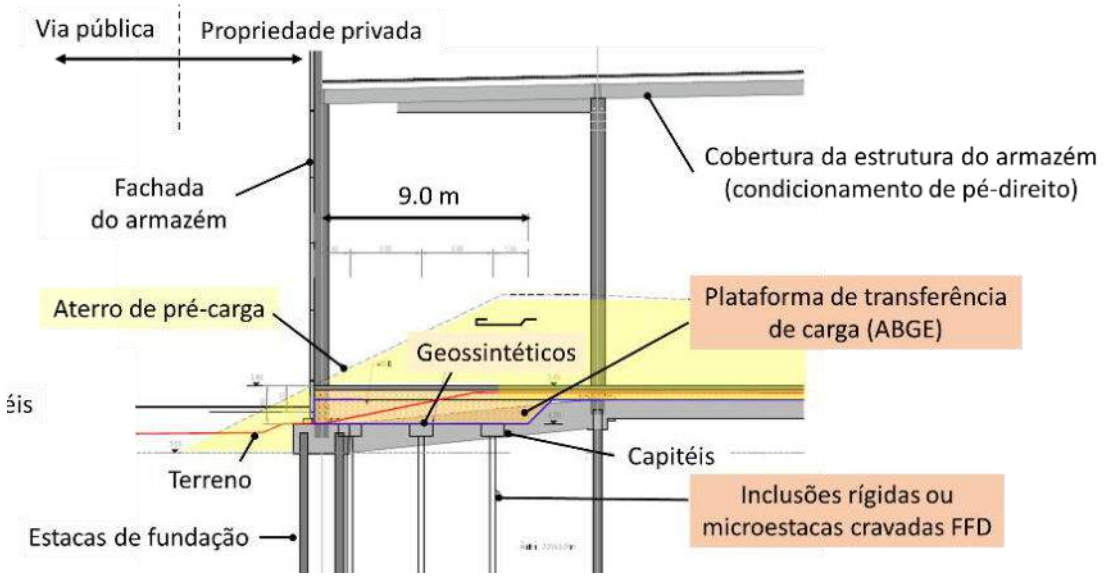


3. SOLUÇÕES ESTUDADAS

INCLUSÕES RÍGIDAS

- Transferência de carga para estratos profundos
- Plataforma granular reforçada
- Elementos de fundação com L>20m
- Condicionamentos de pé-direito associado à construção da cobertura da estrutura
- Solução eficaz no controlo de assentamentos

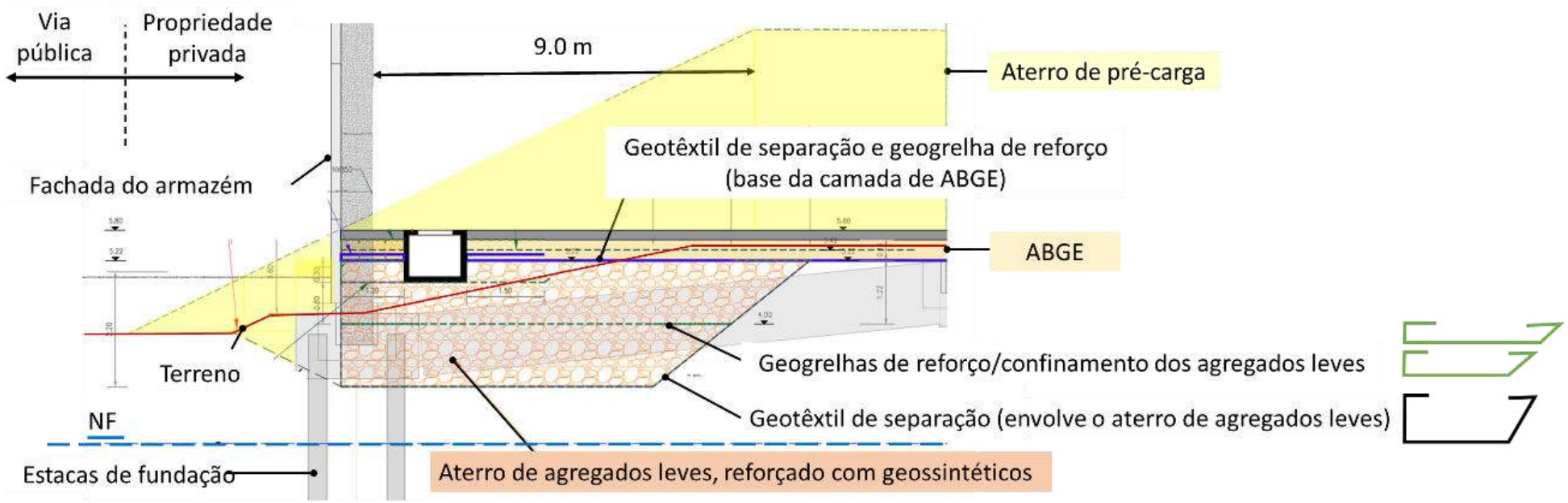




3. SOLUÇÕES ESTUDADAS

ATERROS DE COMPENSAÇÃO COM AGREGADOS LEVES

- Escavação dos materiais de aterro existentes
- Substituição de solos convencionais por materiais com peso volúmico inferior.



3. SOLUÇÕES ESTUDADAS

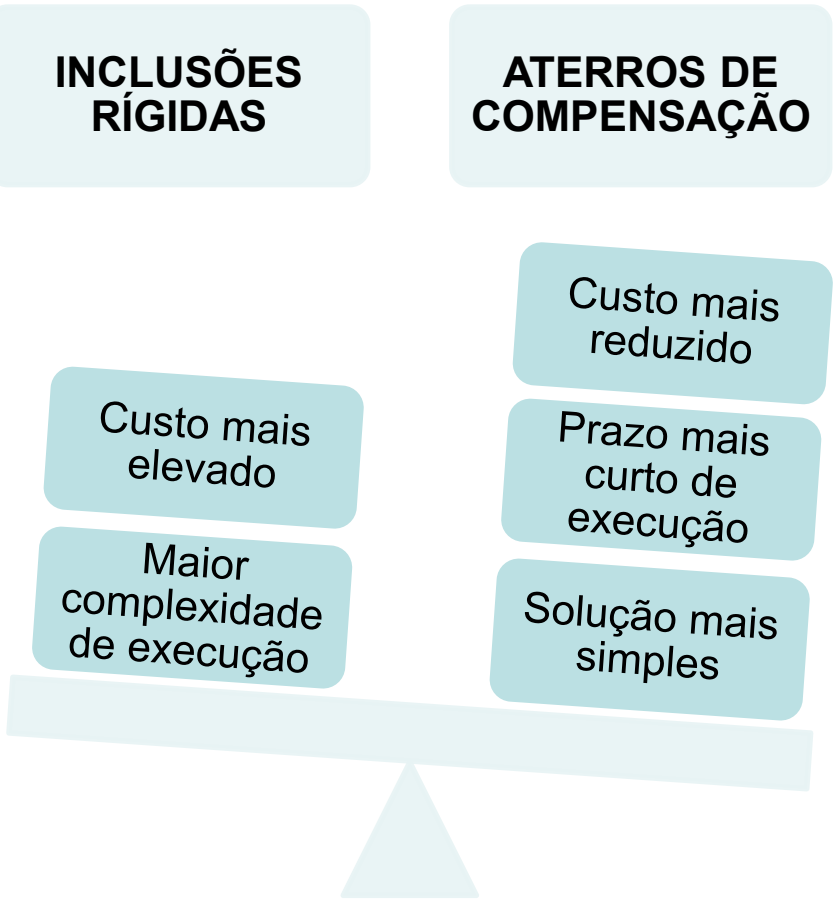
CRITÉRIOS TÉCNICOS, ECONÓMICOS E DE COMPLEXIDADE DE EXECUÇÃO

INCLUSÕES RÍGIDAS

- Elevado custo e complexidade construtiva

ATERROS DE COMPENSAÇÃO COM AGREGADOS LEVES

- Solução superficial, simples e compatível com o faseamento



3. SOLUÇÕES ESTUDADAS

DESEMPENHO AMBIENTAL

- Emissão de CO_2 consideravelmente inferior
- Redução estimada de 20–25% do GWP
- Menor consumo de betão e aço
- Menor necessidade de maquinaria pesada
- Potencial de reutilização integral dos materiais

SOLUÇÃO VANTAJOSA DO PONTO DE VISTA AMBIENTAL

Fonte: Fernandes, A. R. (2025). *Sustentabilidade em Obras Geotécnicas: Estudo Comparativo*. Seminário técnico, outubro de 2025, Lisboa, Portugal.

ÍNDICE

1. Enquadramento
2. Limitação identificada
3. Soluções estudadas
4. **Solução adotada**
5. Verificação do estado de tensões
6. Processo construtivo
7. Considerações finais

4. SOLUÇÃO ADOTADA

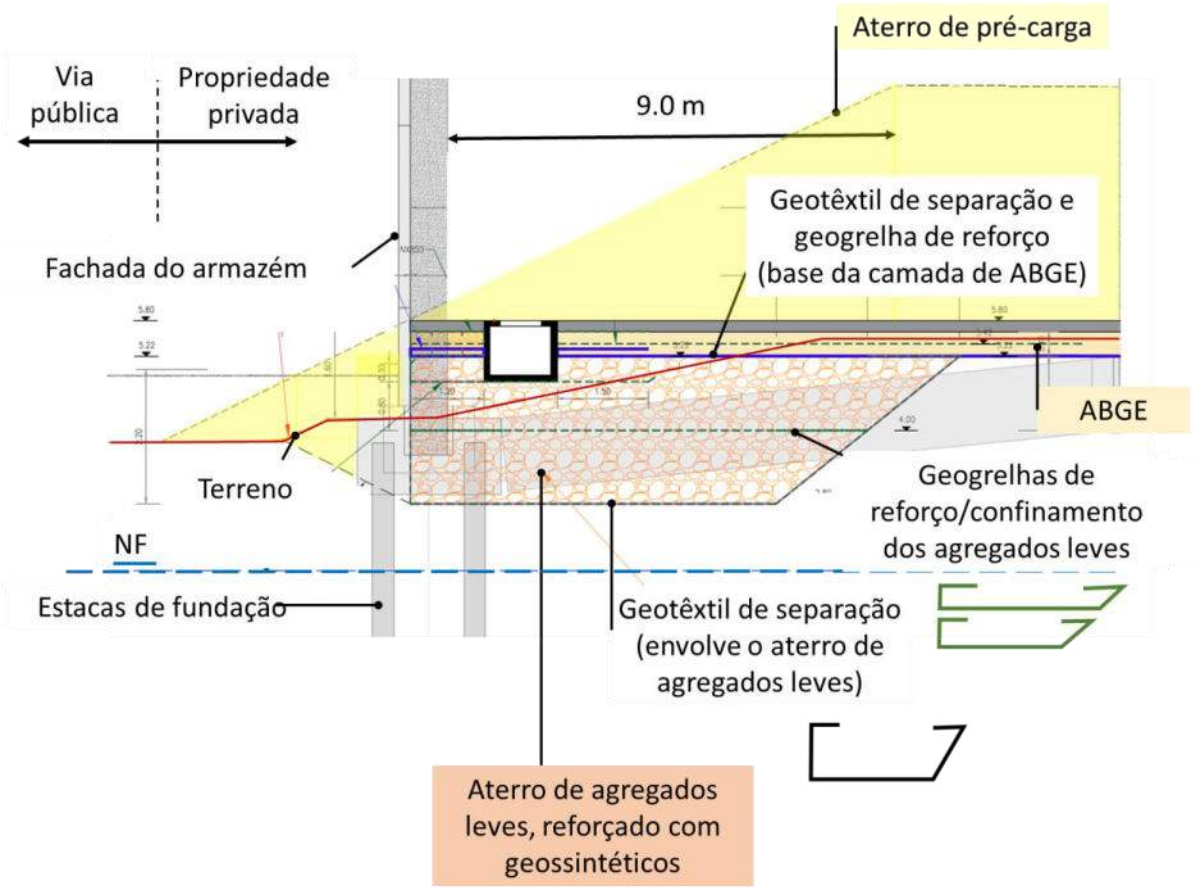
CONSTITUIÇÃO

- Aterro de agregados leves de argila expandida (Peso volúmico aproximadamente 4x inferior)
- Geogrelhas e geotêxteis para confinamento e separação
- Plataforma granular em ABGE reforçada

FUNCIONAMENTO

- Redução do incremento de tensão vertical
- Rigidez ao conjunto
- Distribuição mais homogénea das cargas

MITIGAÇÃO DE ASSENTAMENTOS DIFERENCIAIS

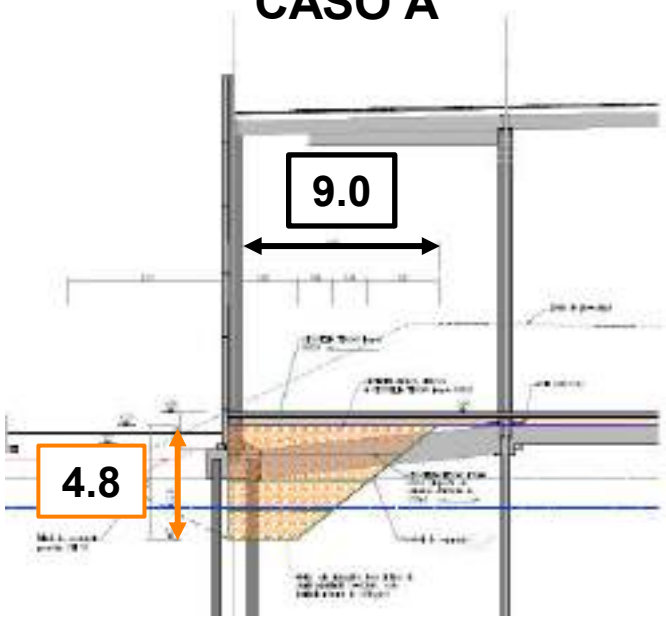


4. SOLUÇÃO ADOTADA

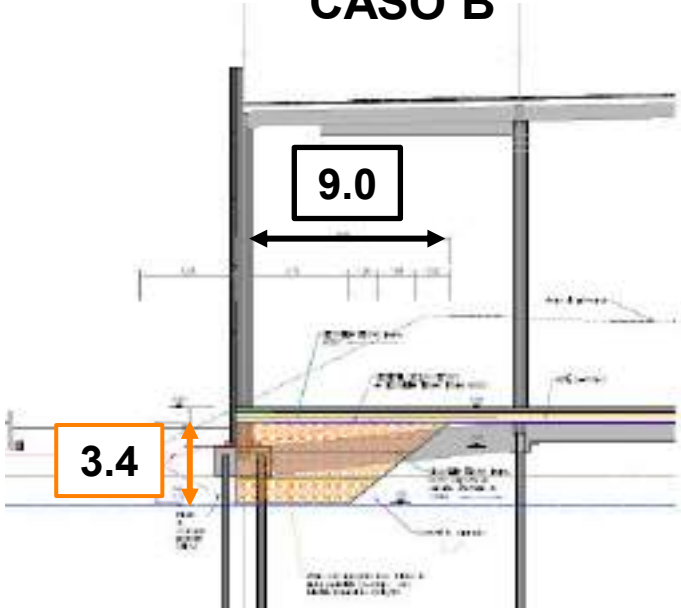
GEOMETRIA

- Alturas entre 2.0 m e 4.8 m
- Ajuste às alturas dos aterros de pré-carga

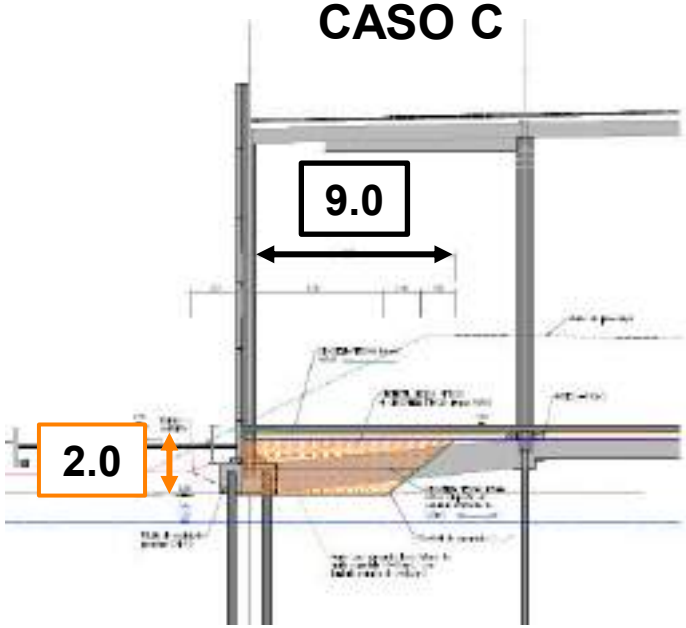
CASO A



CASO B



CASO C



ÍNDICE

1. Enquadramento
2. Limitação identificada
3. Soluções estudadas
4. Solução adotada
5. **Verificação do estado de tensões**
6. Processo construtivo
7. Considerações finais

5. VERIFICAÇÃO DO ESTADO DE TENSÕES

Comparação entre σ'p e σ'v,serviço

OCR > 1 em todas as configurações analisadas

Limitação de assentamentos por consolidação adicional

Compatibilidade com os requisitos de desempenho

Parâmetro	Caso A	Caso B	Caso C
Altura de pré-carga (m)	2,40	4,00	4,50
Incremento de tensão de pré-carga (γ=18 kN/m³) (kPa)	43,20	72,00	81,00
Remoção/regularização de aterro (m)	-5,00	-5,20	-4,70
$\Delta\sigma_{escavação}$ (kPa)	-90,00	-93,60	-84,60
Peso próprio ABGE (0,40 m; 23 kN/m³) (kPa)	9,20	9,20	9,20
Altura agregados leves (m)	4,82	3,42	2,02
Peso próprio agregados leves (γ=5 kN/m³) (kPa)	24,10	17,10	10,10
Peso próprio laje de pavimento (kPa)	4,50	4,50	14,50
Sobrecarga de utilização (kPa)	50,00	50,00	50,00
Tensão vertical inicial, σ'_{v0} (kPa)	35,00	35,00	35,00
Tensão de pré consolidação, σ'_{p} (kPa)	78,20	107,00	116,00
Tensão vertical final, $\sigma'_{v,serviço}$ (kPa)	76,00	94,20	115,20
OCR=$\sigma'_{p}/\sigma'_{v,serviço}$ (-)	**1,03**	**1,14**	**1,01**

ÍNDICE

1. Enquadramento
2. Limitação identificada
3. Soluções estudadas
4. Solução adotada
5. Verificação do estado de tensões
6. **Processo construtivo**
7. Considerações finais

6. PROCESSO CONSTRUTIVO

Escavação provisória

Execução do aterro de agregados leves

6. PROCESSO CONSTRUTIVO

Geogrelhas e geotêxteis de reforço da camada de ABGE

Camada de ABGE

Pavimento em betão

ÍNDICE

1. Enquadramento
2. Limitação identificada
3. Soluções estudadas
4. Solução adotada
5. Verificação do estado de tensões
6. Processo construtivo
7. **Considerações finais**

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Solução eficaz em contextos com restrições geométricas

Garantia de OCR superior à unidade

Solução construtivamente simples

Vantagens económicas e ambientais relevantes

Obrigado pela vossa atenção