



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

12º Congresso Luso-Brasileiro
8^{as} Jornadas Luso-Espanólas

de **Geotecnia**

Novos paradigmas em Geotecnia
Nuevos paradigmas en Geotecnia

23 de agosto de 2024
Laboratório Nacional de Engenharia Civil



Sociedade
Portuguesa
de Geotecnia



Sociedade Brasileira de Mecânica
do Solo e Engenharia Geotécnica



SOCIEDAD ESPAÑOLA
DE MECÁNICA DEL SUELO
E INGENIERÍA GEOTÉCNICA

SOLUÇÕES DE ATERROS DE AGREGADOS LEVES SOBRE SOLOS MOLES

Inês Braz / JETsj Geotecnia Lda. / ibraz@jetsj.com

Alexandre Pinto / JETsj Geotecnia Lda. / apinto@jetsj.com

Ana Fernandes / Leca Portugal S.A. / anaraquel.fernandes@saint-gobain.com



INTRODUÇÃO

CASO DE OBRA

- PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

- SOLUÇÕES ADOTADAS

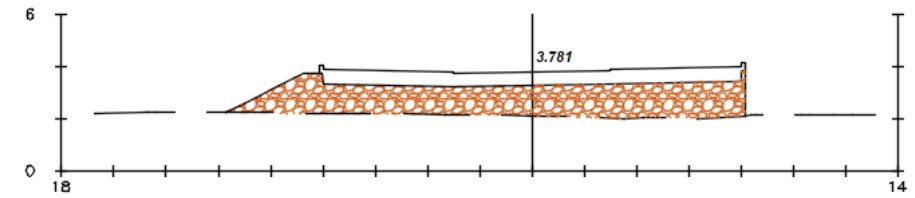
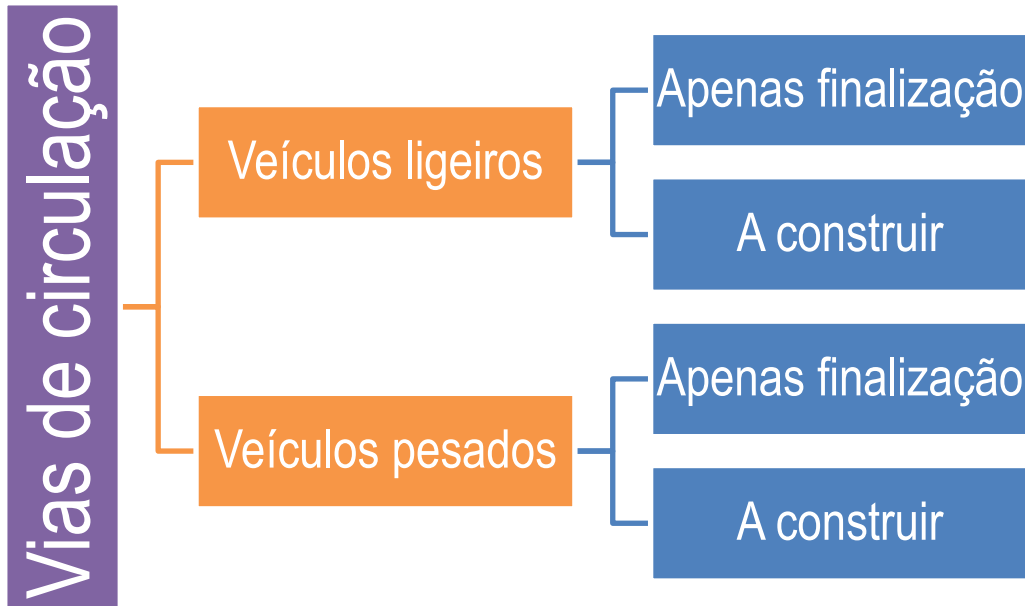
- PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO (PIO)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

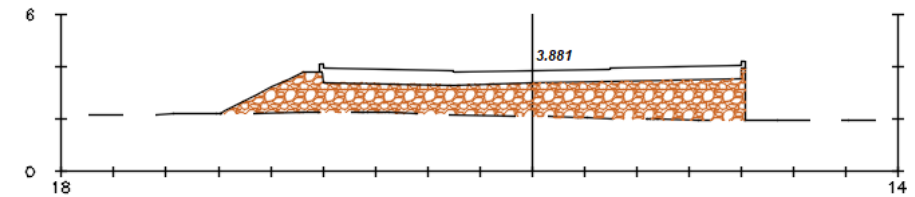
FUNDAÇÕES DE ARRUAMENTOS SOBRE SOLOS MOLES



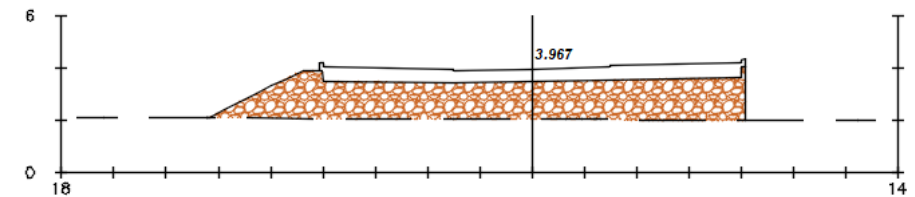
▶ TIPOS DE VIAS



Pk=0+080
 S. CX PAVIMENTO = 8.59 m2.
 S. ATERRO = 22.87 m2.



Pk=0+100
 S. CX PAVIMENTO = 8.59 m2.
 S. ATERRO = 24.60 m2.



Pk=0+120
 S. CX PAVIMENTO = 8.59 m2.
 S. ATERRO = 28.39 m2.

- ❑ INTRODUÇÃO

- ❑ CASO DE OBRA
 - ❑ PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

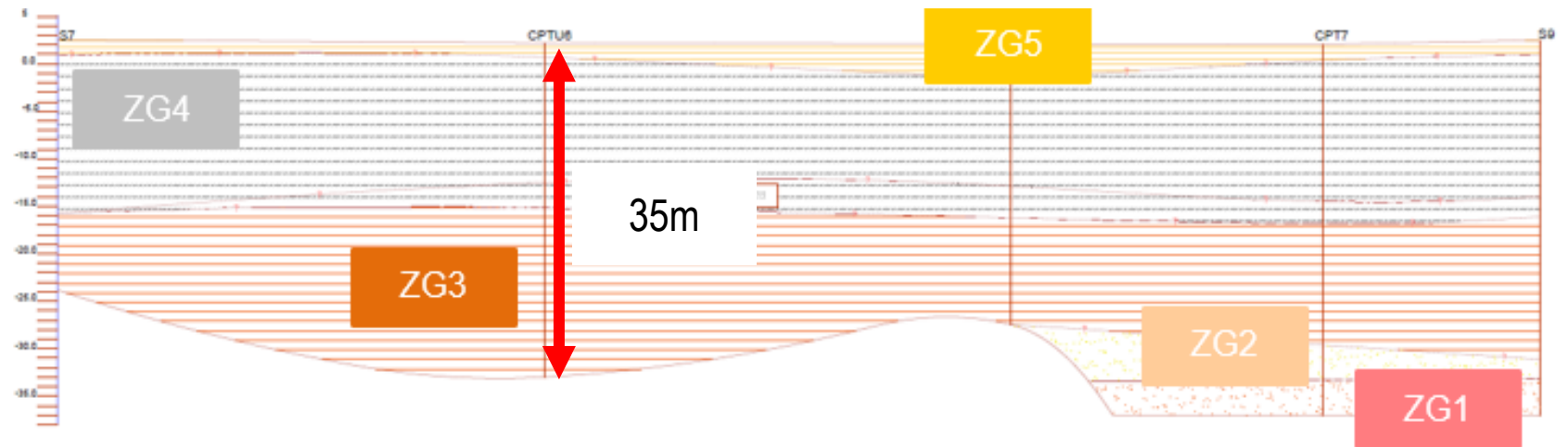
 - ❑ SOLUÇÕES ADOTADAS

 - ❑ PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO (PIO)

- ❑ CONSIDERAÇÕES FINAIS

▶ CONDIÇÕES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS

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

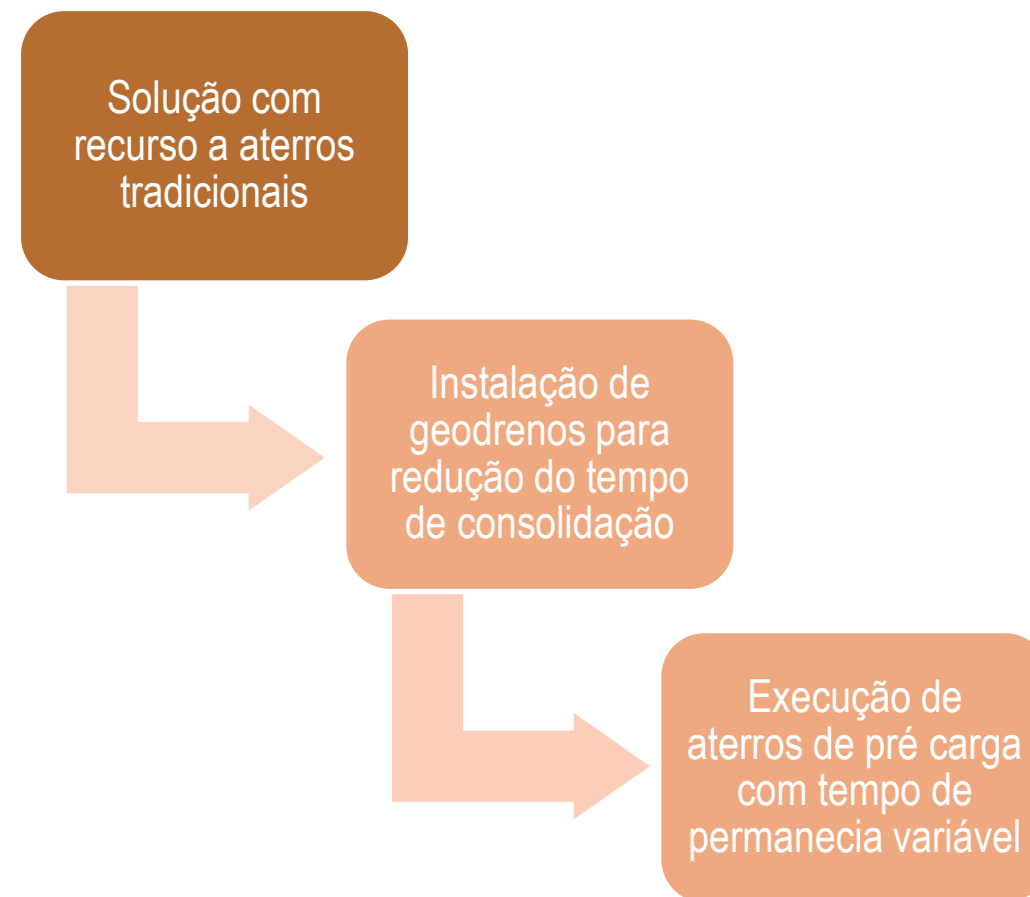


▶ OUTROS CONDICIONAMENTOS

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



- ❑ INTRODUÇÃO

- ❑ CASO DE OBRA
 - ❑ PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

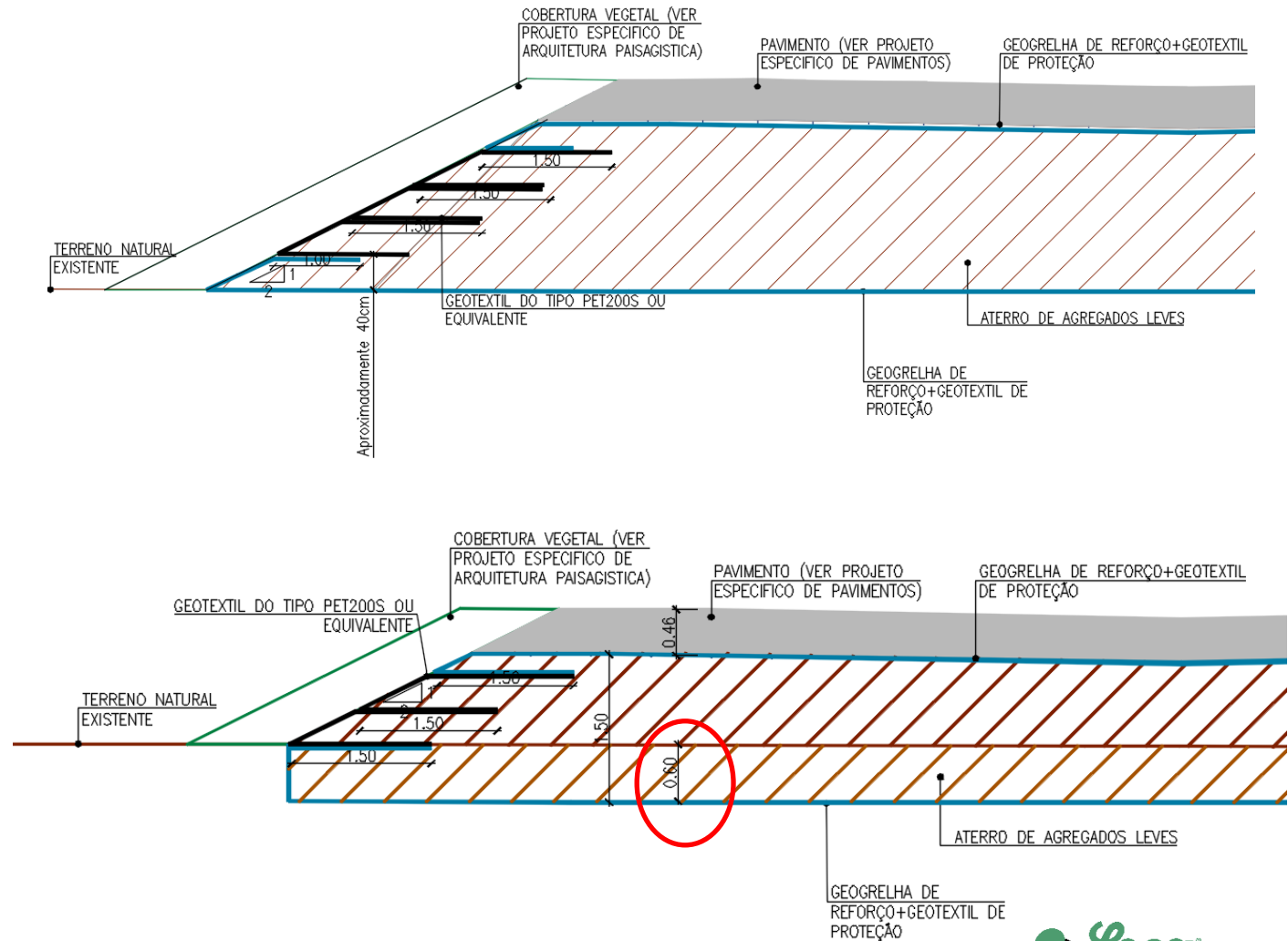
 - ❑ **SOLUÇÕES ADOTADAS**

 - ❑ PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO (PIO)

- ❑ CONSIDERAÇÕES FINAIS

► SOLUÇÃO ADOTADA

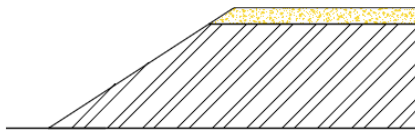
- Aterro constituído por agregados leves em argila expandida com alturas entre 1 a 2m, confinado por geocompósito: geogrelhas + geotêxtil
- Taludes reforçados com geotêxtil de alta resistência
- Pré-escavação de 60cm nos locais em circulação de pesados – aterro de compensação.



▶ PRINCIPAL VANTAGEM DA SOLUÇÃO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

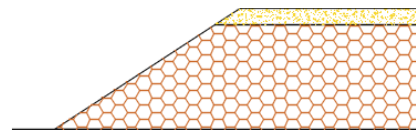
- Baixo **peso volúmico**

Situação	Peso volúmico a considerar
<i>Presença ocasional de água</i>	4 kN/m³
<i>Presença frequente de água</i>	5 kN/m³



Aterro tradicional

$$2 \times 20 = 40 \text{ KPa}$$



Aterro com agregados leves

$$2 \times 5 = 10 \text{ KPa}$$

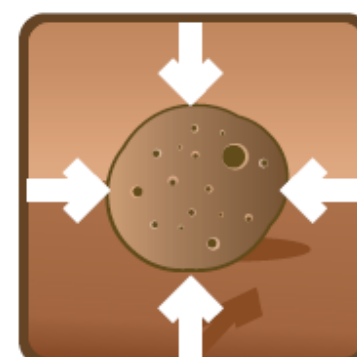


▶ OUTRAS VANTAGENS DA SOLUÇÃO DE ATERROS DE AGREGADOS LEVES

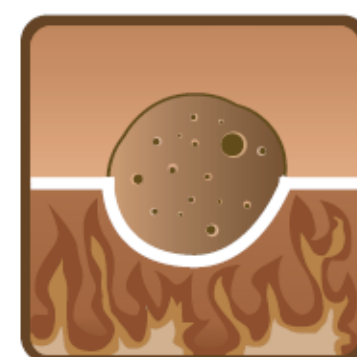
- Elevada capacidade drenante;
- Resistência à compressão/esmagamento;
- Fenómenos de fluência desprezáveis;
- Elevado módulo de resiliência;
- Elevada resistência ao corte;
- Facilidade de transporte e colocação em obra;
- Redução na Pegada de Carbono;
- Conservação de Recursos Naturais;
- Potencial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



leveza



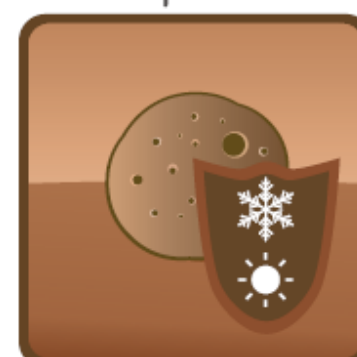
resistência à compressão



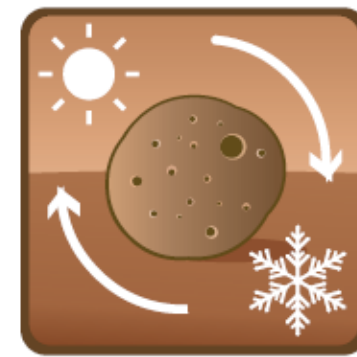
incombustível



isolamento acústico e vibrático



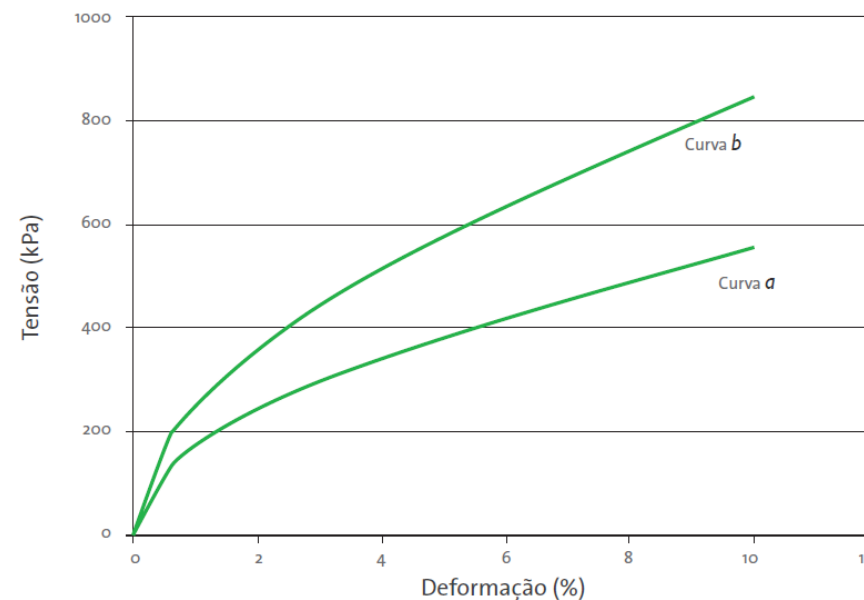
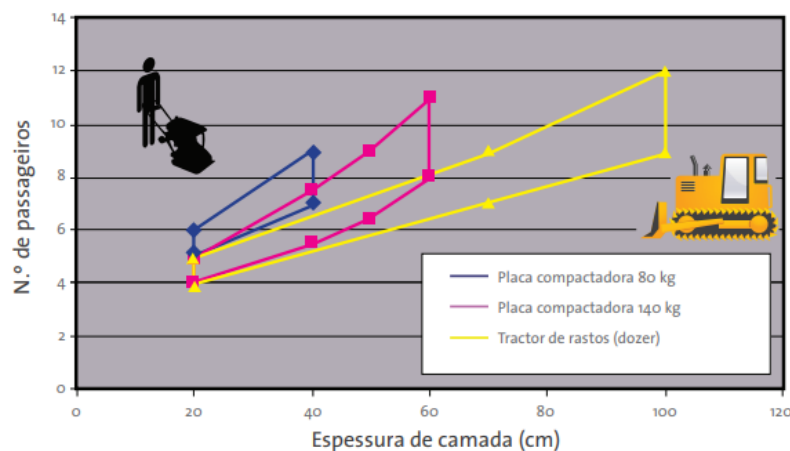
isolamento térmico



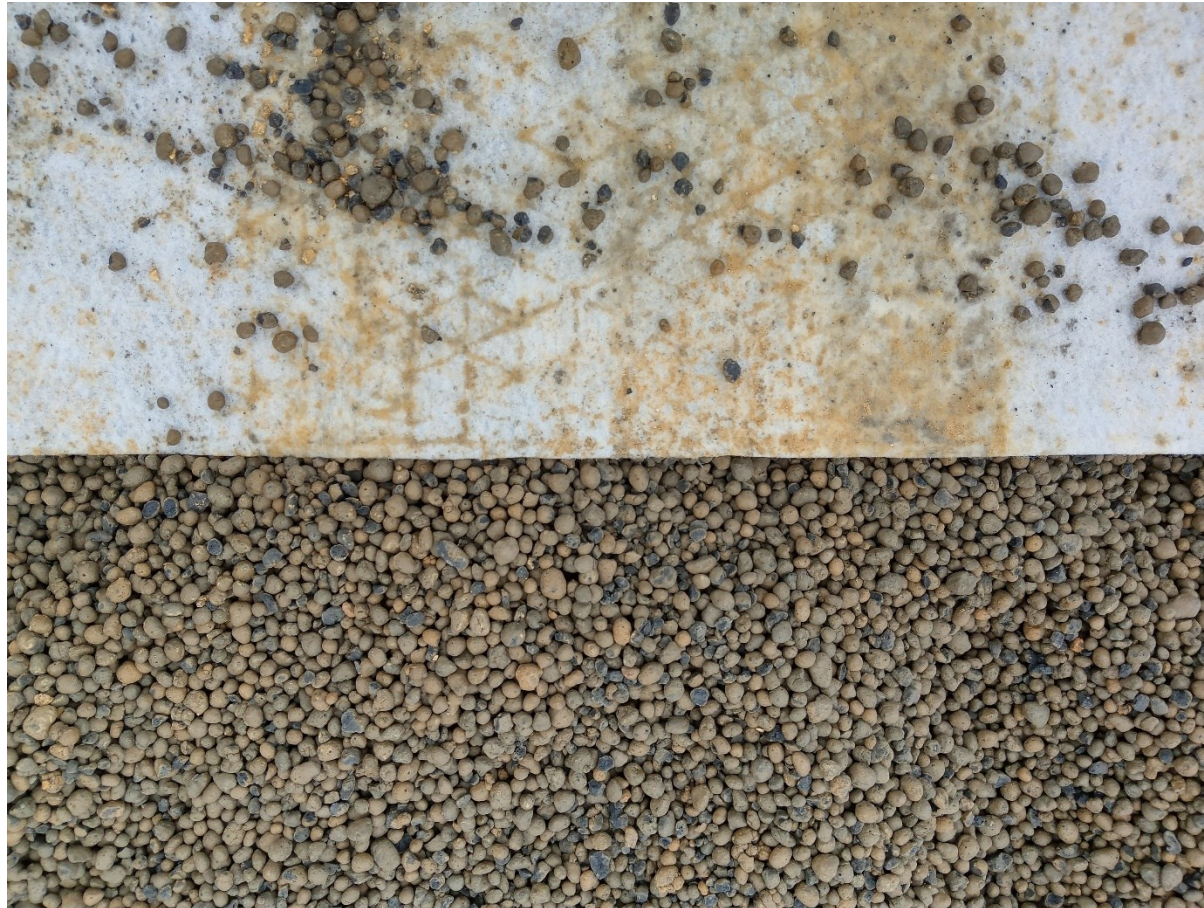
resistência ciclos gelo-degelo

▶ 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



► SOLUÇÃO ADOTADA



► SOLUÇÃO ADOTADA



► SOLUÇÃO ADOTADA



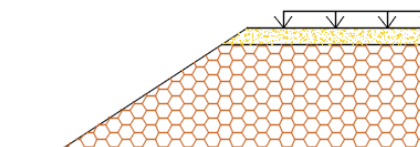
► SOLUÇÃO ADOTADA



▶ ESTIMATIVA DE ASSENTAMENTOS AO LONGO DO TEMPO

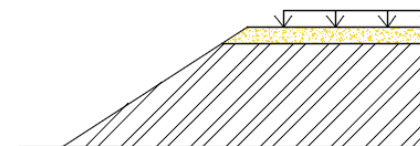
- Os assentamentos estimados tiveram em consideração a existência de 4 zonas:
 - i) zona com necessidade de realizar aterros para acomodação de tráfego de veículos pesados;
 - ii) zona com necessidade de realizar aterros para acomodação de tráfego de ligeiros;
 - iii) zona sem necessidade de alteamento de cota e sujeita a tráfego de pesados;
 - iv) zona sem necessidade de alteamento de cota e sujeita a tráfego de ligeiros.

ATERRO COM AGREGADOS LEVES



ii)

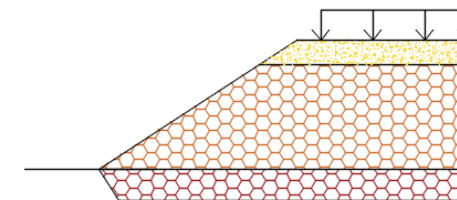
APENAS PAVIMENTO



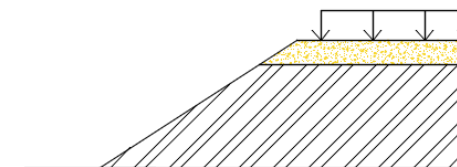
iv)

VEICULOS LIGEIROS

VEICULOS PESADOS



i)



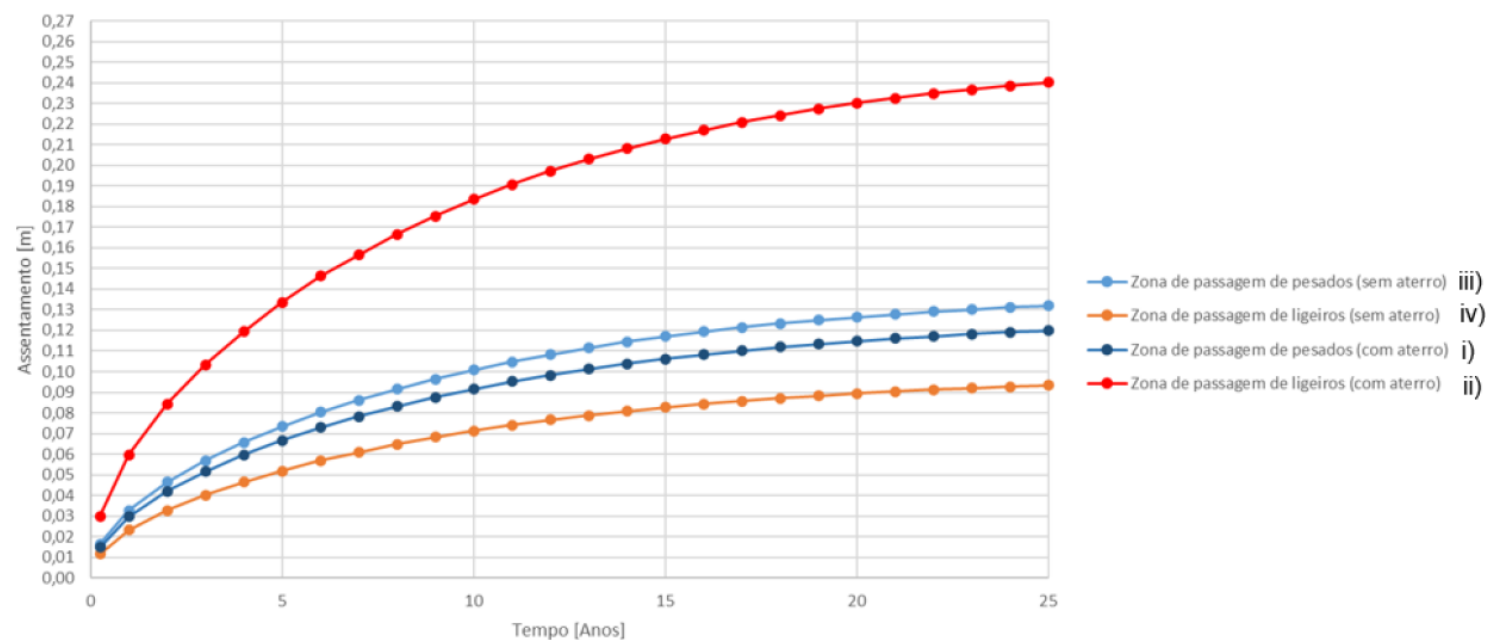
iii)

► ESTIMATIVA DE ASSENTAMENTOS AO LONGO DO TEMPO

Para as zonas de circulação de pesados, os assentamentos diferenciais estimados são praticamente nulos:

- 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.**

Evolução dos assentamentos ao longo do tempo - Solução com escavação na zona de passagem de pesados onde é necessário aterrar e sem sobrecarga

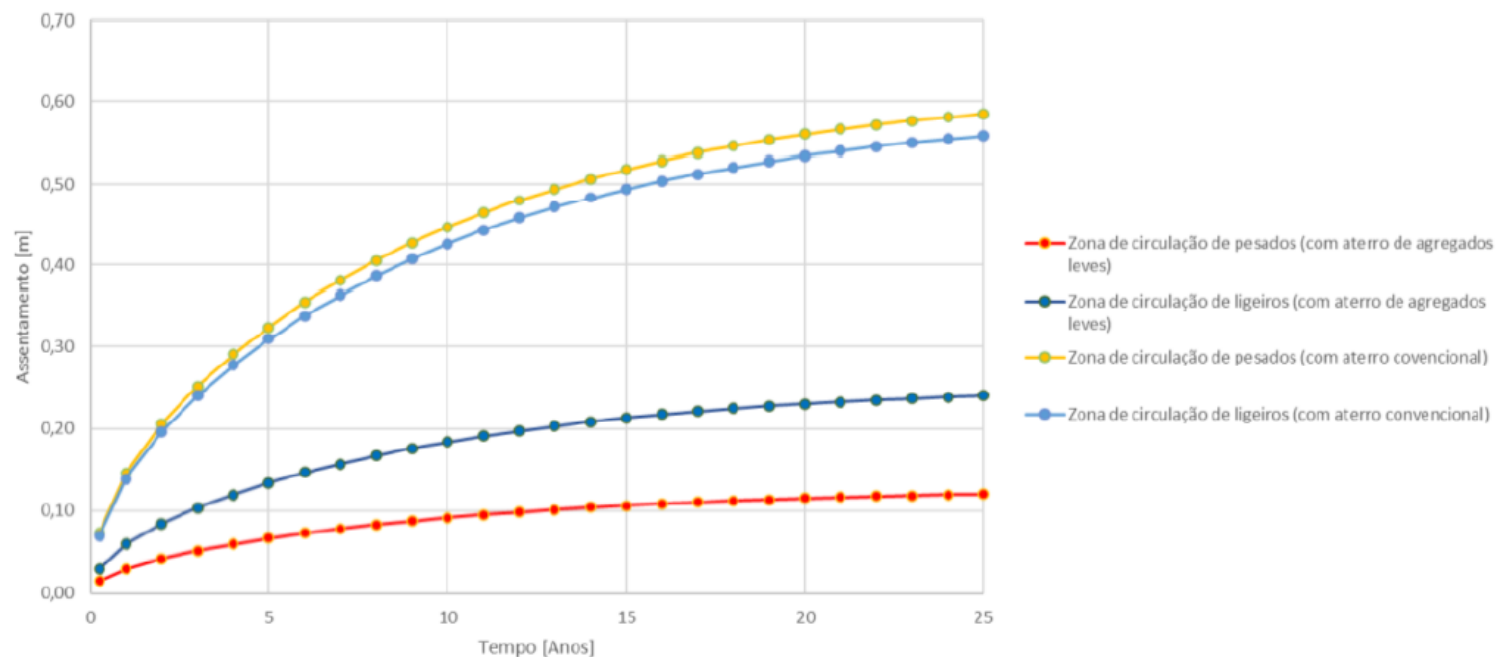


ESTIMATIVA DE ASSENTAMENTOS AO LONGO DO TEMPO – SOLUÇÃO COM ATERRO TRADICIONAL

Os assentamentos estimados para uma solução em que o alteamento das cotas do terreno seria realizado com recurso a aterro convencional seria de aproximadamente 30cm ao fim de 5 anos:

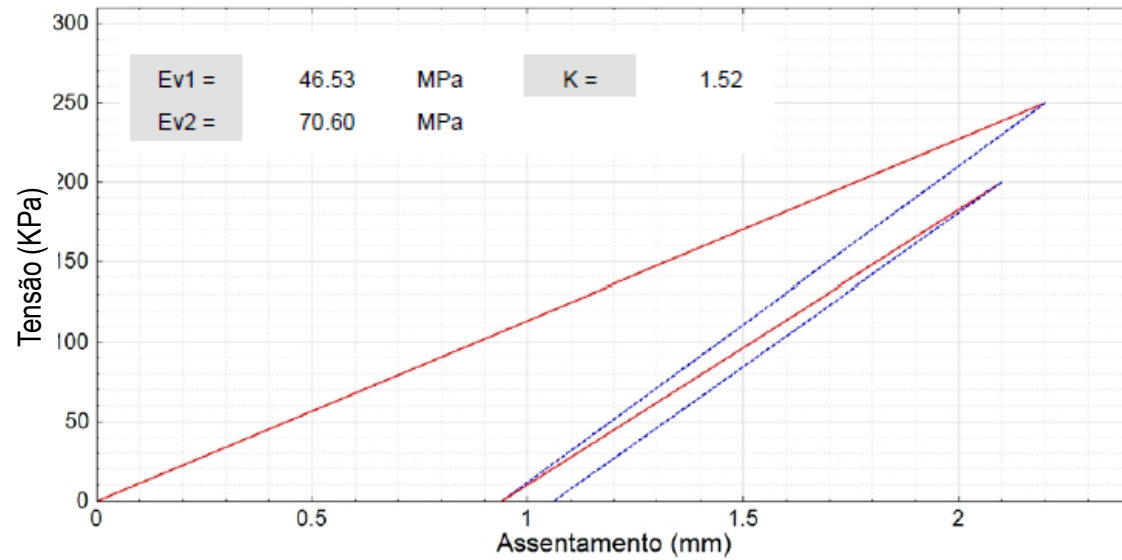
- Zona de circulação de pesados: **34cm ao fim de 5 anos**
- Zona de circulação de ligeiros: **30cm ao fim de 5 anos**

Evolução dos assentamentos ao longo do tempo -Comparação de solução com agregados leves e com aterro convencional



▶ CONTROLO DE EXECUÇÃO: ENSAIOS DE CARGA EM PLACA

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



- ❑ INTRODUÇÃO

- ❑ CASO DE OBRA
 - ❑ PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

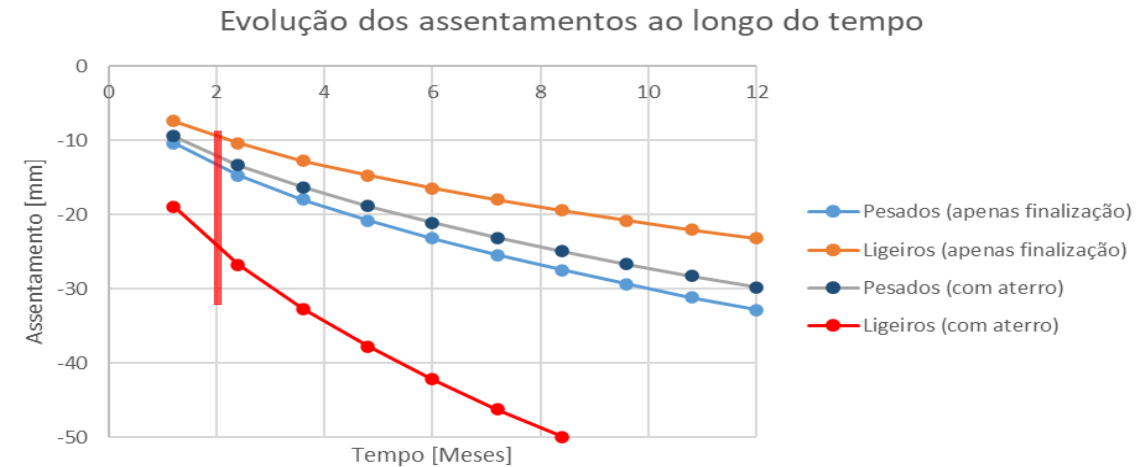
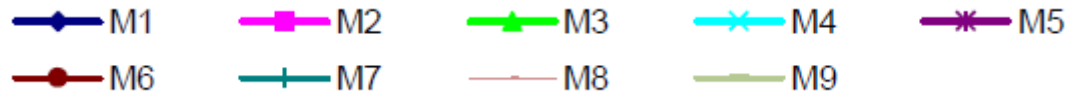
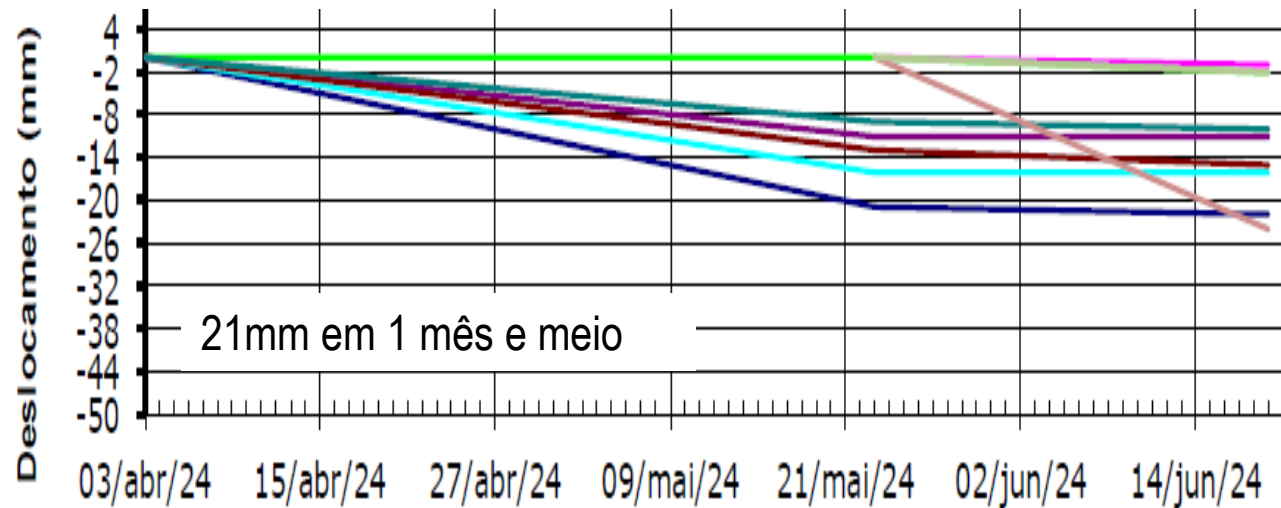
 - ❑ SOLUÇÕES ADOTADAS

 - ❑ PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO (PIO)

- ❑ CONSIDERAÇÕES FINAIS

▶ INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

- 9 marcas de nivelamento de superfície
- 3 piezómetros



INTRODUÇÃO

CASO DE OBRA

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 crítica).

► 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 crítica)

Comparação com Solução Convencional:

- 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 crítica)

Comparação com Solução Convencional:

- 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
- A utilização de agregados leves **reduz a necessidade de extração de materiais pétreos naturais, minimizando o impacto ambiental**
- **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 na obra onde são aplicados.

OBRIGADA PELA ATENÇÃO!



A geotecnia ao serviço dos desafios da sociedade!



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

12º Congresso Luso-Brasileiro
8^{as} Jornadas Luso-Espanólas

de **Geotecnia**
Novos paradigmas em Geotecnia
Nuevos paradigmas en Geotecnia

23 de agosto de 2024
Laboratório Nacional de Engenharia Civil



Sociedade
Portuguesa
de Geotecnia



Associação Brasileira de Mecânica
do Solo e Engenharia Geotécnica



SOCIEDAD ESPAÑOLA
DE MECÁNICA DEL SUELO
E INGENIERÍA GEOTÉCNICA

SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS DE FUNDAÇÕES DO PALCO DAS JMJ 2023 SOBRE O ATERRO SANITÁRIO DE BEIROLAS, EM LISBOA

Inês Braz / JETsj Geotecnia Lda. / ibraz@jetsj.com
Alexandre Pinto / JETsj Geotecnia Lda. / apinto@jetsj.com
Carlos Simões / Oliveiras S.A. / carlos.simoese@oliveiras.pt
Tiago Gomes / Geosol S.A. / tgomes@geosol-fg.com
Carlos Caxias / ANP Systems / carlos.caxias@anp-systems.at

geosol



JETsj

ÍNDICE

☐ INTRODUÇÃO

☐ CASO DE OBRA

☐ PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

☐ SOLUÇÕES ADOTADAS

☐ PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO (PIO)

☐ ENSAIOS DE CARGA DAS MICROESTACAS CRAVADAS

☐ CONSIDERAÇÕES FINAIS



ÍNDICE

- ❑ INTRODUÇÃO

- ❑ CASO DE OBRA
 - ❑ PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

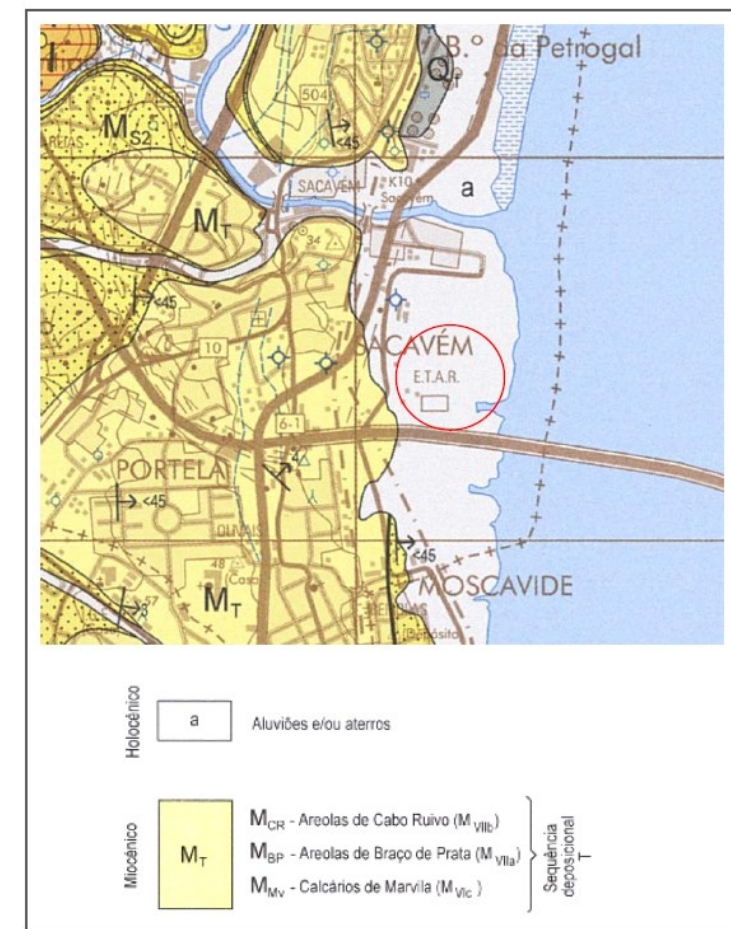
 - ❑ SOLUÇÕES ADOTADAS

 - ❑ PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO (PIO)

 - ❑ ENSAIOS DE CARGA DAS MICROESTACAS CRAVADAS

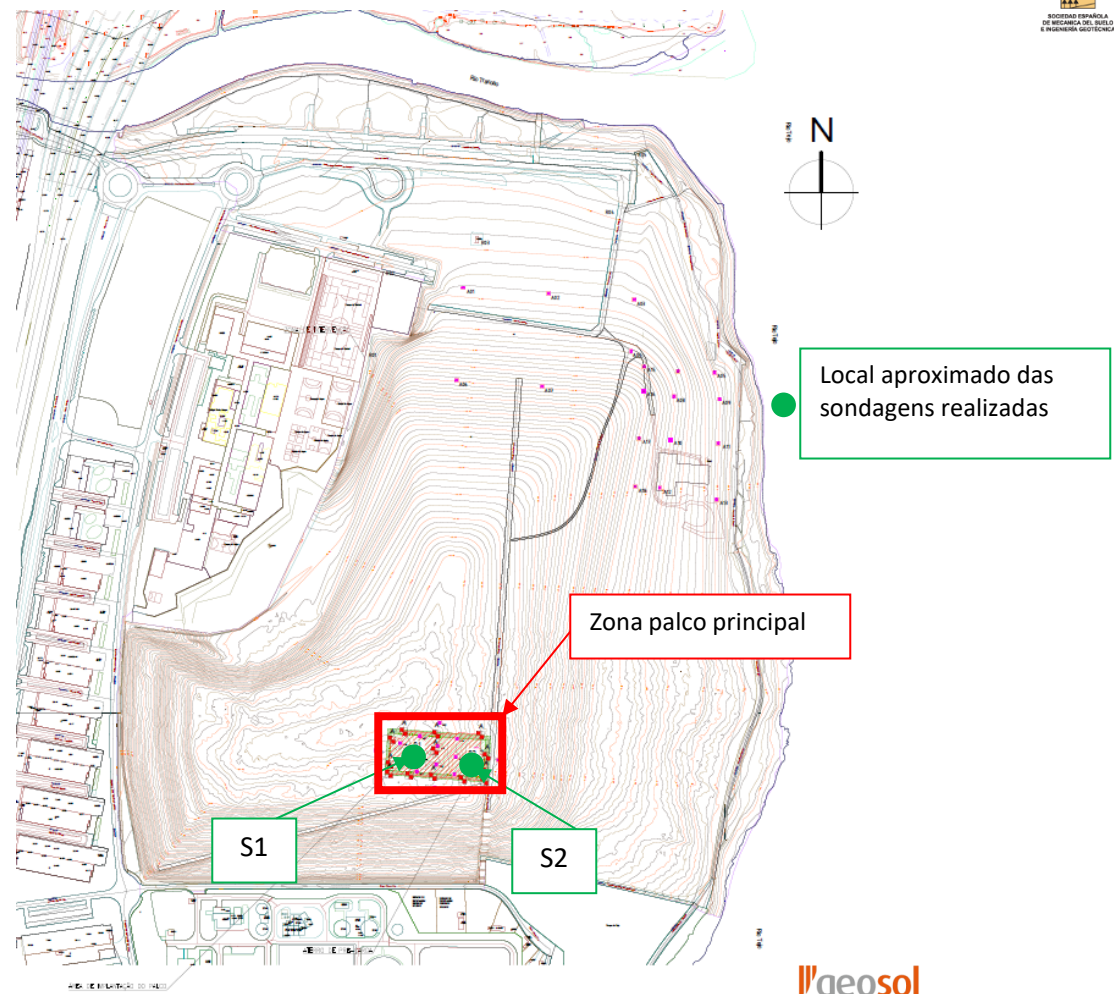
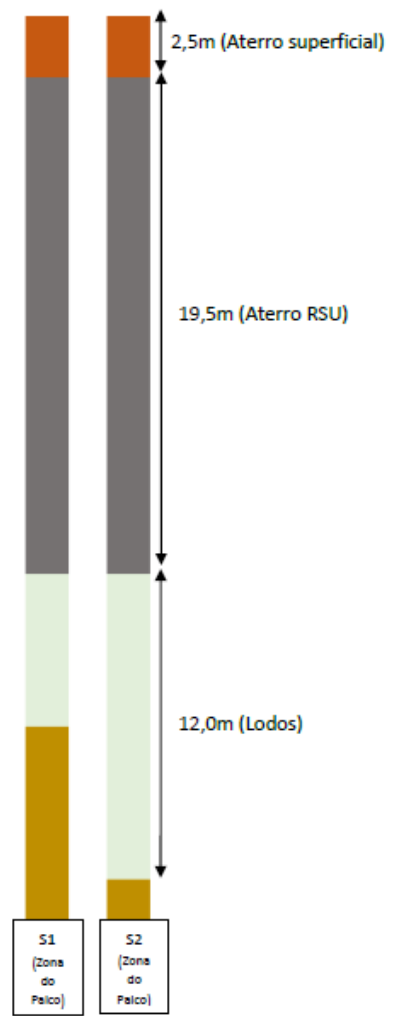
- ❑ CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONDICIONAMENTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS



PROSPEÇÃO REALIZADA

- 2 sondagens:
 - com recolha de amostra;
 - ensaios SPT;
 - Ensaio rotativo “Vane Test”



OUTROS CONDICIONAMENTOS

- Caracter provisório da estrutura → Fácil desmontagem
- Tempo disponível para execução da obra → Rápida execução
- Existência de geomembrana de proteção do aterro → Recurso a soluções menos intrusivas
- Preocupações ambientais → Elementos recicláveis ou reutilizáveis; menor produção de resíduos

ÍNDICE

- ❑ INTRODUÇÃO

- ❑ CASO DE OBRA
 - ❑ PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

 - ❑ **SOLUÇÕES ADOTADAS**

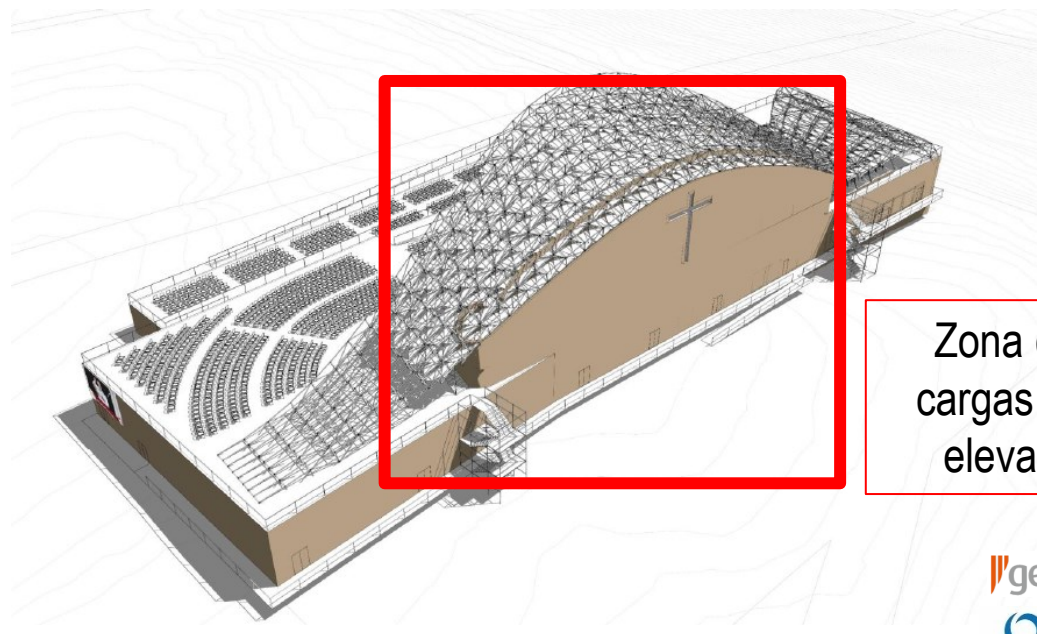
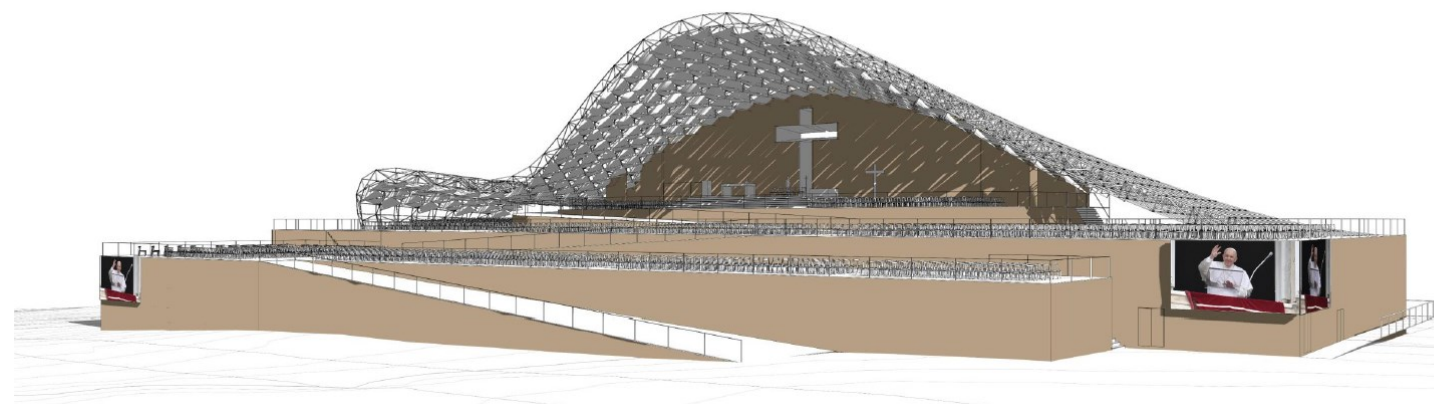
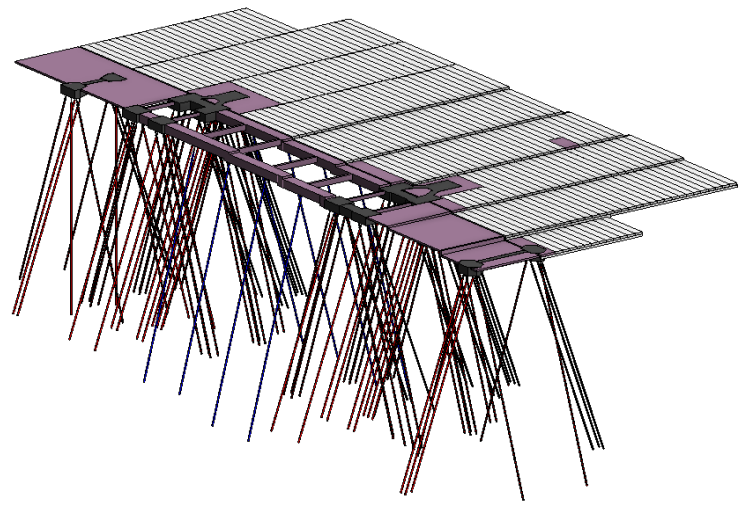
 - ❑ PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO (PIO)

 - ❑ ENSAIOS DE CARGA DAS MICROESTACAS CRAVADAS

- ❑ CONSIDERAÇÕES FINAIS

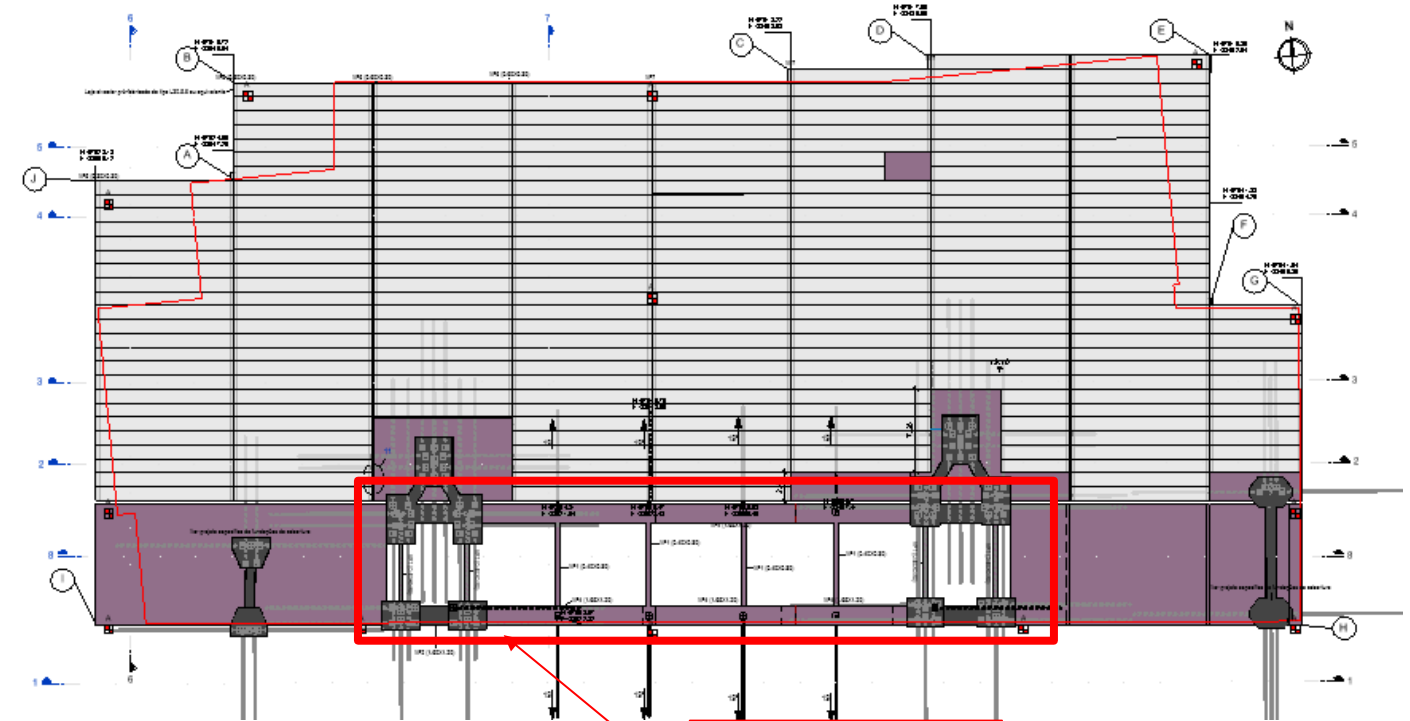
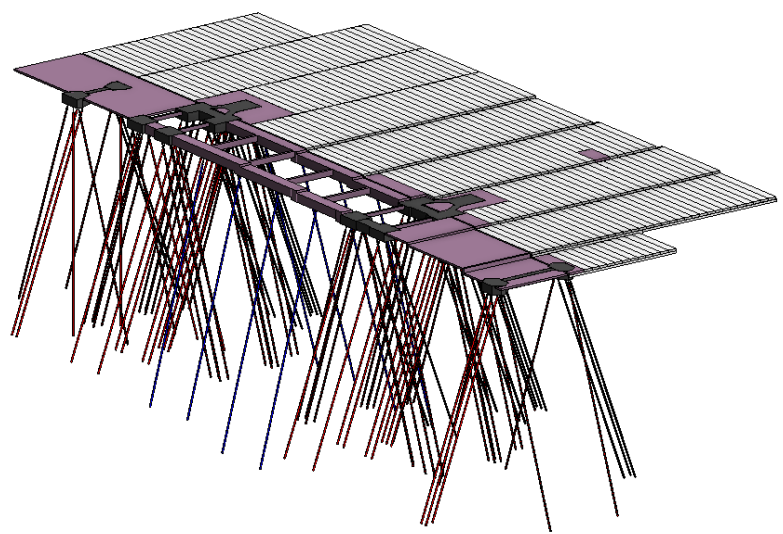
- Pressuposto de dimensionamento: 50kN/m^2



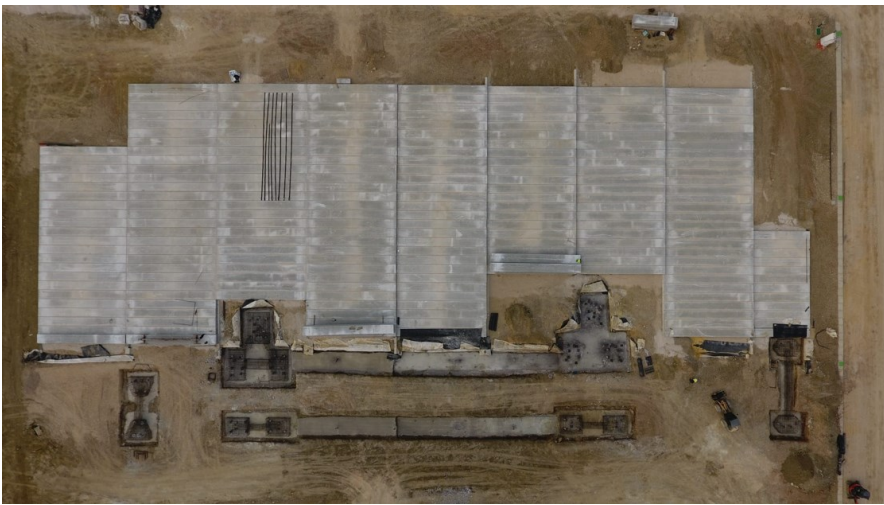


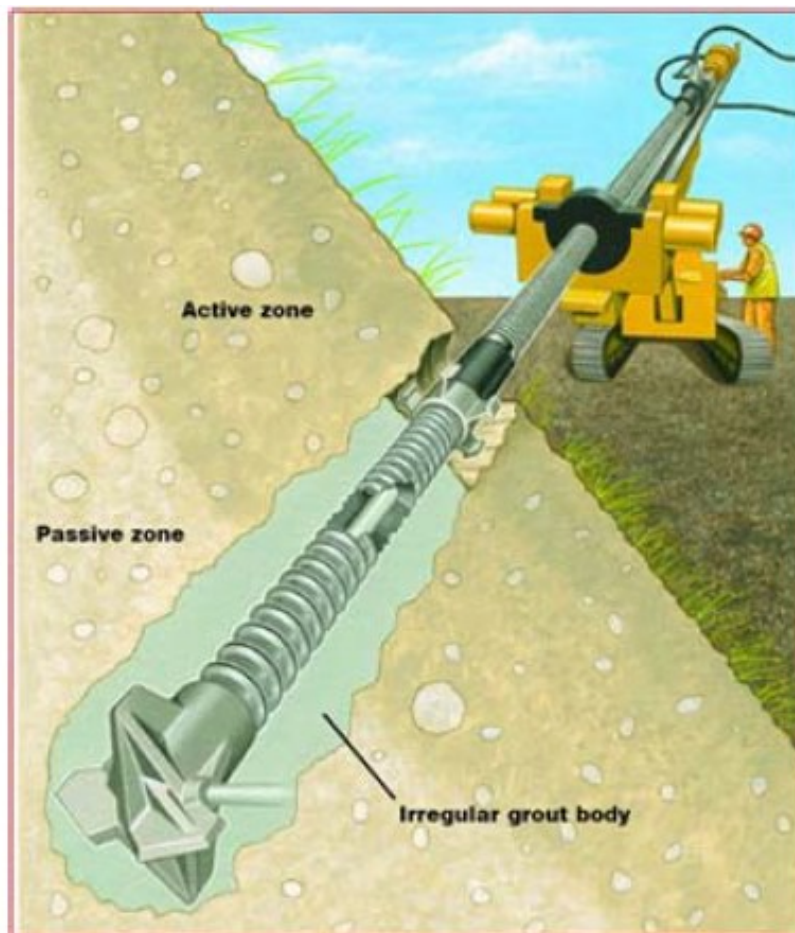
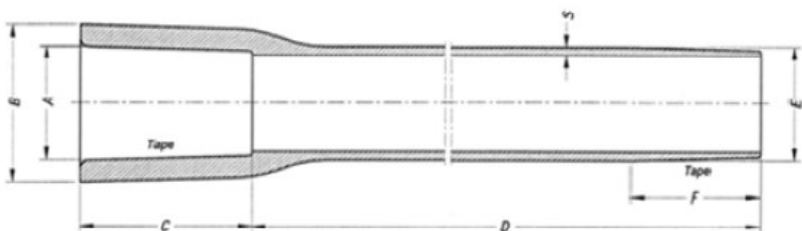
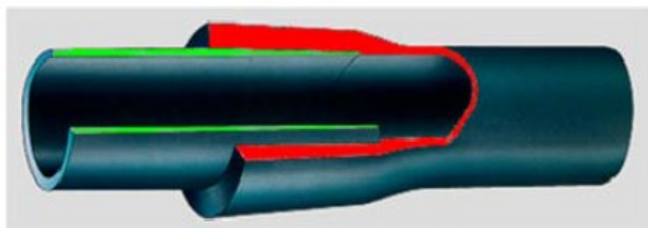
Zona com cargas mais elevadas





Fundação Indireta



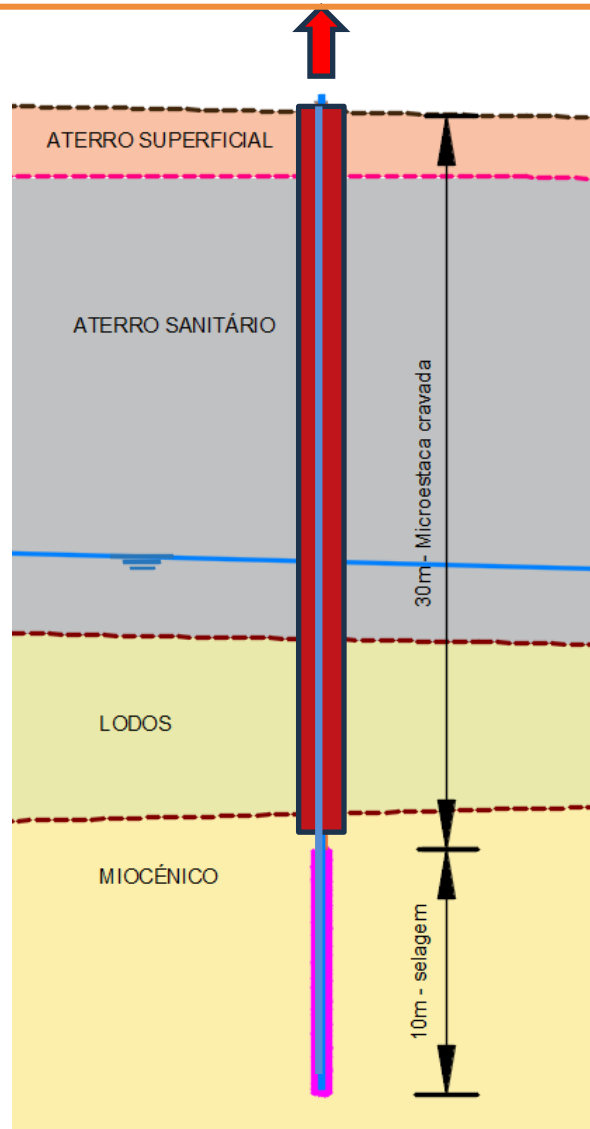
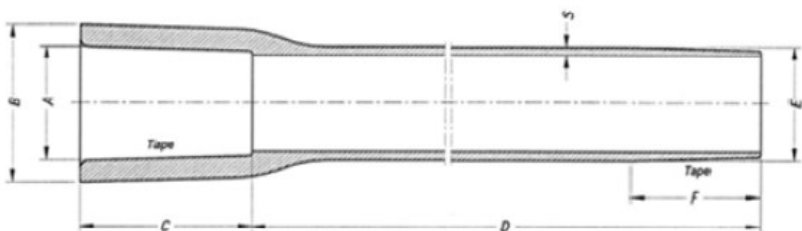
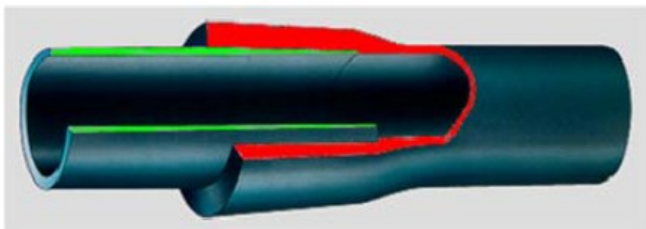


SOLUÇÃO DE FUNDAÇÃO INDIRETA (PALCO)

- Microestacas cravadas por via seca - $\varnothing 170 \times 7,5 \text{ mm}$, reforçadas com $3\varnothing 32$

SOLUÇÃO DE FUNDAÇÃO INDIRETA (COBERTURA)

- Microestacas cravadas por via seca - $\varnothing 170 \times 7,5 \text{ mm}$, reforçadas interiormente com barra autoperfurante com 64mm e bit perdido de 135mm, selada 10m no substrato Miocénico.



SOLUÇÃO DE FUNDAÇÃO INDIRETA (PALCO)

- Microestacas cravadas por via seca - $\varnothing 170 \times 7,5 \text{mm}$, reforçadas com 3Ø32

SOLUÇÃO DE FUNDAÇÃO INDIRETA (COBERTURA)

- Microestacas cravadas por via seca - $\varnothing 170 \times 7,5 \text{mm}$, reforçadas com autoperfurante com 64mm e bit perdido de 135mm no interior, selada 10m no Miocénico.







ÍNDICE

- ❑ INTRODUÇÃO

- ❑ CASO DE OBRA
 - ❑ PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

 - ❑ SOLUÇÕES ADOTADAS

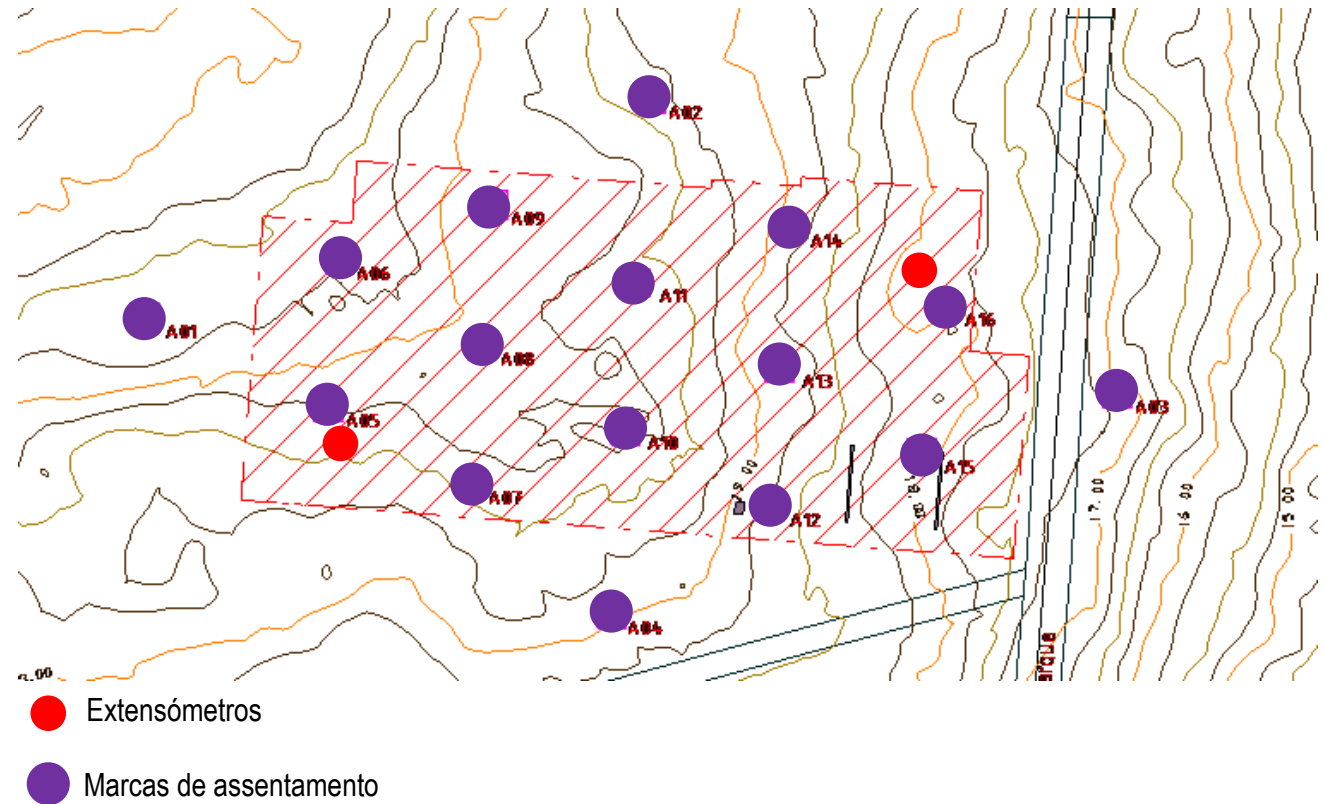
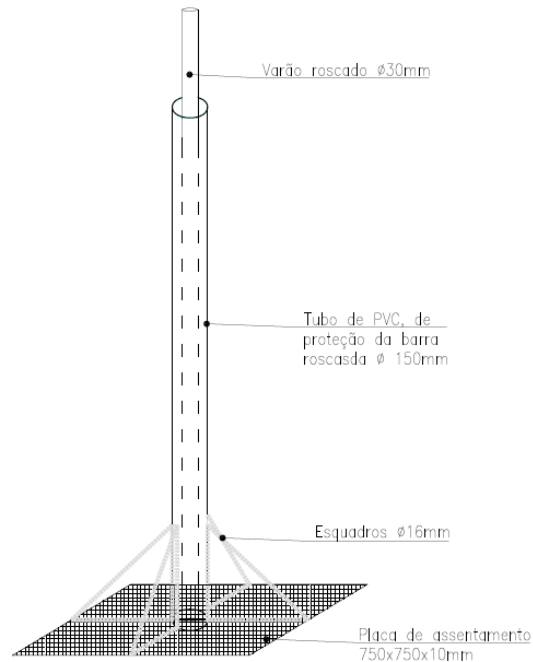
 - ❑ PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO (PIO)

 - ❑ ENSAIOS DE CARGA DAS MICROESTACAS CRAVADAS

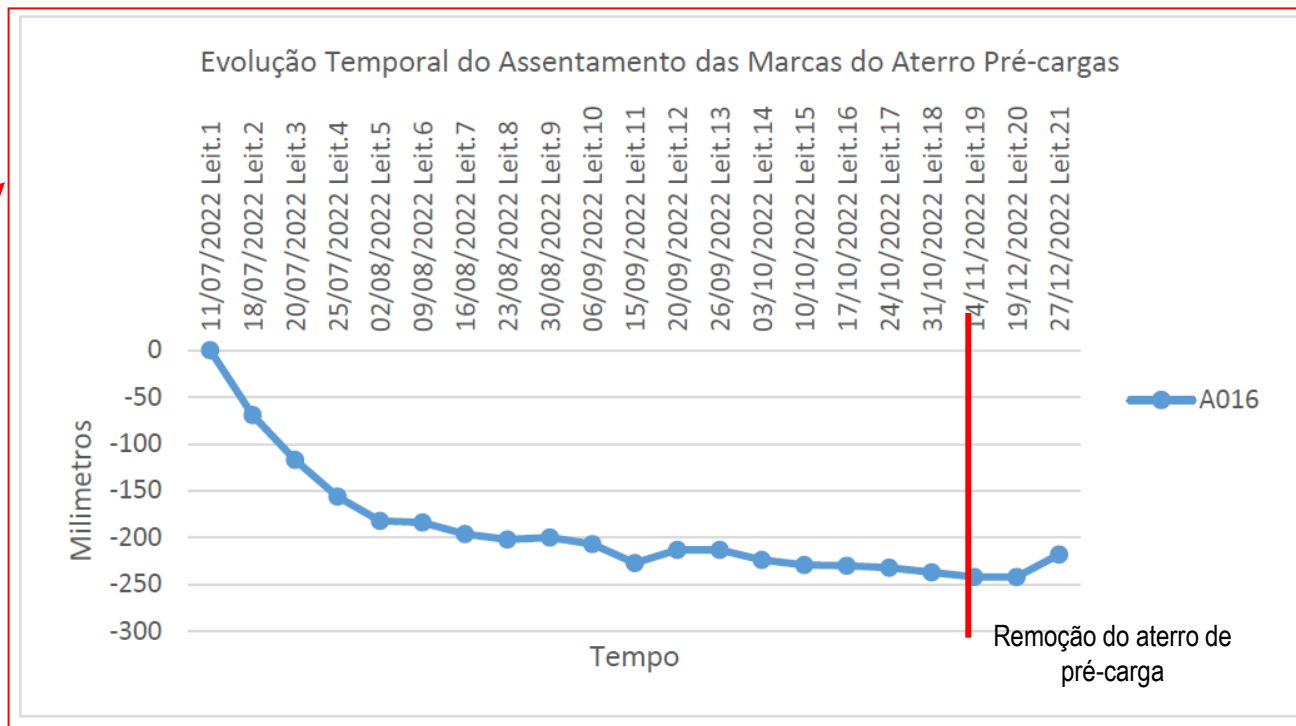
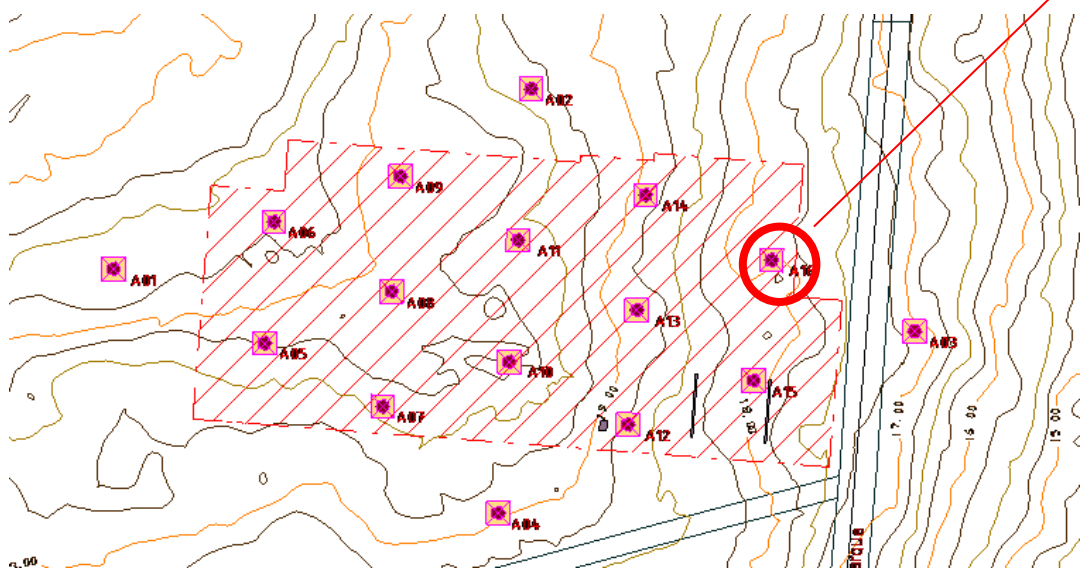
- ❑ CONSIDERAÇÕES FINAIS

APARELHOS INSTALADOS

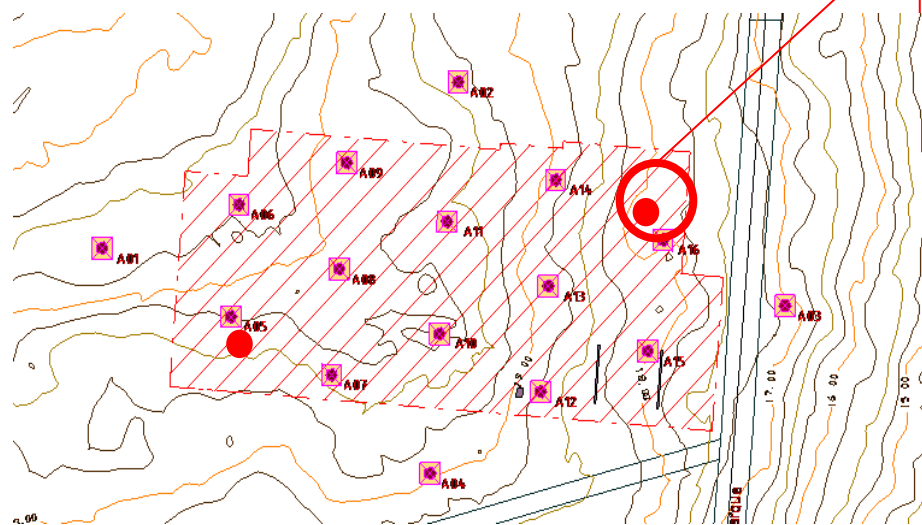
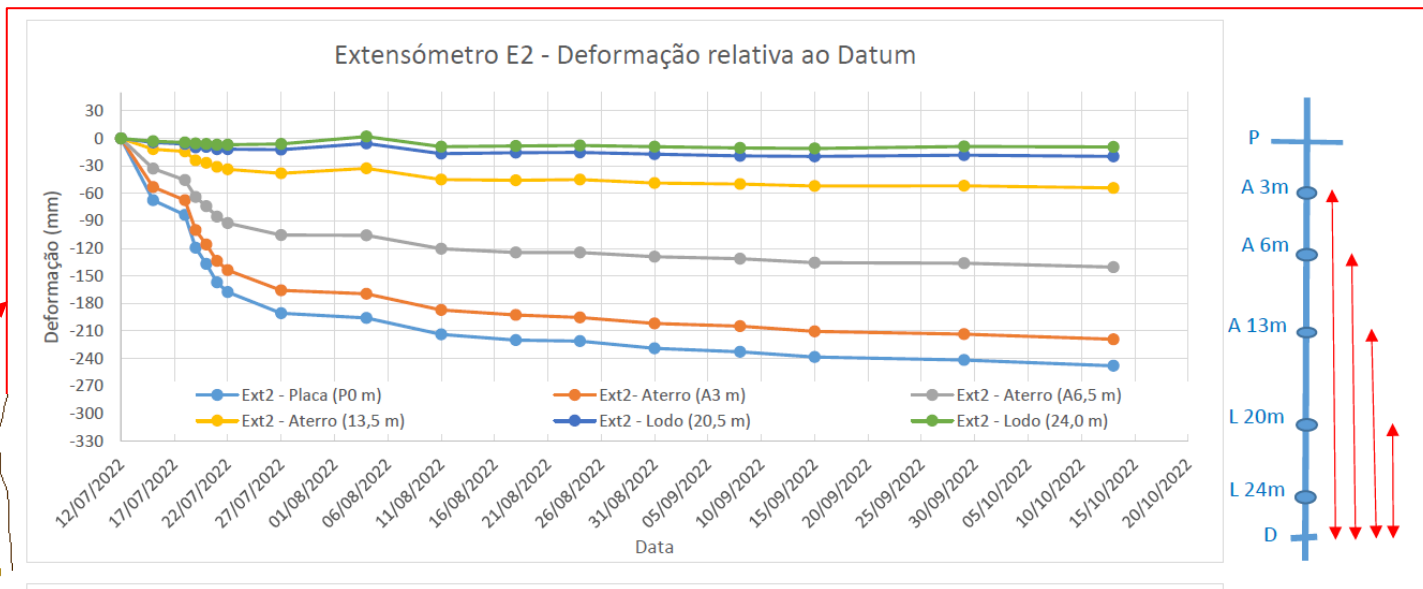
- Marcas de assentamento (16 unidades);
- Extensómetros (2 unidades)



- Em 3 meses:
 - 25cm de assentamento máximo



- A maior deformação ocorre na zona superficial do aterro sendo progressivamente menor em profundidade



ÍNDICE

- ❑ INTRODUÇÃO

- ❑ CASO DE OBRA
 - ❑ PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

 - ❑ SOLUÇÕES ADOTADAS

 - ❑ PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO (PIO)

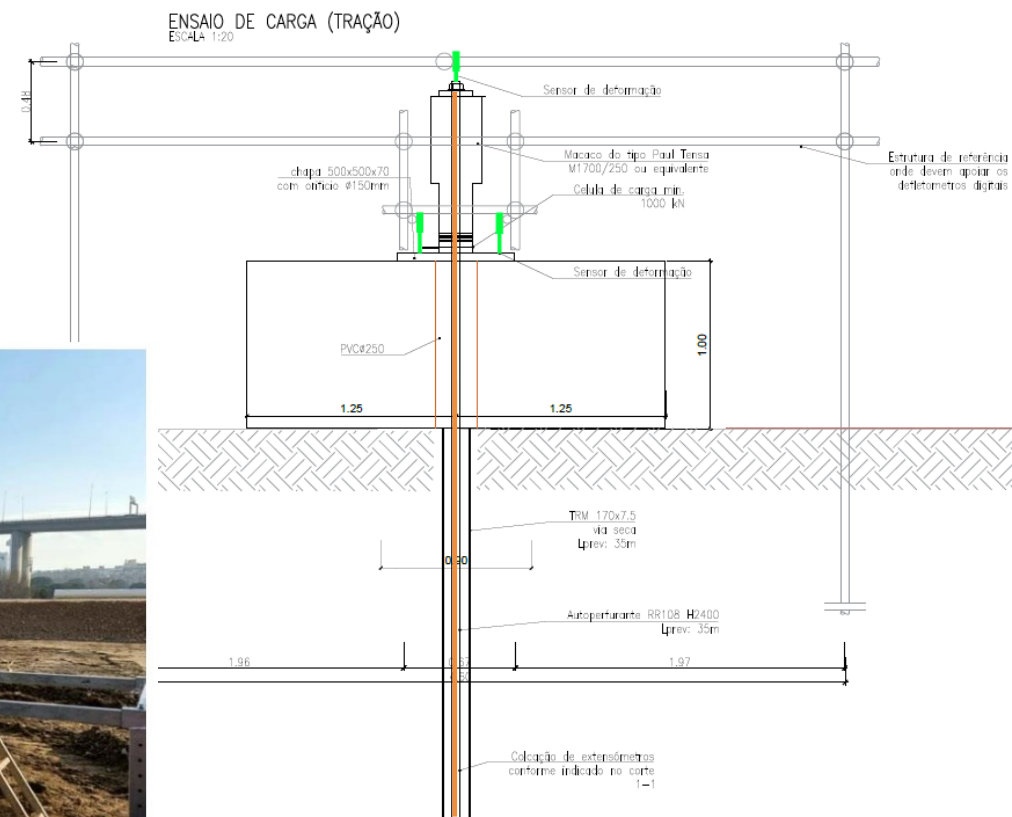
 - ❑ ENSAIOS DE CARGA DAS MICROESTACAS CRAVADAS

- ❑ CONSIDERAÇÕES FINAIS

ENSAIO DE CARGA DE TRAÇÃO - TRM Ø170X7,5mm+Autoperfurante RR108 H2400

com bit de 135mm

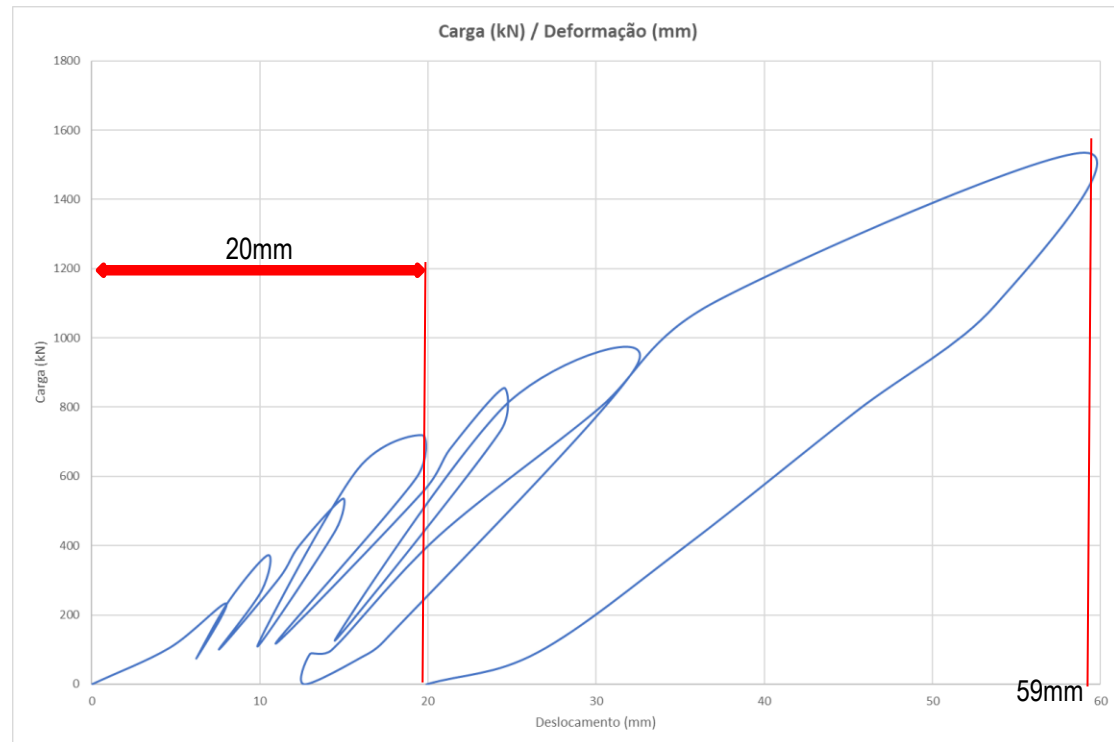
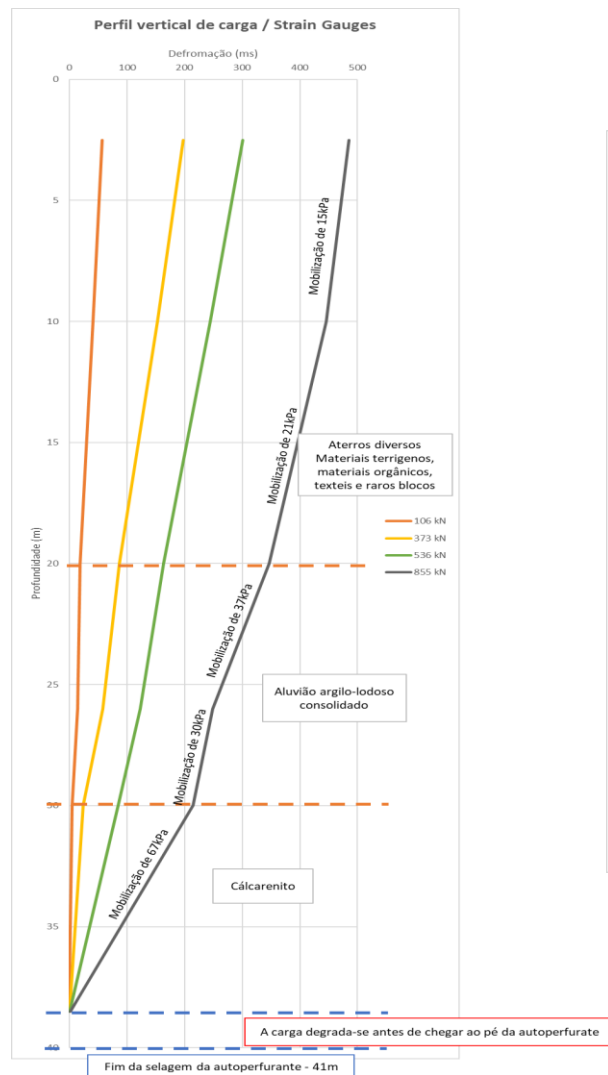
- 4 ciclos até à carga máxima : 922kN
- 5º ciclo (adicional): 1598kN
 - Não se verificou rotura



■ Instalação de extensómetros

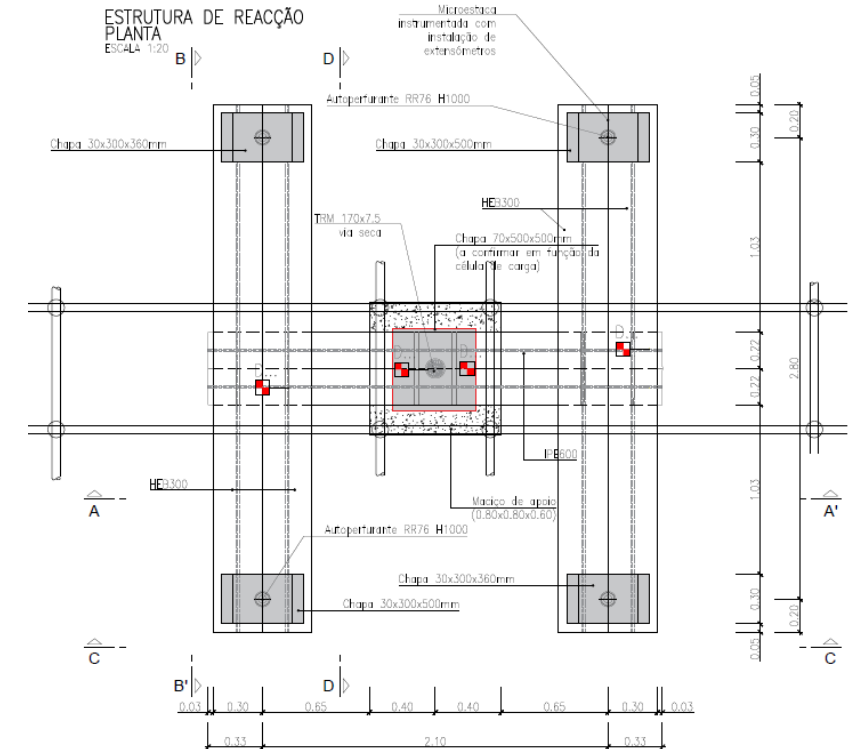


- A carga degrada-se antes de chegar à base do varão autoperfurante (a 2m)



ENSAIO DE CARGA DE COMPRESSÃO - TRM Ø170X7,5mm

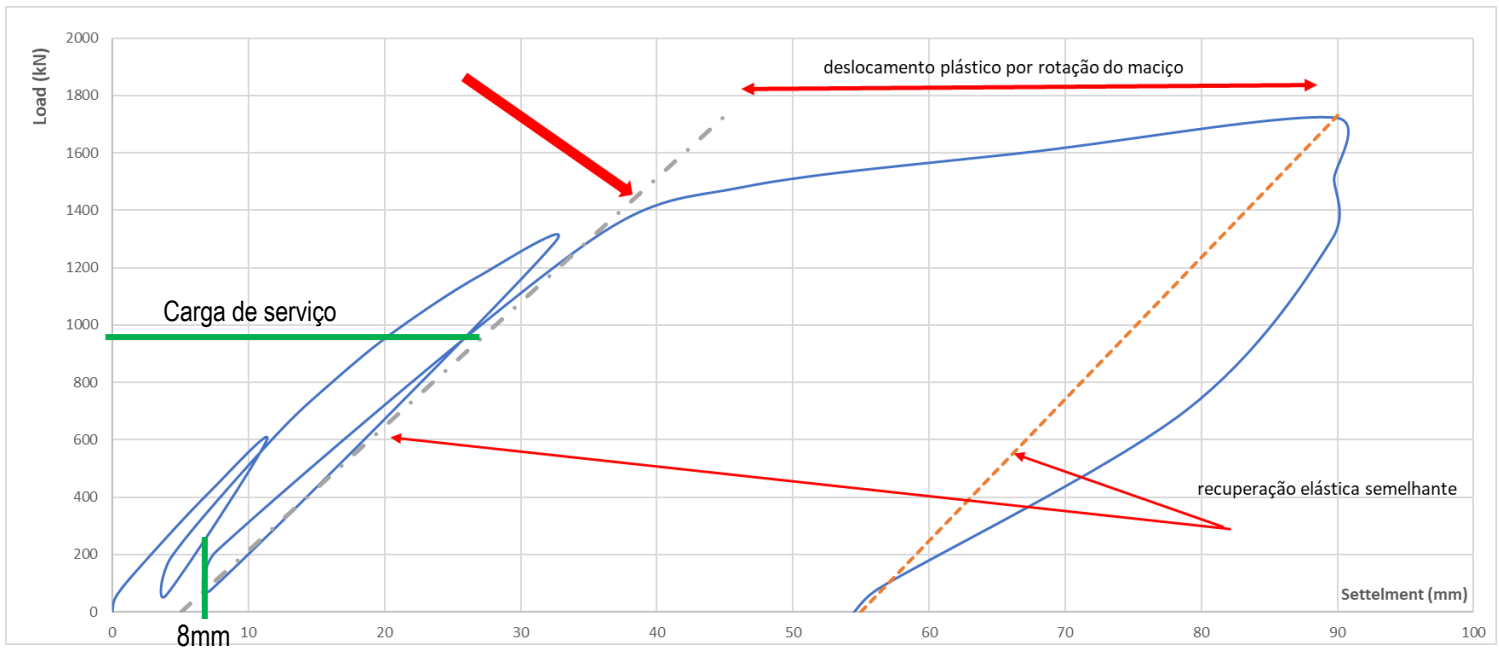
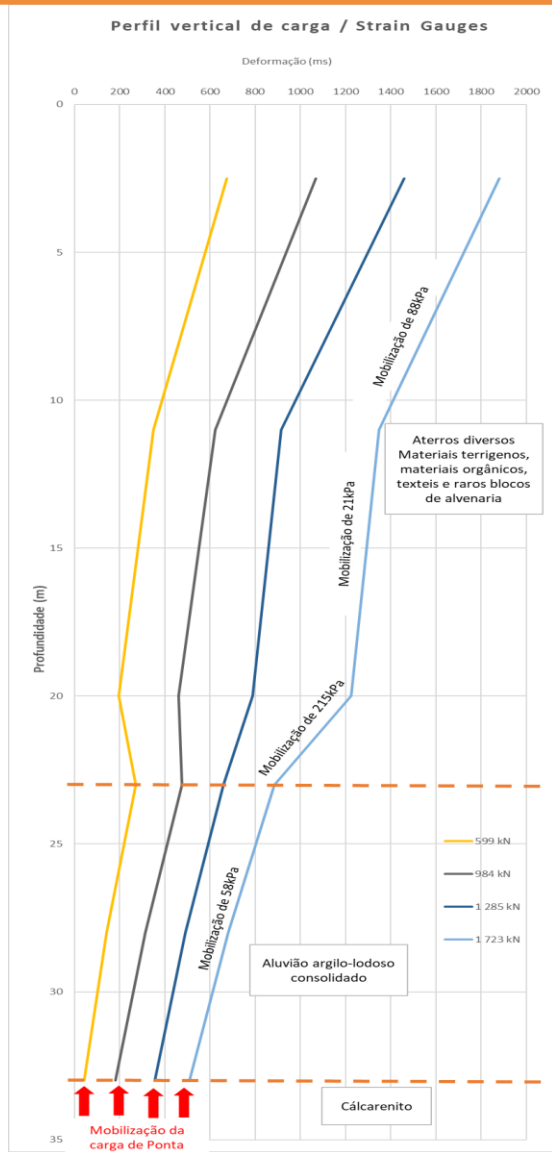
- Carga prevista: 1820kN
- Instabilidade do maciço devido a excentricidade da carga por desalinhamento do eixo da microestacas: 1400kN
- Carga final: 1723kN



ENSAIO DE CARGA DE COMPRESSÃO - TRM Ø170X7,5mm

- Carga prevista: 1820kN
- Instabilidade do maciço devido a excentricidade da carga por desalinhamento do eixo da microestacas de ensaio: 1400kN
- Carga final: 1723kN





- Verifica-se uma capacidade de transmissão de carga significativa ao aterro com mobilização de 88kPa entre os 2,5 e os 11m de profundidade e mobilização de 215kPa entre os 20 e os 23m de profundidade.
- Carga de ponta mobilizada é da ordem dos 600kN para uma carga da ordem dos 1700kN

ÍNDICE

- ❑ INTRODUÇÃO

- ❑ CASO DE OBRA
 - ❑ PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

 - ❑ SOLUÇÕES ADOTADAS

 - ❑ PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO (PIO)

 - ❑ ENSAIOS DE CARGA DAS MICROESTACAS CRAVADAS

- ❑ CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mínimo impacto ambiental:

- Sem extração de terreno (Microestacas cravadas)
- Fundação indireta apenas onde estritamente necessário (Zona traseira)

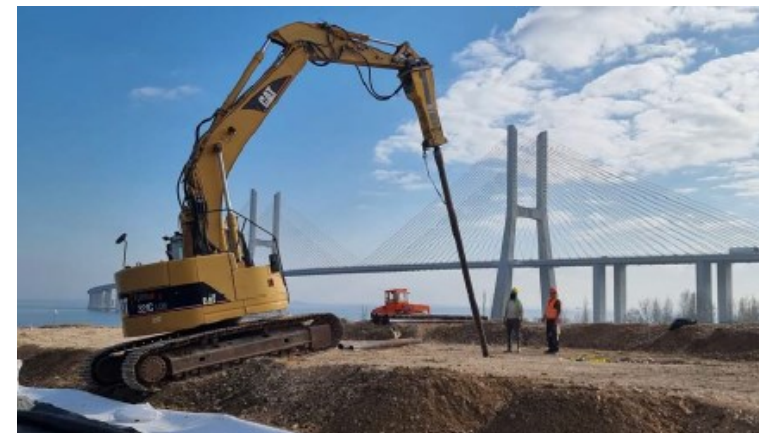


Mínimo impacto ambiental:

- Sem extração de terreno (Microestacas cravadas)
- Fundação indireta apenas onde estritamente necessário (Zona traseira)

Rápida montagem e (eventual) desmontagem:

- Maioria dos elementos são pré-fabricados



Mínimo impacto ambiental:

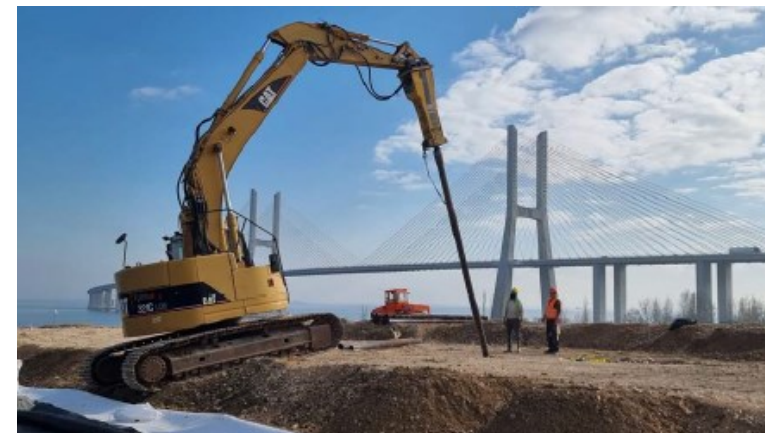
- Sem extração de terreno (Microestacas cravadas)
- Fundação indireta apenas onde estritamente necessário (Zona traseira)

Rápida montagem e (eventual) desmontagem:

- Maioria dos elementos são pré-fabricados

Validação da solução com ensaios de carga:

- Em tração, verificou-se excelente resposta à capacidade de carga para um comprimento de selagem de 10m no Miocénico, permitindo validar os pressupostos de base do Projeto de Fundações da cobertura do palco
- A solução ensaiada em compressão apresenta boa resposta, no mínimo até à carga de 1.500kN, sem evidências de instabilidade lateral por encurvadura, o que permitiu validar a solução de fundações da zona traseira do palco



OBRIGADA PELA ATENÇÃO!

