



# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



Realização:



Organização:





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



# SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA HOTEL MELIÃ

Miriam Lopes, JETsj Geotecnia Lda, [mlopes@jetsj.com](mailto:mlopes@jetsj.com)

Alexandre Pinto, JETsj Geotecnia Lda, [apinto@jetsj.com](mailto:apinto@jetsj.com)

Neuza Carvalho, JETsj Geotecnia Lda, [ncarvalho@jetsj.com](mailto:ncarvalho@jetsj.com)

Catarina Fartaria, JETsj Geotecnia Lda, [cfartaria@jetsj.com](mailto:cfartaria@jetsj.com)



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÃ

## ÍNDICE:

1. ENQUADRAMENTO
2. CONDICIONAMENTOS
3. SOLUÇÕES PROPOSTAS
4. MODELOS DE CÁLCULO
5. INSTRUMENTAÇÃO E MONITORIZAÇÃO
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÃ

## ÍNDICE:

1. ENQUADRAMENTO
2. CONDICIONAMENTOS
3. SOLUÇÕES PROPOSTAS
4. MODELOS DE CÁLCULO
5. INSTRUMENTAÇÃO E MONITORIZAÇÃO
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



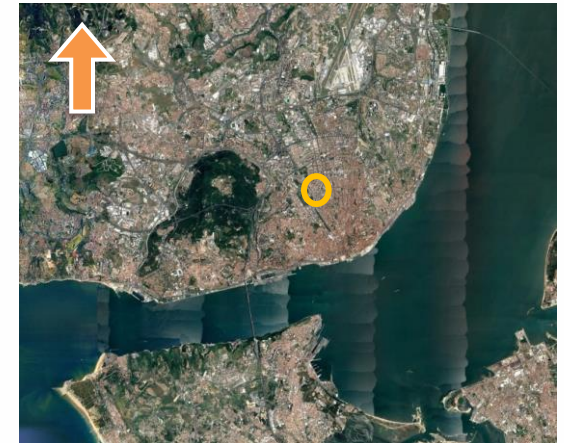
**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÀ

# 1. ENQUADRAMENTO LOCALIZAÇÃO



Lisboa



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÃ

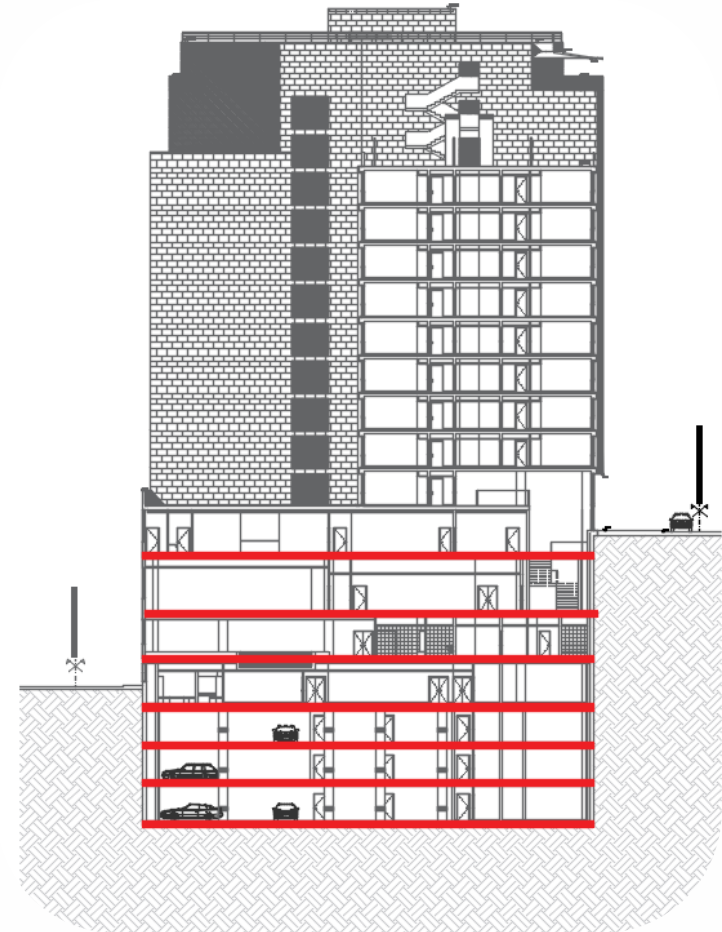
# 1. ENQUADRAMENTO EMPREENHIMENTO

- Nova unidade hoteleira: Hotel Meliã
- Área em planta: 1430m<sup>2</sup>/pisos
- 12 pisos elevados
- 3 pisos semi-enterrados
- 3 pisos enterrados

Escavação em Meio Urbano



Multiplicidade de Condicionantes





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÃ

## ÍNDICE:

1. ENQUADRAMENTO
2. CONDICIONAMENTOS
3. SOLUÇÕES PROPOSTAS
4. MODELOS DE CÁLCULO
5. INSTRUMENTAÇÃO E MONITORIZAÇÃO
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÃ

## 2. CONDICIONAMENTOS CONDIÇÕES DE VIZINHANÇA

- Infraestruturas no subsolo
- Viaduto Av. FPM
- Edifício adjacente e edifícios vizinhos
- Galeria do Metropolitano de Lisboa (ML)
- Túnel do Marques de Pombal (TM)





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA

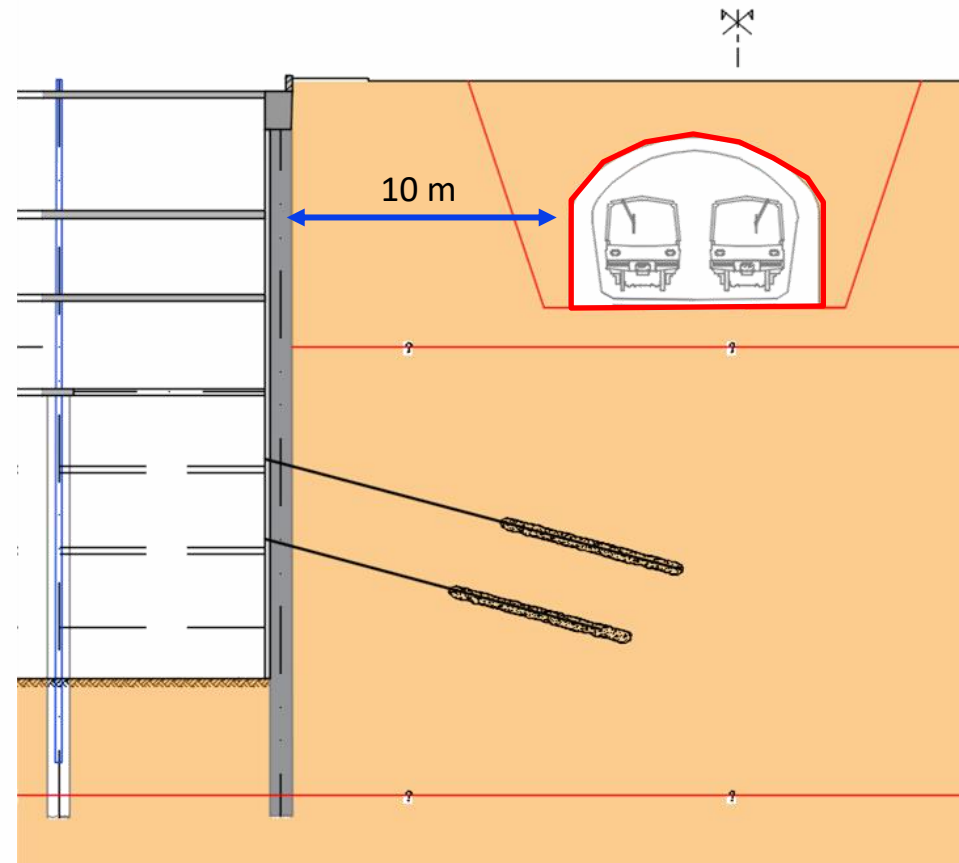
HOTEL MELIÃ

Av. Fontes  
Pereira de Melo

## 2. CONDICIONAMENTOS CONDIÇÕES DE VIZINHANÇA

### GALERIA DO METRÔ DE LISBOA

- Preservar a integridade da galeria do ML;
- Galeria em betão simples;
- Estrutura sensível;
- Localização <25m;
- Cumprimento dos procedimentos especificados no documento “Interferências de terceiros em estruturas ML em exploração”.





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTÉCNICOS JÓVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTÉCNICA - CLBG

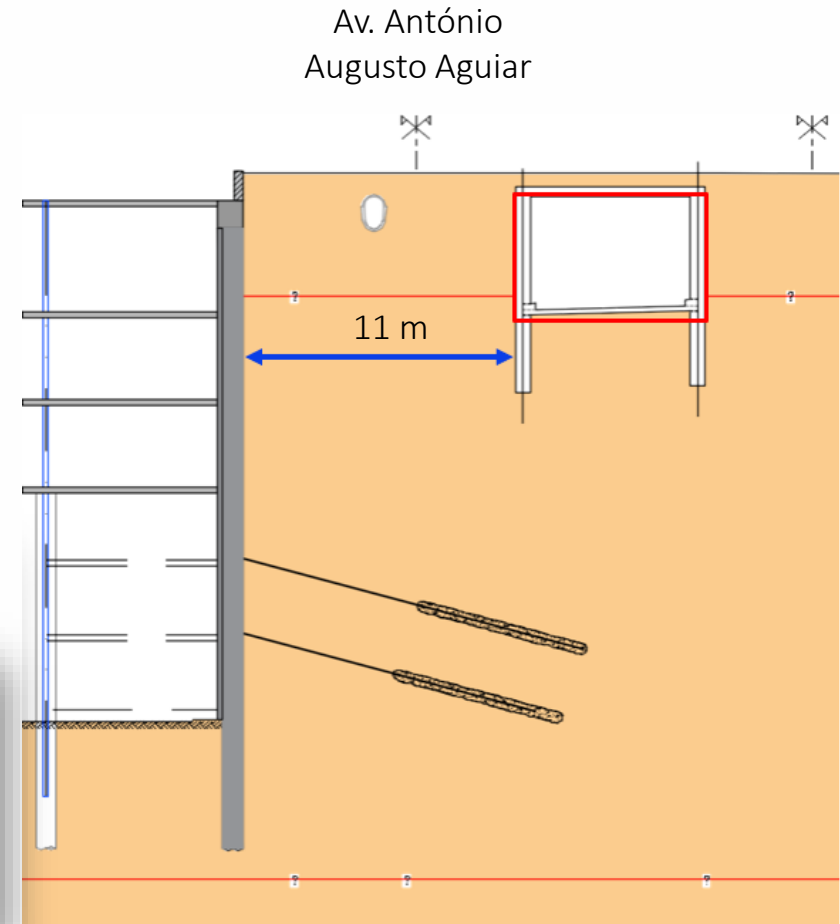


SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÀ

## 2. CONDICIONAMENTOS CONDIÇÕES DE VIZINHANÇA

### TÚNEL DO MARQUÊS DE POMBAL

- Preservar a integridade do túnel;
- Estrutura de contenção em cortina de estacas;
- Necessidade de monitoramento.





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÃ

## 2. CONDICIONAMENTOS ESTRUTURAS EXISTENTES

- Fundações dos edifícios existentes no lote
- Muro de suporte limítrofe





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÃ

## 2. CONDICIONAMENTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

### PLANO DE PROSPEÇÃO

- 3 Sondagens mecânicas com realização de ensaios SPT
- Ensaio Laboratoriais
  - Análise granulométrica
  - Determinação dos limites de consistência de Atterberg (LL e LP)
  - Ensaio de Corte direto do Tipo CU
- 1 Carote no muro de suporte limítrofe





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTÉCNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG









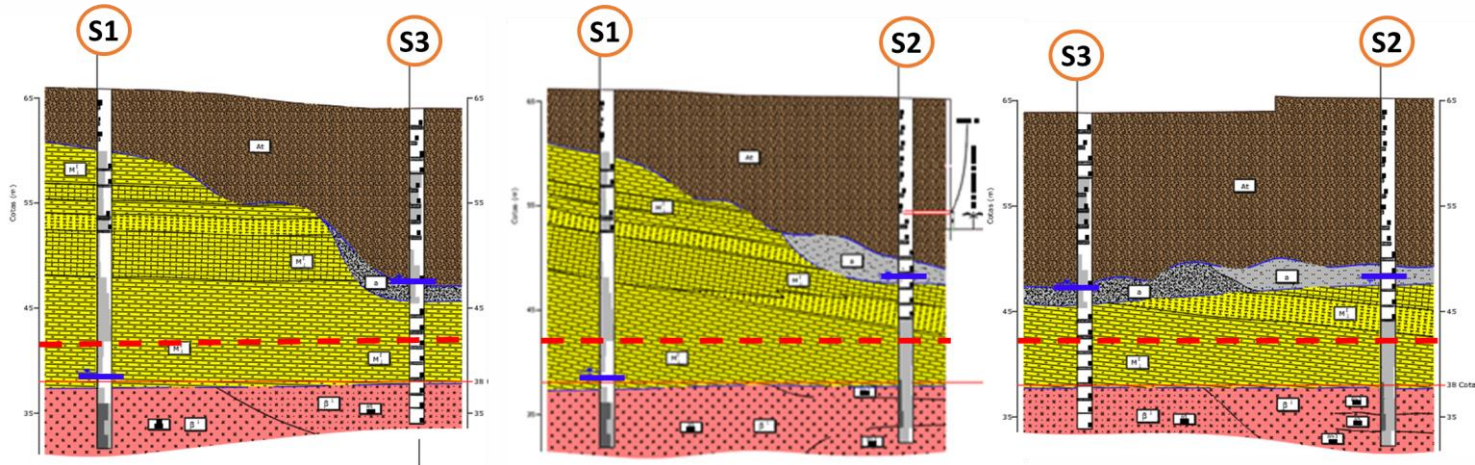
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÀ

## 2. CONDICIONAMENTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS



### LEGENDA

-  At - Depósitos de aterro
-  a - Depósitos aluvionares
-  M<sub>1</sub><sup>l</sup> - Argilas e Calcários dos Prazeres
-  β - Complexo Vulcânico de Lisboa
-  - - - Profundidade máxima de escavação
-  — Nível de água





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



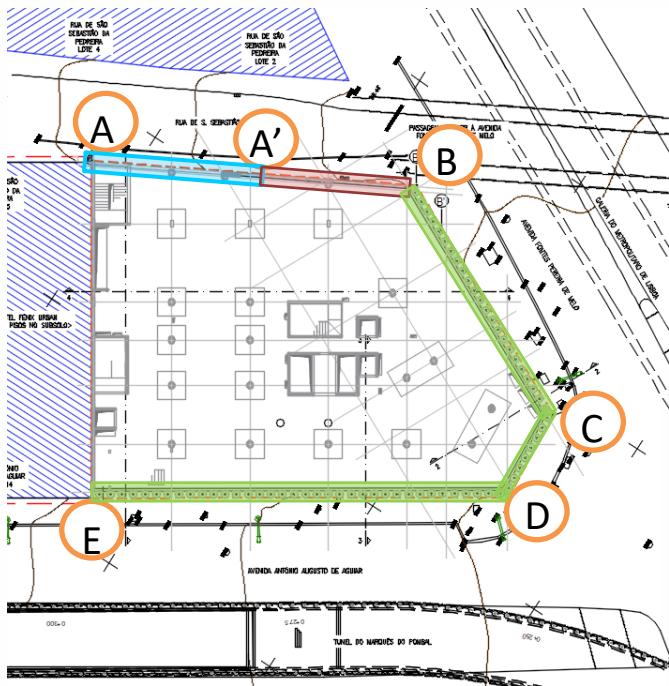
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÀ

## ÍNDICE:

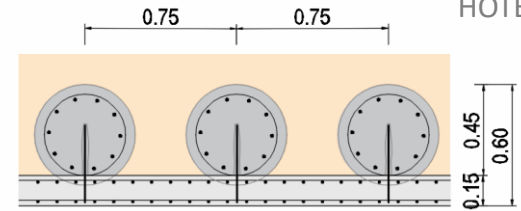
1. ENQUADRAMENTO
2. CONDICIONAMENTOS
3. SOLUÇÕES PROPOSTAS
4. MODELOS DE CÁLCULO
5. INSTRUMENTAÇÃO E MONITORIZAÇÃO
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



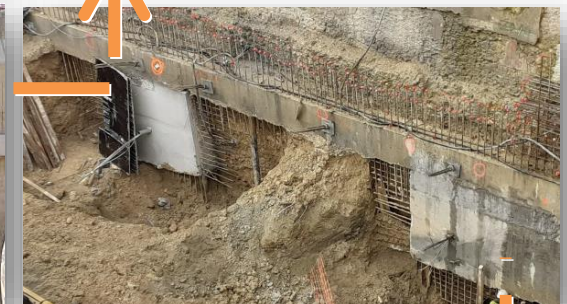
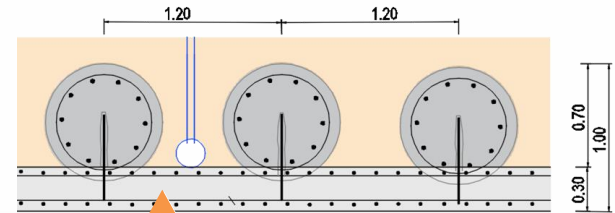
### 3. SOLUÇÕES PROPOSTAS



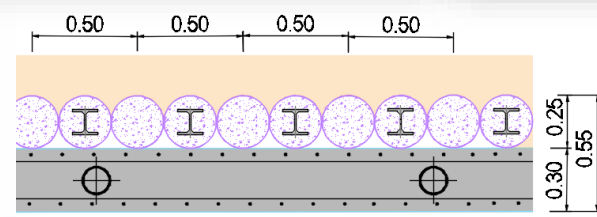
**Alçado AA'**  
Cortina de estacas  
 $\Phi 500\text{mm} // 0.75\text{m}$



**Alçado BCDE**  
Cortina de estacas  
 $\Phi 800\text{mm} // 1.20\text{m}$



**Alçado A'B**  
Colunas de calda de cimento  
armadas  $\Phi 250\text{mm} // 0.25\text{m}$  +  
Berlim Definitivo





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTÉCNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTÉCNICA - CLBG

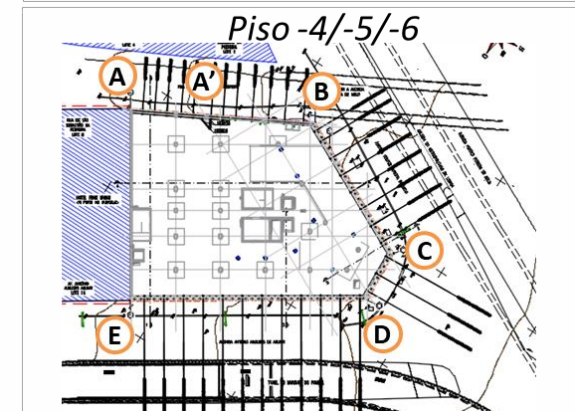
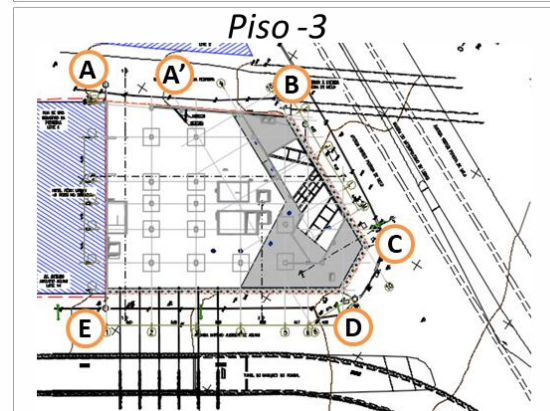
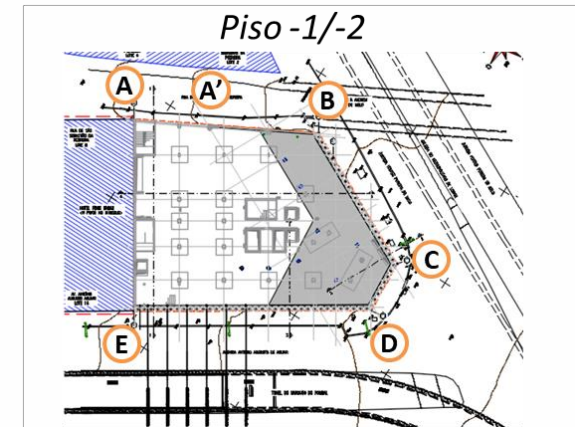
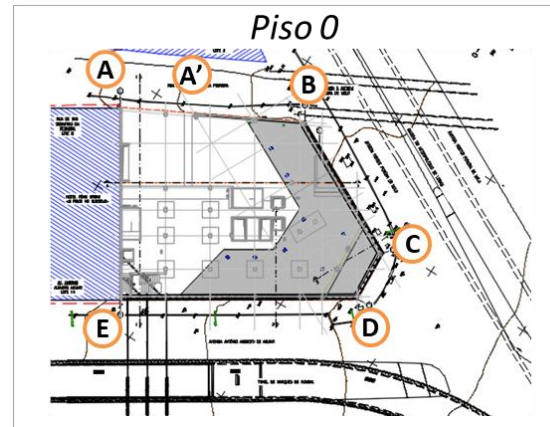


SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÀ

## 3. SOLUÇÕES PROPOSTAS

### TRAVAMENTOS

- Trechos de laje nos níveis superiores.
- Tirantes protendidos nos níveis inferiores.
- Pórtico de reação no alçado A'B.





**COBRAMSEG 2022**

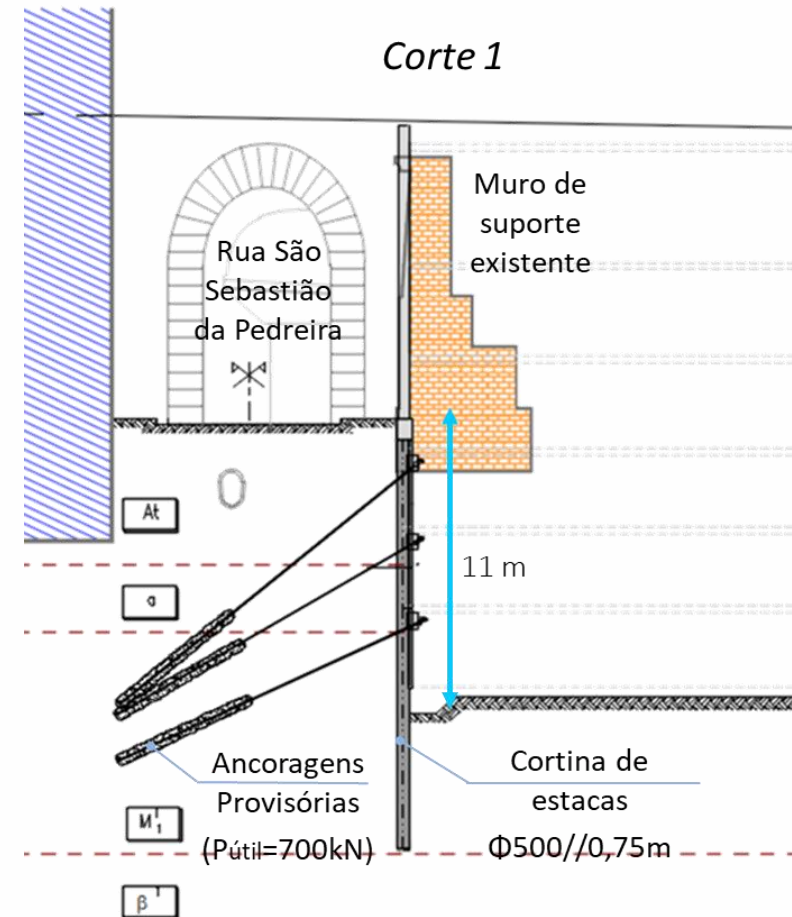
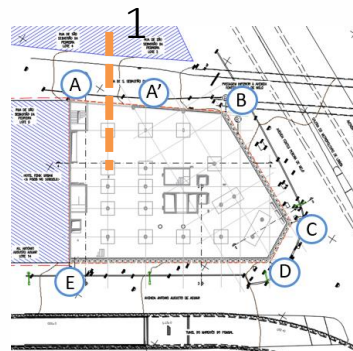
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÀ

## 3. SOLUÇÕES PROPOSTAS ALÇADO A-A'

- Demolição do muro existente;
- Cortina de estacas escavadas  $\Phi 500//0.75\text{m}$ ;
- 3 Níveis de tirantes provisórios.





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

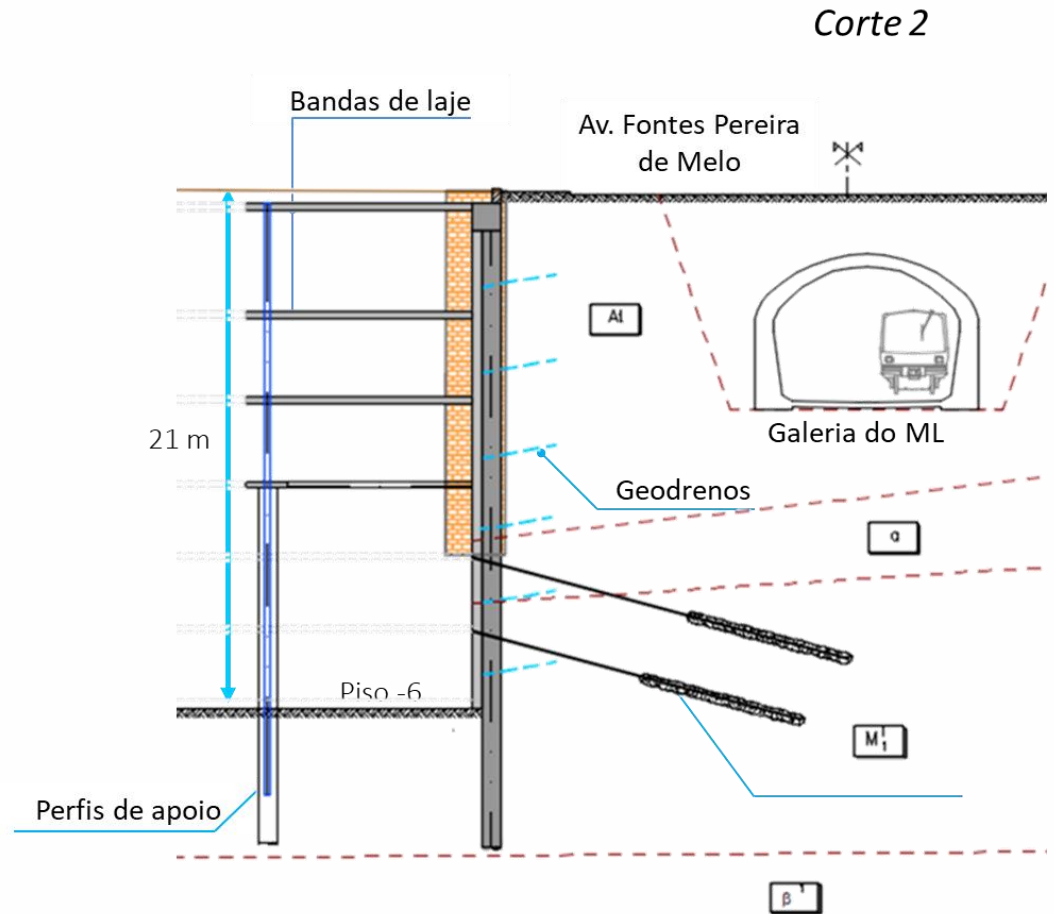
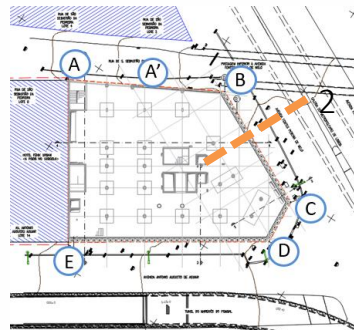
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÃ

## 3. SOLUÇÕES PROPOSTAS ALÇADO B-C

- Cortina de estacas  $\Phi 800//1.20\text{m}$ ;
- Muro existente;
- 4 Níveis de trechos de laje;
- 2 Níveis de tirantes provisórios;
- Geodrenos sub-horizontais.





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

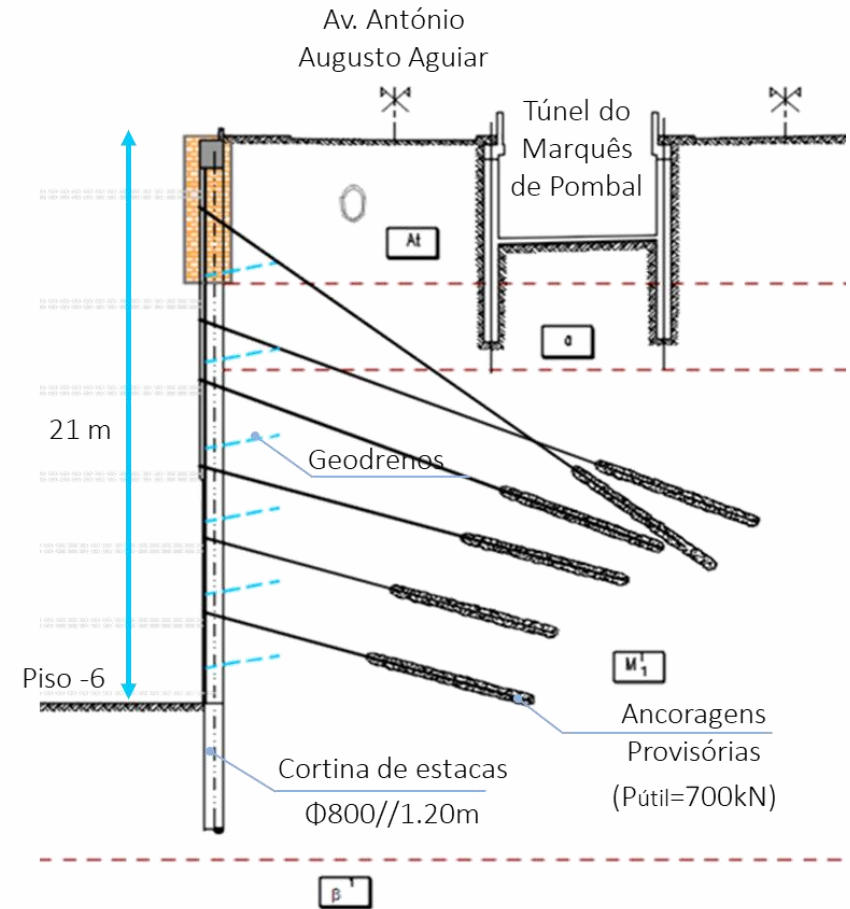
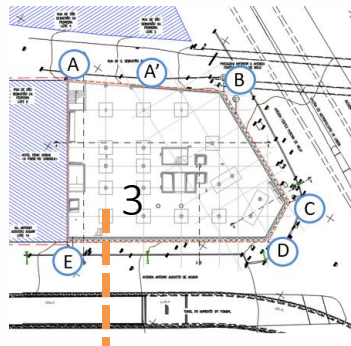
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÄ

## 3. SOLUÇÕES PROPOSTAS ALÇADO D-E

- Cortina de Estacas  $\Phi 800//1.20\text{m}$ ;
- Muro existente;
- 6 Níveis de ancoragens provisórias;
- Geodrenos sub-horizontais.







**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÀ

## 3. SOLUÇÕES PROPOSTAS





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÃ

## 3. SOLUÇÕES PROPOSTAS





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTÉCNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTÉCNICA - CLBG



**JET**<sup>SJ</sup>  
Brasil



**JET**<sup>SJ</sup>

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÀ

## 3. SOLUÇÕES PROPOSTAS





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÃ

## ÍNDICE:

1. ENQUADRAMENTO
2. CONDICIONAMENTOS
3. SOLUÇÕES PROPOSTAS
4. MODELOS DE CÁLCULO
5. INSTRUMENTAÇÃO E MONITORIZAÇÃO
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



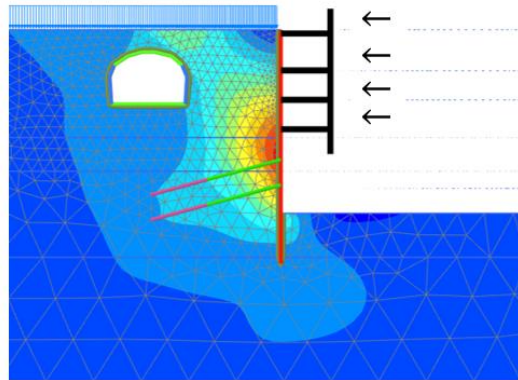
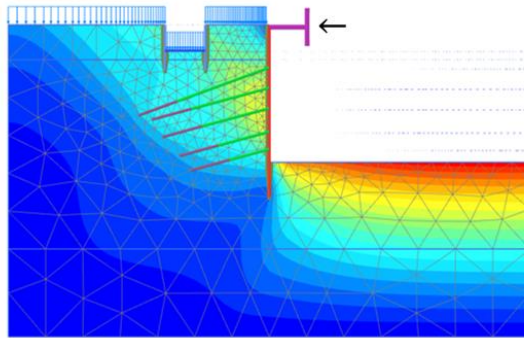
**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÀ

## 4. MODELOS DE CÁLCULO

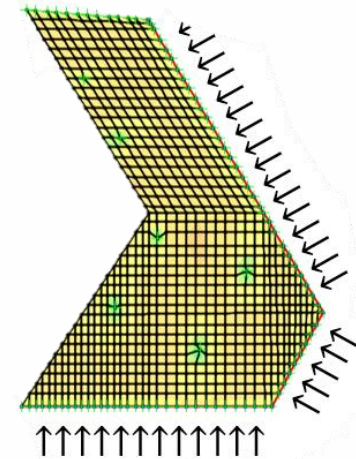
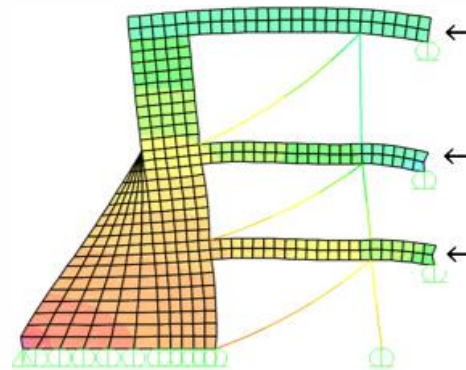


Software análise  
estrutural **PLAXIS 2D**



Software de elementos  
finitos **SAP2000**

Rigidez do apoio elástico obtido a partir da análise do comportamento do troço de laje e pórtico de travamento



Reação no apoio elástico usada como Ação ( $F_y$ ) no dimensionamento da laje e pórtico de travamento



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



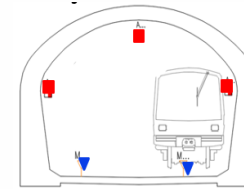
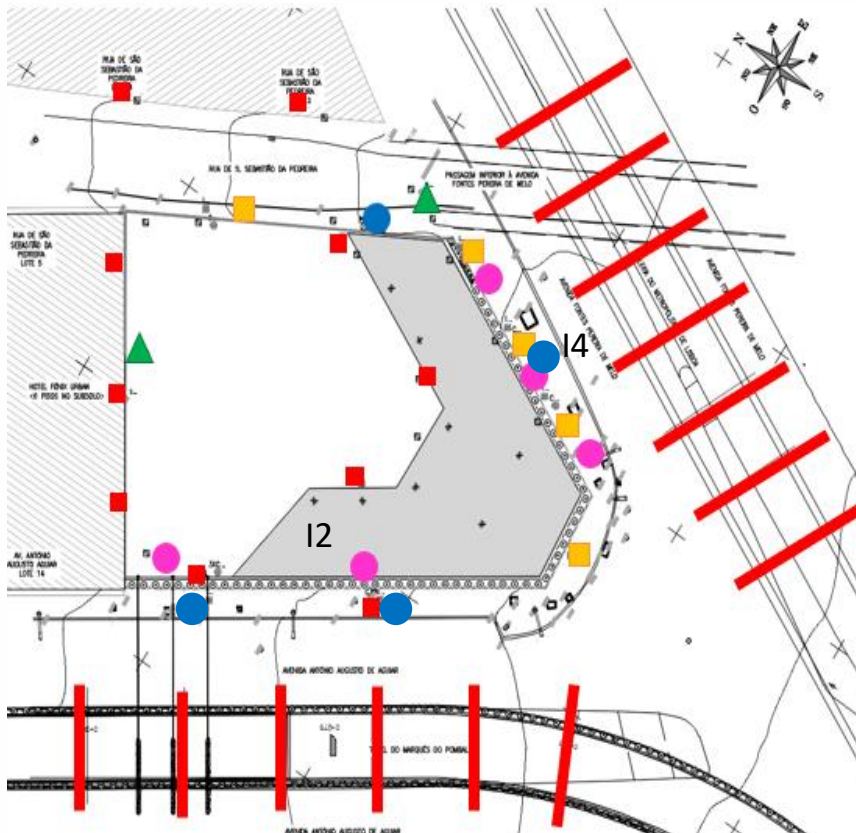
SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÃ

## ÍNDICE:

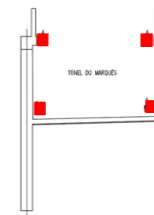
1. ENQUADRAMENTO
2. CONDICIONAMENTOS
3. SOLUÇÕES PROPOSTAS
4. MODELOS DE CÁLCULO
5. INSTRUMENTAÇÃO E MONITORIZAÇÃO
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



## 5. INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO



Secção de  
instrumentação  
Galeria do Metrô



Secção de  
instrumentação Túnel  
do Marquês

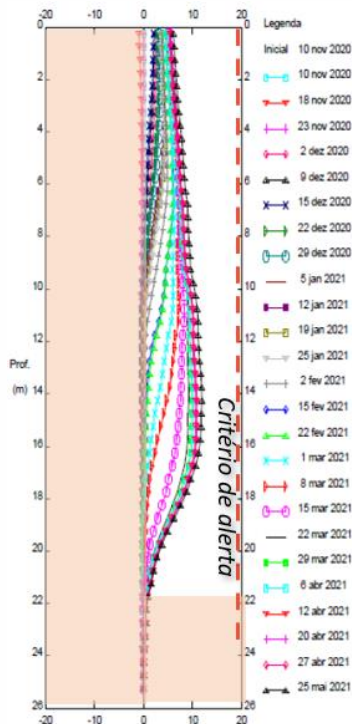
- Alvos topográficos
- Sismógrafos
- Células de carga
- Inclinómetros
- ▲ Piezómetros
- Secção de instrumentação



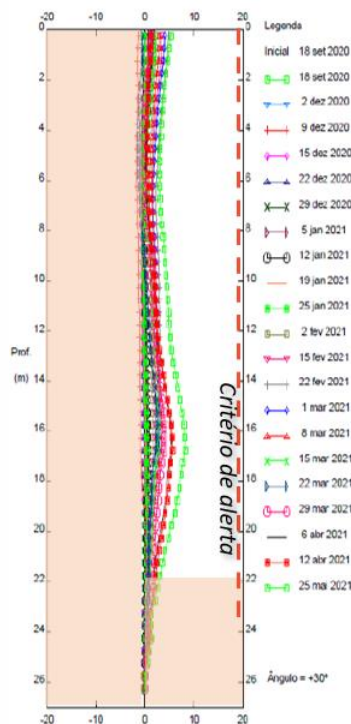
## 5. INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

### RESULTADOS: Estrutura de contenção

#### Inclinómetro I2



#### Inclinómetro I4



Deslocamento acumulado (direcção perpendicular à contenção)

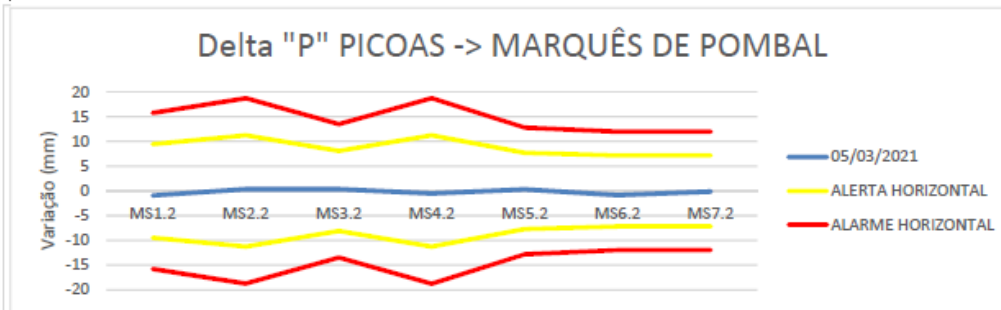
Estrutura	Critério de Alerta	Critério de Alarme
Estrutura de Contenção	$\Delta h = 25\text{mm}$	$\Delta h = 40\text{mm}$
	$\Delta v = 15\text{mm}$	$\Delta v = 25\text{mm}$

Movimentos estáveis  
 $\Delta x, \text{máx} = 10\text{mm} < \text{Critério de Alerta (25mm)}$

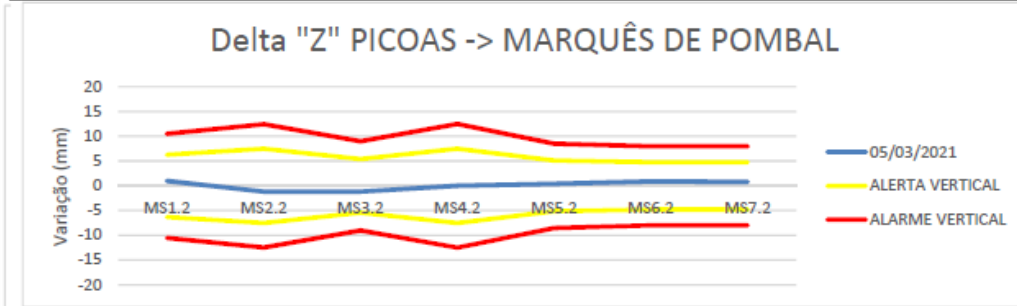


## 5. INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO RESULTADOS: Túnel do Metrô

CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME (SOBRE O EIXO "PP") | VIA ASCENDENTE



CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME (SOBRE O EIXO "ZZ") | VIA ASCENDENTE



Estrutura	Crítério de Alerta	Crítério de Alarme
Galeria do Metropolitano	$\Delta d = 7\text{mm}$	$\Delta d = 10\text{mm}$
Carris do Metropolitano	$\Delta v = 3\text{mm}$ para corda 6m	$\Delta v = 5\text{mm}$ para corda 6m
	$\Delta h = 3\text{mm}$ para corda 4m	$\Delta h = 5\text{mm}$ para corda 4m

Movimentos máximos registados

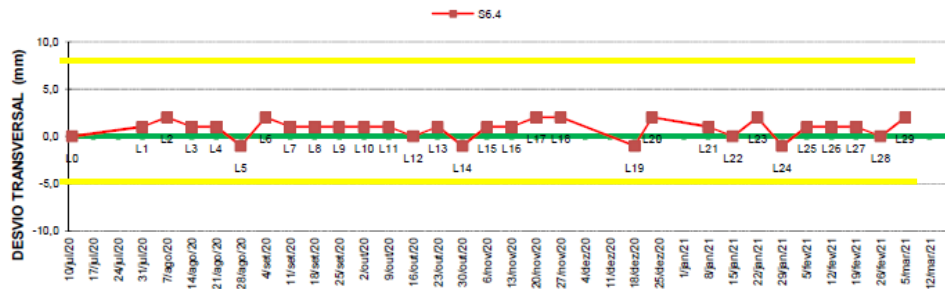
$\Delta y, \text{máx} = 4\text{mm}$

$\Delta z, \text{máx} = 4\text{mm}$

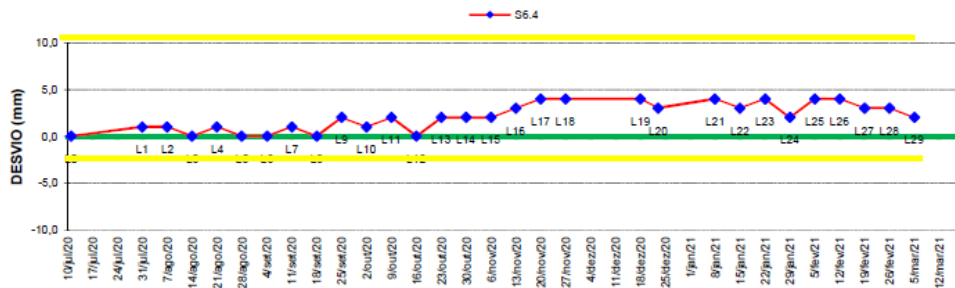


## 5. INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO RESULTADOS: Túnel do Marquês (Alvos topográficos)

### DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS NO TEMPO (SOBRE O EIXO "YY")



### DESLOCAMENTOS VERTICAIS NO TEMPO EM "Z"



Estrutura	Critério de Alerta	Critério de Alarme
Túnel do Marquês	$\Delta h = 7\text{mm}$ $\Delta v = 7\text{mm}$	$\Delta h = 10\text{mm}$ $\Delta v = 10\text{mm}$

Movimentos máximos registados

$\Delta y, \text{máx} = 3\text{mm}$

$\Delta z, \text{máx} = 4\text{mm}$



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÀ

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Enquadramento do empreendimento, implica a necessidade de definição de soluções compatíveis com a envolvente ao nível:
  - das estruturas/infraestruturas vizinhas;
  - das condições geológico-geotécnicas;
  - do faseamento construtivo;
  - da minimização de custos através da incorporação de elementos da estrutura definitiva;
  - da versatilidade/adaptabilidade ao cenário real em obra.
- Importância do sistema de instrumentação e observação na validação das soluções propostas.



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM LISBOA  
HOTEL MELIÃ

# OBRIGADO PELA VOSSA ATENÇÃO



Miriam Lopes, JETsj Geotecnia Lda, [mlopes@jetsj.com](mailto:mlopes@jetsj.com)

Alexandre Pinto, JETsj Geotecnia Lda, [apinto@jetsj.com](mailto:apinto@jetsj.com)

Neuza Carvalho, JETsj Geotecnia Lda, [ncarvalho@jetsj.com](mailto:ncarvalho@jetsj.com)

Catarina Fartaria, JETsj Geotecnia Lda, [cfartaria@jetsj.com](mailto:cfartaria@jetsj.com)



# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA

IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR

IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM

XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

Realização:



Apoio:



Organização:



Fone: +55 62 99977-8712

E-mail: [secretaria@qeeventos.com.br](mailto:secretaria@qeeventos.com.br)

[www.jeitoespecial.com.br](http://www.jeitoespecial.com.br)



# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



Realização:



Organização:





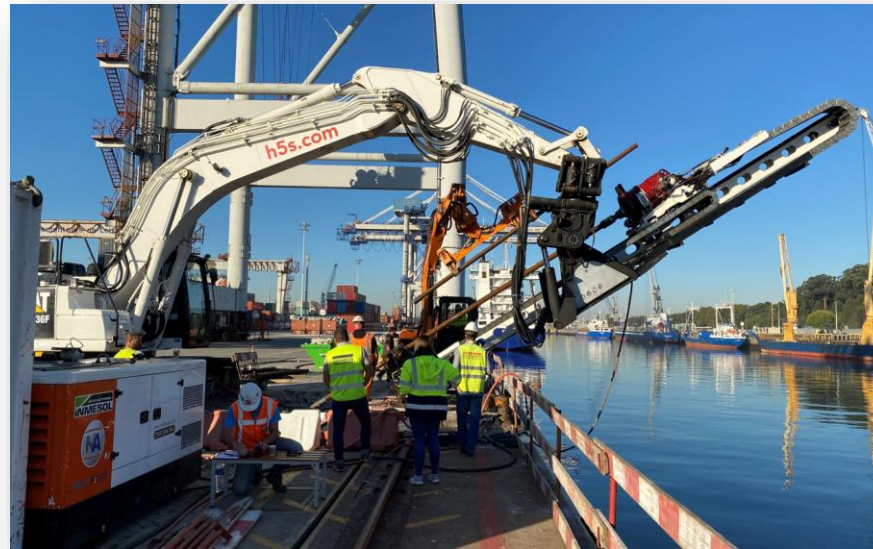
**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



# ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4 DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL



Catarina Fartaria, Engenheira Civil, JETsj Geotecnia Lda, Portugal, [cfartaria@jetsj.com](mailto:cfartaria@jetsj.com)

Marlene Dias, Engenheira Civil, MSW, Portugal, [mdias@msw-consultores.pt](mailto:mdias@msw-consultores.pt)

Carlos Caxias, Engenheiro Civil, [ANP-Systems GmbH](http://ANP-Systems GmbH), Austria, [carlos.caxias@anp-systems.at](mailto:carlos.caxias@anp-systems.at)



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## ÍNDICE:

1. INTRODUÇÃO
2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS
3. SOLUÇÕES ADOTADAS
4. ANÁLISES NUMÉRICAS E DIMENSIONAMENTO
5. TECNOLOGIA TIRANTE AUTO INJETÁVEL
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## ÍNDICE:

### 1. INTRODUÇÃO

2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

3. SOLUÇÕES ADOTADAS

4. ANÁLISES NUMÉRICAS E DIMENSIONAMENTO

5. TECNOLOGIA TIRANTE AUTO INJETÁVEL

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTÉCNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTÉCNICA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

# INTRODUÇÃO

## LOCALIZAÇÃO





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

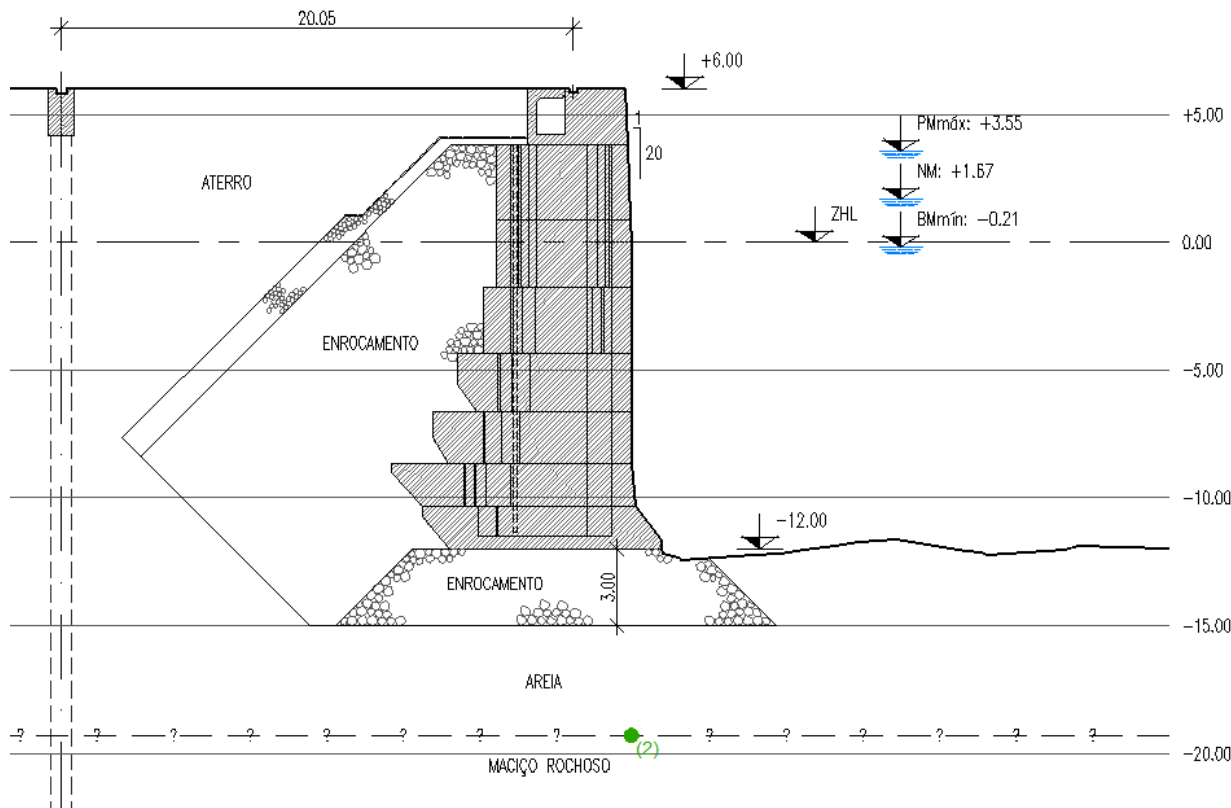
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## INTRODUÇÃO

### SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA



CORTE TRANSVERSAL

- Colunas de blocos pré-fabricados em betão simples
- Prisma de enrocamento
- Superestrutura betonada in situ.



**COBRAMSEG 2022**

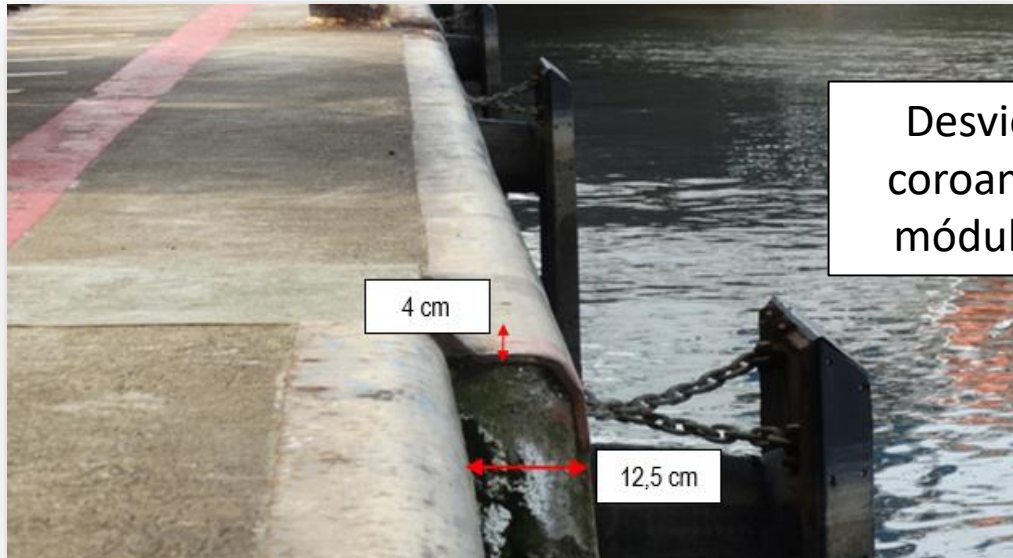
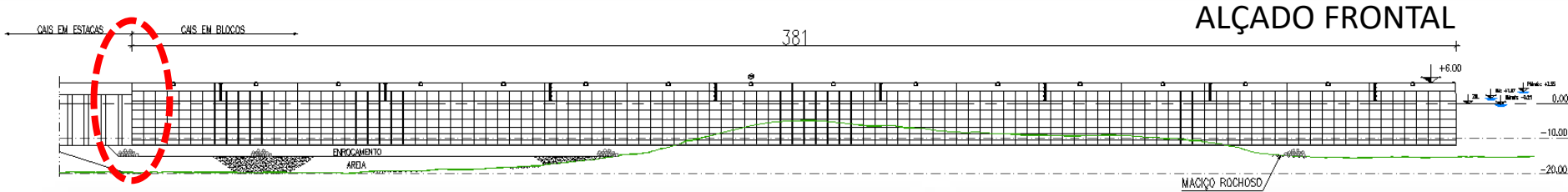
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



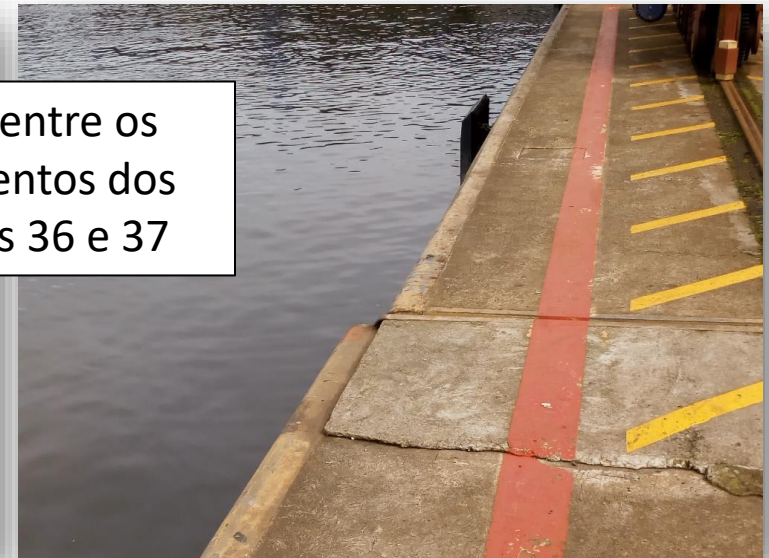
ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

# INTRODUÇÃO

## ANÓMALIAS IDENTIFICADAS



Desvio entre os  
coroamentos dos  
módulos 36 e 37





**COBRAMSEG 2022**

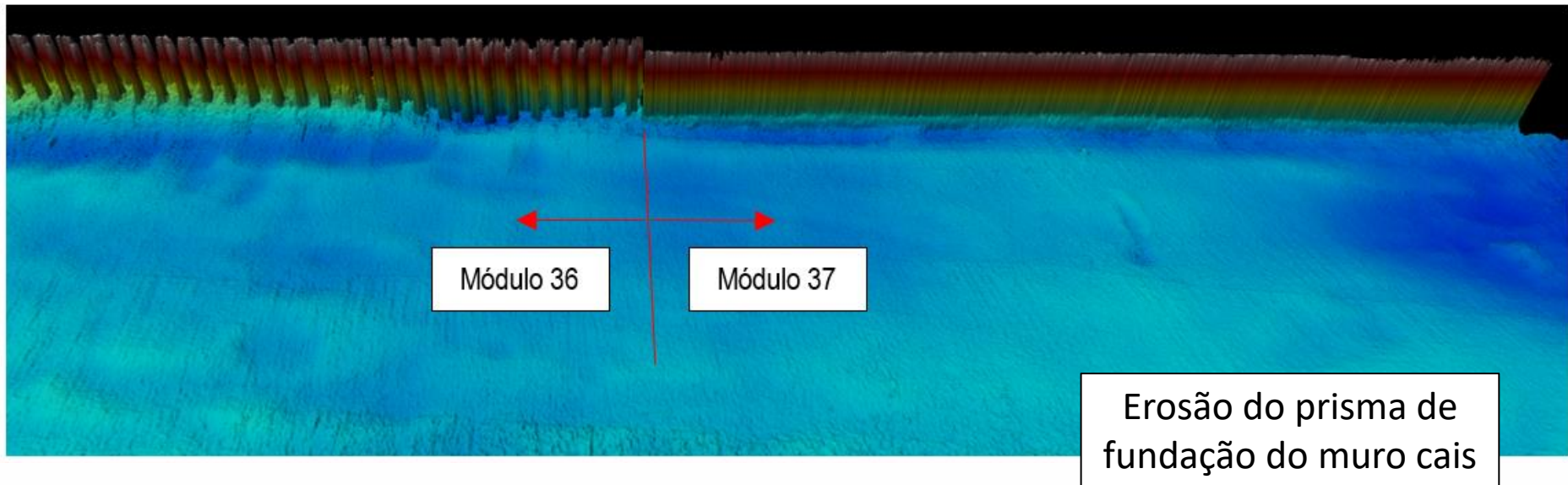
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

# INTRODUÇÃO

## ANÓMALIAS IDENTIFICADAS





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

# INTRODUÇÃO

## ANÓMALIAS IDENTIFICADAS

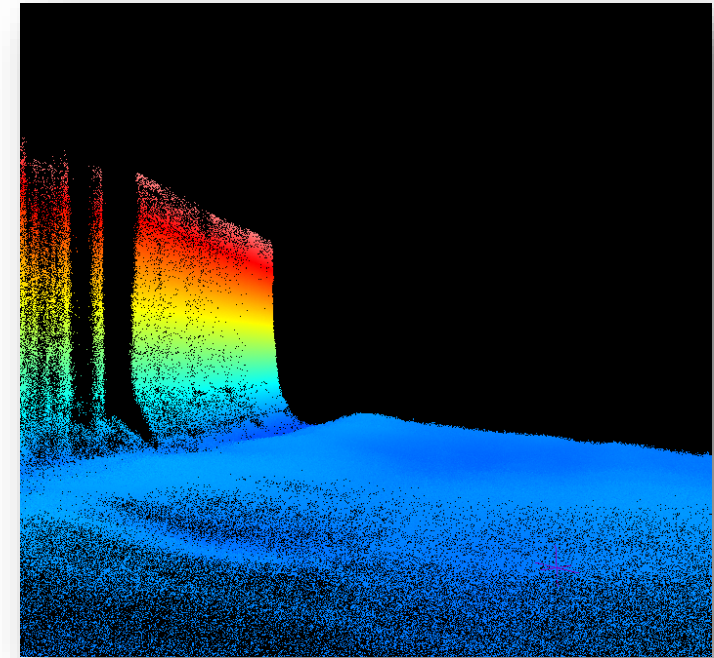
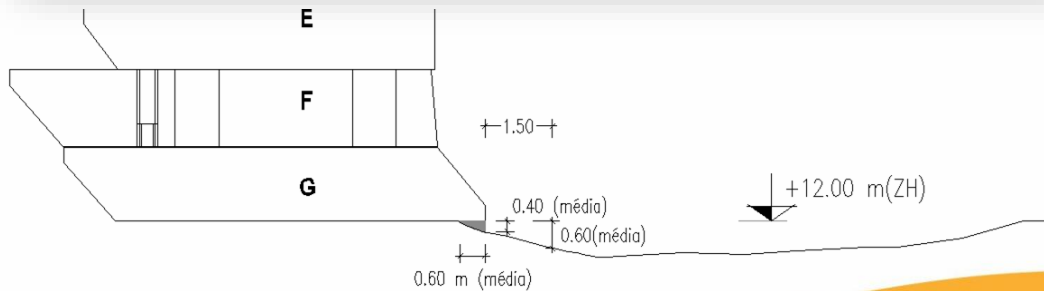
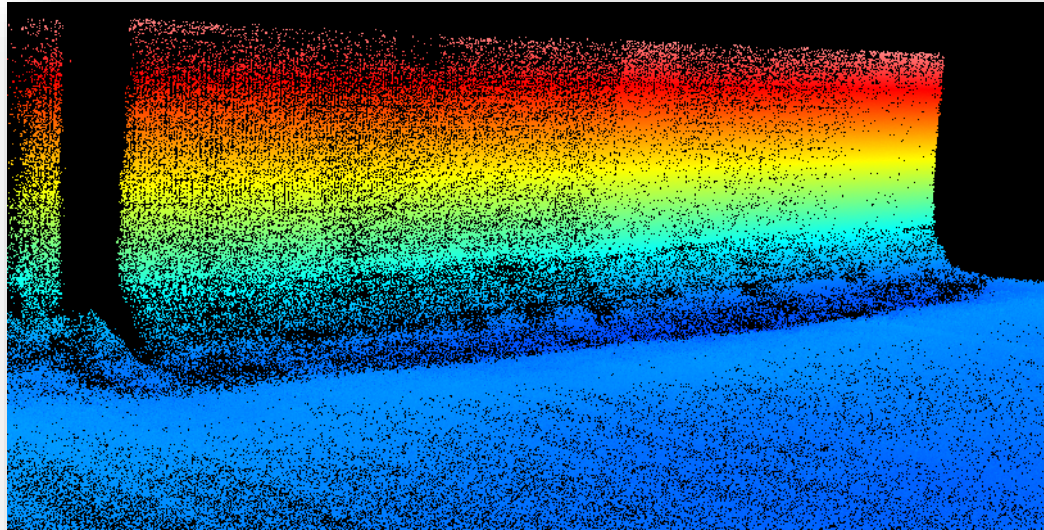


Imagem 3D do multifeixe do módulo 37  
Evidência da vala na frente do cais



**COBRAMSEG 2022**

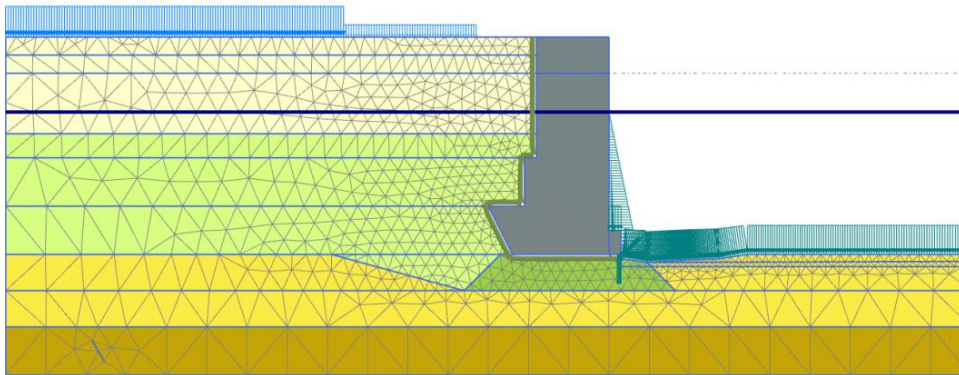
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



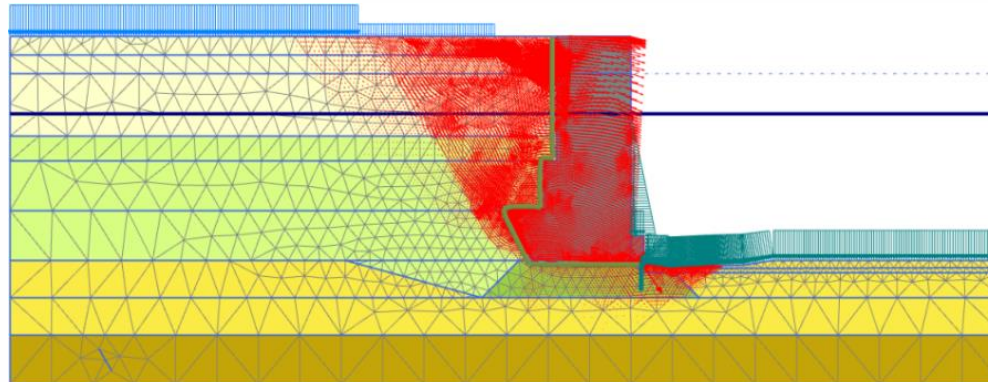
ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

# INTRODUÇÃO

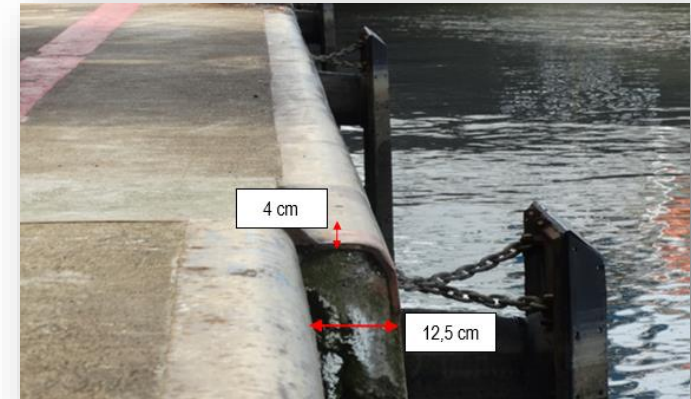
## ESTUDO DE ESTABILIDADE



MEF PLAXIS 2D



Campo de Deslocamentos



Estudo por  
retroanálise para  
as condições de  
deformação à  
data da análise



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

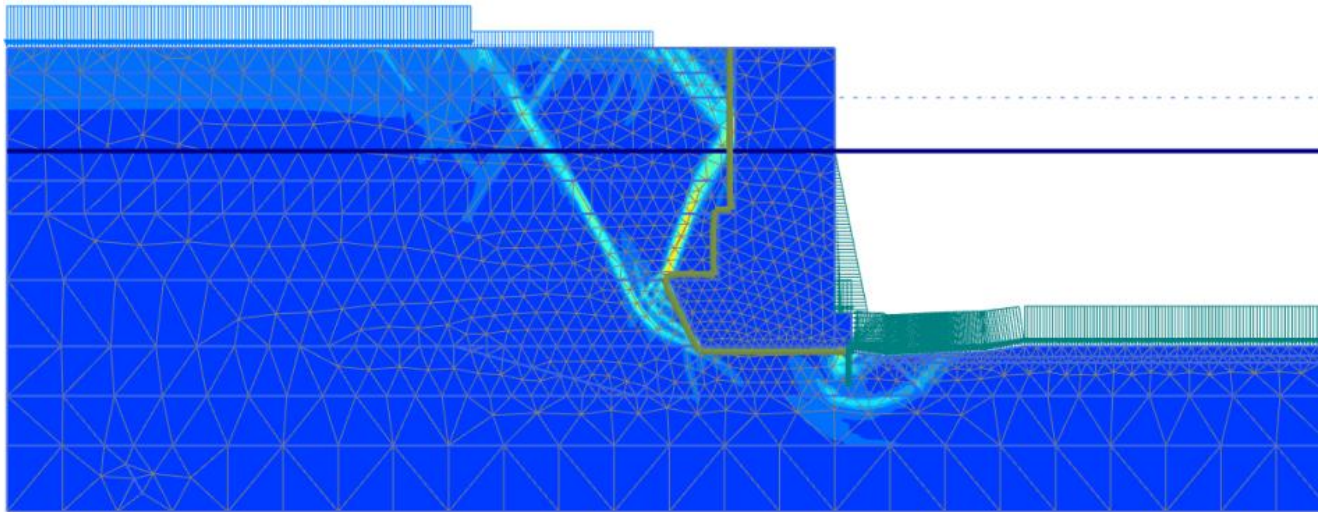
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

# INTRODUÇÃO

## ESTUDO DE ESTABILIDADE



MEF PLAXIS 2D  
Análise *phi-c reduction*. Tensões deformativas

Fatores de  
segurança relativos  
à estabilidade global  
inferiores aos  
regulamentares



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

# INTRODUÇÃO

## ESTUDO DE ESTABILIDADE

Fatores de segurança relativos à estabilidade global inferiores  
aos regulamentares



Necessidade de implementar medidas de estabilização e reforço



Reposição do fundo do cais – ***Scour Protection*** com Colchões de Betão

Aumento da estabilidade da estrutura – **Ancoragens Definitivas**



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## ÍNDICE:

1. INTRODUÇÃO
- 2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS**
3. SOLUÇÕES ADOTADAS
4. ANÁLISES NUMÉRICAS E DIMENSIONAMENTO
5. TECNOLOGIA TIRANTE AUTO INJETÁVEL
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



**COBRAMSEG 2022**

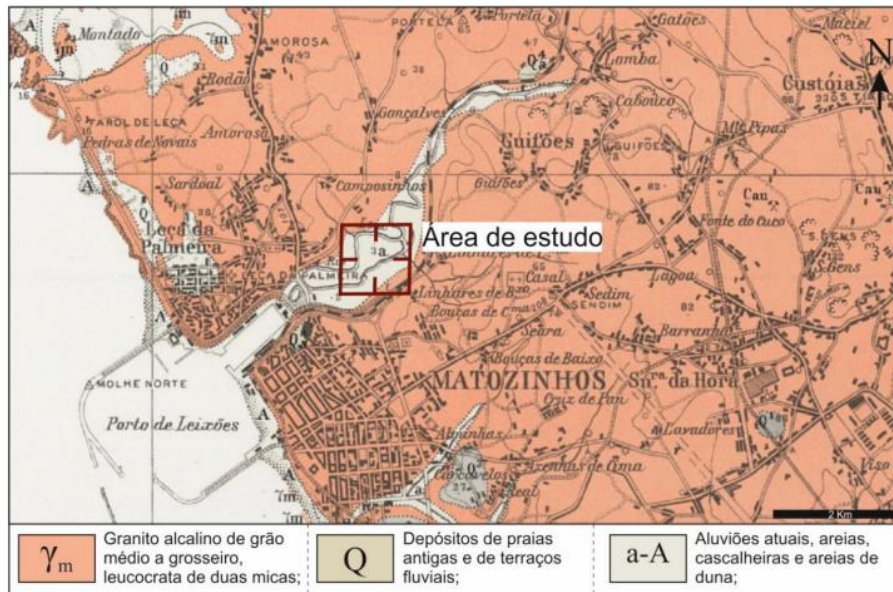
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

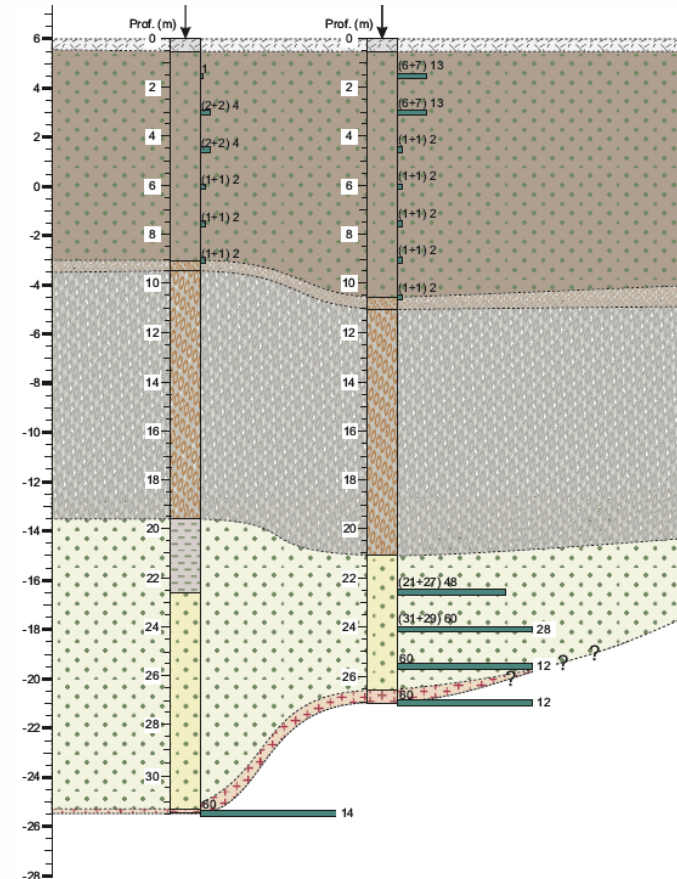


ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS GEOLOGICO-GEOTÉCNICOS



- Aterros
- Materiais aluvionares
- Formação rochosa granítica





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS CONDICIONAMENTOS CONSTRUTIVOS

- Execução dos trabalhos em simultâneo com as operações portuárias, tanto do lado do mar como do lado terrestre
- Solução de elevado rendimento para minimização do tempo de obra
- Solução com preservação do prisma de enrocamento e redução e com menor impacto nas camadas de fundação do pavimento



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## ÍNDICE:

1. INTRODUÇÃO
2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS
- 3. SOLUÇÕES ADOTADAS**
4. ANÁLISES NUMÉRICAS E DIMENSIONAMENTO
5. TECNOLOGIA TIRANTE AUTO INJETÁVEL
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



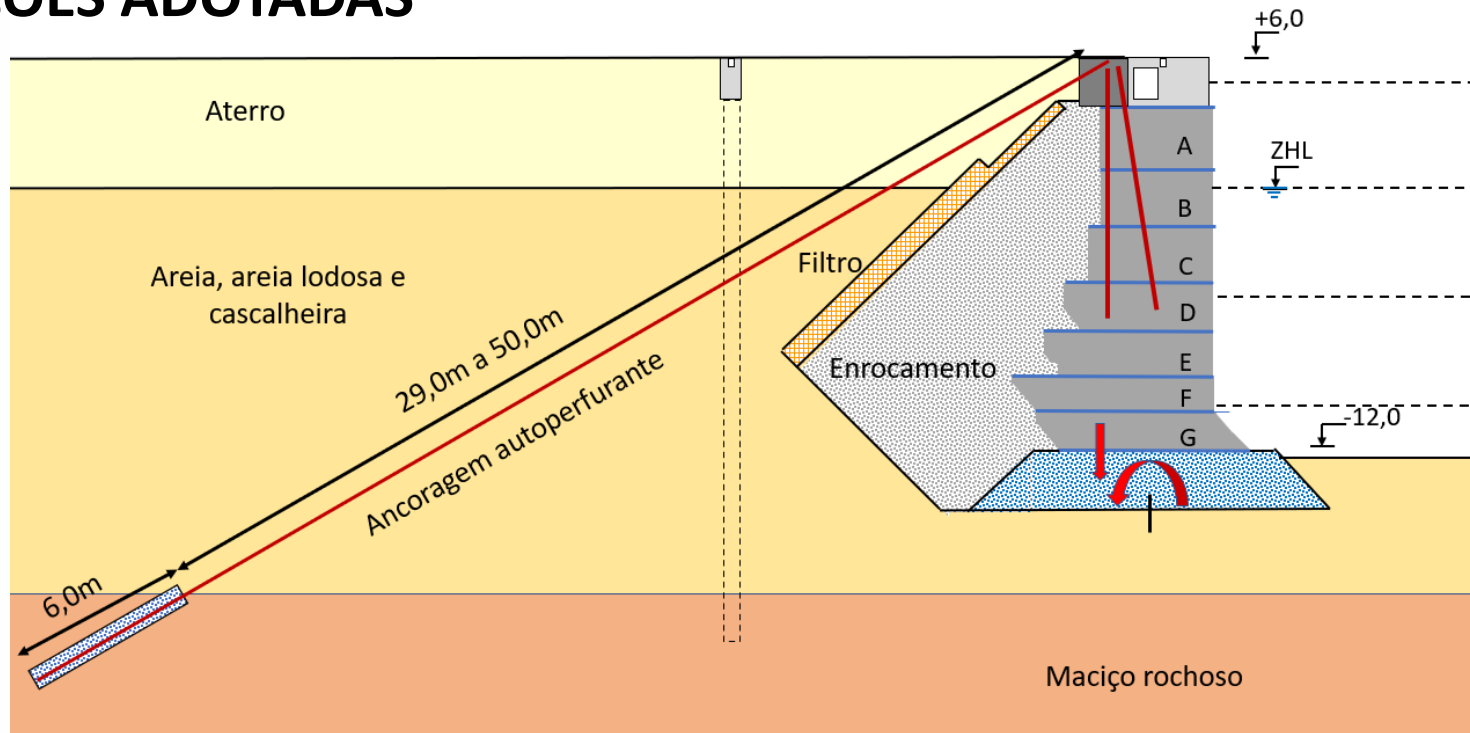
**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## SOLUÇÕES ADOTADAS



- Viga de encabeçamento, solidarizada à estrutura do muro cais
- Ancoragens definitivas //4m e carga útil de 700kN com selagem no maciço granítico



**COBRAMSEG 2022**

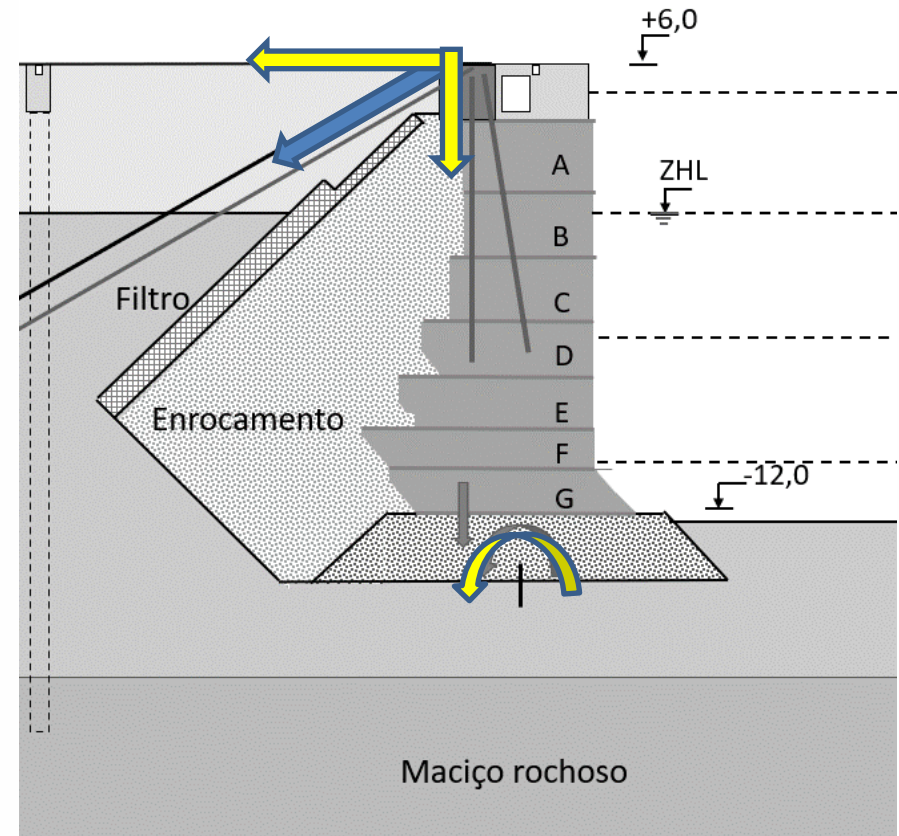
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## SOLUÇÕES ADOTADAS

- Execução de ancoragens sem perfuração do filtro de tardoz
- Efeito de estabilização à rotação do muro cais pela componente vertical do pré-esforço das ancoragens





**COBRAMSEG 2022**

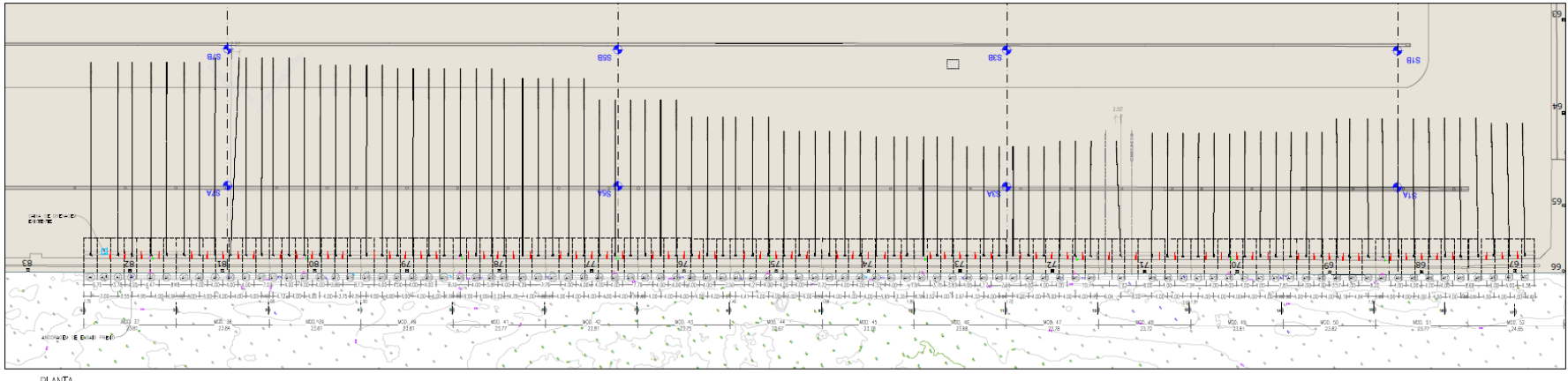
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTÉCNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## SOLUÇÕES ADOTADAS

- Extensão de Intervenção: 381m
- Ancoragens Definitivas: 92 unidades



- Comprimento das ancoragens:
  - Função do Zonamento Geológico-Geotécnico
  - Comprimentos entre 29m a 50m com 6m de selagem



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## ÍNDICE:

1. INTRODUÇÃO
2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS
3. SOLUÇÕES ADOTADAS
- 4. ANÁLISES NUMÉRICAS E DIMENSIONAMENTO**
5. TECNOLOGIA TIRANTE AUTO INJETÁVEL
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

## ÍNDICE:

1. INTRODUÇÃO
2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS
3. SOLUÇÕES ADOTADAS
- 4. ANÁLISES NUMÉRICAS E DIMENSIONAMENTO**
5. TECNOLOGIA TIRANTE AUTO INJETÁVEL
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



**COBRAMSEG 2022**

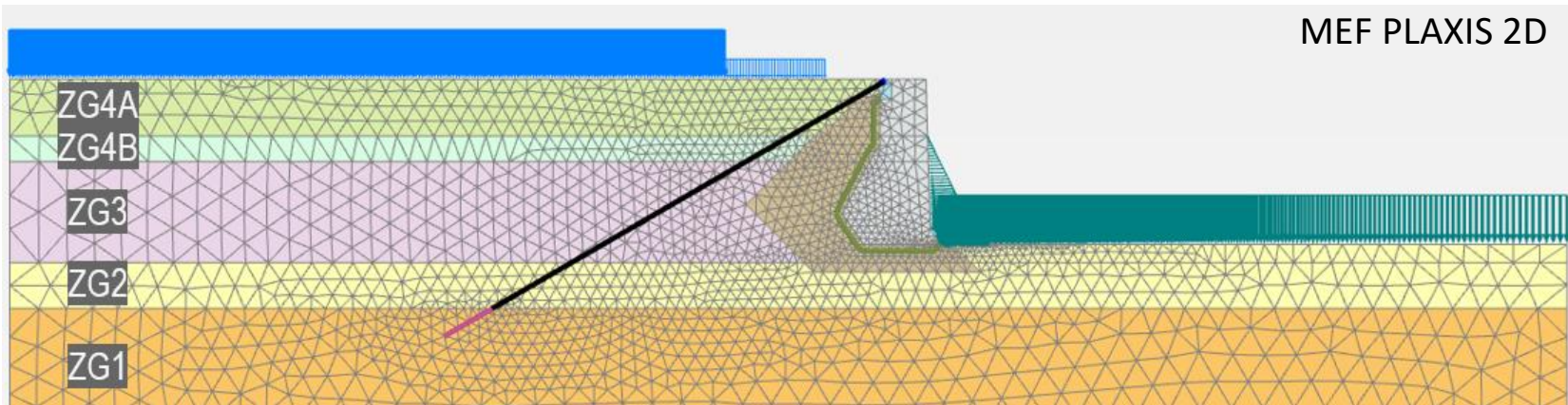
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## ANÁLISES NUMÉRICAS E DIMENSIONAMENTO



Zona Geotécnica	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$c'$ (kPa)	$E_{50}^{ref}$ (MPa)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )
Enrocamento	45	0	57	18	19
ZG4A – Aterro (emerso – compactado)	35	0	50	18	19
ZG4B – Aterro (submerso – não compactado)	30	0	35	18	19
ZG3 - Aluvião	18	10	5	16	17
ZG2 - Areias	38*	0	62	18	19
ZG1 - Maciço Granítico	40	40	100	20	23



**COBRAMSEG 2022**

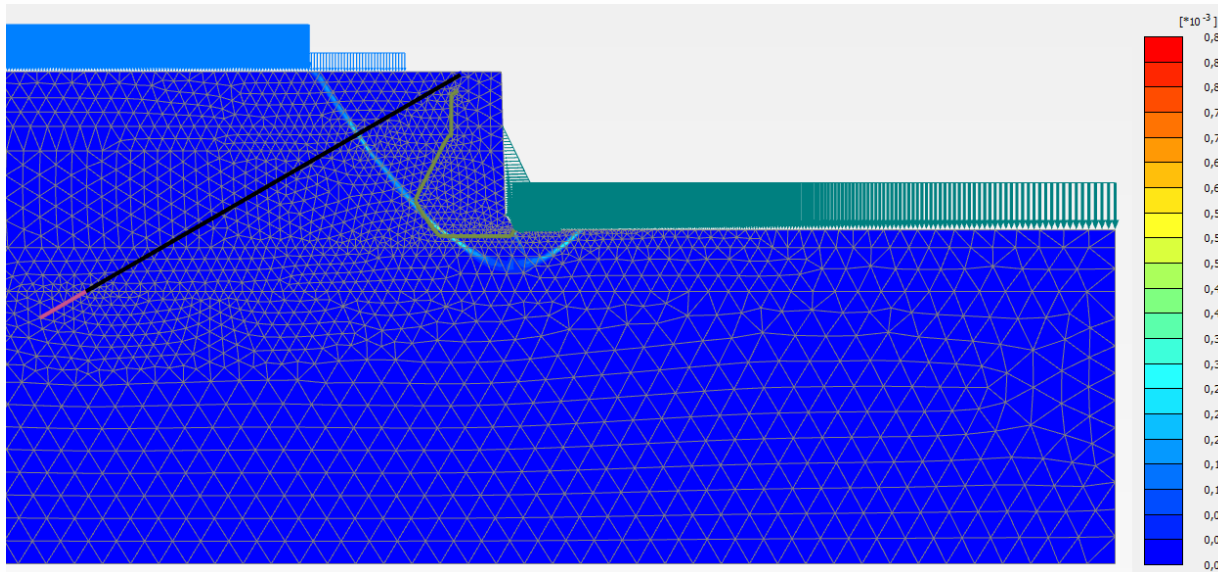
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## ANÁLISES NUMÉRICAS E DIMENSIONAMENTO



MEF PLAXIS 2D  
Análise *phi-c reduction*. Tensões deviatóricas

Condições de Segurança Global após Reforço

Verificação à Ação Estática

Verificação à Ação Sísmica



**COBRAMSEG 2022**

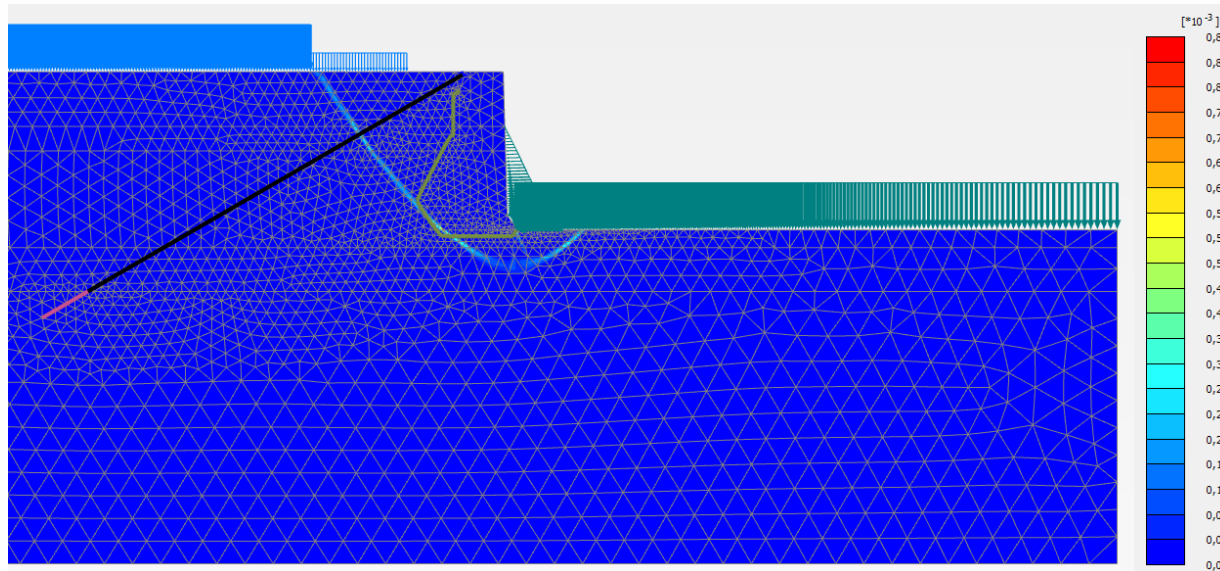
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## ANÁLISES NUMÉRICAS E DIMENSIONAMENTO



MEF PLAXIS 2D

Análise *phi-c reduction*. Tensões deviatóricas

Condições de Segurança Global após Reforço

Verificação à Ação Estática

Verificação à Ação Sísmica



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## ANÁLISES NUMÉRICAS E DIMENSIONAMENTO

- ✓ Dimensionamento Ancoragens:
  - ✓ Interface Solo / Calda de Cimento – Método Bustamante
    - ✓ Tensão tangencial resistente (Granito) = 350kPa
    - ✓ Comprimento de Selagem = 6m
    - ✓ Coeficiente de expansibilidade  $\alpha = 1,2$  (sobrecorte de 20mm)
  - ✓ Resistência da secção de aço norma EN 1537:1999:
    - ✓ Pútil = 700kN
    - ✓ 6 cordoalhas de 0,62'' (fptk=1860 MPa) - Rd,d=1221 kN
    - ✓ Pbloc = 756kN



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## ÍNDICE:

1. INTRODUÇÃO
2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS
3. SOLUÇÕES ADOTADAS
4. ANÁLISES NUMÉRICAS E DIMENSIONAMENTO
- 5. TECNOLOGIA TIRANTE AUTO INJETÁVEL**
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

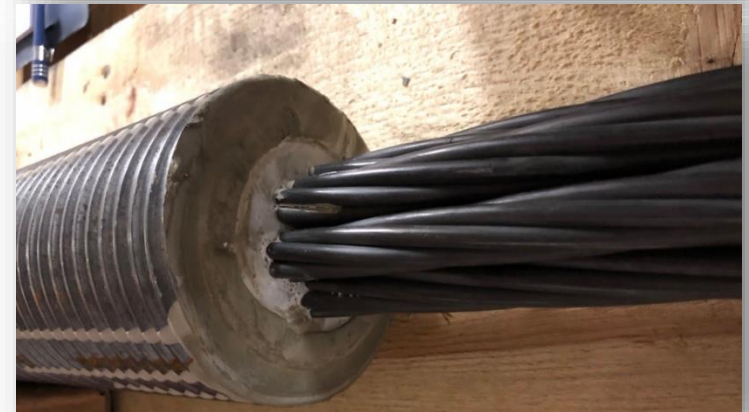


ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## TECNOLOGIA TIRANTE AUTO-INJETÁVEL

### SISTEMA COMBI SELF-DRILLING

- ✓ Tirante autoperfurante em barra oca
- ✓ Perfuração com bit perdido
- ✓ Instalação com deslocamento do terreno
- ✓ Elemento de barra usado para perfuração e para proteção das cordoalhas
- ✓ Instalação de cordoalhas seladas no interior da barra com calda de cimento
- ✓ Pré-esforço pelo processo tradicional



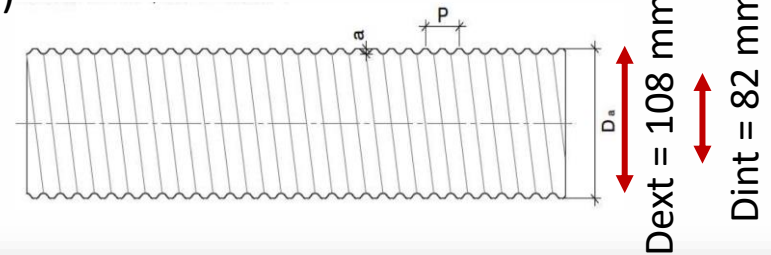


# TECNOLOGIA TIRANTE AUTO-INJETÁVEL

## SISTEMA COMBI SELF-DRILLING

- Barra ANP H2400 - 108mm ( $f_y > 680\text{N/mm}^2$ )

Item	Unit	H2400-108
Outer diameter threading	$D_a$	mm
Outer design diameter	$D_{a,d}$	mm
Inner diameter	$D_i$	mm
Cross-sectional area <sup>a)</sup>	A	mm <sup>2</sup>
Weight	m	kg/m <sup>1</sup>
Load at 0,2% yield <sup>b)</sup>	$R_e$	kN
Yield strength <sup>c)</sup>	$f_{0,2}$	N/mm <sup>2</sup>
Ultimate load <sup>b)</sup>	$R_m$	kN
Tensile strength <sup>c)</sup>	$f_{u,a}$	N/mm <sup>2</sup>
Ductility (Rm/Re)	k	-
Total elongation at max. load	$A_{gt}$	%
Young's Modulus	E	N/mm <sup>2</sup>
Type of threading	-	-
Threading standard	-	-
Orientation threading	-	-
Pitch	p	mm
Height of thread	a	mm
Relative rib area	$f_R$	-





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

# TECNOLOGIA TIRANTE AUTO-INJETÁVEL

## SISTEMA COMBI SELF-DRILLING

- Desenvolvimento de bit adaptado às necessidades específicas da obra





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

# TECNOLOGIA TIRANTE AUTO-INJETÁVEL

## SISTEMA COMBI SELF-DRILLING

- Bit Ø200mm botões balísticos de tungstênio



Utilização de unidade  
de roto-percussão  
sónica com  
frequências de  
vibração até 180Hz

Bit Ø200mm  
Sobre-corte (em rocha)  
20mm

Øfuro efetivo = 220mm





# TECNOLOGIA TIRANTE AUTO-INJETÁVEL SISTEMA COMBI SELF-DRILLING

- 6 Cordoalhas de 0,62" (fptk=1860 MPa)
- Placa de cunhas com trompa metálica



No. of strands	Y1770 S7 - 15,7mm F <sub>pk</sub> =266kN, F <sub>p0,1k</sub> =234kN, S <sub>0</sub> =150mm <sup>2</sup>									
	char. force at permanent strain of 0,1%	Char. breaking force	Char. anchor design resistance	Rated Value of inner anchor design resistance acc. to damage category R <sub>d</sub> = R <sub>p0,1k</sub> / (γ <sub>s</sub> * η) <sup>2)</sup>		Max. test force P <sub>P,max</sub> <sup>3)</sup>				
	R <sub>p0,1k</sub> [kN]	R <sub>p,k</sub> [kN]	R <sub>k</sub> = R <sub>p0,1k</sub> / γ <sub>s</sub> <sup>1)</sup>	CC 1 und CC 2, η=1,0	CC3, η=1,15	0,8 R <sub>pk</sub> [kN]	0,9 R <sub>p0,1k</sub> [kN]			
2	468	532	407	407	354	426	421			
3	702	798	610	610	531	638	632			
4	936	1064	814	814	708	851	842			
5	1170	1330	1017	1017	885	1064	1053			
6	1404	1596	1221	1221	1062	1277	1264	1149	1011	
7	1638	1862	1424	1424	1239	1490	1474	1340	1179	
8	1872	2128	1628	1628	1416	1702	1685	1532	1348	
9	2106	2394	1831	1831	1592	1915	1895	1723	1516	
10	2340	2660	2035	2035	1769	2128	2106	1915	1685	
11	2574	2926	2238	2238	1946	2341	2317	2106	1853	
12	2808	3192	2442	2442	2123	2554	2527	2297	2022	
13	3042	3458	2645	2645	2300	2766	2738	2489	2190	
14	3276	3724	2849	2849	2477	2979	2948	2680	2359	
15	3510	3990	3052	3052	2654	3192	3159	2872	2527	

6 cordoalhas  
R<sub>d</sub>=1221 kN  
Pré-esforço = 700kN



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

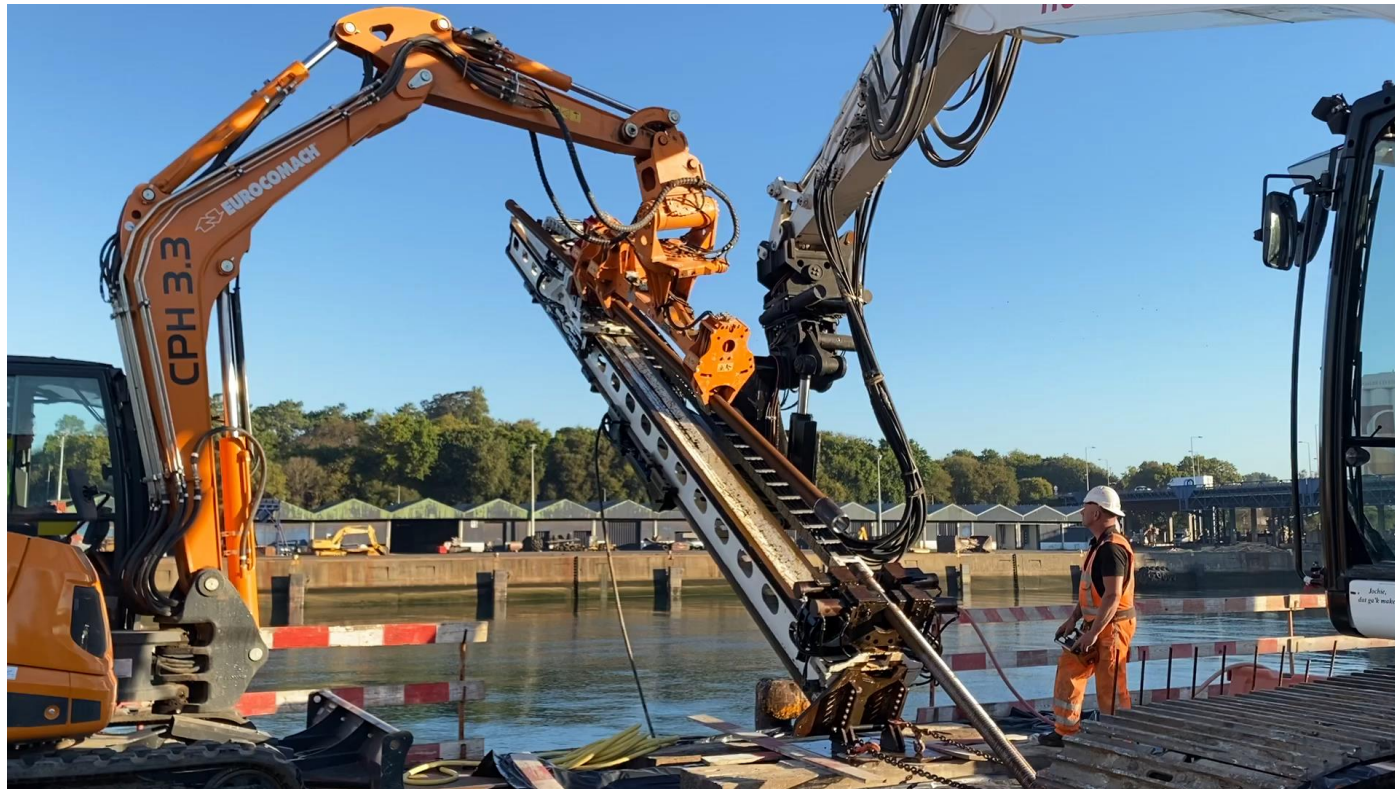
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

# TECNOLOGIA TIRANTE AUTO-INJETÁVEL

## SISTEMA COMBI SELF-DRILLING





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

# TECNOLOGIA TIRANTE AUTO-INJETÁVEL

## SISTEMA COMBI SELF-DRILLING



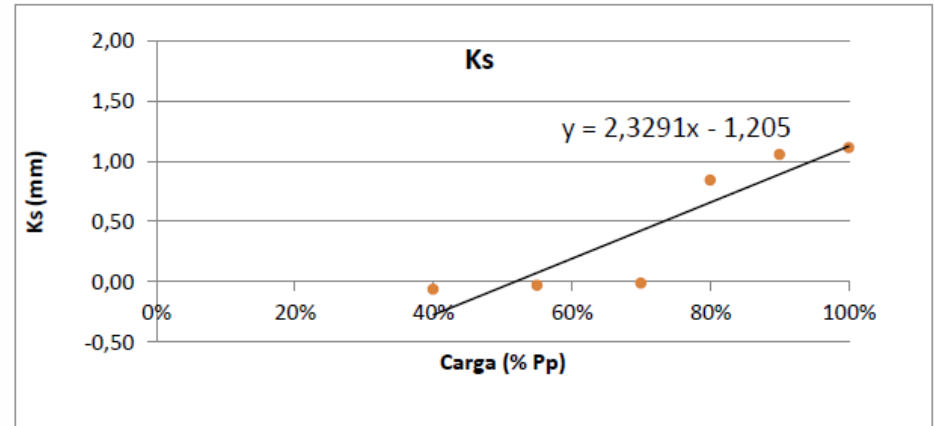
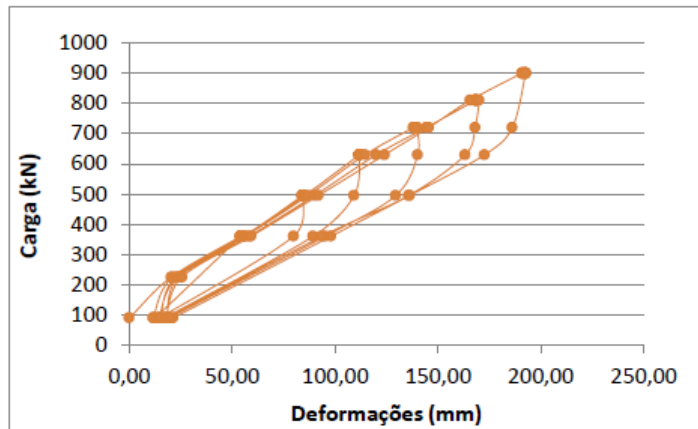


## TECNOLOGIA TIRANTE AUTO-INJETÁVEL SISTEMA COMBI SELF-DRILLING

### ENSAIOS ANCORAGENS (EN 1537)

- Ensaio de receção detalhado prévio em ancoragem de teste

Características do Ensaio:			Ciclo	1	2	3	4	5	6	
Carga de Serviço	F <sub>s</sub> (kN):		Carga Max. (%)	25%	40%	55%	70%	80%	90%	100%
Carga de Ensaio	P <sub>p</sub> (kN):	900	Carga Max. (kN)	225	360	495	630	720	810	900
Carga Inicial Ensaio	P <sub>a</sub> (kN):	90	Tempo Obs(Min.)	15	15	30	30	30	30	60





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## ÍNDICE:

1. INTRODUÇÃO
2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS
3. SOLUÇÕES ADOTADAS
4. ANÁLISES NUMÉRICAS E DIMENSIONAMENTO
5. TECNOLOGIA TIRANTE AUTO INJETÁVEL
- 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

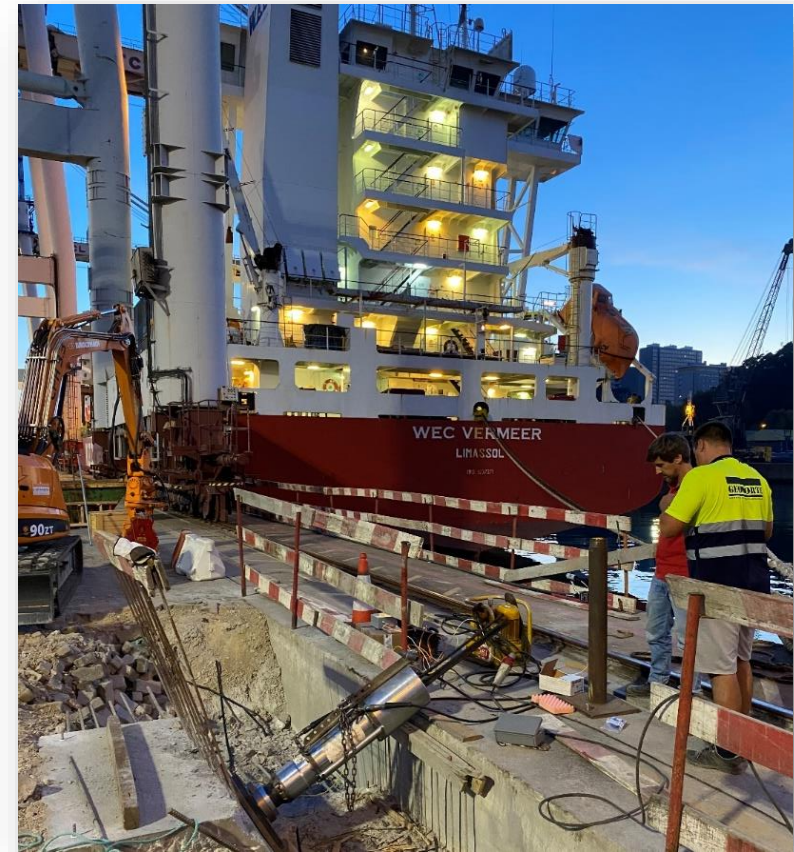
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTÉCNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTÉCNICA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ✓ Estabilização e Reforço do Muro Cais visando a mitigação dos deslocamentos observados
- ✓ Intervenção com rendimentos elevados e compatível com a funcionalidade do cais
- ✓ Plano de Instrumentação e Observação para acompanhamento do comportamento da obra ao longo da vida útil





# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

## CONSIDERAÇÕES FINAIS





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

ESTABILIZAÇÃO E REFORÇO DE MURO CAIS NA DOCA 4  
DO PORTO DE LEIXÕES, PORTUGAL

**OBRIGADA PELA VOSSA ATENÇÃO**



Catarina Fartaria, Engenheira Civil, JETsj Geotecnia Lda, Portugal, [cfartaria@jetsj.com](mailto:cfartaria@jetsj.com)

Marlene Dias, Engenheira Civil, MSW, Portugal, [mdias@msw-consultores.pt](mailto:mdias@msw-consultores.pt)

Carlos Caxias, Engenheiro Civil, [ANP-Systems GmbH](http://ANP-Systems GmbH), Austria, [carlos.caxias@anp-systems.at](mailto:carlos.caxias@anp-systems.at)



# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



Realização:



Organização:





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



# SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA



Ricardo Justiniano, JET<sub>SJ</sub> Geotecnia, [rjustiniano@jetsj.com](mailto:rjustiniano@jetsj.com)

André Henriques, JET<sub>SJ</sub> Geotecnia, [ahenriques@jetsj.com](mailto:ahenriques@jetsj.com)



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

## ÍNDICE:

1. INTRODUÇÃO
2. CONDICIONAMENTOS
3. SOLUÇÕES PROPOSTAS
4. EXECUÇÃO
5. INSTRUMENTAÇÃO
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

## ÍNDICE:

### 1. INTRODUÇÃO

### 2. CONDICIONAMENTOS

### 3. SOLUÇÕES PROPOSTAS

### 4. EXECUÇÃO

### 5. INSTRUMENTAÇÃO

### 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

## INTRODUÇÃO

- Execução de um empreendimento residencial constituído por dois lotes sobre o túnel ML
  - **Lote 1** – 2 pisos enterrados + 8 pisos elevados
  - **Lote 2** – 3 pisos enterrados + 8 pisos elevados
- Execução dos trabalhos condicionada pela geometria e localização das estruturas existentes





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

## ÍNDICE:

1. INTRODUÇÃO
- 2. CONDICIONAMENTOS**
3. SOLUÇÕES PROPOSTAS
4. EXECUÇÃO
5. INSTRUMENTAÇÃO
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

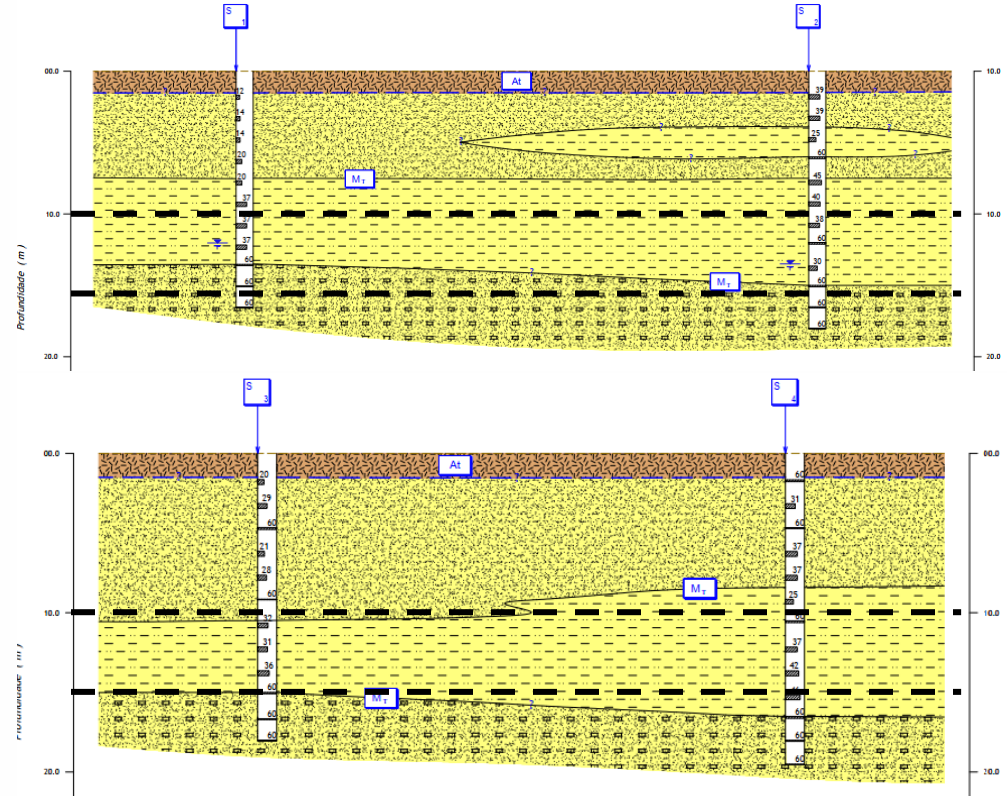
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

## CONDICIONAMENTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

- 4 sondagens com execução de SPT
- Solos intercetado correspondem ao Miocénico de Lisboa, constituído por argilas siltsas e em maior profundidade por areias siltsas com cascão
- Nível Freático intercetado ao nível do fundo de escavação





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTÉCNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTÉCNICA - CLBG



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

## CONDICIONAMENTOS ARQUITETURA E ESTRUTURAS EXISTENTES

- Edifícios existentes fundados a cotas superiores à cota do piso 0 dos empreendimentos a executar
- Caves a executar encontram-se, em geral, adjacentes aos edifícios existentes
- Túnel do ML encontra-se a cerca de 4 m abaixo do fundo de escavação
- ML não permite a execução de elementos estruturais a menos de 3 m do túnel
- Muro de divisão das caves sobre o túnel do ML





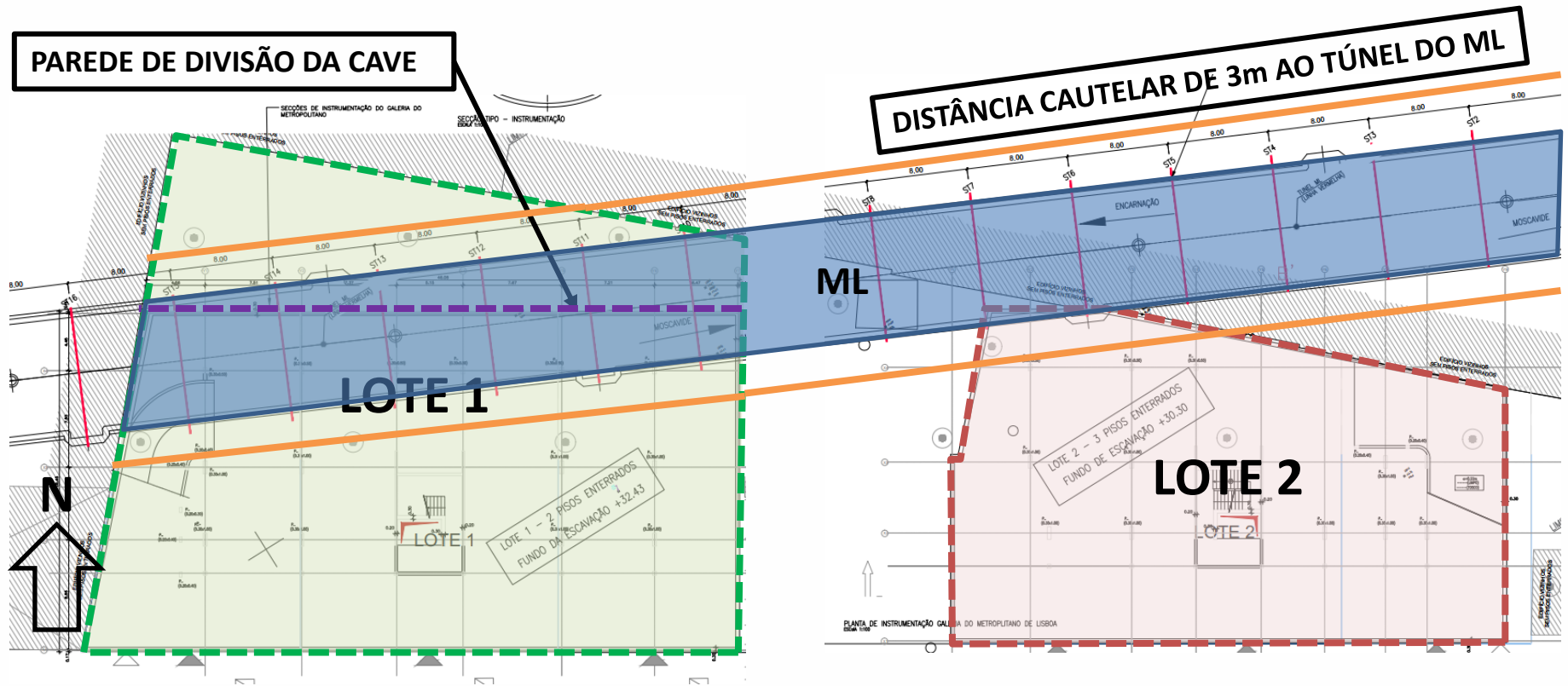
**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

# CONDICIONAMENTOS ARQUITETURA E ESTRUTURAS EXISTENTES





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

## ÍNDICE:

1. INTRODUÇÃO
2. CONDICIONAMENTOS
- 3. SOLUÇÕES PROPOSTAS**
4. EXECUÇÃO
5. INSTRUMENTAÇÃO
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



**COBRAMSEG 2022**

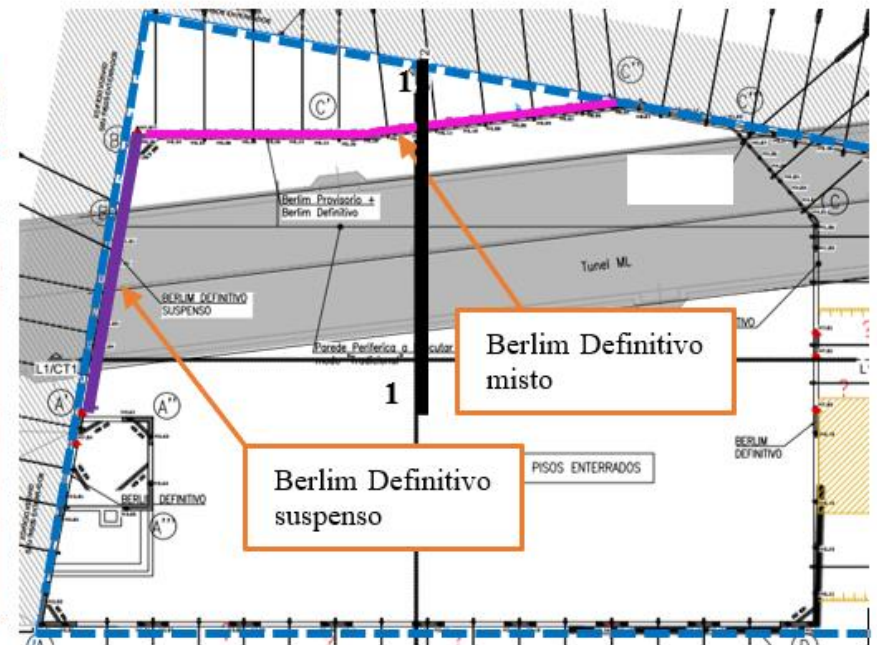
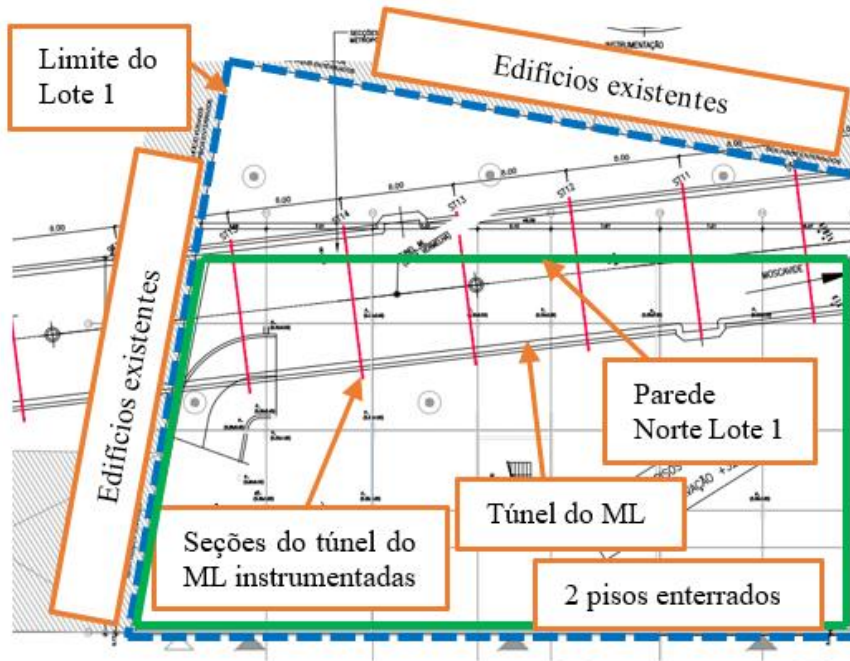
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

# SOLUÇÕES PROPOSTAS

## LOTE 1 – CONTENÇÃO PERIFÉRICA



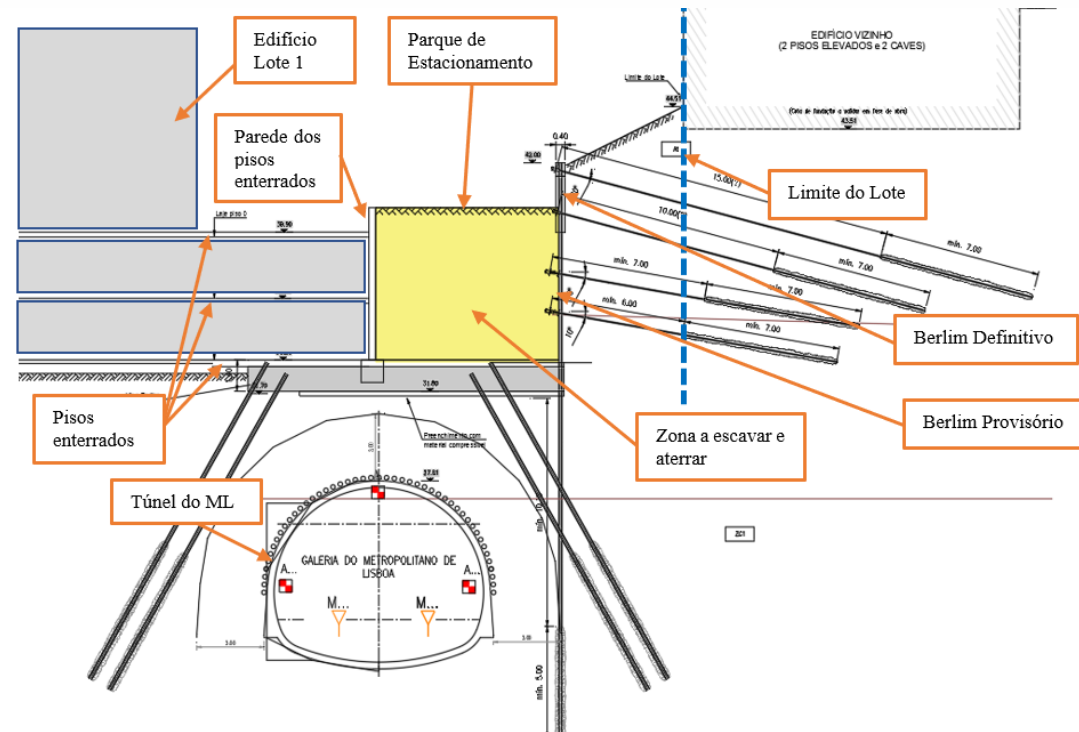


# SOLUÇÕES PROPOSTAS

## LOTE 1 – CONTENÇÃO PERIFÉRICA

### Execução de Berlim Misto

- Execução de microestacas em perfis I/H para permitir a execução do Berlim Provisório
- Execução dos níveis superiores em Berlim Definitivo até à cota do piso 0
- Berlim Definitivo travado por microestacas sub horizontais definitivas
- Abaixo do piso 0, execução do Berlim Provisório



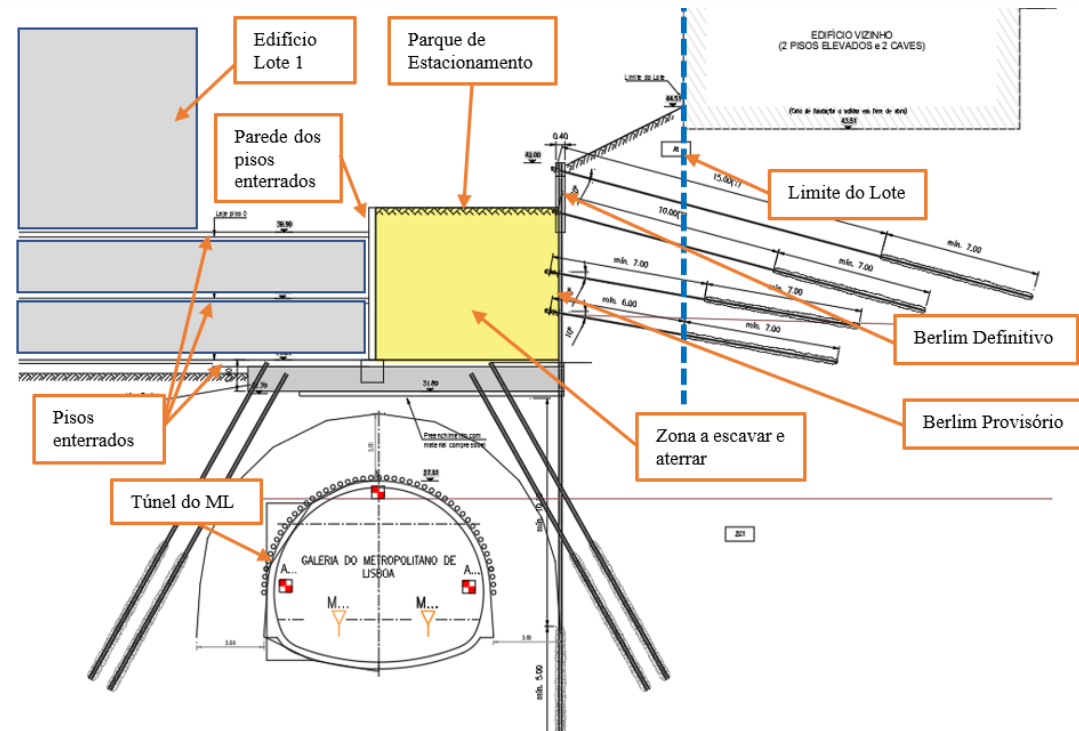


# SOLUÇÕES PROPOSTAS

## LOTE 1 – FUNDAÇÃO

### Execução da parede da cave sobre o ML

- Execução faseada na chegada ao fundo de escavação, para reduzir o efeito de descompressão do Miocénico
- Execução das microestacas sub-verticais
- Execução de vigas de fundação
- Execução da parede da cave e aterro entre parede e contenção





**COBRAMSEG 2022**

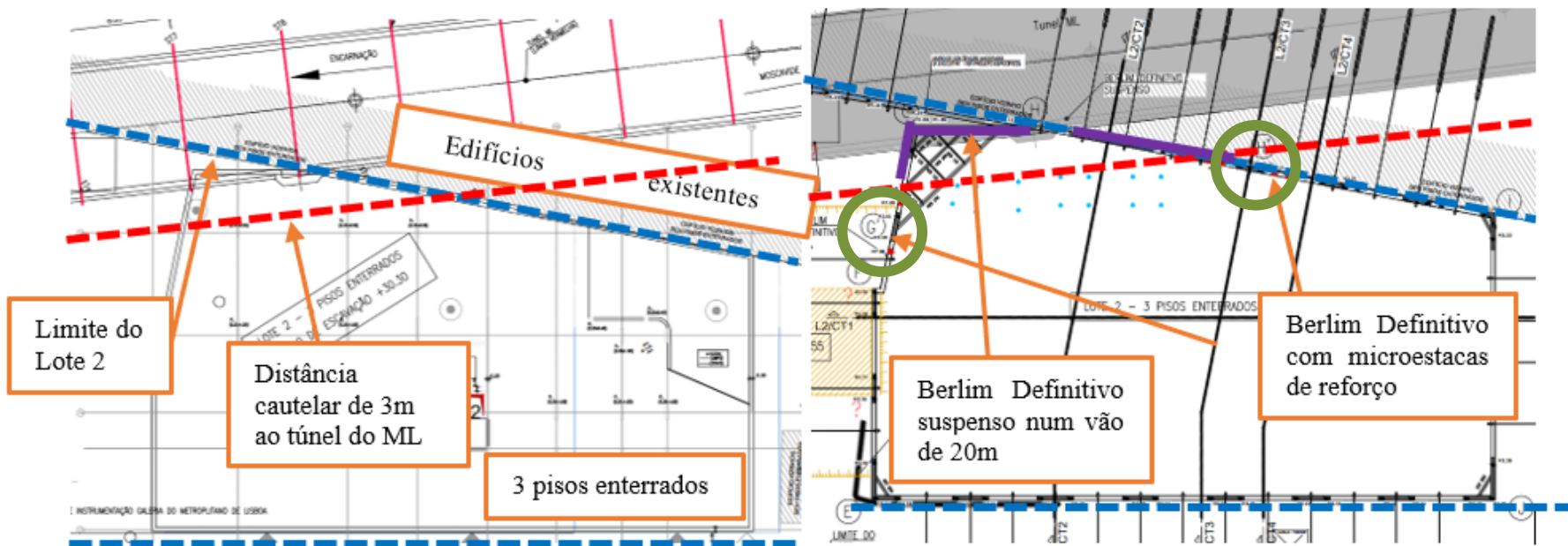
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

# SOLUÇÕES PROPOSTAS

## LOTE 2 – CONTENÇÃO PERIFÉRICA



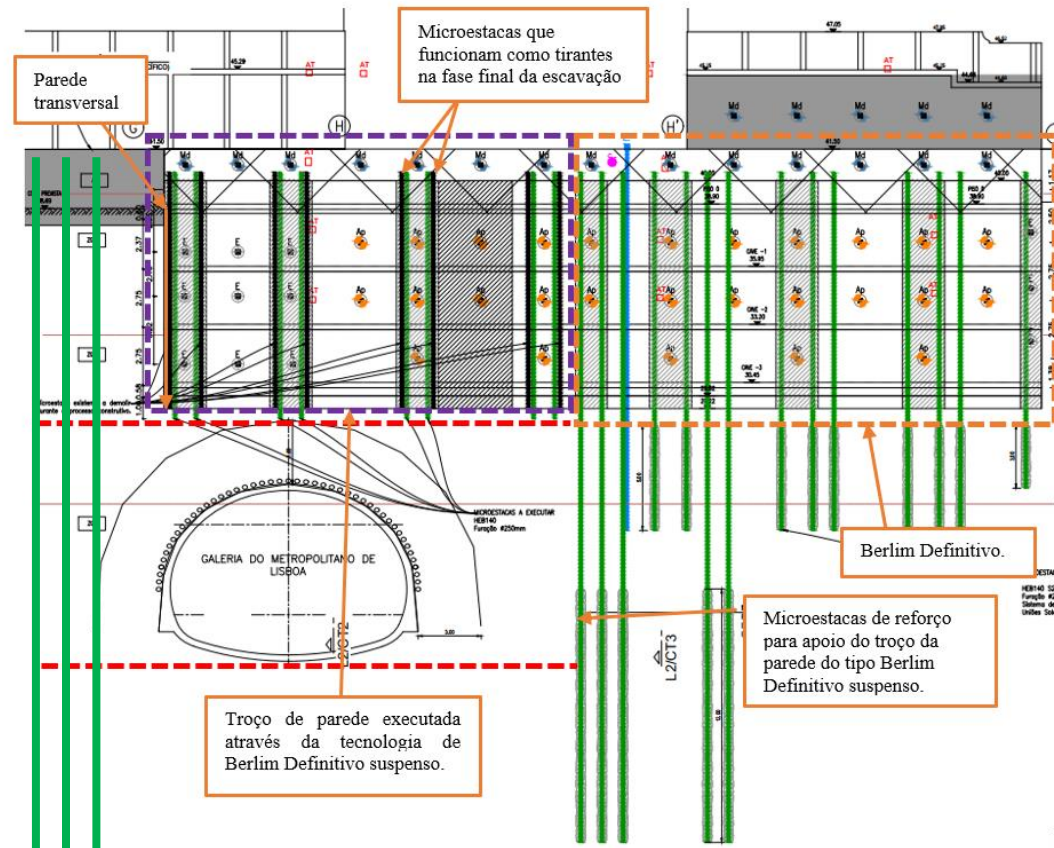


# SOLUÇÕES PROPOSTAS

## LOTE 2 – CONTENÇÃO PERIFÉRICA

### Execução de Berlim Definitivo Suspenso

- Execução de microestacas sem bolbo de selagem na proximidade ao ML
- Execução de microestacas de reforço para receber a carga da zona suspensa
- Execução de viga de coroamento “Viga-Parede” fortemente armada
- Maior recurso a escoramentos metálicos para redução da componente vertical





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

## ÍNDICE:

1. INTRODUÇÃO
2. CONDICIONAMENTOS
3. SOLUÇÕES PROPOSTAS
- 4. EXECUÇÃO**
5. INSTRUMENTAÇÃO
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

# EXECUÇÃO

## LOTE 1 – CHEGADA AO FUNDO DE ESCAVAÇÃO





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

# EXECUÇÃO

## LOTE 2 – CHEGADA AO FUNDO DE ESCAVAÇÃO





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

# EXECUÇÃO

## LOTE 2 – CHEGADA AO FUNDO DE ESCAVAÇÃO





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

# EXECUÇÃO

## LOTE 1 - INICIO DA EXECUÇÃO DA PAREDE DA CAVE SOBRE OS PÓRTICOS





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

# EXECUÇÃO

## LOTE 1 - ATERRO CONCLUÍDO – PAREDE DA CAVE





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

## ÍNDICE:

1. INTRODUÇÃO
2. CONDICIONAMENTOS
3. SOLUÇÕES PROPOSTAS
4. EXECUÇÃO
- 5. INSTRUMENTAÇÃO**
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

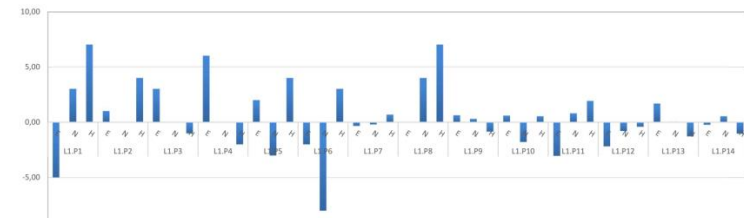
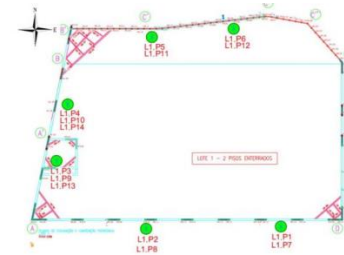
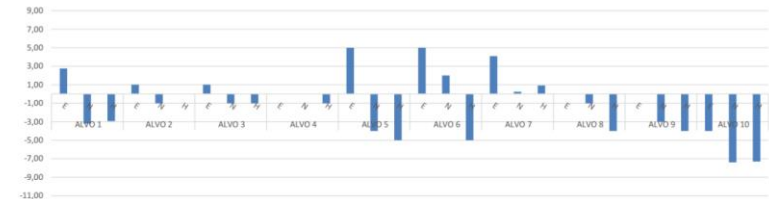
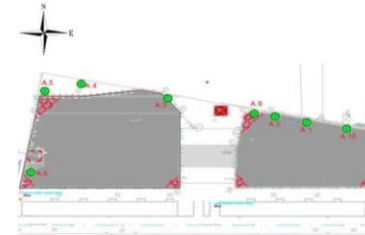
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

# INSTRUMENTAÇÃO

- Alvos Topográficos
- Células de cargas
- Piezômetros
- Inclinômetros
- Alvos Topográficos nas paredes do túnel do ML
- Marcas Topográficas nos carris do ML



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

## ÍNDICE:

1. INTRODUÇÃO
2. CONDICIONAMENTOS
3. SOLUÇÕES PROPOSTAS
4. EXECUÇÃO
5. INSTRUMENTAÇÃO
- 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTÉCNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTÉCNICA - CLBG



SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A boa colaboração entre projetistas, empreiteiros e dono de Obra permitiu a execução dos trabalhos com sucesso
- A execução de soluções adaptadas a partir de soluções convencionais
- O recurso a um Plano de Instrumentação e Observação como ferramenta proativa na confirmação dos pressupostos de projeto e na antecipação de eventuais problemas





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

# OBRIGADO PELA VOSSA ATENÇÃO



Ricardo Justiniano, JET<sub>SJ</sub> Geotecnia, [rjustiniano@jetsj.com](mailto:rjustiniano@jetsj.com)

André Henriques, JET<sub>SJ</sub> Geotecnia, [ahenriques@jetsj.com](mailto:ahenriques@jetsj.com)



# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA

IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR

IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM

XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

Realização:



Apoio:



Organização:



Fone: +55 62 99977-8712

E-mail: [secretaria@qeeventos.com.br](mailto:secretaria@qeeventos.com.br)

[www.jeitoespecial.com.br](http://www.jeitoespecial.com.br)

### FASE I

- Furação e colocação de perfis verticais ou microestacas, selados com calda de cimento na extremidade inferior;



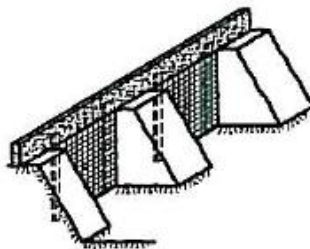
### FASE II

- Execução da viga de coroamento, apoiada nos perfis verticais ou microestacas;



### FASE III

- Escavação dos painéis primários do 1º nível, deixando banquetas nas zonas dos painéis secundários;
- Montagem das cofragens e armaduras nos painéis primários do 1º nível;



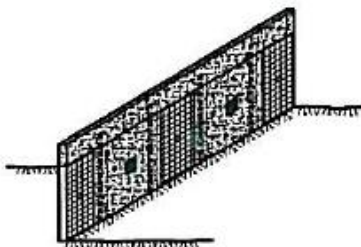
### FASE IV

- Betonagem dos painéis primários do 1º nível;
- Execução das ancoragens / escoras dos painéis primários do 1º nível;
- Tensionamento das ancoragens dos painéis primários do 1º nível;



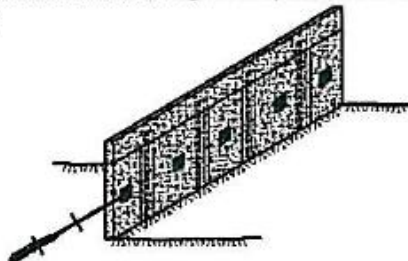
### FASE V

- Escavação dos painéis secundários do 1º nível;
- Montagem das cofragens e armaduras nos painéis secundários do 1º nível;



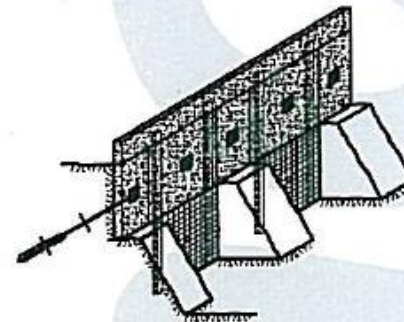
### FASE VI

- Betonagem e descofragem dos painéis secundários do 1º nível;
- Execução das ancoragens / escoras dos painéis secundários do 1º nível;
- Tensionamento das ancoragens dos painéis secundários do 1º nível;



### FASE VII

- Escavação dos painéis primários do 2º nível, deixando banquetas nas zonas dos painéis secundários;
- Montagem das cofragens e armaduras nos painéis primários do 2º nível;



### FASE VIII

- Betonagem e descofragem dos painéis primários do 2º nível;
- Execução das ancoragens / escoras dos painéis primários do 2º nível;
- Tensionamento das ancoragens dos painéis primários;
- Escavação dos painéis secundários do 2º nível;
- Montagem das cofragens e armaduras nos painéis secundários do 2º nível;

### FASE IX

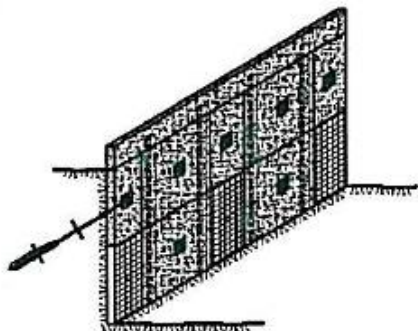
- Betonagem e descofragem dos painéis secundários do 2º nível;
- Execução das ancoragens / escoras dos painéis secundários do 2º nível;
- Tensionamento das ancoragens dos painéis secundários do 2º nível;

### FASE X

- Escavação para execução dos troços de sapata sob os painéis primários deixando banquetas nas zonas sob os painéis secundários;
- Montagem das cofragens e armaduras dos troços de sapata sob os painéis primários;

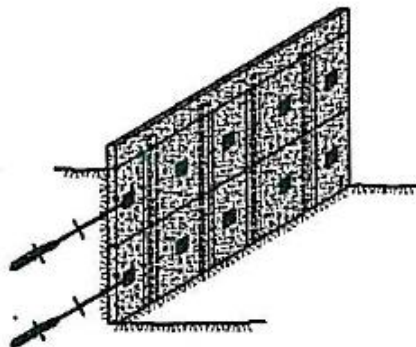
### FASE VIII

- Betonagem e descofragem dos painéis primários do 2º nível;
- Execução das ancoragens / escoras dos painéis primários do 2º nível;
- Tensionamento das ancoragens dos painéis primários;
- Escavação dos painéis secundários do 2º nível;
- Montagem das cofragens e armaduras nos painéis secundários do 2º nível;



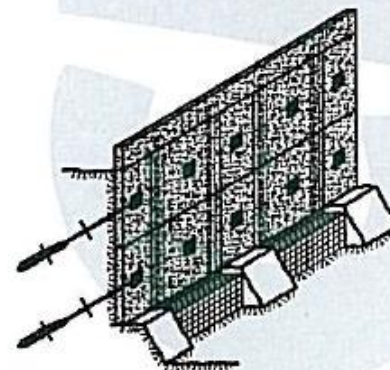
### FASE IX

- Betonagem e descofragem dos painéis secundários do 2º nível;
- Execução das ancoragens / escoras dos painéis secundários do 2º nível;
- Tensionamento das ancoragens dos painéis secundários do 2º nível;



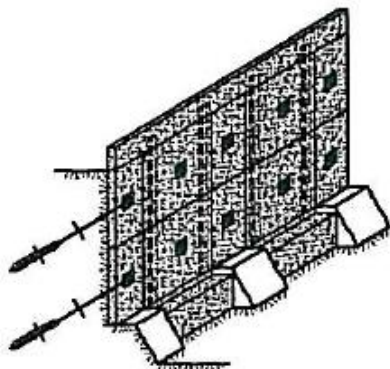
### FASE X

- Escavação para execução dos troços de sapata sob os painéis primários deixando banquetas nas zonas sob os painéis secundários;
- Montagem das cofragens e armaduras dos troços de sapata sob os painéis primários;



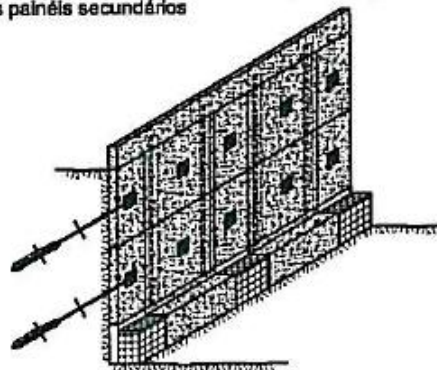
### FASE XI

- Betonagem e descofragem dos troços de sapata sob os painéis primários;



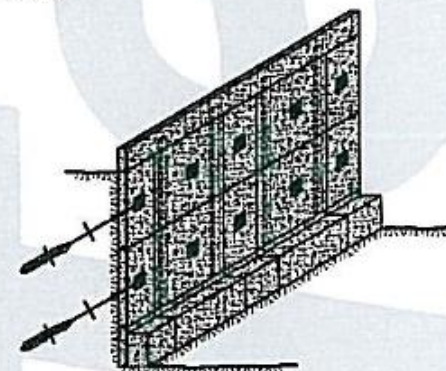
### FASE XII

- Escavação para execução dos troços de sapata sob os painéis secundários
- Montagem das armaduras dos troços de sapata sob os painéis secundários



### FASE XIII

- Betonagem dos troços de sapata sob os painéis secundários
- Conclusão





# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



Realização:



Organização:





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



## Reservatórios Profundos “Nado 1” e “Vilarinho 2”, em Belo Horizonte, Minas Gerais



Nuno Braz da Silva, JET<sub>SJ</sub> Geotecnia, [nsilva@jetsj.com](mailto:nsilva@jetsj.com)

Miriam Lopes, JET<sub>SJ</sub> Geotecnia, [mlopes@jetsj.com](mailto:mlopes@jetsj.com)

André Henriques, JET<sub>SJ</sub> Geotecnia, [ahenriques@jetsj.com](mailto:ahenriques@jetsj.com)



# COBRAMSEG 2022

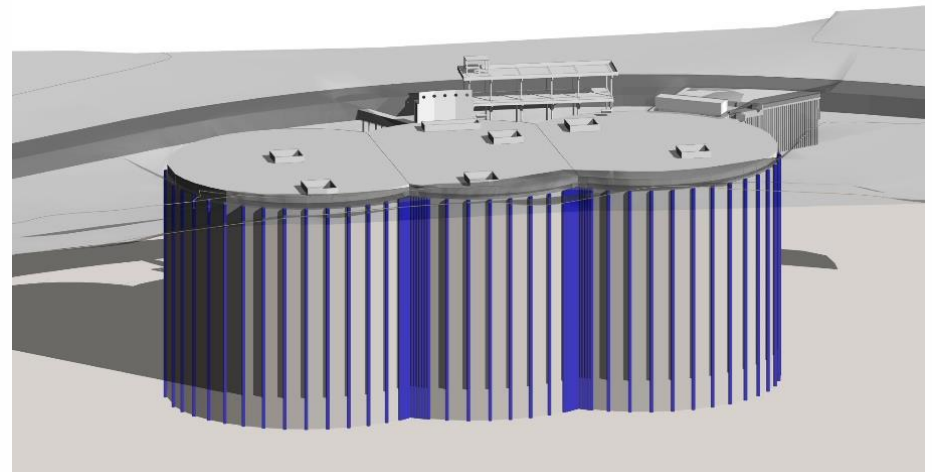
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTÉCNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTÉCNICA - CLBG

RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS

## ÍNDICE:

1. PARAMETRIZAÇÃO GEOMECÂNICA
2. UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM
3. MODELAGEM NUMÉRICA
4. INSTRUMENTAÇÃO REMOTA
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS





# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

## RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS

- Execução de dois reservatórios profundos ( $h=35\text{m}$ )
- Diâmetro = 40m
- Área aprox = 3 500 m<sup>2</sup>
- Volume escavado = 106 000 m<sup>3</sup>
- Execução dos trabalhos condicionada pelas infraestruturas rodoviárias e edifícios existentes na proximidade
- Soluções de contenção em parede diafragma e pórticos de grande rigidez nas interseções dos semi-círculos secantes.



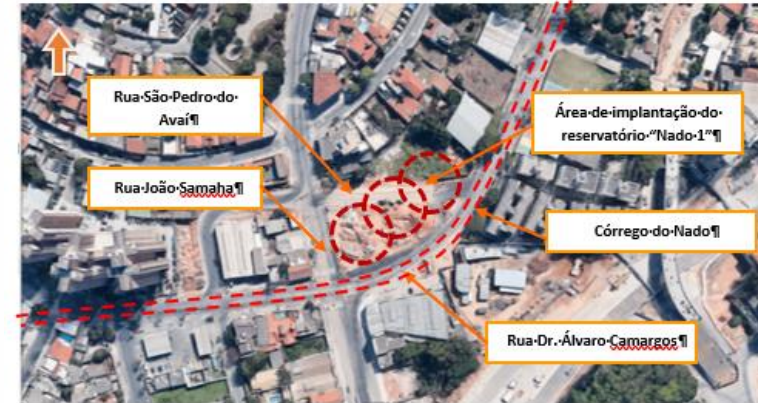


**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

Os reservatórios “Nado 1” e “Vilarinho 2” inserem-se no âmbito das “Obras de Mitigação das Inundações Recorrentes dos Córregos Vilarinho, Nado e Ribeirão Isidoro para a Etapa 1 – Período de Retorno TR=10 anos, tendo em vista a sua integração nos Sistemas de Macrodrenagem dos Córregos do Nado, Vilarinho e Ribeirão Isidoro, pertencentes à Bacia Hidrográfica de Ribeirão da Onça.

## RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS





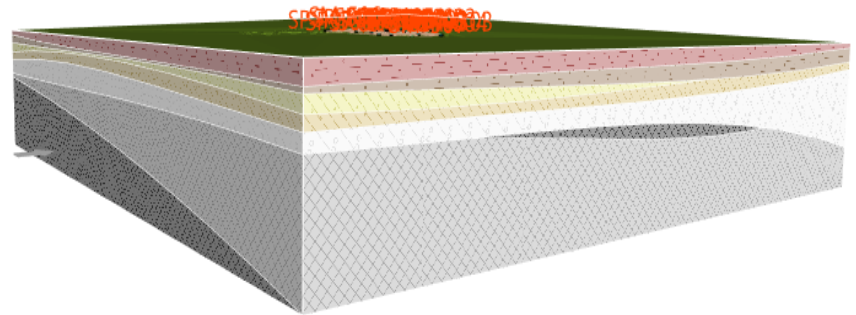
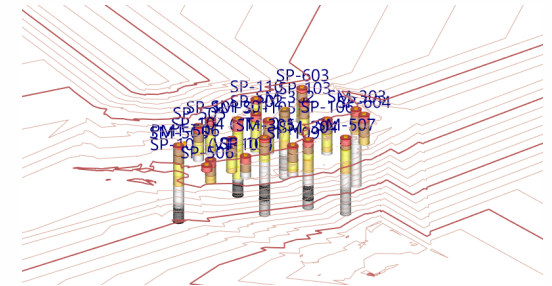
# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

## RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS

### ÍNDICE:

- 1. PARAMETRIZAÇÃO GEOMECÂNICA**
2. UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM
3. MODELAGEM NUMÉRICA
4. INSTRUMENTAÇÃO REMOTA
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

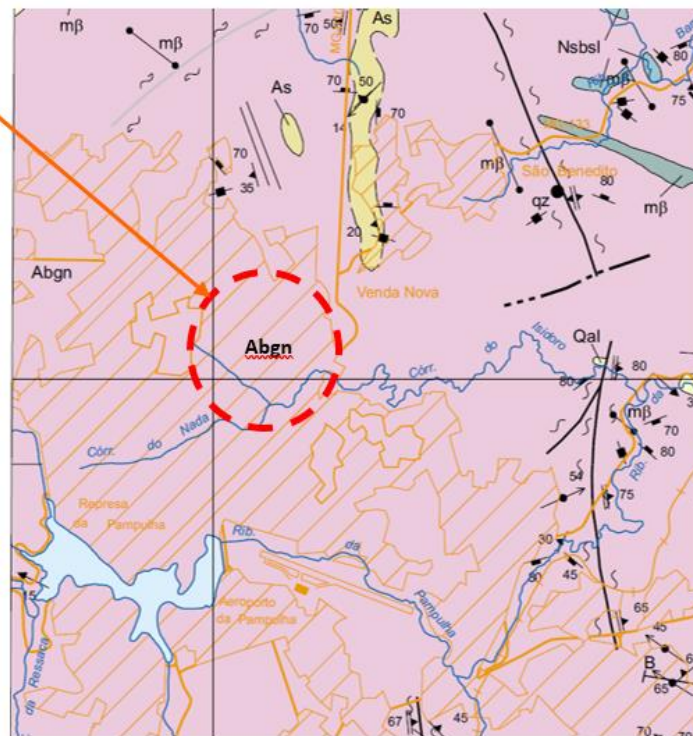




## RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS PARAMETRIZAÇÃO GEOMECÂNICA

Área em estudo

- “Os gnaisses do Complexo Belo Horizonte em geral mostram-se bastante intemperizados
- Muitas vezes essas rochas formam cúpulas
- O solo é arenoso a argilo-arenoso róseo, às vezes um verdadeiro saibro esbranquiçado, nos estágios iniciais de meteorização.”



1. Brandalise, Luíz Alberto. Folha SE.23-Z-C-VI. Estado de Minas Gerais. Escala 1:100 000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Belo Horizonte. Brasília : s.n., 1999.

Complexo Belo Horizonte/	Abyc	Abgn	U/Pb Zircão 2860±14/-10 Ma (mobilizado migmatítico) 2922 Ma (Zircão herdado)	Ab - Granitos/granitóides. Granito Coelho: biotita granito cinza (Ab)yc. Migmatitos com estruturas diversas; paleossoma: anfíbolitos, gnaisses dioríticos, quartzo monzodioríticos; neossoma de composição em geral granítica (Abm). Biotita gnaisses, hornblenda-biotita gnaisses, biotita-hornblenda gnaisses de composição tonalítica/granodiorítica (trondhjemitos), granitóides, granito gnaisses, gnaisses quartzo monzoníticos, lentes de anfíbolitos (Abgn). Agm - Biotita (hornblenda) gnaisses bandado de composição granítica, granodiorítica e tonalítica, com intercalações de anfíbolitos, granitóides e migmatitos.	Ab- Fácies anfíbolito/anfíbolito alto; deformação anterior a Dn com zonas de cisalhamento dúcteis exclusivas dos gnaisses; (alto ângulo) afetado por Dn+1 na parte E e na região do Espinhaço.
Complexo Granítico-Gnáissico-Migmatítico	Ab	Abm			



Foram realizados, em ambas as áreas de intervenção, um conjunto de trabalhos de prospeção mecânica, prospeção geofísica, e de ensaios in situ. Nomeadamente:

- Sondagens percussivas associadas a ensaios de penetração dinâmica do tipo SPT (Standard Penetration Test);
- Sondagens mistas associadas a ensaios de penetração dinâmica do tipo SPT (Standard Penetration Test);
- Ensaios de permeabilidade in situ, de infiltração em solos e de perda de água sob pressão em rocha;
- Ensaios in situ de palheta (Vane test);
- Ensaios in situ de pressiômetro (PMT);
- Ensaios in situ de diatômetros de Marchetti (DMT);
- Ensaios in situ do tipo Crosshole;
- Ensaios in situ do tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).



#### *Unidades estratigráficas interferidas na campanha de prospecção*

Estratigrafia		Litologia
Recente	Depósitos de aterro	Argilas areno-siltosas por vezes com fragmentos líticos
	Depósitos aluvionares/coluvionares	Argilas, por vezes com matéria orgânica, argilas arenosas, argilas siltosas, siltes arenosos, siltes argilo-arenosos e areias
Arqueano	Complexo Belo Horizonte – Ab	Solos resultantes da alteração do maciço rochoso de gnaïsse (siltes arenosos, siltes argilosos e areias com argila e silte)
		Maciço rochoso (gnaïsse) muito alterado a são

#### *Zonamento geotécnico*

I.D.	Descrição	Litologia
ZGC.2	Depósitos de aterro	Argilas areno-siltosas por vezes com fragmentos líticos
ZGC.1	Depósitos aluvionares/coluvionares	Argilas, por vezes com matéria orgânica, argilas arenosas, argilas siltosas, siltes arenosos, siltes argilo-arenosas e areias
ZGB.3	Solos de alteração ( $N_{SPT} < 30$ )	Siltes arenosos, siltes argilosos e areias com argila e silte
ZGB.2	Solos de alteração ( $30 < N_{SPT} < 60$ )	Siltes arenosos e siltes arenosos com argila
ZGB.1	Solos de alteração ( $N_{SPT} > 60$ ) / Gnaïsse (A5/C5)	siltes arenosos, areias siltosas e areias médias a grossas
ZGA.2	Gnaïsse (A4/C4)	Maciço rochoso muito alterado
ZGA.1	Gnaïsse (A3/C3) a (A1/C1)	Maciço rochoso são a moderadamente alterado



## RESERVATÓRIOS PROFUNDOS "NADO 1" E "VILARINHO 2", EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS PARAMETRIZAÇÃO GEOMECÂNICA

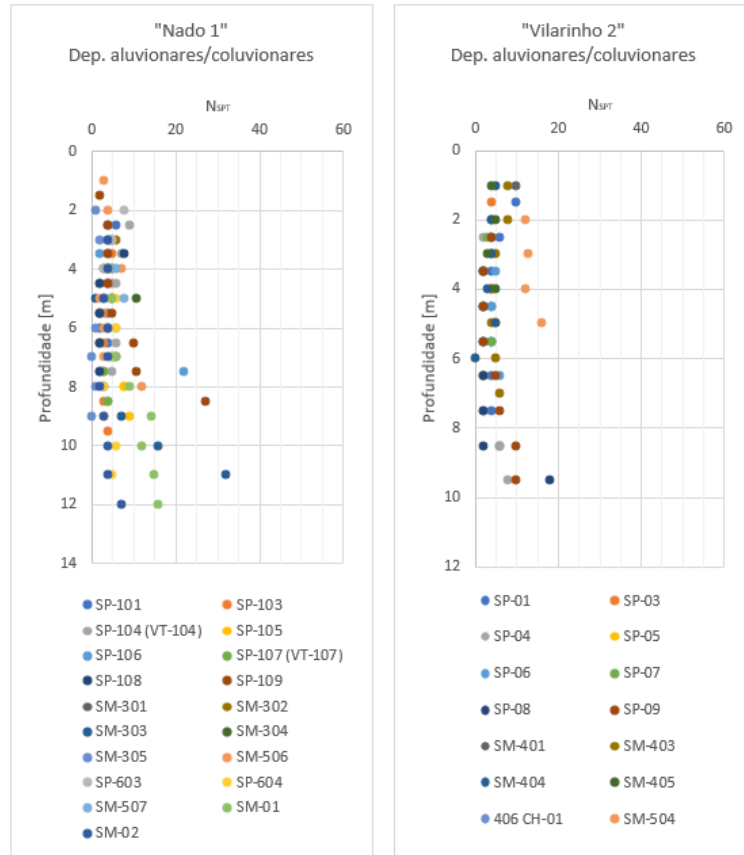


Figura 11 - Resultados dos ensaios de penetração dinâmica executados na área de implantação do reservatório "Nado 1" - Depósitos aluvionares/coluvionares  
 Figura 12 - Resultados dos ensaios de penetração dinâmica executados na área de implantação do reservatório "Vilarinho 2" - Depósitos aluvionares/coluvionares

Tabela 15 - Síntese dos resultados ensaios de penetração dinâmica executados na área de implantação do reservatório "Nado 1" - Depósitos aluvionares/coluvionares

"Nado 1" - Depósitos aluvionares/coluvionares			
N <sub>SPT</sub>	Designação segundo NBR 6484:2020	Nº de ensaios	%
≤ 2	Muito mole	24	19,0%
3 a 5	Mole	65	51,6%
6 a 10	Média(o)	26	20,6%
11 a 19	Rija(o)	8	6,3%
20 a 30	Muito rija(o)	2	1,6%
> 30	Dura(o)	1	0,8%

Tabela 16 - Síntese dos resultados ensaios de penetração dinâmica executados na área de implantação do reservatório "Vilarinho 2" - Depósitos aluvionares/coluvionares

"Vilarinho 2" - Depósitos aluvionares/coluvionares			
N <sub>SPT</sub>	Designação segundo NBR 6484:2020	Nº de ensaios	%
≤ 2	Muito mole	21	23,6%
3 a 5	Mole	43	48,3%
6 a 10	Média(o)	16	18,0%
11 a 19	Rija(o)	9	10,1%
20 a 30	Muito rija(o)	0	0,0%
> 30	Dura(o)	0	0,0%

Tabela 17 - Síntese dos resultados dos ensaios de penetração dinâmica (SPT) - Depósitos aluvionares/coluvionares

Depósitos aluvionares/coluvionares	"Nado 1"		"Vilarinho 2"		Total	
	N <sub>SPT</sub>	N <sub>60</sub>	N <sub>SPT</sub>	N <sub>60</sub>	N <sub>SPT</sub>	N <sub>60</sub>
Nº de ensaios	123	123	89	89	193	193
Mínimo	0	0	0	0	0	0
Máximo	16	16,72	18	20	18	19,80
Média	4,8	4,2	5,4	5,0	4,9	4,6
Desvio padrão	3,0	2,6	3,8	3,9	3,2	3,3
COV	62%	61%	70%	77%	66%	71%



## RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS PARAMETRIZAÇÃO GEOMECÂNICA

Tabela 19 - Síntese dos resultados ensaios de penetração dinâmica executados na área de implantação do reservatório “Nado 1” - Camadas de alteração (solos residuais e saprólitos)

"Vilarinho 2" - Camadas de alteração (solos residuais e saprólitos)			
$N_{SPT}$	Designação segundo NBR 6484:2020	Nº de ensaios	%
$\leq 2$	Fofa(o)	6	2,0%
5 a 8	Pouco compacta(o)	19	6,3%
9 a 18	Medianamente compacta(o)	87	28,7%
19 a 40	Compacta(o)	152	50,2%
> 40	Muito compacta(o)	39	12,9%

Tabela 20 - Síntese dos resultados dos ensaios de penetração dinâmica (SPT) - Camadas de alteração (solos residuais e saprólitos) com  $N_{SPT} \leq 30$

Camadas de alteração ( $N_{SPT} \leq 30$ )	"Nado 1"			"Vilarinho 2"			Total		
	$N_{SPT}$	$N_{60}$	( $N_c$ ) <sub>60</sub>	$N_{SPT}$	$N_{60}$	( $N_c$ ) <sub>60</sub>	$N_{SPT}$	$N_{60}$	( $N_c$ ) <sub>60</sub>
Nº de ensaios	170	170	170	219	219	219	379	379	85
Mínimo	0	2	1	3	3	3	0	2	1
Máximo	30	33,00	25,64	30	33	27	30	33,00	27
Média	14,1	14,8	9,2	18,1	19,6	11,7	16,2	17,6	10,6
Desvio padrão	8,4	9,0	5,5	7,4	8,3	4,4	8,1	9,0	5,0
COV	59%	61%	60%	41%	42%	38%	50%	51%	47%

Tabela 21 - Síntese dos resultados dos ensaios de penetração dinâmica (SPT) - Camadas de alteração (solos residuais e saprólitos) com  $30 < N_{SPT} < 60$

Camadas de alteração ( $30 < N_{SPT} < 60$ )	"Nado 1"			"Vilarinho 2"			Total		
	$N_{SPT}$	$N_{60}$	( $N_c$ ) <sub>60</sub>	$N_{SPT}$	$N_{60}$	( $N_c$ ) <sub>60</sub>	$N_{SPT}$	$N_{60}$	( $N_c$ ) <sub>60</sub>
Nº de ensaios	50	50	50	84	84	84	127	127	53
Mínimo	32	35	15	31	34	12	31	34	12
Máximo	58	63,80	40,20	57	63	84	58	63,80	84
Média	42,2	47,6	25,8	40,2	44,2	23,8	41,3	45,4	24,4
D. Padrão	8,4	9,3	6,5	6,1	6,7	15,8	7,3	8,0	7,1
COV	20%	20%	25%	15%	15%	66%	18%	18%	29%

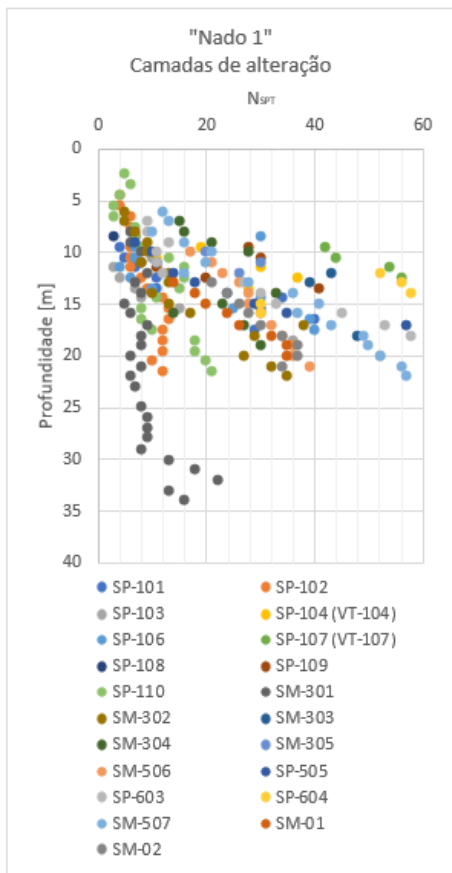


Figura 13 - Resultados dos ensaios de penetração dinâmica executados na área de implantação do reservatório “Nado 1” - Camadas de alteração (solos residuais e saprólitos)

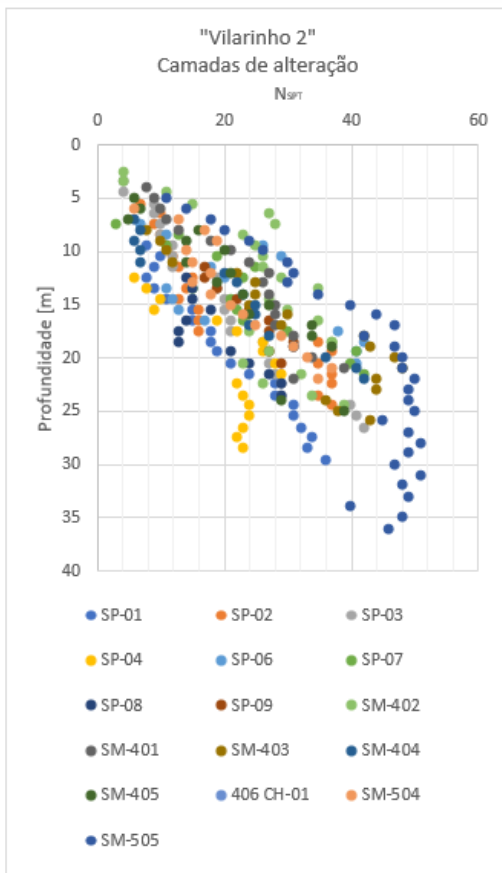


Figura 14 - Resultados dos ensaios de penetração dinâmica executados na área de implantação do reservatório “Vilarinho 2” - Camadas de alteração (solos residuais e saprólitos)



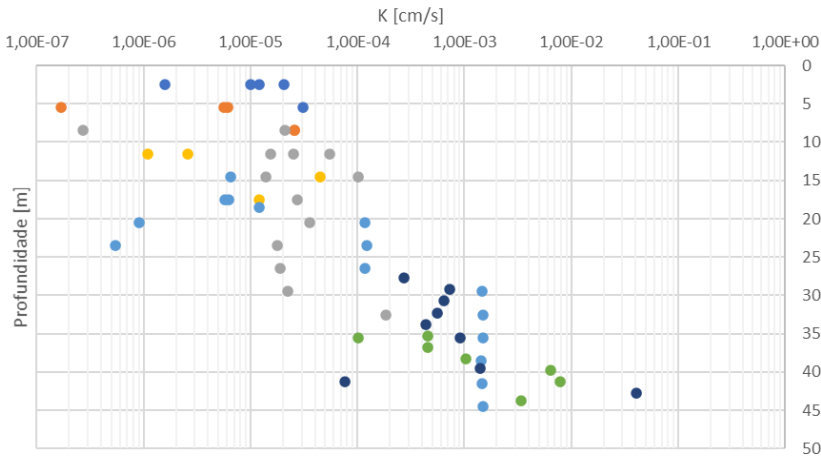
# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA  
 IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS - SBMR  
 IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTÉCNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
 XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTÉCNICA - CLBG

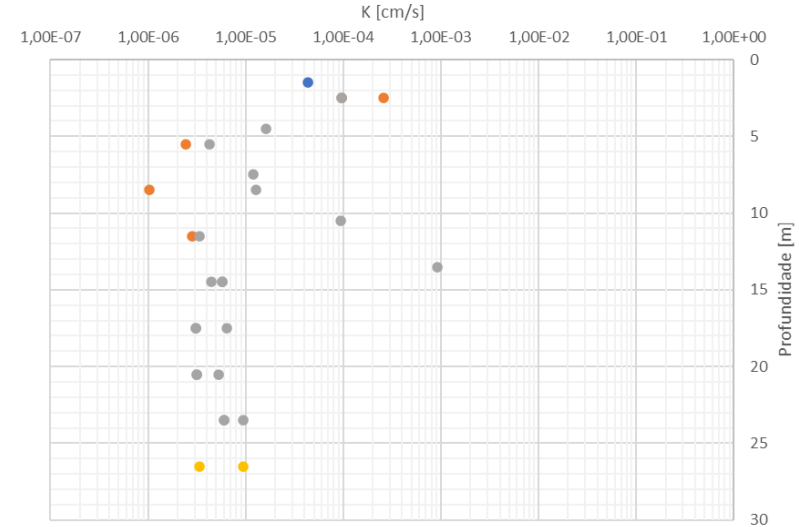
## RESERVATÓRIOS PROFUNDOS "NADO 1" E "VILARINHO 2", EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS PARAMETRIZAÇÃO GEOMECÂNICA

"Nado 1" - Resultados de ensaios de permeabilidade *in situ*



- Depósitos de aterro
- Depósitos aluvionares/coluvionares
- Solos de alteração (NSPT<30)
- Solos de alteração (30<NSPT<60)
- Solos de alteração (NSPT>60)/Gnaíse (A5/C5)
- Gnaíse (A4)
- Gnaíse (A3/C3 a A1/C1)

"Vilarinho 2" - Resultados de ensaios de permeabilidade *in situ*



- ZGC.1 (Depósitos de aluvionares/coluvionares)
- Solos de alteração (NSPT<30)

Síntese dos resultados dos ensaios de permeabilidade *in situ* executados na totalidade da área de estudo "Nado 1" + "Vilarinho 2"

Ensaios de permeabilidade *in situ* executados na totalidade da área em estudo "Nado 1" + "Vilarinho 2"

	Depósitos de aterro	Depósitos aluvionares/coluvionares	Solos de alteração (NSPT<30)	Solos de alteração (30<NSPT<60)	Solos de alteração (NSPT>60)/Gnaíse (A5/C5)	Gnaíse (A4/C4)	Gnaíse (A3/C3 a A1/C1)	
<b>Nº de ensaios</b>	6	9	17	8	15	7	5	[un.]
<b>Mínimo</b>	1,59E-06	1,70E-07	2,69E-07	1,02E-06	5,42E-07	1,01E-04	7,56E-05	[cm/s]
<b>Máximo</b>	4,30E-05	2,60E-04	1,83E-04	2,60E-04	1,50E-03	7,80E-03	4,02E-02	[cm/s]
<b>Média</b>	1,96E-05	3,66E-05	3,28E-05	4,08E-05	6,13E-04	2,81E-03	5,03E-03	[cm/s]
<b>D. Padrão</b>	1,38E-05	7,95E-05	4,44E-05	8,40E-05	7,00E-04	2,93E-03	1,24E-02	[-]
<b>COV</b>	70%	217%	136%	206%	114%	104%	248%	[-]



# COBRAMSEG 2022

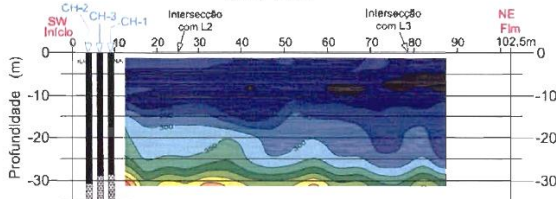
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
 XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
 IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
 IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
 XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

## RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS PARAMETRIZAÇÃO GEOMECÂNICA

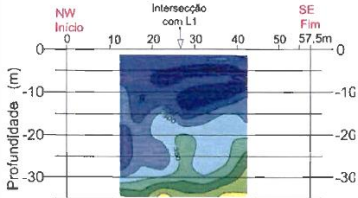
Classe de solo	Descrição do perfil estratigráfico	Parâmetros		
		$V_{s,30}$ [m/s]	$N_{SPT}$	$S_u$ [kPa]
A	Rocha ou formação geológica rochosa, que inclua, no máximo 5m de material mais fraco à superfície	> 800	-	-
B	Depósitos de areia muito densa, cascalho ou argila muito rija com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros, caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas em profundidade	360 – 800	> 50	> 250
C	Depósitos profundos de areia de densidade média a elevada, de cascalho ou de argila dura, com espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros	180 – 360	15 – 50	70 – 250
D	Depósitos soltos de solos não coesivos (com ou sem ocorrência de algumas camadas coesivas brandas), ou de solos coesivos predominantemente de fraca a média consistência	< 180	< 15	< 70
E	Perfil de solo com um nível aluvionar superficial com $V_s < 360$ m/s e espessura variando entre 5 e 20 m, sobrejacente a um nível mais rígido (com $V_s > 800$ m/s)	< 360		
S <sub>1</sub>	Depósitos consistindo ou contendo uma camada com pelo menos 10m de espessura – de argilas ou siltes brandos com elevado índice de plasticidade ( $IP > 40\%$ ) e elevado teor em água	< 100 (indicativo)	-	10 – 20
S <sub>2</sub>	Depósitos de solos com potencial de liquefação, ou argilas sensíveis, ou outros perfis não incluídos nos tipos anteriores			

### Perfis de Velocidade de Onda S - Área do Reservatório Nado

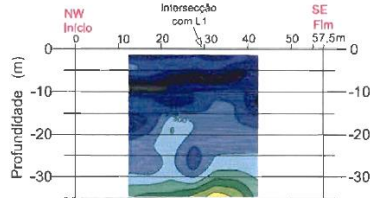
#### Perfil Vs L1



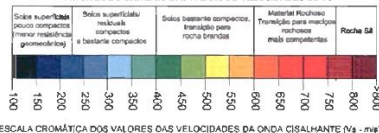
#### Perfil Vs L2



#### Perfil Vs L3



#### CLASSIFICAÇÃO PRELIMINAR DOS MATERIAIS DA SUBSUPERFÍCIE ATRAVÉS DO CRITÉRIO DAS FADAS DE VELOCIDADES DE $V_s$



Terrenos tipo definidos no Eurocódigo 8, tendo por base a velocidade de propagação das ondas de cisalhamento (EN 1998-1, 2004)



*Estimativa do ângulo de atrito interno das zonas geotécnicas ZGB1, ZGB2 e ZGB3*

			ZGB.3	ZGB.2	ZGB.1
		$[(N_1)_{60}]$ Médio	10,6	24,4	60,0
Referência	Correlação				
(4)	Kulhawy & Mayne (1990)	$\varphi' = 54 - 27.6034e^{-0.014(N_1)_{60}}$	30,2	34,4	42,1
(2)	Hutanaka & Uchida (1996)	$\varphi' = 20 + \sqrt{15.4(N_1)_{60}}$	32,8	39,4	50,4
(2)	Wolff (1989)	$\varphi' = 27,1 - 0.3(N_1)_{60} - 0.00053(N_1)_{60}^2$	30,2	34,1	43,2
(2)	Teixeira (1996)	$\varphi' = 15 + \sqrt{24(N_1)_{60}}$	31,0	39,2	52,9
	Mínimo		30,2	34,1	42,1
	Máximo		32,8	39,4	52,9
	Média		31,0	36,8	47,2
	Desvio P.		1,1	2,5	4,6
	COV		3%	7%	10%

*Correlação entre a compacidade ( $I_D$ ), número de golpes do ensaio SPT normalizado,  $(N_1)_{60}$ , o ângulo de atrito interno ( $\varphi'$ ) e o módulo de elasticidade ( $E$ ) (adaptado do Eurocódigo 7)*

	Muito solta	Solta	Medianamente densa	Densa	Muito densa
$I_D$ [%]	0 - 15	15 - 35	35 - 65	65 - 85	85 - 100
$(N_1)_{60}$	0 - 3	3 - 8	8 - 25	25 - 42	42 - 58
$E$ [MPa]	10	15	25	45	75
$\phi'$ [°]	30	33	36	39	41

Para areias finas, os valores de  $(N_1)_{60}$  devem ser reduzidos por 55/60;

Para areias grosseiras, os valores de  $(N_1)_{60}$  devem ser aumentados de 65/60;

Para areias siltsosas os valores de  $\phi'$  devem ser reduzidos em 3°.

Para cascalhos os valores de  $\phi'$  devem ser aumentados em 2°.



# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

## RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS PARAMETRIZAÇÃO GEOMECÂNICA

$$E = E_i \left( 0,02 + \frac{1 + D/2}{1 + e^{(60+15D-GSI)/11}} + s \right)$$

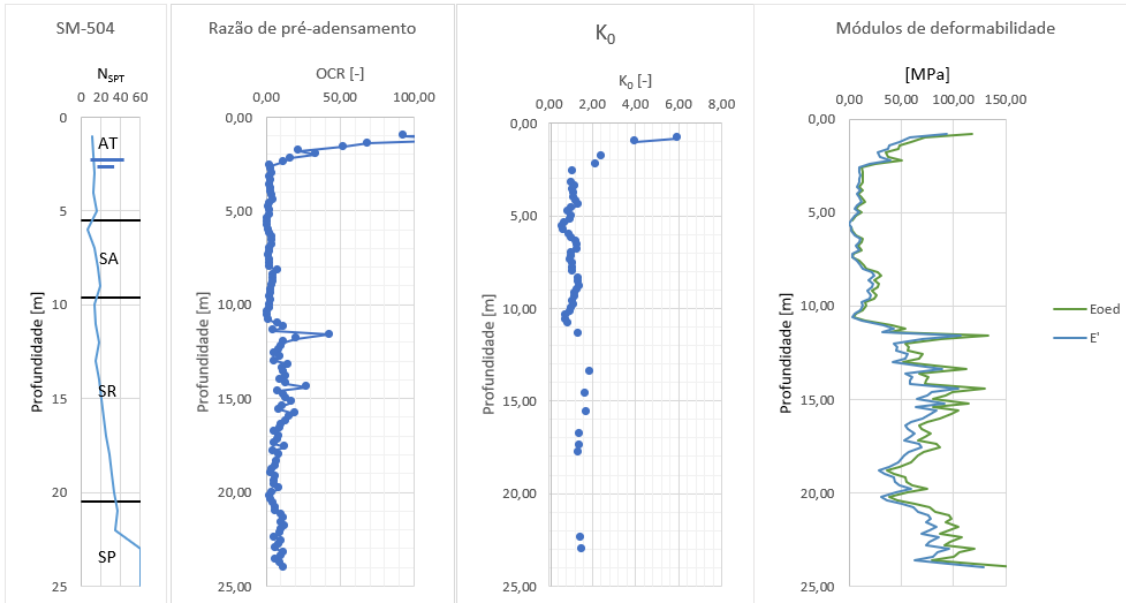
	ZGA.2	ZGA.1	
E	2753	5979	[MPa]

$$G_0 = \rho \cdot V_s^2$$

I.D.	Descrição	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	$G_0$ [MPa]
ZGC.2	Depósitos de aterro	1,7	211	76
ZGC.1	Depósitos aluvionares/coluvionares	1,6	228	83
ZGB.3	Solos de alteração ( $N_{SPT} < 30$ )	1,8	279	140
ZGB.2	Solos de alteração ( $30 < N_{SPT} < 60$ )	2,0	579	670
ZGB.1	Solos de alteração ( $N_{SPT} > 60$ ) / Gnaisse (A5/C5)	2,1	597	748



### Ensaio DMT – Dilatômetro Marchetti



AT: Aterro; SC: Solo coluvionar; SR: Solo residual; SP: Saprólito

Perfil estratigráfico e resultado dos ensaios de penetração dinâmica (SPT) da sondagem SM-504 e correlações obtidas para o ensaio in situ DMT-504 (“Vilarinho 2”)

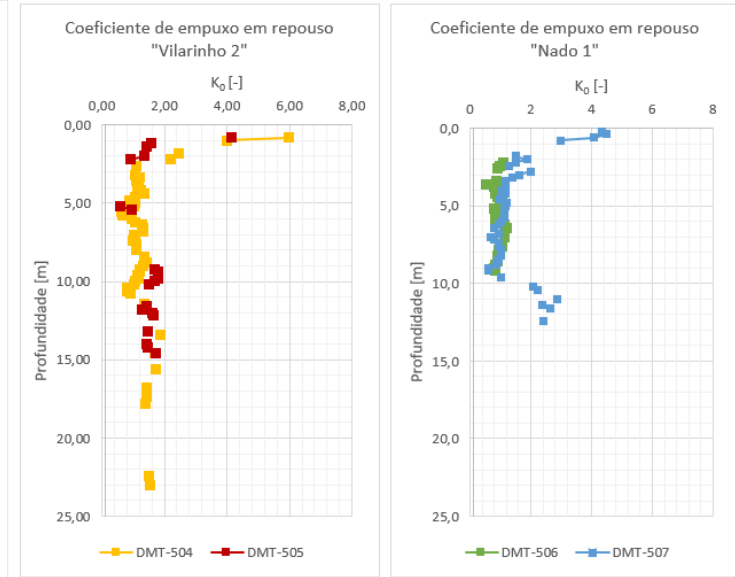


Figura 20 – Valores do coeficiente de empuxo em repouso estimados nos ensaios DMT-504 e DMT-505 executados na área de implantação do reservatório “Vilarinho 2”

Figura 21 – Valores do coeficiente de empuxo em repouso estimados nos ensaios DMT-506 e DMT-507 executados na área de implantação do reservatório “Nado 1”

#### Parâmetros intermediários - Ensaios in situ de dilatômetro de Marchetti

Índice	Expressão de cálculo	Aplicação
$I_D$ – Índice de material	$I_D = \frac{P_1 - P_0}{P_0 - u_0}$	Indicador do tipo de solo, servindo de referência à faixa de aplicabilidade de correlações empíricas
$E_D$ – Módulo dilatométrico	$E_D = 34,7(P_1 - P_0)$	Determinação do módulo de elasticidade do solo
$K_D$ – Índice de tensão horizontal	$K_D = \frac{P_1 - P_0}{\sigma'_{v0}}$	Avaliação do estado de tensão do solo em repouso e do histórico de tensões



## Ensaio PMT – Pressiômetro Menard

*Parâmetro  $\alpha$  para a obtenção de  $E'$  (adaptado de (4))*

Tipo de solo	Turfa		Argila		Silte		Areia		Areia e seixo	
	$E_M/p_l^*$	$\alpha$	$E_M/p_l^*$	$\alpha$	$E_M/p_l^*$	$\alpha$	$E_M/p_l^*$	$\alpha$	$E_M/p_l^*$	$\alpha$
Pré-adensado	-	1,0	>16	1,0	>14	2/3	>12	1/2	>10	1/3
Normalmente adensado	-	1,0	9-16	2/3	8-14	1/2	7-12	1/3	6-10	1/4
Remexido	-	1,0	7-9	1/2	-	1/2	-	1/3	-	1/4
<b>Rocha</b>	Extrema/. fraturada $\alpha = 1/3$		Outras $\alpha = 1/2$		Ligeira/. Fraturada ou Extrema/. alterada $\alpha = 2/3$					



### Ensaio PMT – Pressiômetro Menard

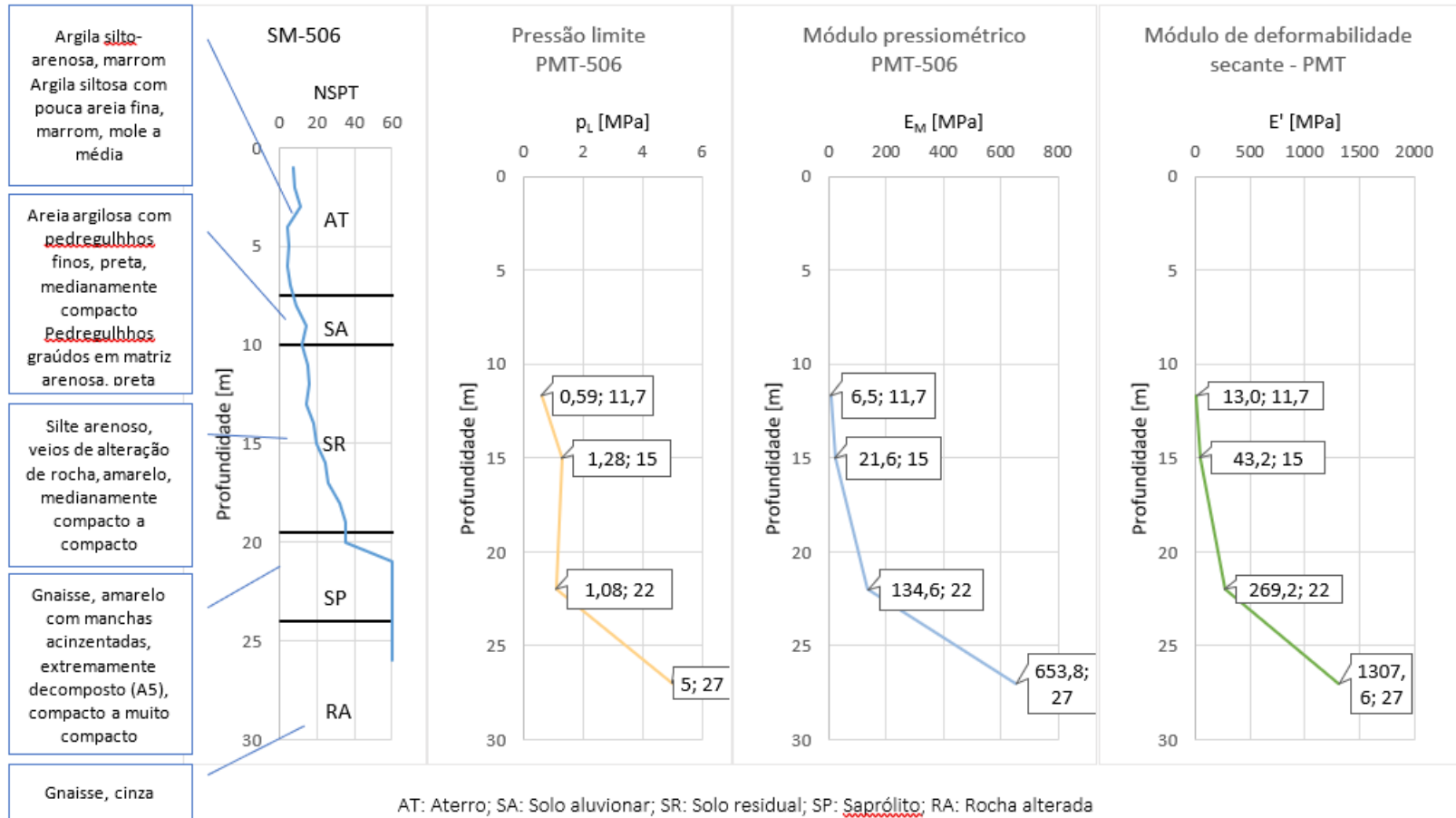


Figura 26 - Perfil estratigráfico e resultado dos ensaios de penetração dinâmica (SPT) da sondagem SM-506 e resultados do ensaio in situ PMT-506 (“Nado 1”)



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO  
HORIZONTE, MINAS GERAIS  
PARAMETRIZAÇÃO GEOMECÂNICA

As características mecânicas das camadas foram estimadas essencialmente a partir da observação dos boletins de sondagem e respectivas fotografias, bem como dos resultados dos ensaios *in situ*, dos testemunhos das sondagens e da sua classificação em termos de estados de alteração, espaçamento da fraturação, das percentagens de recuperação e RQD.

Os ensaios *in situ* de pressiômetro de Ménard (PMT) e dilatômetro de Marchetti (DMT), permitiram a determinação dos módulos de deformabilidade das zonas geotécnicas ZGC (depósitos de material recente) e ZGB (solos resultantes da alteração do maciço de gnaíse), bem como a estimativa do respectivo estado de tensão geostático *in situ*.



Tabela 9 - Tabela síntese de parametrização geomecânica para solos

I.D.	Descrição	Litologia	$\gamma_{dry}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Envolória de ruptura				Deformabilidade				Estado de tensão <i>in situ</i>		Parâmetros hidráulicos		
					$\phi'$ [°]	$c'$ [kPa]	$S_{u1}$ [kPa]	$S_{u2}$ [kPa]	$E'$ [MPa]	$E_{ed}$ [MPa]	$u$ [-]	$V_s$ [m/s]					$G_0$ [MPa]
ZGC.2	Depósitos de aterro	Argilas areno-siltosas por vezes com fragmentos líticos	17	18	27	0	37,6	-	14	17,5	0,20	211	76	1	-	$1,96 \times 10^{-5}$	$9,82 \times 10^{-6}$
ZGC.1	Depósitos aluvionares/coluvionares	Argilas, por vezes com matéria orgânica, argilas arenosas, argilas siltosas, siltes arenosos, siltes argilo-arenosos e areias	16	17	30	0	60	25	12,5	15,6	0,30	228	83	1	2 a 3	$3,66 \times 10^{-5}$	$1,83 \times 10^{-5}$
ZGB.3	Solos de alteração (N<30)	Siltes arenosos, siltes argilosos e areias com argila e silte	18	19	31	0	-	-	54	70,9	0,30	279	140	0,48	-	$3,28 \times 10^{-5}$	$3,28 \times 10^{-5}$
ZGB.2	Solos de alteração (30<N<60)	Siltes arenosos e siltes arenosos com argila	20	21	34	0	-	-	96	120	0,30	579	670	0,44	-	$4,08 \times 10^{-5}$	$4,08 \times 10^{-5}$
ZGB.1	Solos de alteração (N>60) / Gnaiss (A5/C5)	siltes arenosos, areias siltosas e areias médias a grossas	21	22	39	0	-	-	1056	-	0,30	597	748	0,37	-	$6,13 \times 10^{-4}$	$6,13 \times 10^{-4}$

Tabela 10 - Tabela síntese de parametrização geomecânica para rochas

I.D.	Descrição	Litologia	$\gamma_{dry}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Envolória de ruptura							Deformabilidade			Estado de tensão <i>in situ</i>	Parâmetros hidráulicos			
					$\sigma_c$ [MPa]	GSI	m	D	$m_b$ [-]	s	a	$\phi'$ [°]	$c'$ [kPa]	$E_i$ [MPa]		$E'$ [MPa]	$u$ [-]	$K_0$ [-]	$k_x$ [cm/s]
ZGA.2	Gnaiss (A4/C4)	Maciço rochoso muito alterado	24	25	160	25	28	0	1,923	0,00024	0,53127	63,6	345	42000	2753	0,22	0,28	$2,81 \times 10^{-3}$	$2,81 \times 10^{-3}$
ZGA.1	Gnaiss (A3/C3) a (A1/C1)	Maciço rochoso são a moderadamente alterado	26	27	160	37	28	0	2,951	0,00091	0,51393	66,5	518	42000	5979	0,22	0,28	$5,03 \times 10^{-3}$	$5,03 \times 10^{-3}$



# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

## RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS PARAMETRIZAÇÃO GEOMECÂNICA

### 1. BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS

1. **Brandalise, Luíz Alberto.** Folha SE.23-Z-C-VI. Estado de Minas Gerais. Escala 1:100 000. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Belo Horizonte.* Brasília : s.n., 1999.
2. **Schnaid, Fernando e Odebrecht, Edgar.** *Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações, 2ª edição.* São Paulo : Oficina de textos, 2012. ISBN: 978-85-7975-059-5.
3. **Bell, F. G.** *Engineering Geology, 2nd edition.* Oxford, UK : Elsevier, 2007. ISBN: 978-0-7506-8077-6.
4. **Kulhawy, F H, and Mayne.** *Manual on estimating soil properties for foundation design.* Ithaca, Nova Iorque : s.n., 1990.
5. **Varghese, P. C.** *Foundation Engineering.* New Delhi : Asoke K. Ghosh, PHI Learning Private Limited, 2012. ISBN-978-81-203-2652-1.
6. **Briaud, Jean Louis.** *Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils.* Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, 2013. ISBN: 978-0-470-94856-9.
7. **Hoek, Evert et al.** Hoek-Brown Failure Criterion – 2002 EDITION. 2002.
8. **Marinos, P and Hoek, E.** GSI – A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. *Proc. GeoEng2000 Conference, Melbourne.* 2000.
9. **Hoek, E. e Diederichs, M.S.** Empirical estimation of rock mass modulus. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences.* 2005, Vol. 43.
10. **Schnaid, Fernando.** *In Situ Testing in Geomechanics: The Main Tests.* New York : Taylor & Francis, 2009.
11. **NP EN 1997-1, Eurocódigo 7 – Projeto geotécnico – Parte 1: Regras gerais.** 2016.
12. **NP EN 1998-1, Eurocódigo 8 – Projeto de estruturas para resistência aos sismos – Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios.** 2011.
13. **NBR 6484, Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio.** 2001.
14. **ISO 22476-3:2005, Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 3: Standard penetration test.** 2005.



**COBRAMSEG 2022**

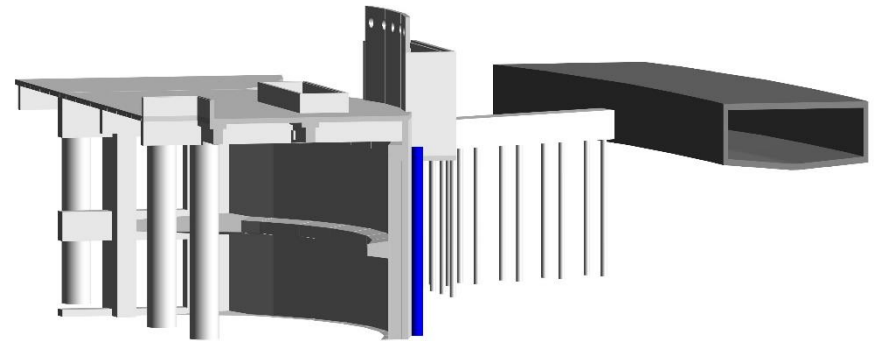
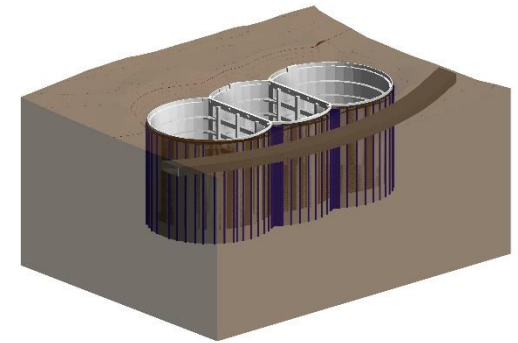
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS

## ÍNDICE:

1. PARAMETRIZAÇÃO GEOMECÂNICA
- 2. UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM**
3. MODELAGEM NUMÉRICA
4. INSTRUMENTAÇÃO REMOTA
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

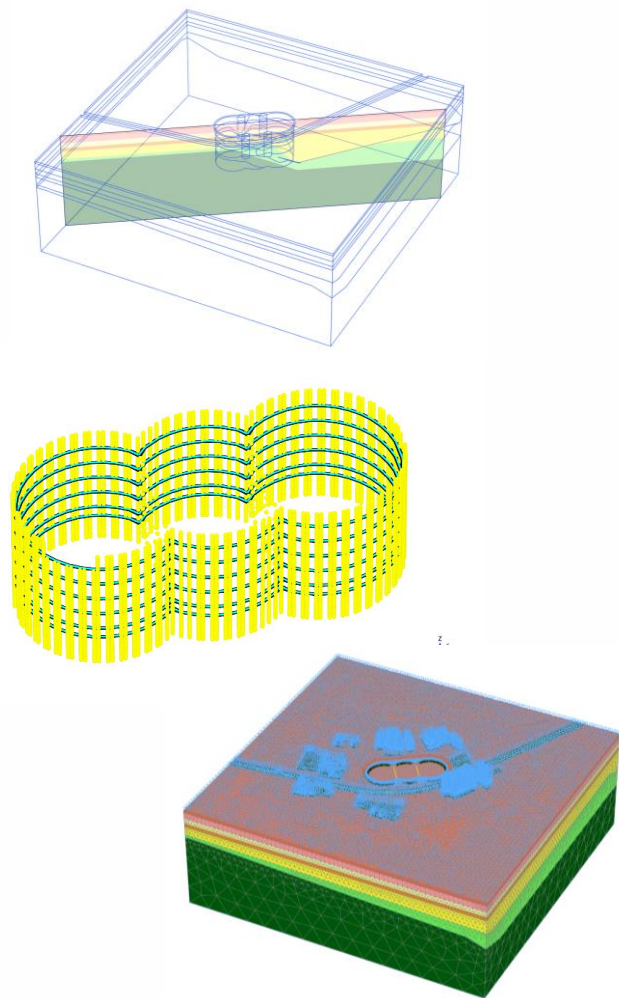




# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTÉCNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTÉCNICA - CLBG

## RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM





# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTÉCNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTÉCNICA - CLBG

## RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM

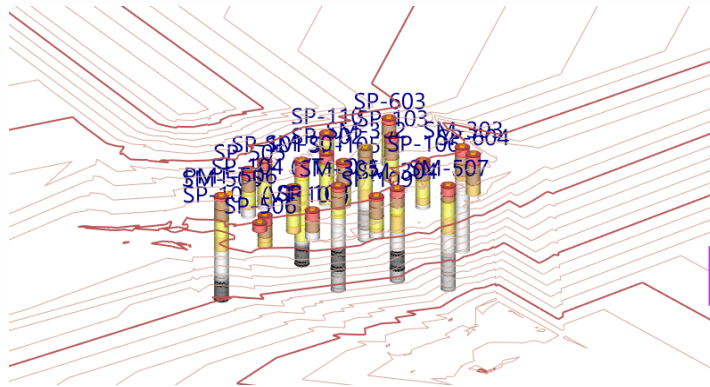
Importação da topografia

Zonamento geológico

Modelagem geoespacial 3D da estratigrafia geológica

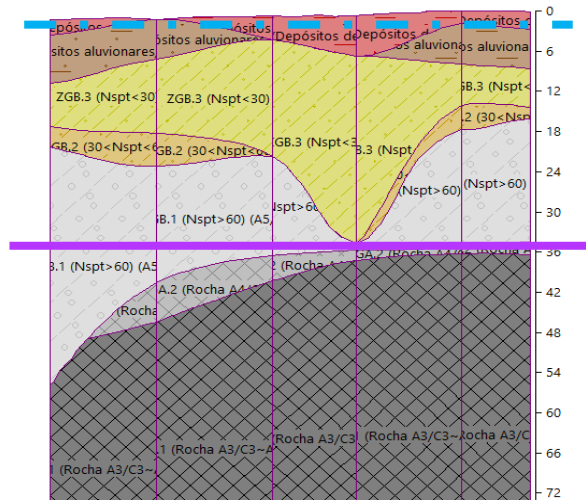
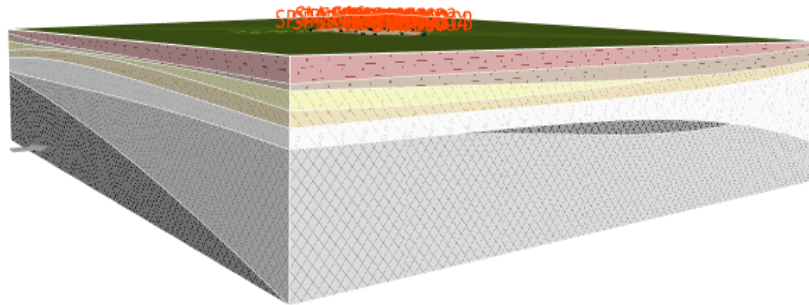
Análise e interpretação da interpolação obtida

Revisão e construção do modelo final



Nível Água

Base do Reservatório





# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO  
HORIZONTE, MINAS GERAIS  
UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM

## 2D Estudos preliminares

- AutoCAD (plantas, vistas e seções)

## BIM Projeto executivo

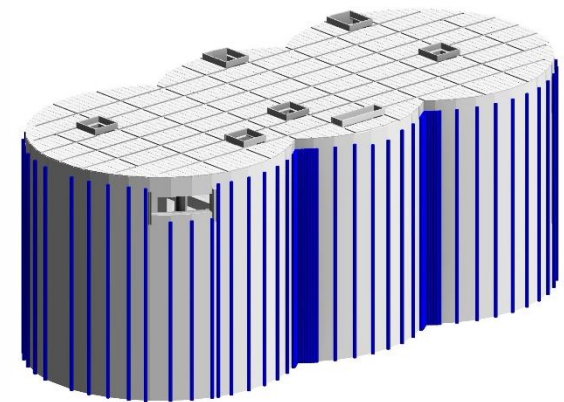
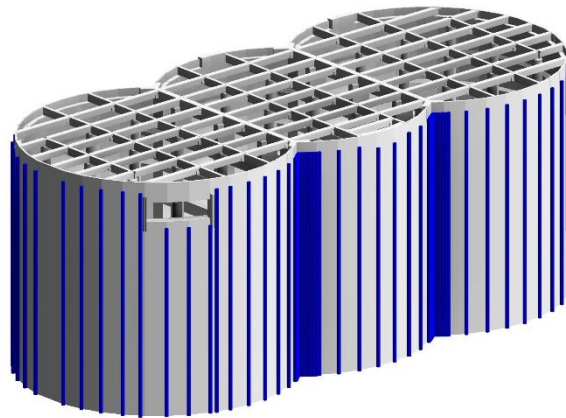
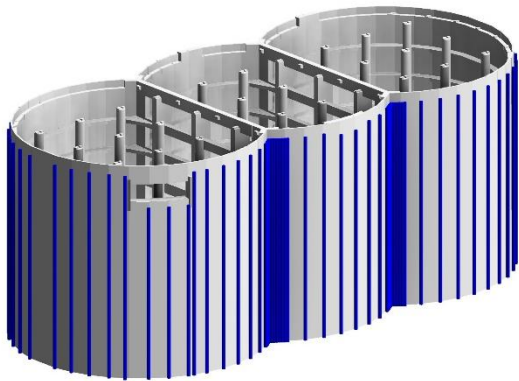
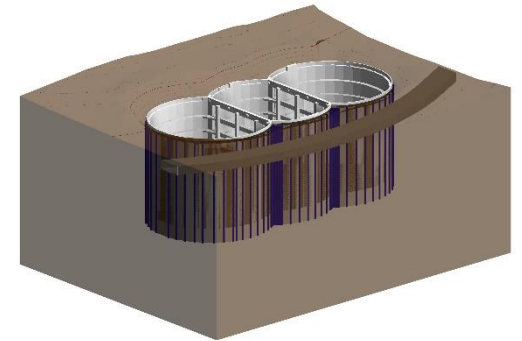
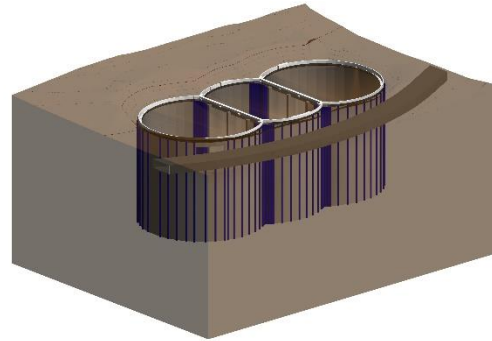
- 3D Modelagem geométrica com base em Revit
- Armação e detalhe de armaduras em Revit (Paredes diafragma) e Tekla (Restantes elementos estruturais)
- Civil 3D Topografia importação - Autodesk Docs
- GEO 5 Compartimentação geológica - Arquivos IFC
- Quantitativo gerado automaticamente a partir da parametrização das diferentes famílias de elementos (concreto, armação e formas)
- Verificação de interseções e conflito entre diferentes elementos estruturais e de barras em zonas fortemente armadas



# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

## RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM



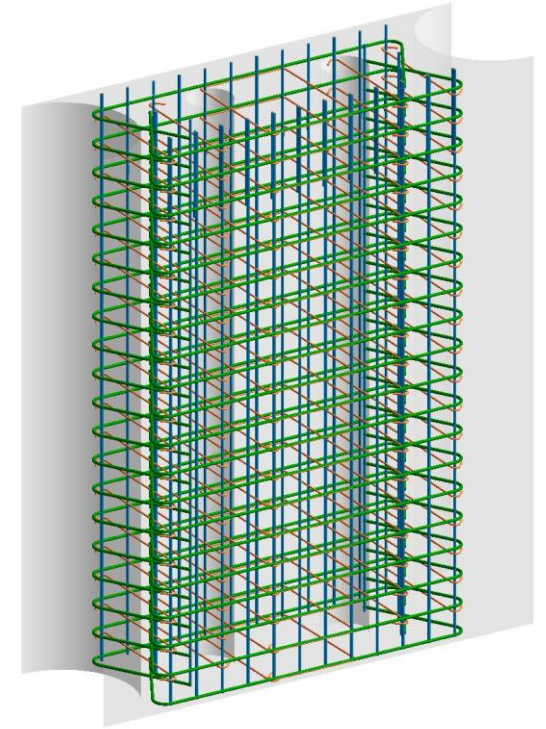
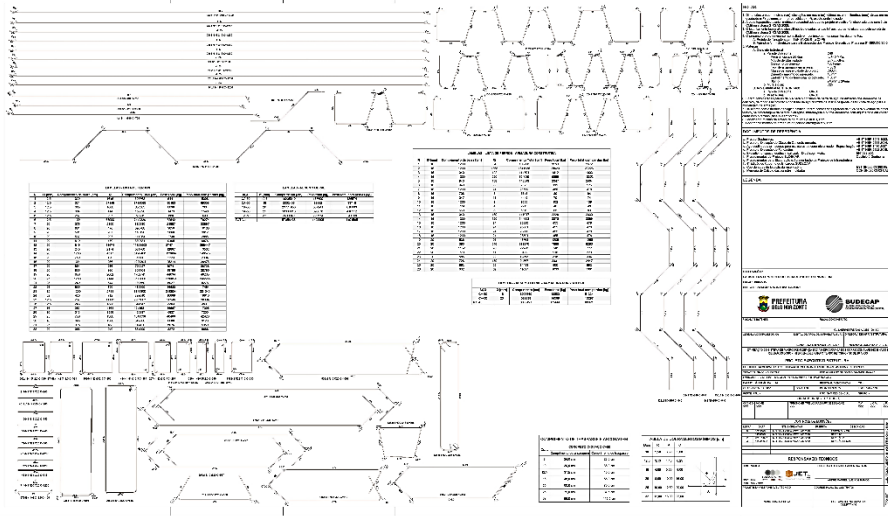


# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTÉCNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

## RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM



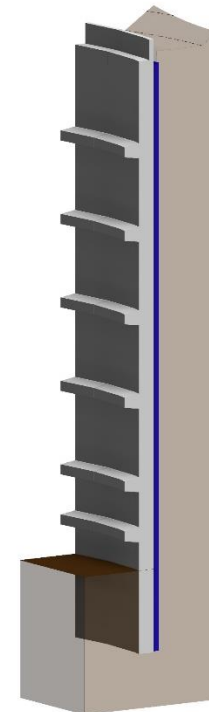
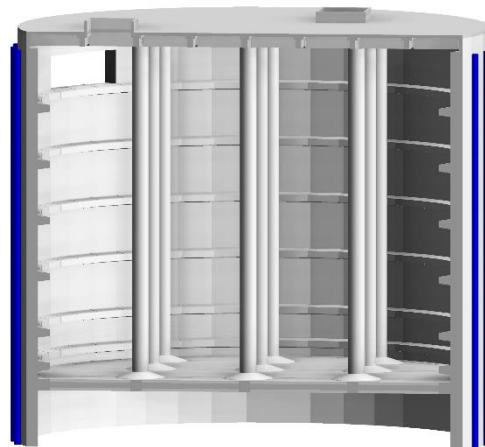
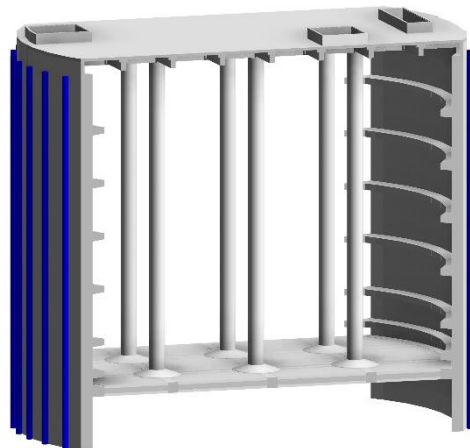


# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

## RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM

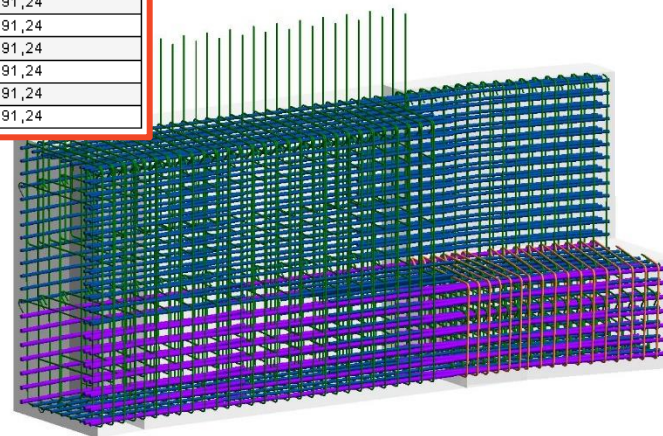


ANEIS - FORMA E CONCRETO

REFERÊNCIA	COTA TOPO	COTA BASE	COMPRIMENTO TOTAL [cm]	ÁREA FORMA [m <sup>2</sup> ]	VOLUME CONCRETO[m <sup>3</sup> ]
NIVEL 1	751,60	750,70	27414	718,24	191,24
NIVEL 2	746,60	745,70	27414	718,24	191,24
NIVEL 3	741,60	740,70	27414	718,24	191,24
NIVEL 4	736,60	735,70	27414	718,24	191,24
NIVEL 5	731,60	730,70	27414	718,24	191,24
NIVEL 6	726,60	727,70	27414	718,24	191,24

ESTRONCAS - FORMA E CONCRETO

TIPO	COTA TOPO	COTA BASE	COMPRIMENTO TOTAL [cm]	ÁREA FORMA [m <sup>2</sup> ]	VOLUME CONCRETO [m <sup>3</sup> ]
EST.1 100x150	751,90	750,40	2634	96,35	35,01
EST.2 100x150	746,90	745,40	2634	96,35	35,01
EST.3 100x180	742,05	740,25	2634	110,35	42,01
EST.4 100x180	737,05	735,25	2634	110,35	42,01
EST.5 100x150	731,90	730,40	2634	96,35	35,01
EST.6 100x150	726,90	725,40	2634	96,35	35,01
EST.7 100x150	746,90	745,40	2634	96,35	35,01
EST.8 100x180	742,05	740,25	2634	110,35	42,01
EST.9 100x180	737,05	735,25	2634	110,35	42,01
EST.10 100x150	731,90	730,40	2634	96,35	35,01
EST.11 100x150	726,90	727,40	2634	96,35	35,01
EST.12 100x150	728,90	727,40	2634	96,35	35,01





# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO  
HORIZONTE, MINAS GERAIS  
UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM

OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE MACRODRENAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS CÓRREGOS VILARINHO E NADO E  
RIBEIRÃO ISIDORO - INTERVENÇÕES PARA O TEMPO RETORNO (TR) DE 10 ANOS



**PREFEITURA  
BELO HORIZONTE**



**SUDECAP**  
SUPERINTENDÊNCIA DE  
DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL



**Consórcio CME**

CONATA CAC ENRGA



**JET<sub>SJ</sub>**



**ESQUISSO**

VDC PROJECTS & MODELLING



**COBRAMSEG 2022**

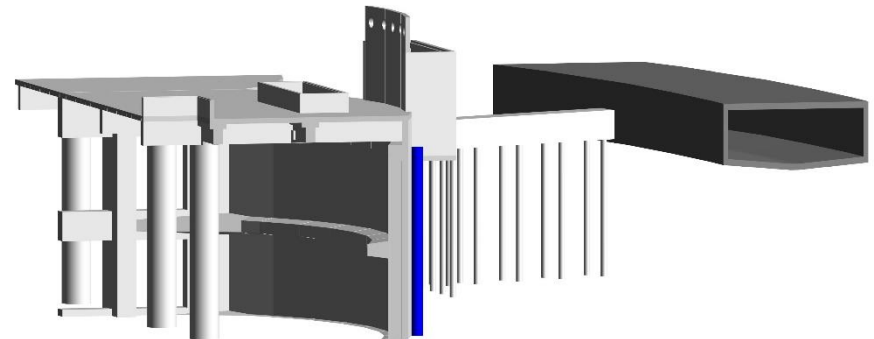
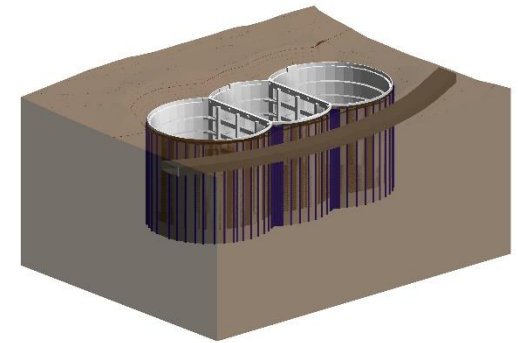
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS

## ÍNDICE:

1. PARAMETRIZAÇÃO GEOMECÂNICA
2. UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM
- 3. MODELAGEM NUMÉRICA**
4. INSTRUMENTAÇÃO REMOTA
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

## RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS MODELAGEM NUMÉRICA

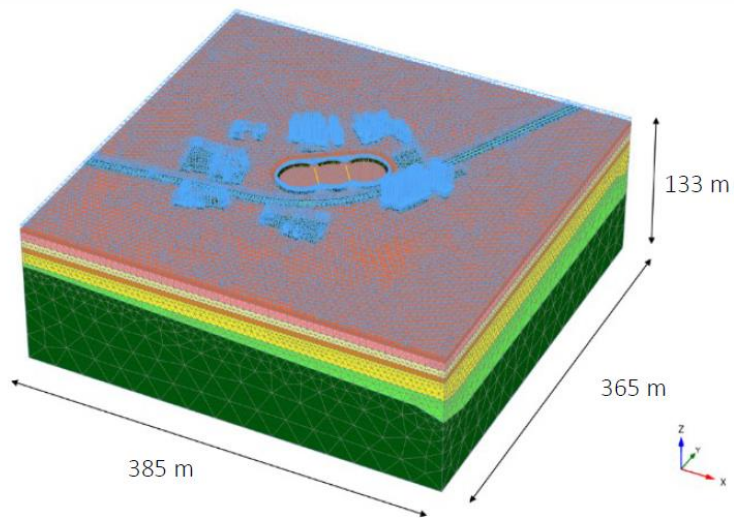


Figura 11 - Geometria e malha de elementos finitos do modelo tridimensional de cálculo (PLAXIS 3D)

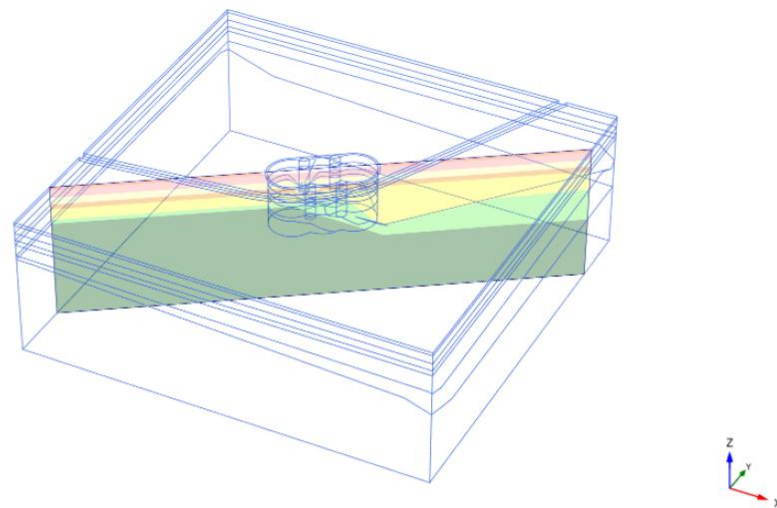


Figura 12 - Geometria do modelo tridimensional de cálculo (PLAXIS 3D) - Seção longitudinal ao desenvolvimento do reservatório



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO  
HORIZONTE, MINAS GERAIS  
MODELAGEM NUMÉRICA

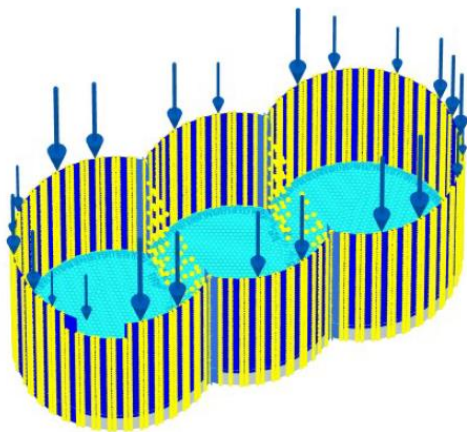


Figura 13 - Geometria do modelo tridimensional de cálculo (PLAXIS 3D) – Elementos estruturais: anéis, pórticos e laje de fundo

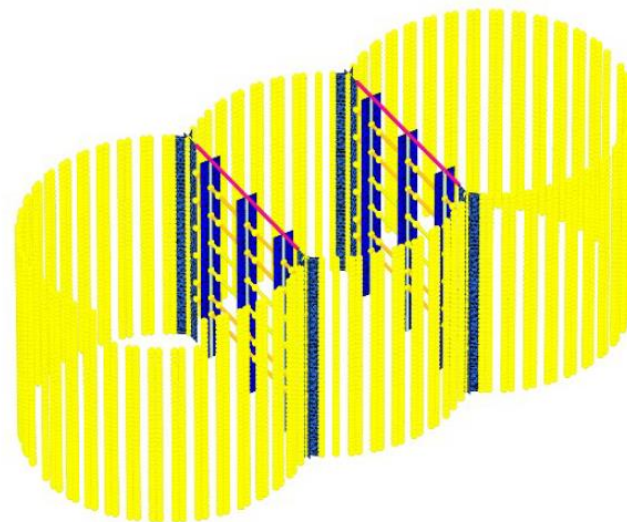


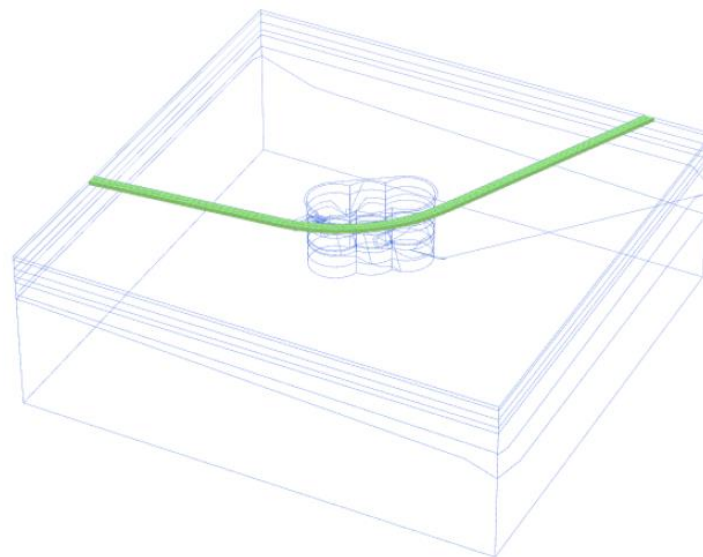
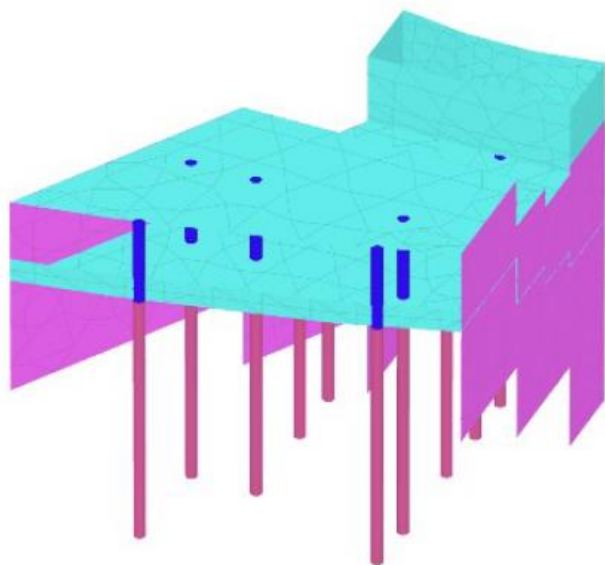
Figura 15 - Geometria do modelo tridimensional de cálculo (PLAXIS 3D) – Pórticos de travamento: estroncas e pilares (elementos do tipo "Beam" e do tipo "Plate")



# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

## RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS MODELAGEM NUMÉRICA





## RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS MODELAGEM NUMÉRICA

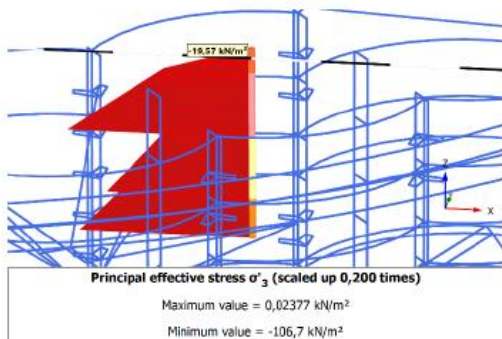


Figura 18 - Tensão mínima principal a meio da camada, na fase inicial de cálculo (Geração do estado de tensão inicial) – ZGC1 (PLAXIS 3D)

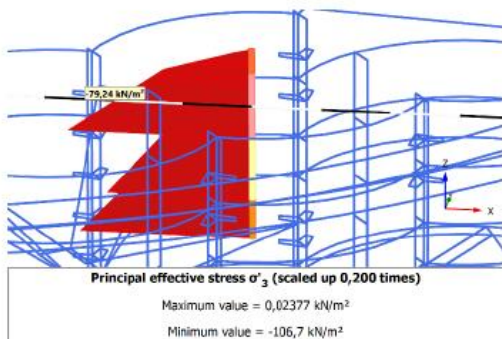


Figura 19 - Tensão mínima principal a meio da camada, na fase inicial de cálculo (Geração do estado de tensão inicial) – ZGC2 (PLAXIS 3D)

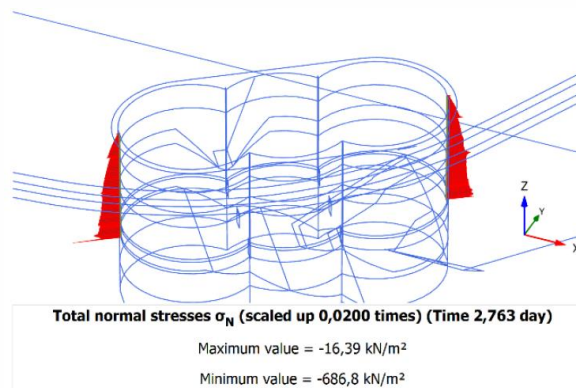


Figura 25 - Estimativa de empuxos nos painéis de fecho das células sul e norte (PLAXIS 3D)

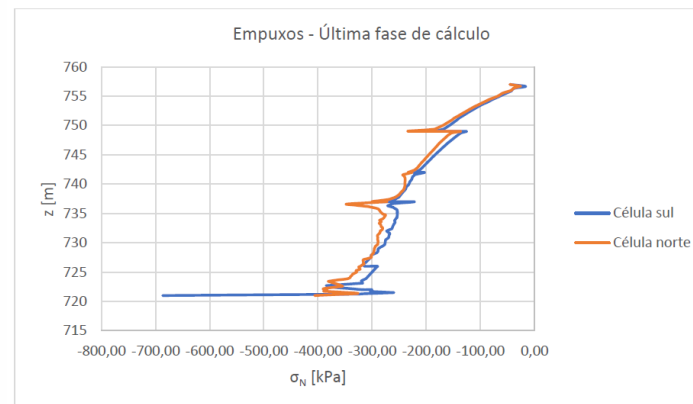


Figura 26 - Estimativa de empuxos nos painéis de fecho das células sul e norte (PLAXIS 3D)

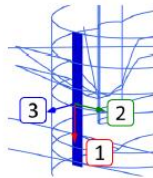


Figura 27 - Sistema de eixos local dos elementos do tipo "Plate" - Lamelas (PLAXIS 3D)

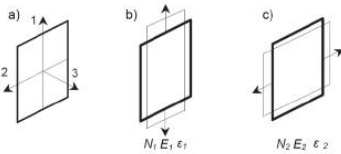
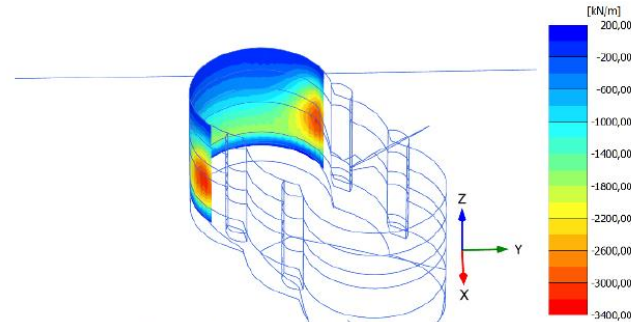


Figura 28 - Esforços axiais positivos em elementos do tipo "Plate". a) Direções dos eixos locais; b) Esforço axial N1; c) Esforço axial N2.

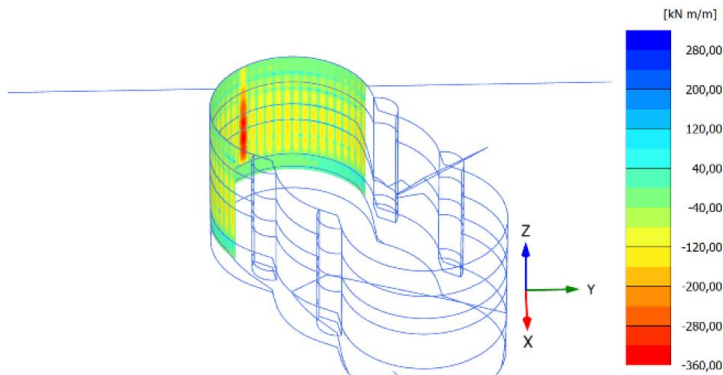


**Axial forces  $N_1$  (scaled up  $5,00 \cdot 10^{-3}$  times)**

Maximum value = 53,40 kN/m (Element 54971 at Node 44951)

Minimum value = -3236 kN/m (Element 27101 at Node 37106)

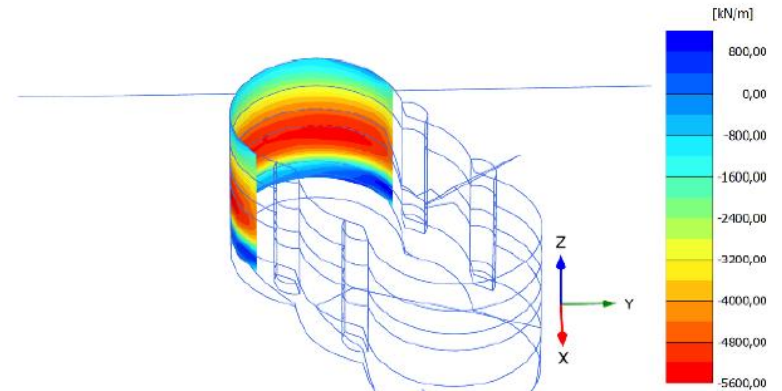
Figura 32 - Esforço axial  $N_1$  (PLAXIS 3D) - Lamelas - Célula Sul -



**Bending moments  $M_{22}$  (scaled up 0,0200 times)**

Maximum value = 283,7 kN m/m (Element 1951 at Node 5839)

Minimum value = -353,3 kN m/m (Element 27388 at Node 210205)



**Axial forces  $N_2$  (scaled up  $2,00 \cdot 10^{-3}$  times)**

Maximum value = 1042 kN/m (Element 51203 at Node 151148)

Minimum value = -5398 kN/m (Element 26663 at Node 208276)

Figura 34 - Esforço axial  $N_2$  (PLAXIS 3D) - Lamelas - Célula Sul - Última fase de escavação (2/2)



# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS  
MODELAGEM NUMÉRICA

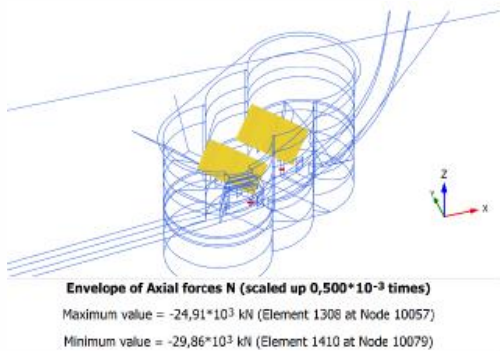


Figura 224 - Envelope de esforço axial – Estroncas - 4º nível (FLAXIS 3D)

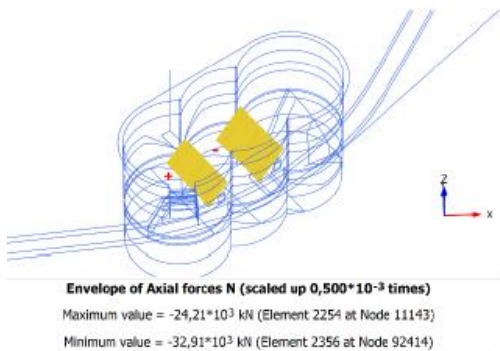


Figura 225 - Envelope de esforço axial – Estroncas - 5º nível (FLAXIS 3D)

3200 Toneladas !!!

Equivale a 640 ELEFANTES

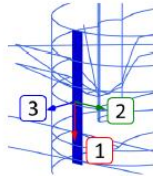


Figura 27 - Sistema de eixos locais dos elementos do tipo "Plate" - Lamelas (Plaxis 3D)

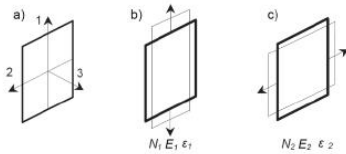
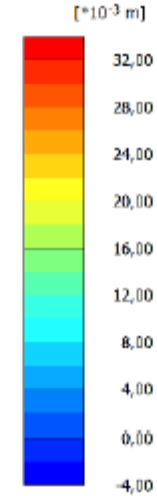
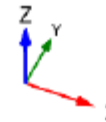
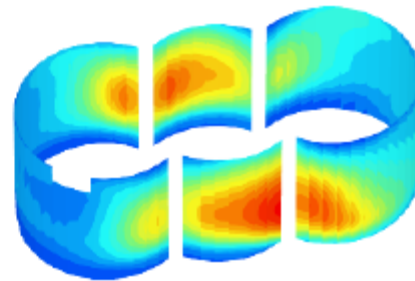


Figura 28 - Esforços axiais positivos em elementos do tipo "Plate". a) Direções dos eixos locais; b) Esforço axial N1; c) Esforço axial N2.

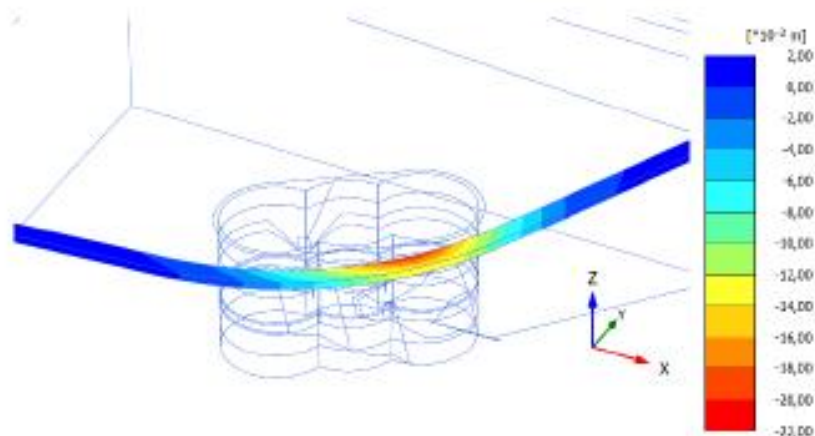


**Local total displacements  $u_3$  (scaled up 500 times)**

Maximum value = 0,03276 m (Element 41461 at Node 56934)

Minimum value =  $-2,657 \cdot 10^{-3}$  m (Element 16613 at Node 8622)

Figura 152 – Deslocamentos normais ao plano da parede de contenção,  $u_3$  (PLAXIS 3D) – Lamelas – Fase final de escavação

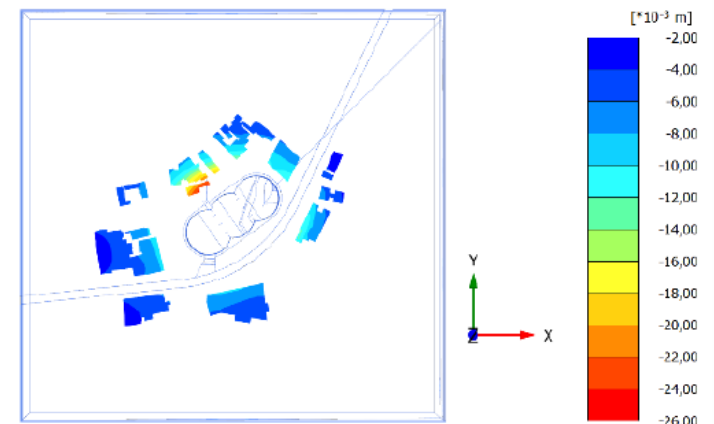


**Total displacements  $u_z$  (scaled up 500 times) (Time 2,763 day)**

Maximum value =  $0,2695 \cdot 10^{-3}$  m (Element 679 at Node 29398)

Minimum value =  $-0,02067$  m (Element 1882 at Node 27975)

Figura 259 – Deslocamentos verticais - Córrego do Nado - Longo prazo (PLAXIS 3D)



**Total displacements  $u_z$  (scaled up 500 times) (Time 0,8515 day)**

Maximum value =  $-2,996 \cdot 10^{-3}$  m (Element 982 at Node 1782)

Minimum value =  $-0,02464$  m (Element 848 at Node 8240)

Figura 260 – Deslocamentos verticais – Edifícios vizinhos - Longo prazo (PLAXIS 3D)



# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

## RESERVATÓRIOS PROFUNDOS “NADO 1” E “VILARINHO 2”, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS MODELAGEM NUMÉRICA

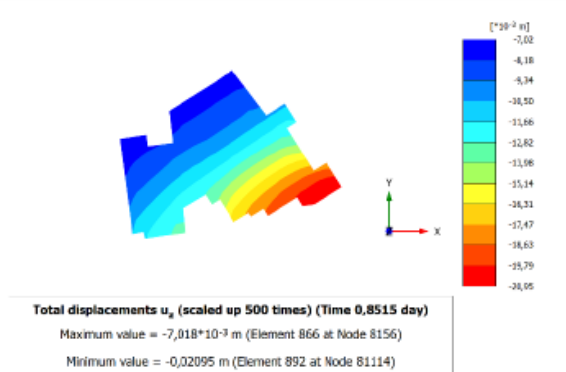


Figura 263 – Deslocamentos verticais - Edifícios vizinhos - Longo prazo – Edifício B (PLAXIS 3D)

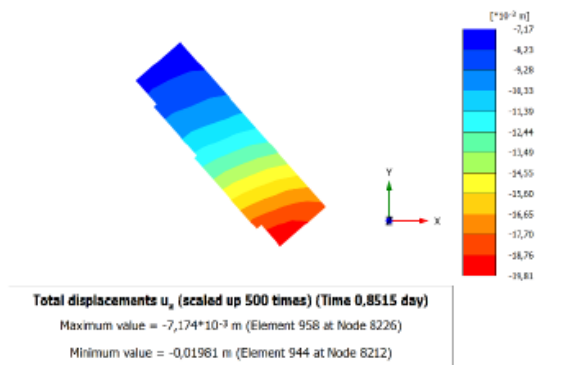


Figura 264 – Deslocamentos verticais - Edifícios vizinhos - Longo prazo – Edifício C (PLAXIS 3D)

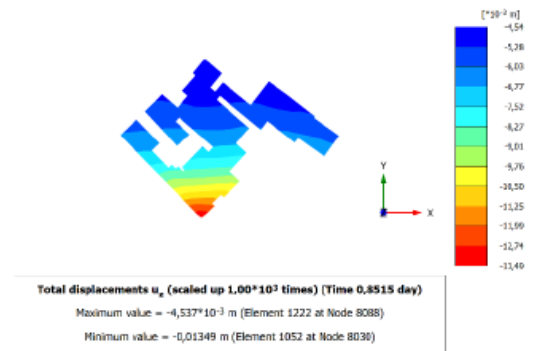


Figura 265 – Deslocamentos verticais - Edifícios vizinhos - Longo prazo – Edifício D (PLAXIS 3D)

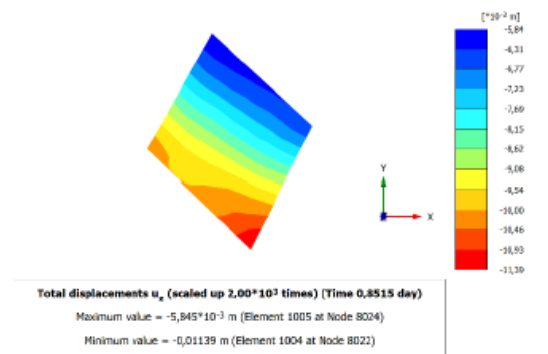


Figura 266 – Deslocamentos verticais - Edifícios vizinhos - Longo prazo – Edifício E (PLAXIS 3D)

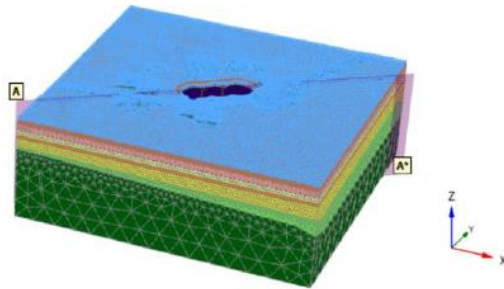
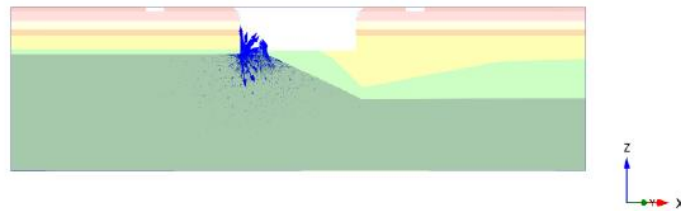


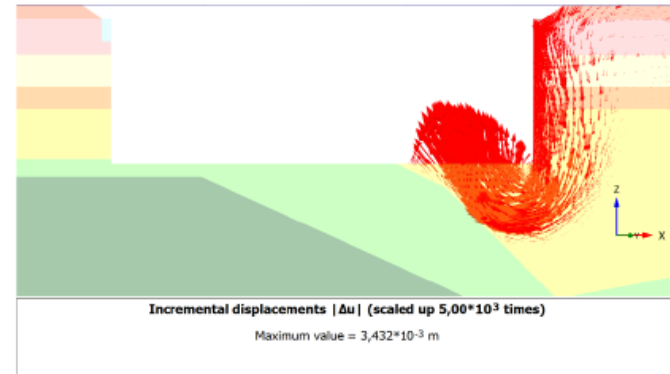
Figura 178 - Seção longitudinal em análise (PLAXIS 3D)



**Groundwater flow |q| (scaled up 0,0100 times)**

Maximum value = 2645 m/day  
Minimum value = 0,000 m/day  
Total discharge is  $32,49 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{day}$

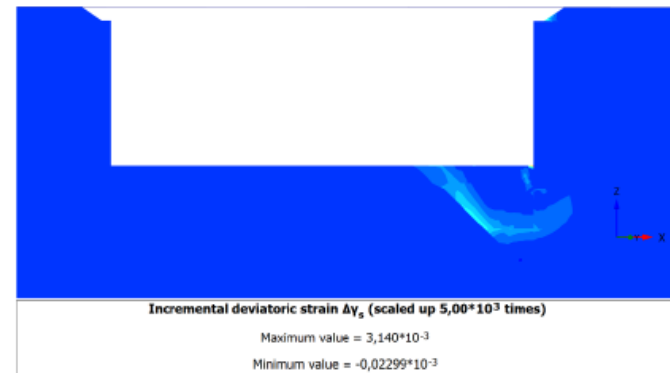
Figura 179 - escoamento (q) – Fase final de escavação (PLAXIS 3D)



**Incremental displacements |Δu| (scaled up  $5,00 \cdot 10^3$  times)**

Maximum value =  $3,432 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Figura 180 - Deslocamentos incrementais (Δu) - FS = 2.112 – Fase final de escavação (PLAXIS 3D)



**Incremental deviatoric strain Δγ<sub>s</sub> (scaled up  $5,00 \cdot 10^3$  times)**

Maximum value =  $3,140 \cdot 10^{-3}$   
Minimum value =  $-0,02299 \cdot 10^{-3}$

Figura 181 - Deformações de corte incrementais (Δγs) - FS = 2.112 – Fase final de escavação (PLAXIS 3D)



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E DE FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTO  
LOCALIZADO SOBRE O TÚNEL DO METROPOLITANO DE LISBOA

**OBRIGADO PELA VOSSA ATENÇÃO**

Ricardo Justiniano, JET<sub>SJ</sub> Geotecnia, [rjustiniano@jetsj.com](mailto:rjustiniano@jetsj.com)

André Henriques, JET<sub>SJ</sub> Geotecnia, [ahenriques@jetsj.com](mailto:ahenriques@jetsj.com)



# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA

IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR

IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM

XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

Realização:



Apoio:



Organização:



Fone: +55 62 99977-8712

E-mail: [secretaria@qeeventos.com.br](mailto:secretaria@qeeventos.com.br)

[www.jeitoespecial.com.br](http://www.jeitoespecial.com.br)



# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



Realização:



Organização:





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



# TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL



Nuno Braz da Silva, JET<sub>SJ</sub> Geotecnia, [nsilva@jetsj.com](mailto:nsilva@jetsj.com)

Alexandre Pinto, JET<sub>SJ</sub> Geotecnia, [apinto@jetsj.com](mailto:apinto@jetsj.com)

Marcelo Felix, Tecnogeo Ground, [marcelo.felix@tecnogeo.com.br](mailto:marcelo.felix@tecnogeo.com.br)

Fabio Brumano, Tecnogeo Ground, [fabio.brumano@tecnogeo.com.br](mailto:fabio.brumano@tecnogeo.com.br)



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING  
PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL

## ÍNDICE:

1. INTRODUÇÃO
2. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS
3. SOLUÇÕES DE PROJETO
4. EXECUÇÃO
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING  
PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL

## ÍNDICE:

### 1. INTRODUÇÃO

### 2. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

### 3. SOLUÇÕES DE PROJETO

### 4. EXECUÇÃO

### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS



## INTRODUÇÃO

- Necessidade de expansão do aterro sanitário para o crescente volume de resíduos urbanos
- Novas áreas de conquista de solos de fundação
- Solos com baixas característica de resistência e deformabilidade – solos moles
- Busca por soluções mais sustentáveis que utilizem o solo de fundação como elemento parte integrante da solução e não um “inimigo” do geotécnico
  - Tratamento e melhoria com mistura profunda de cimento - DSM



Figura 1 – Vista geral da zona da intervenção



Figura 2 – Vista geral da zona da intervenção



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING  
PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL

## ÍNDICE:

1. INTRODUÇÃO
- 2. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS**
3. SOLUÇÕES DE PROJETO
4. EXECUÇÃO
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING  
PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL

# INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

- 7 sondagens com execução de SPT
- 4 ensaios de piezocone com medição das poro-pressões e realização de ensaios de dissipação em pontos chaves
- Solos de fundação da área de expansão
  - Aterros essencialmente argilosos
  - Depósitos da Baía de São Miguel do período holocénico
    - solos de consistência mole com valores do  $q_t \leq 1\text{MPa}$  e  $SU = 15\text{kPa}$
  - Depósitos Residuais Granito – Siltes arenosos com valor do SPT superiores a 40 golpes



# INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

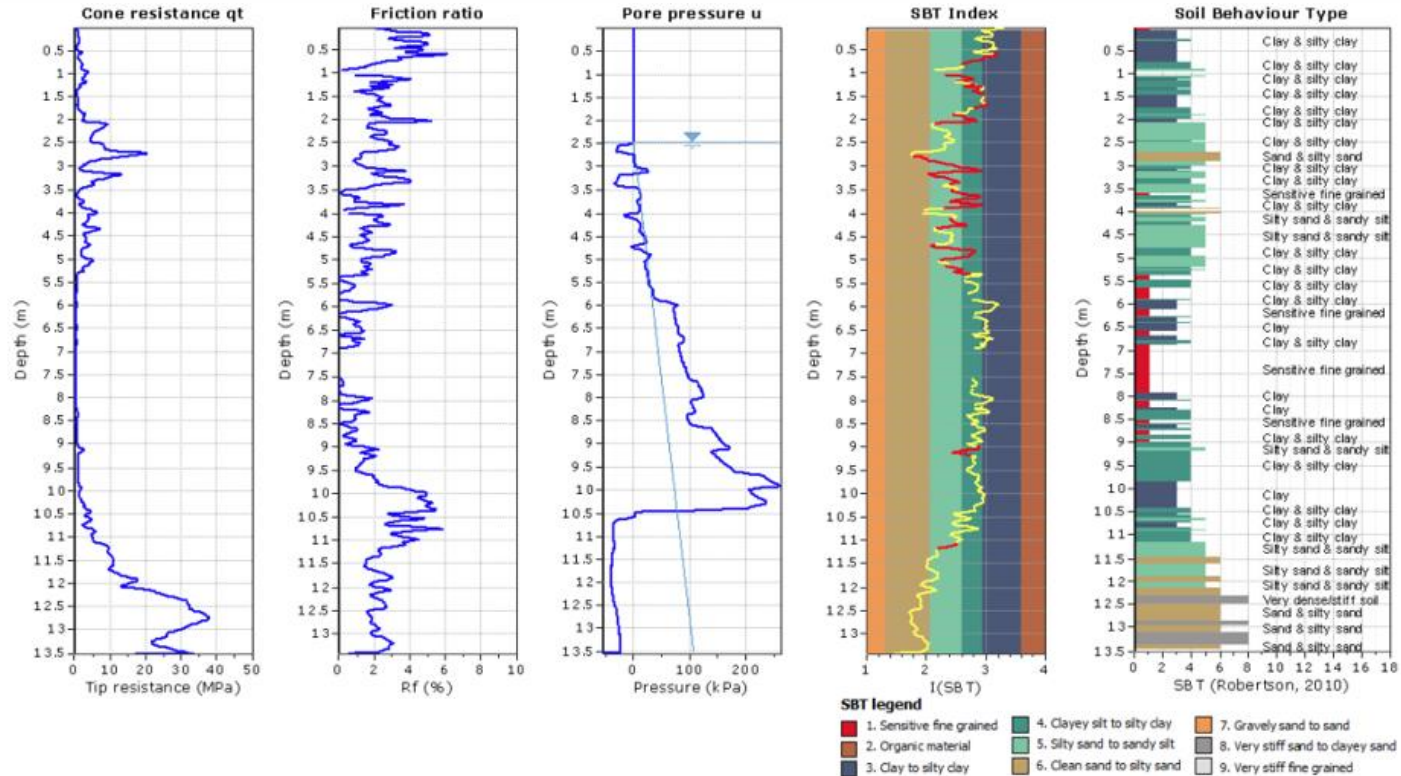


Figura 3. Ensaio CPTU 20



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING  
PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL

# INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

Tabela 1 – Parâmetros do solo

Formações Modeladas	$\phi'$ (°)	$c'$ (kPa)	$\gamma_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	$E'_{50}$ (MPa)
Aterros	25,0	15,0	18,0	10,0
Depósitos de Baía S. Miguel: Solos moles	15,0	5,0	16,0	1,0
Depósitos Sedimentares: Siltes arenosos	35,0	0,0	18,0	30,0
Rocha: Granitos	40,0	60,0	19,0	100,0

- $\gamma_h$  Peso específico húmido;
  - $\phi'$  Ângulo de atrito interno;
  - $E'_{50}$  Módulo de deformabilidade para carregamento a 50% da tensão máxima;
  - $c'$  Coesão drenada.
- Os parâmetros para as colunas de DSM são derivados a partir da sua resistência à compressão uniaxial, UCS
    - UCS = 1,0 Mpa
      - Resistência à tração, ftd: 15% UCS
      - Modulo secante,  $E'$ : 180 MPa



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING  
PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL

## ÍNDICE:

1. INTRODUÇÃO
2. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS
- 3. SOLUÇÕES DE PROJETO**
4. EXECUÇÃO
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

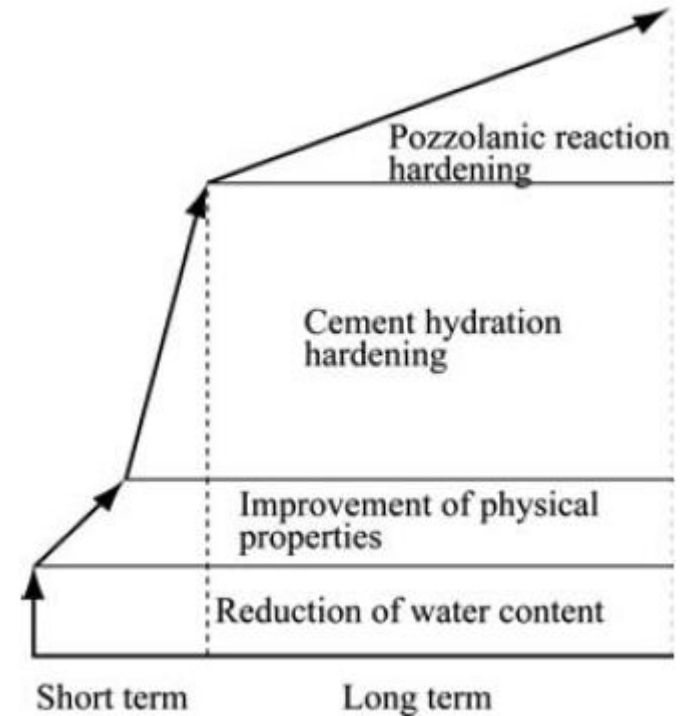


TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING  
PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL

## SOLUÇÕES PROJETO

Mecanismo de melhoramento e tratamento com ligante cementício ocorre em 4 etapas principais

- Redução do teor em água
- Troca de íons entre a nata de cimento e os minerais presentes no solo
- Ganho de resistência e endurecimento pela hidratação do cimento;
- A longo prazo – Endurecimento por reação da pozolana presente na composição cimentícia.



The Deep Soil Mixing Method, Kitazume, 2013



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING  
PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL

## SOLUÇÕES DE PROJETO

- Definição dos parâmetros equivalentes para a determinação da taxa de substituição ótima e verificação da estabilidade global – Conceito de célula equivalente

$$a_p = \frac{A_p}{d_1 \times d_2}$$

- $a_p$ : Percentual de área melhorada;
- $A_p$ : Área da coluna DSM;
- $d_1, d_2$ : comprimento x largura.



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING  
PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL

## SOLUÇÕES DE PROJETO

- Valor característico da resistência à compressão simples, 28 dias

$$qu_{ck} = \overline{UCS} - K\sigma$$

$$qu_{ck} = 1,00 - 1,1 \times 0,1 = 0,89MPa$$





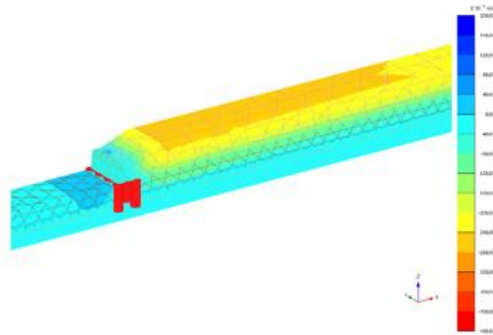
**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

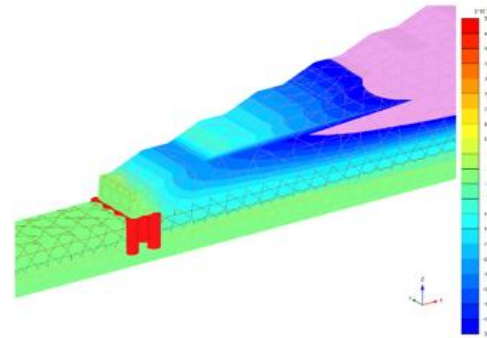


TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING  
PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL

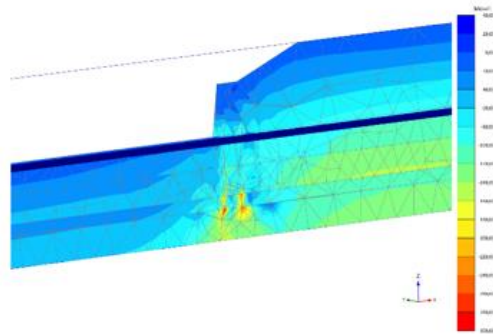
## SOLUÇÕES DE PROJETO



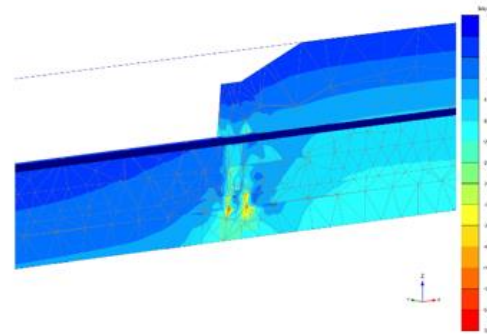
Recalques após construção do muro de Gabiões,  $\delta = 9\text{mm}$



Recalques a longo-prazo,  $\delta = 11\text{mm}$



Tensões deviatórias



Tensão efetiva máxima de 530kPa na base das colunas DSM



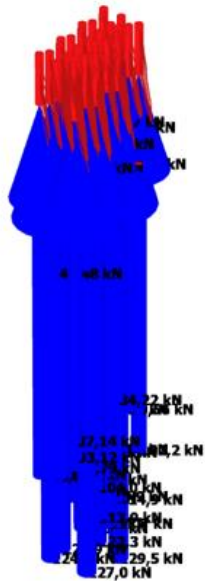
**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING  
PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL

## SOLUÇÕES DE PROJETO



### Axial forces N (scaled up 0,0500 times)

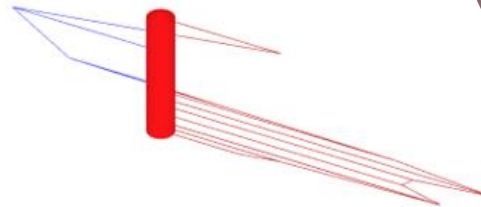
Maximum value = -10,32 kN (Element 272 at Node 63385)

Minimum value = -368,8 kN (Element 70 at Node 62961)

Esforços de compressão

$$N_{Rd} = \frac{qu_{ck}}{\gamma_m} \times A = 377kN \geq N_{Sd} = 369kN$$

$$V_{Rd} = \frac{A_v \times 0.15 \times qu_{ck}}{\sqrt{3} \times \gamma_m} = 32,4kN \geq V_{Sd} = 26,39kN$$



### Shear forces Q<sub>12</sub> (scaled up 0,500 times)

Maximum value = 11,92 kN (Element 273 at Node 63387)

Minimum value = -26,39 kN (Element 275 at Node 63391)

Esforços de cisalhamento



# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



## TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL

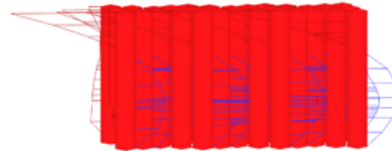
# SOLUÇÕES DE PROJETO



Sum phase displacements  $\Sigma Pu_x$  (scaled up  $1,00 \cdot 10^3$  times)

Maximum value =  $-1,880 \cdot 10^{-3}$  m (Element 77 at Node 62975)

Minimum value =  $-0,01495$  m (Element 152 at Node 63131)

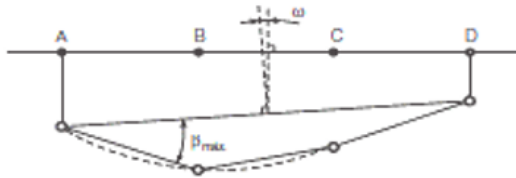


Sum phase displacements  $\Sigma Pu_x$  (scaled up  $5,00 \cdot 10^7$  times)

Maximum value =  $0,4860 \cdot 10^{-3}$  m (Element 138 at Node 63103)

Minimum value =  $-1,329 \cdot 10^{-3}$  m (Element 1 at Node 62813)

Recalques e deslocamentos horizontais



Recalque diferencial máximo,  $\beta_{\text{máx}}$

$$\Delta_{\text{máx}} = 15\text{mm} < 20\text{mm} \text{ (Valor de referência)}$$

$$\beta_{\text{máx}} = \frac{L}{500} = 4\text{mm} > \delta = 2\text{mm}/0,70\text{m} = 2,9\text{mm}$$



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

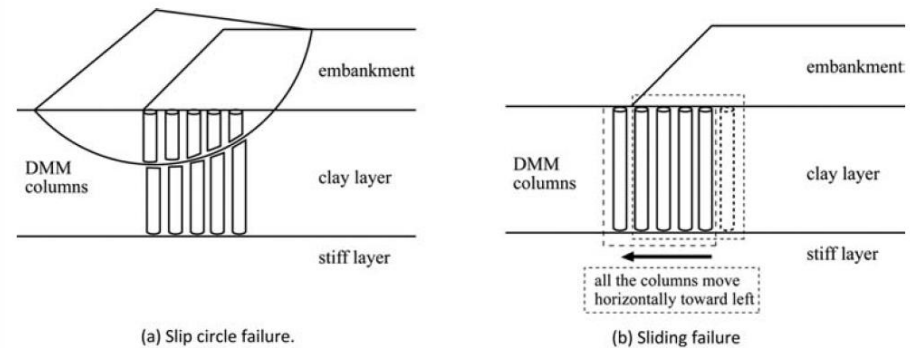


TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING  
PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL

# SOLUÇÕES PROJETO

## Mecanismos de falha

- Métodos de equilíbrio limite – Circulos de escorregamento sobrestimam o FS global – outros métodos de falha mais condicionantes
- Os mecanismos de falha:
  - Cisalhamento na zona ativa de corte
  - Flexão na zona de transição



The Deep Soil Mixing Method, Kitazume, 2013



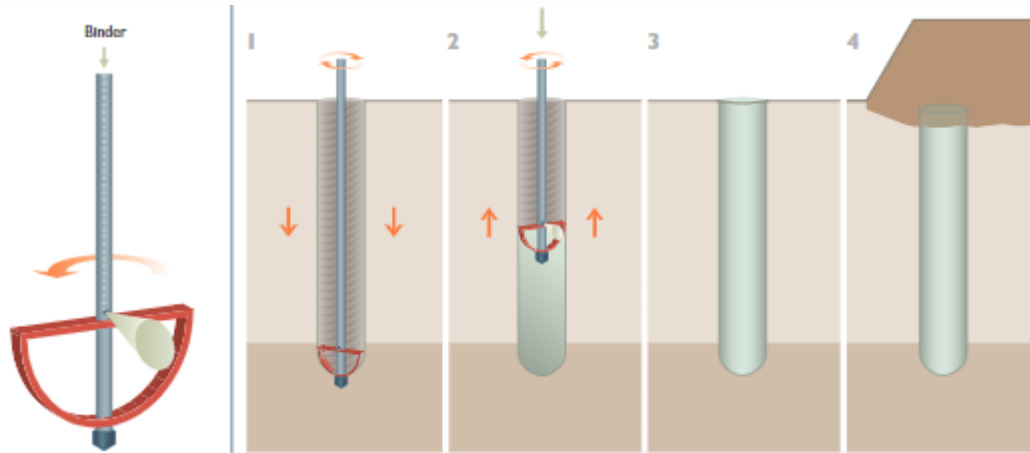
**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING  
PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL

# EXECUÇÃO





# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

## EXECUÇÃO



TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING  
PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING  
PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL

## EXECUÇÃO





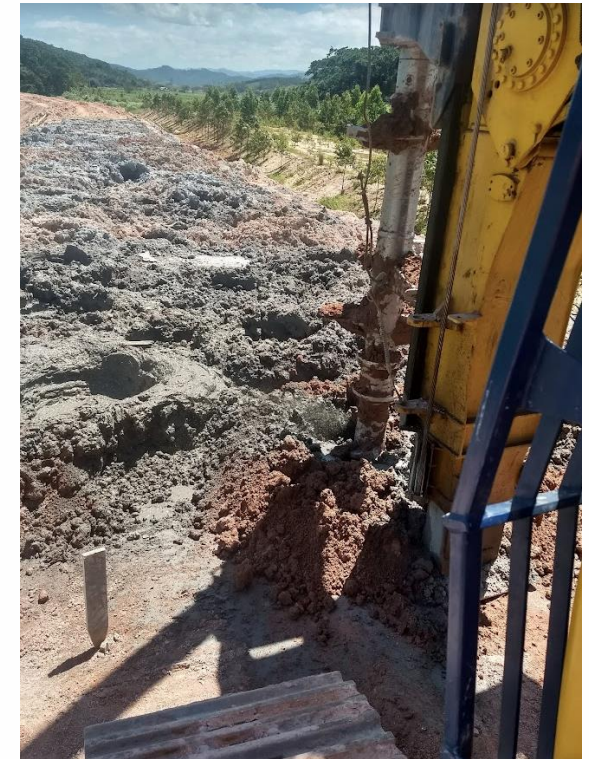
**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

# EXECUÇÃO



TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING  
PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL





**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING  
PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL

## ÍNDICE:

1. INTRODUÇÃO
2. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS
3. SOLUÇÕES PROJETO
4. EXECUÇÃO
5. **CONSIDERAÇÕES FINAIS**



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG



TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING  
PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A necessidade de utilização de técnicas e procedimentos construtivos que “proveitem” as propriedades dos materiais in situ com parte integrante da solução de fundação para qualquer que seja a estrutura como o inicio de um longo percurso com vista à sustentabilidade e otimização de recursos – **Melhoramento de solos.**
- Diálogo permanente e a troca de experiencias entre a entidade executora e a projetista para a obtenção das melhores soluções técnicas e económicas.
- Investigações geotécnicas adequadas ao propósito final da estrutura que queremos executar ou técnicas construtivas que utilizamos, exe: Determinação do pH e teor em matéria orgânica. A acidez e valores elevadas em matéria orgânica podem inibir as reações químicas de hidratação do cimento ou reduzir substancialmente as resistência de projeto.



**COBRAMSEG 2022**

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR  
IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM  
XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

TRATAMENTO DE SOLOS COM RECURSO A COLUNAS DE DEEP SOIL MIXING  
PARA UM ATERRO SANITÁRIO EM BIGUAÇU, BRASIL

**OBRIGADO PELA VOSSA ATENÇÃO**



Nuno Braz da Silva, JET<sub>SJ</sub> Geotecnia, [nsilva@jetsj.com](mailto:nsilva@jetsj.com)

Alexandre Pinto, JET<sub>SJ</sub> Geotecnia, [apinto@jetsj.com](mailto:apinto@jetsj.com)

Marcelo Felix, Tecnogeo Ground, [marcelo.felix@tecnogeo.com.br](mailto:marcelo.felix@tecnogeo.com.br)

Fabio Brumano, Tecnogeo Ground, [fabio.brumano@tecnogeo.com.br](mailto:fabio.brumano@tecnogeo.com.br)



# COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA

IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE MECANICA DAS ROCHAS - SBMR

IX SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHEIROS GEOTECNICOS JOVENS - GEOJOVEM

XI CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA - CLBG

Realização:



Apoio:



Organização:



Fone: +55 62 99977-8712

E-mail: [secretaria@qeeventos.com.br](mailto:secretaria@qeeventos.com.br)

[www.jeitoespecial.com.br](http://www.jeitoespecial.com.br)