



Ciclo de Conferências

Obras de Engenharia Geotécnica Portuguesa no Mundo – Infraestruturas de transportes

Auditório da Sede Nacional da Ordem dos Engenheiros Lisboa, 23 de maio de 2017

DESAFIOS GEOTÉCNICOS NA CIDADE DO MÉXICO



AUSN - AUTOPISTA URBANA SIERVO DE LA NACIÓN

GEG – Engineering Structures for Life





- 1. CIDADE DO MÉXICO
- 2. ASSENTAMENTO REGIONAL
- 3. SOLUÇÕES TÍPICAS DE FUNDAÇÃO NA ZONA LACUSTRE DA CIDADE
- 4. PROPRIEDADES TÍPICAS DA ARGILA DA CIDADE DO MÉXICO
- 5. CONSIDERAÇÕES SÍSMICAS
- 6. AUTOPISTA URBANA SIERVO DE LA NACIÓN
- 7. AVANÇO DA OBRA











1 – CIDADE DO MÉXICO





- Fundação no século XIV e era a <u>capital do Império Asteca;</u>
- Território situado na bacia hidrográfica do <u>lago de Texcoco</u>, numa zona central do vale do México;
- Segundo a lenda, o principal deus apresentou uma águia empoleirada num cacto, com uma serpente no bico, como um símbolo de onde a civilização asteca deveria construir a sua cidade;
- É a décima primeira região metropolitana mais populosa do mundo (21,4Mh)





1 – CIDADE DO MÉXICO



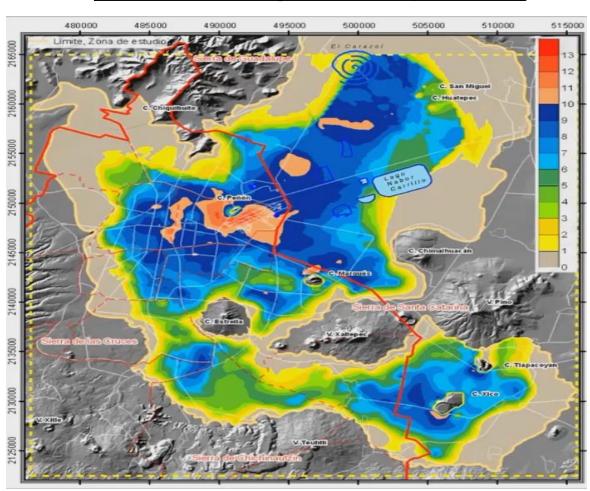
O Vale do México no contexto do eixo neovulcânico



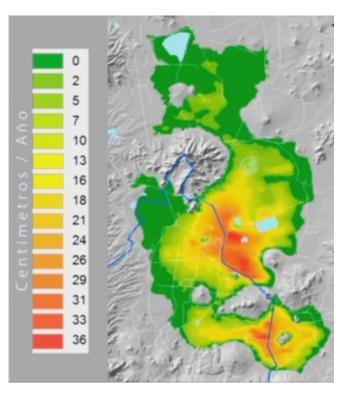


2 - ASSENTAMENTO REGIONAL

Assentamento Regional, em m (1862-2005)



Taxa Assentamento em cm/ano (1995-2007)

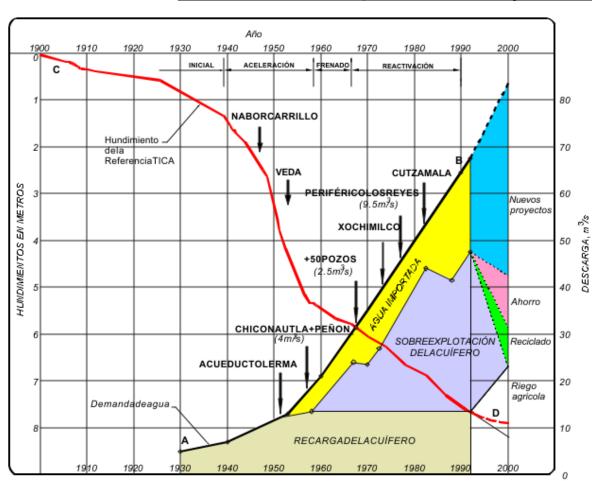




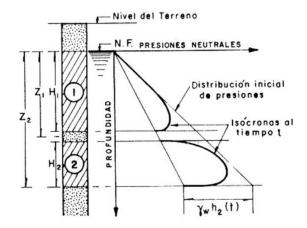


2 – ASSENTAMENTO REGIONAL

Assentamento Regional vs Extração de Água do Subsolo



Dr. Nabor Carrillo forneceu uma explicação científica para o assentamento regional da cidade do México, 1948

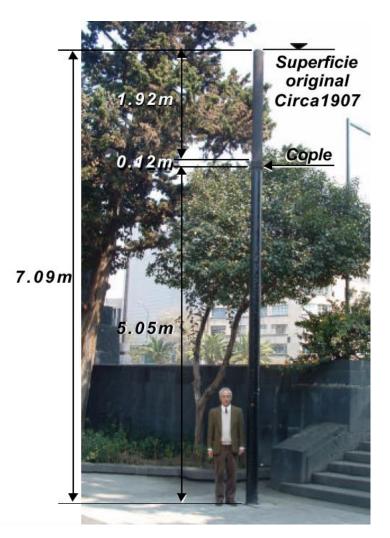


Influência dos poços artesianos no assentamento da cidade do México





2 – ASSENTAMENTO REGIONAL

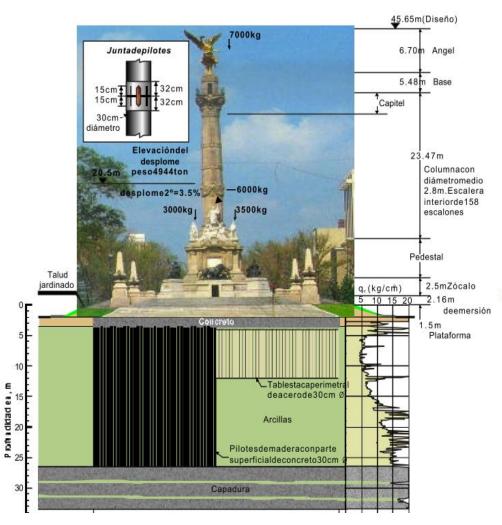


O assentamento regional da cidade





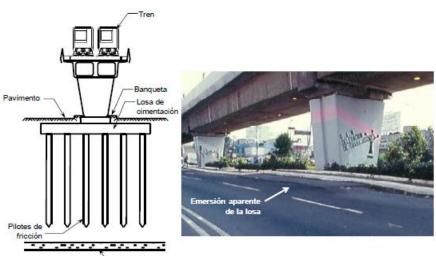
2 – ASSENTAMENTO REGIONAL



Estruturas fundadas nas capas duras



Emersão das estruturas

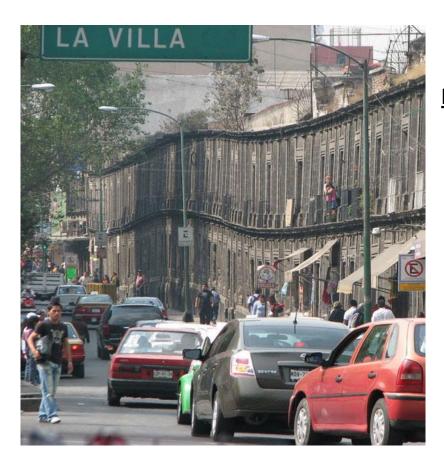


Emersão aparente de um dos apoios da linha 4 do metro





2 – ASSENTAMENTO REGIONAL



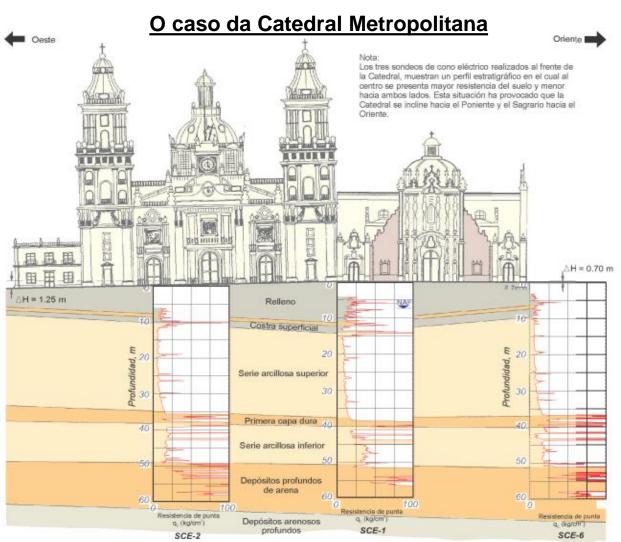
Estruturas fundadas em estratos compressíveis

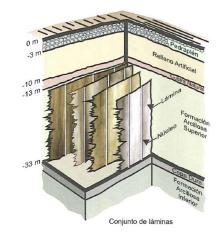


Assentamentos diferenciais

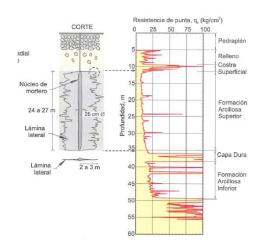


2 - ASSENTAMENTO REGIONAL





Estrutura de argamassa injetada

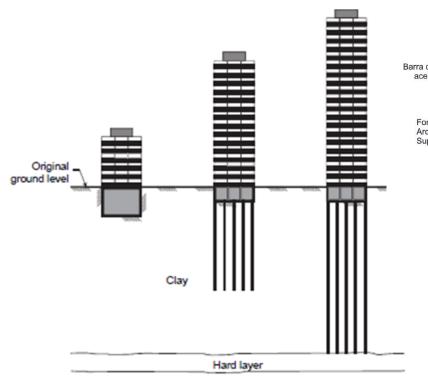


Ensaio CPT para definir a profundidade de injeção



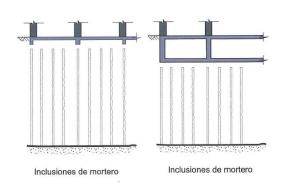


3 – SOLUÇÕES TÍPICAS DE FUNDAÇÃO NA ZONA LACUSTRE DA CIDADE



Puente Colchón de madera Cajón
Barra de acero
Losa de cimentación Arcillosa Superior

Pilote de control Pilotes entrelazados



- Estacas de controlo
- Estacas entrelaçadas
- Inclusões de argamassa

- Tipo caixão compensado
- Estacas de atrito
- Estacas de ponta





4 – PROPRIEDADES TÍPICAS DA ARGILA DA CIDADE DO MÉXICO

Propriedade	Cidade do México Valor	Baixo Mondego Valor	
Índice de vazios	5 – 10	1,2 - 3,1	
Porosidade (n)	0.83 - 0.90		
Teor em água (w)	220 - 420%	40- 130%	
Limite de liquidez (w _L)	110 - 458%	60 - 110%	
Limite de plasticidade (w _P)	37 - 116%	30 - 50%	
Índice de plasticidade (I _P)	73 - 342%	30 - 60%	
Permeabilidade (k)	1×10 ⁻⁷ cm/s	1×10 ⁻⁷ cm/s	
Índice de compressibilidade C _c	3 – 8	0,4 - 1,2	
Módulo não drenado E _u	4000 - 7000 kPa		
Resistência não drenada cu	15 - 35 kPa	25 - 70 kPa	
Sensibilidade	8		
Ângulo de atrito efetivo φ'	34° – 41°	24°- 30°	
Velocidade das ondas de corte V _s	< 100 m/s		



"The paradise of Soil Mechanics" Karl Terzaghi





5 – CONSIDERAÇÕES SÍSMICAS



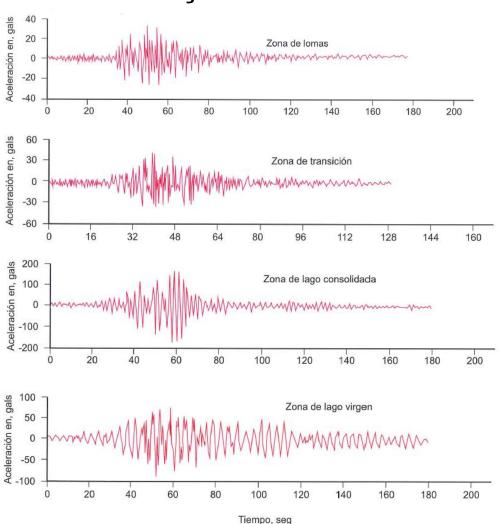
10.000 vidas humanas perdidas; danos avultados







5 – CONSIDERAÇÕES SÍSMICAS



O sismo de 1985



PROBLEMAS!



Amplificação da aceleração sísmica nas estruturas situadas na zona de lago

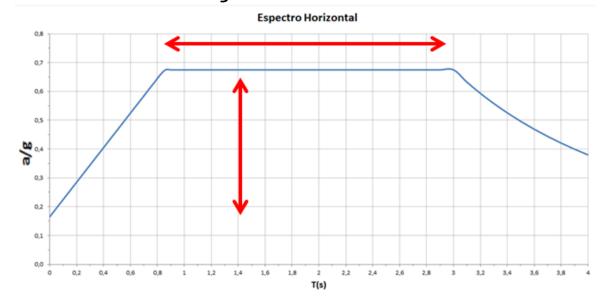
Frequências mais baixas e menor amortecimento na zona de lago virgem





(3.1)

5 – CONSIDERAÇÕES SÍSMICAS



Espectro sísmico Horizontal

Espectro Sísmico Regulamentar – RCDF

Características:

- Grande amplificação entre PGA e a_{máx}
- Grande extensão do patamar de aceleração máxima

3. ESPECTROS PARA DISEÑO SÍSMICO

Cuando se aplique el análisis dinámico modal que especifica el Capítulo 9, se adoptará como ordenada del espectro de aceleraciones para diseño sísmico, a, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, la que se estipula a continuación:

$$a = a_0 + (c - a_0) \frac{T}{T_a}$$
; si $T < T_a$
 $a = c$; si $T_a \le T \le T_b$

donde

a = qc;

$$q = (T_b/T)^r \tag{3.2}$$

si $T > T_h$

Los parámetros que intervienen en estas expresiones se obtienen de la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Valores de los parámetros para calcular los espectros de aceleraciones

Zona	c	a _o	$T_a^{\ 1}$	$T_b^{\ 1}$	r
I	0.16	0.04	0.2	1.35	1.0
П	0.32	0.08	0.2	1.35	1.33
III_a	0.40	0.10	0.53	1.8	2.0
III_b	0.45	0.11	0.85	3.0	2.0
III_c	0.40	0.10	1.25	4.2	2.0
III_d	0.30	0.10	0.85	4.2	2.0

¹ Periodos en segundos

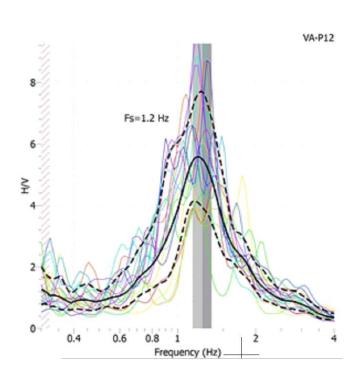
Fator de Importância = 1,50 Coeficiente de combinação = 1,30

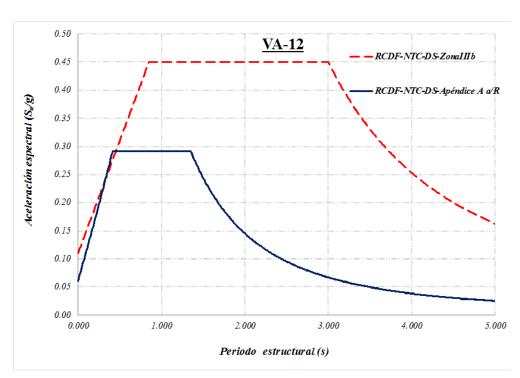




5 - CONSIDERAÇÕES SÍSMICAS

Abertura do regulamento Mexicano para acerto dos espetros de resposta em função dos estudos de vibração ambiental, na obtenção da sua frequência fundamental do solo





Nas zonas geotécnicas com melhores características, utiliza-se espectros corrigidos, menos gravosos que o espectro de referência.





6 – AUTOPISTA URBANA SIERVO DE LA NACIÓN



OBRAS DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA PORTUGUESA NO MUNDO INFRAESTRUTURAS DE TRANSPORTES - Lisboa, 23 de maio 2017





6 – AUTOPISTA URBANA SIERVO DE LA NACIÓN

CLIENTE



GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Comunicaciones

Sistema de Autopistas, Aeropuertos, Servicios Conexos y Auxiliares

Dirección de Proyectos y Control de Obras





SISMO

INFRAESTRUTURAS EXISTENTES

Rodovias

TERRENO DE FUNDAÇÃO

ASSENTAMENTO REGIONAL

Ferrovias

Mexibus

Condutas Gás/Petróleo/Água

Linhas de alta tensão

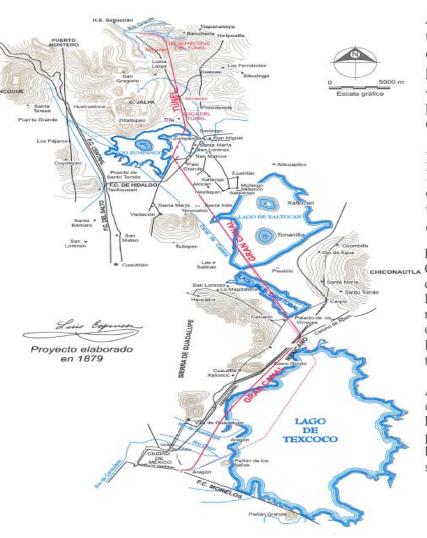
Túneis (drenagem)

Hidráulica - Canais

CONSTRUÇÃO/EXPLORAÇÃO **MOTA-ENGIL**

MÉXICO





Empeños de Maximiliano y Juárez. En 1866, el Archiduque Maximiliano decretó la construcción de un tajo de 39.5 km de longitud que comenzaría en Texcoco y de un túnel de casi 10 km en la barranca de Tequixquiac que requería de 24 lumbreras para excavarlo. El trabajo se inició con gran intensidad, pero en abril de 1867 se suspendió. Posteriormente, bajo la administración del presidente Benito Juárez se reiniciaron tanto las excavaciones del canal Texcoco a Zumpango, empezando por profundizar las lumbreras, pero en ellas se presentaron muchos problemas de penetración de agua y en 1871 nuevamente se detuvieron las obras.

En 1879 el Ing. Luis Espinosa se hizo cargo del proyecto, bajo la administración del presidente Manuel González. Elaboró un nuevo proyecto en el cual el túnel sería de 9.5 km de longitud y el canal que se requería, de 50 km de largo, con una pendiente 0.185 m por kilómetro, plantilla de 8.6 m y taludes laterales de 45°. Refirió sus niveles a la Tangente inferior del Calendario Azteca. La Fig. 24 es el plano de su proyecto.

La construcción de los primeros 6,000 m del túnel quedó a cargo de la compañía inglesa Read & Campbell mediante un contrato que le fue adjudicado en 1889. Tuvo muchos problemas para controlar las aguas porque en algunas de las lumbreras los gastos fueron de hasta 600 gal/min (38 lt/min) y se pensó en rescindirle el contrato. La Junta Directiva optó por recurrir a la ayuda de mineros de Pachuca que tenían la técnica y equipos necesarios para el manejo del agua; con la ayuda de los mineros y la ampliación del contrato, la empresa terminó el túnel en 1894 el cual tiene una longitud total de 10,021 m y cuyo portal de ingreso se muestra en la Fig. 25. La Read & Campbell también excavó el canal de entrada al túnel, de unos 500 m longitud.

A la compañía S. Pearson & Son, también inglesa, se le adjudicó en 1890 el importante contrato de la excavación del Gran Canal de 41.5 km de longitud, 5 a 6.5 m de ancho, pendiente de 20 cm por kilómetro y taludes laterales de 45°. La relación personal entre el Presidente Porfirio Díaz y el presidente de la compañía, el Sr. Whitman D. Pearson, facilitó a este último tramitar con el gobierno británico el financiamiento de la obra por lo cual este caso se constituyó en el modelo que se siguió en subsecuentes inversiones inglesas.

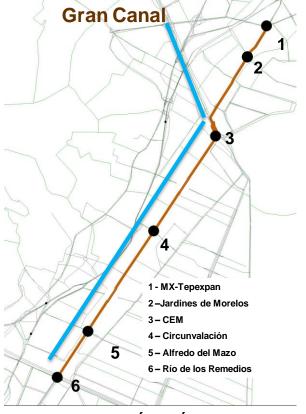


6 – AUTOPISTA URBANA SIERVO DE LA NACIÓN



LOCALIZAÇÃO

14 Km de via, maioritariamente em viaduto, em perfil A4



NÓS VIÁRIOS





6 – AUTOPISTA URBANA SIERVO DE LA NACIÓN

A auto estrada urbana "Siervo de la Nación" é constituida por 4 viaductos:

V1 – entre o km 0+010 e o km 0+565

V2 - entre o km 0+888 e o km 9+099

V3 – entre o km 9+477 e o km 12+883

V4 – entre o km 12+883 e o km 13+068

6 nós viários:

- -Río de los Remedios (RR)
- -Alfredo del Mazo (AM)
- -Circunvalación Sur (CS)
- -Circuito Exterior Mexiquense (CEM)
- -Jardines de Morelos (JM)
- -Venta de Carpio (VC)





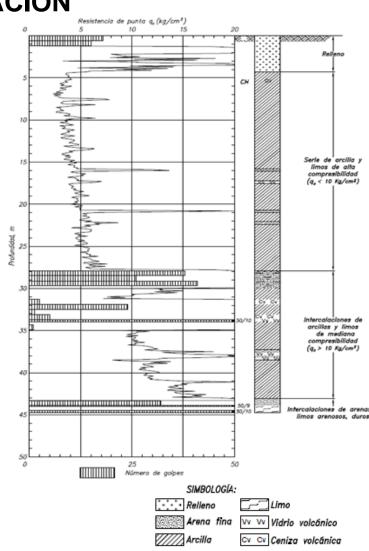


6 – AUTOPISTA URBANA SIERVO DE LA NACIÓN

Enquadramento Geológico-Geotécnico

Sondagens e ensaios de campo realizados:

- 1 Ensaios CPTu nos solos argilosos moles
 - \longrightarrow Resistência de ponta q_c
 - \longrightarrow Resistencia lateral f_s
 - **Pressões na água dos poros** *u*
- 2 Ensaios SPT nos materiais mais compactos
- 3 Ensaios de corte rotativo in situ (vane test)
- 4 Recolha de amostras com tubo amostrador







6 – AUTOPISTA URBANA SIERVO DE LA NACIÓN

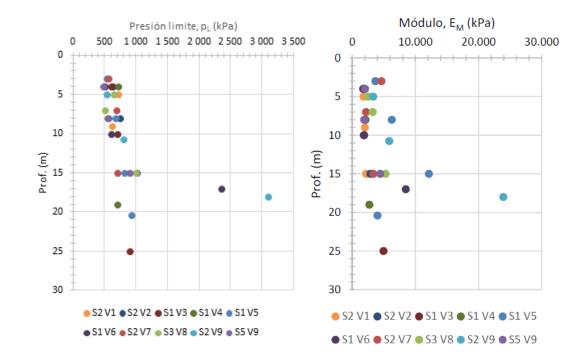
Enquadramento Geológico-Geotécnico

4 - Ensaios com pressiómetro Ménard

Pressão de fluência (Pf)

→ Pressão limite (Pı)

→ Módulo pressiométrico (E_{PMT})



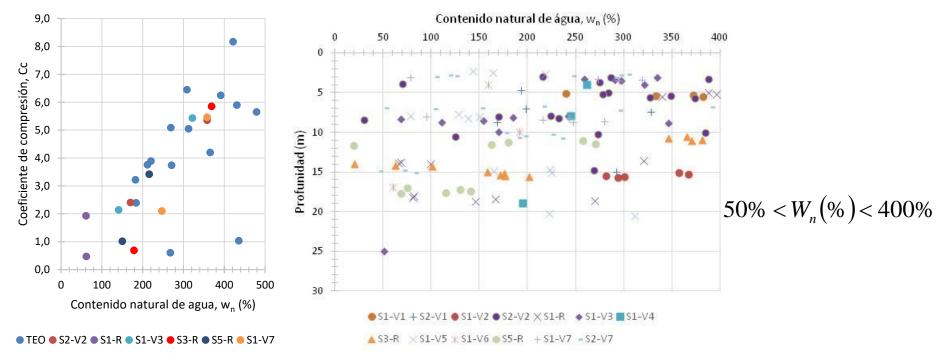


6 – AUTOPISTA URBANA SIERVO DE LA NACIÓN

Enquadramento Geológico-Geotécnico

Ensaios de laboratório

Em laboratório foram realizados ensaios para a determinação do teor de água, limites de Atterberg, ensaios de corte direto, ensaios triaxiais não consolidados e não drenados (UU) e ensaios de consolidação.

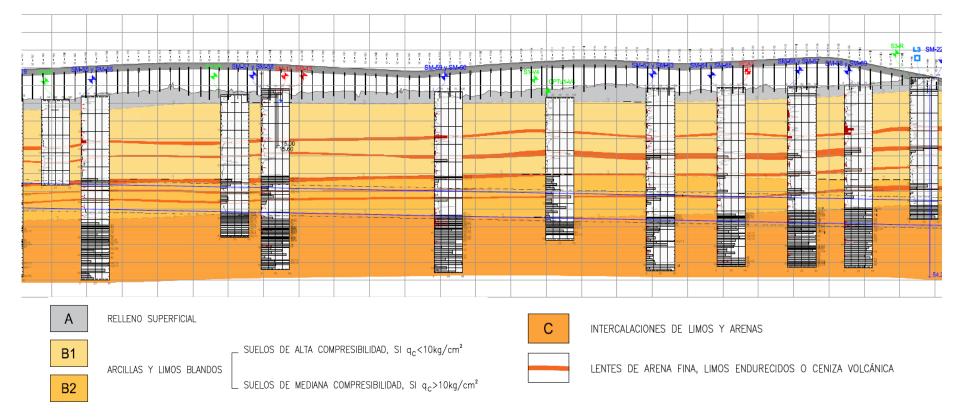




6 – AUTOPISTA URBANA SIERVO DE LA NACIÓN

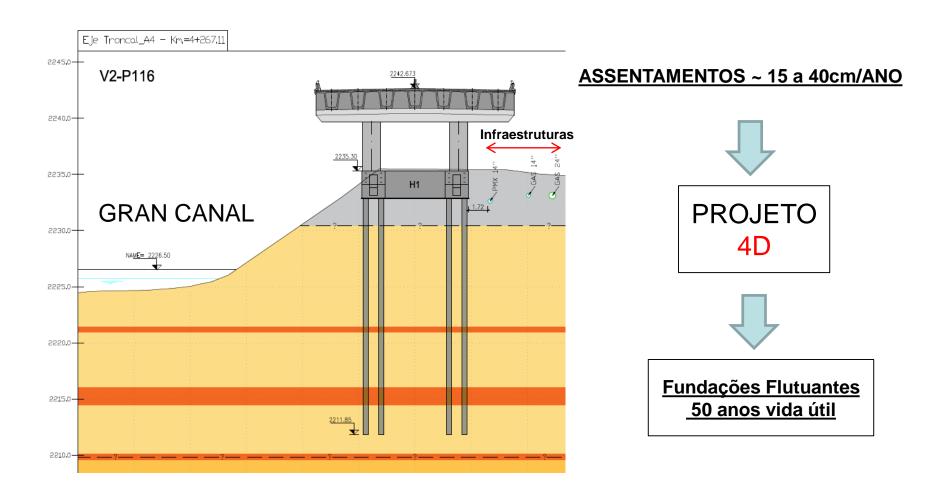
Enquadramento Geológico-Geotécnico

Perfil geológico de um tramo da obra:





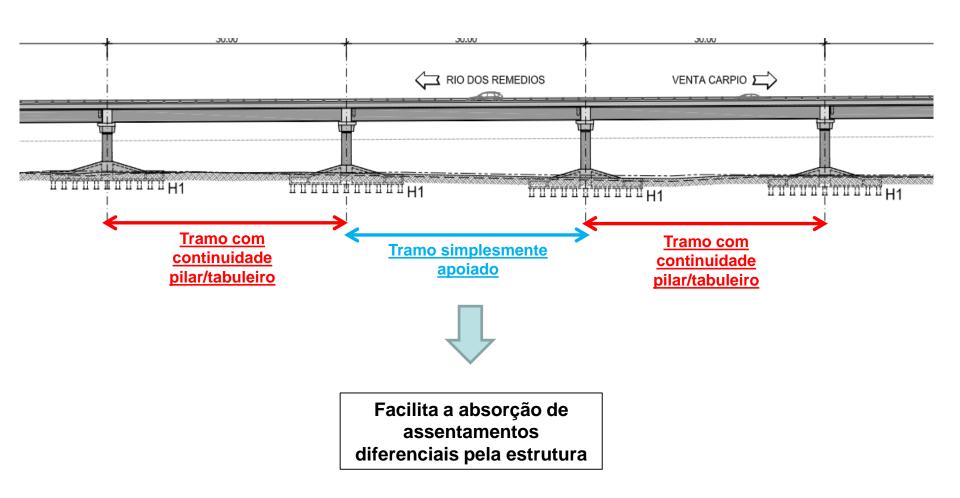
6 – AUTOPISTA URBANA SIERVO DE LA NACIÓN





6 – AUTOPISTA URBANA SIERVO DE LA NACIÓN

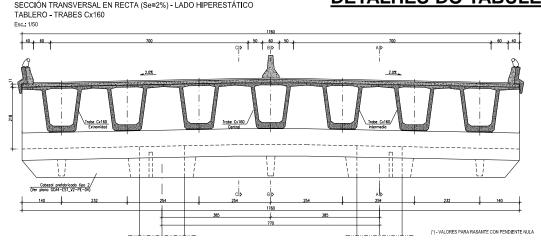
CONCEÇÃO ESTRUTURAL



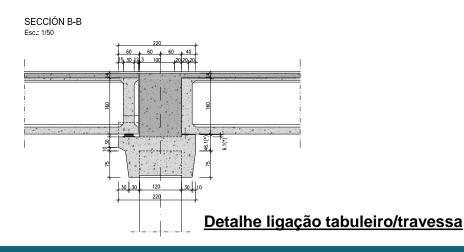


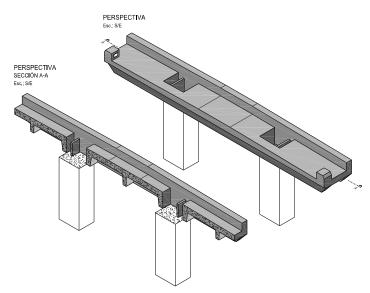
6 – AUTOPISTA URBANA SIERVO DE LA NACIÓN

DETALHES DO TABULEIRO



Secção Tipo do Tabuleiro





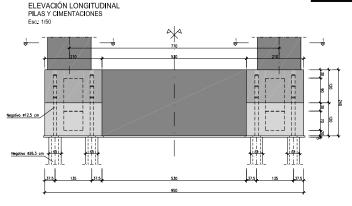
Perspetiva travessa pré-fabricada



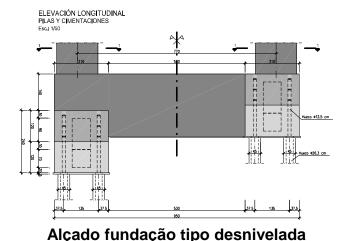


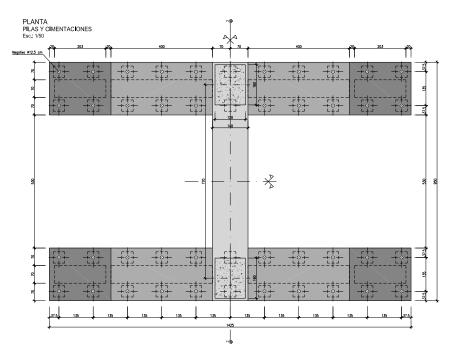
6 – AUTOPISTA URBANA SIERVO DE LA NACIÓN

DETALHES DA FUNDAÇÃO



Alçado fundação tipo nivelada



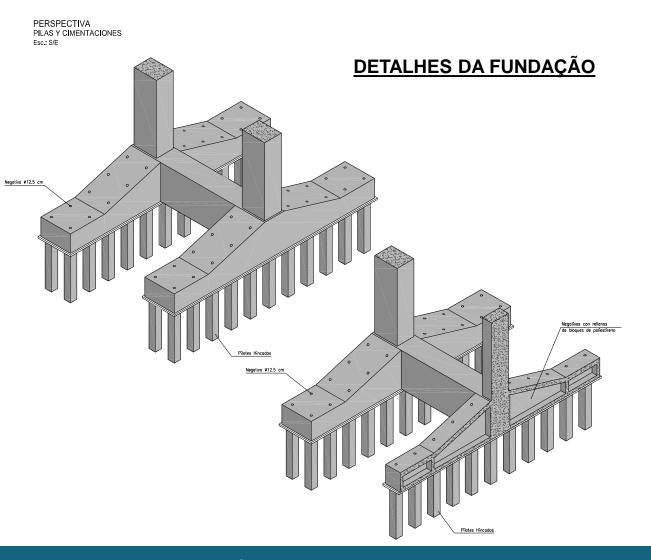


Planta fundação tipo





6 – AUTOPISTA URBANA SIERVO DE LA NACIÓN



ESTACAS CRAVADAS:

- -SECÇÃO TRANSVERSAL 45X45cm
- -APROX. 20m COMPRIMENTO
- **-20.000 UNIDADES**

MACIÇO DE ENCABEÇAMENTO:

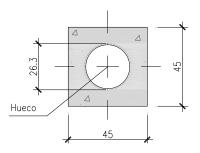
- -FORMA DE H
- -LIMITAÇÃO DE LARGURA A 9,5m
- -PESO REDUZIDO





6 – AUTOPISTA URBANA SIERVO DE LA NACIÓN





Secção da estaca cravada

CONCEITO DE FUNDAÇÃO

•Aligeirada, para limitar a consolidação e o impacto na estabilidade dos taludes do canal;

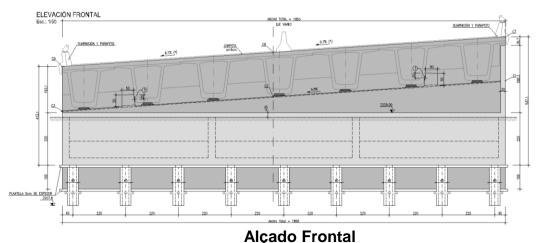
•Em H, para:

- -Se adaptar, com desnivelamento das pernas, às condições topográficas e limitar interferências em infraestruturas;
- -<u>Permitir a execução faseada, num ambiente de acessibilidade muito restringida;</u>
- -Maximizar a rigidez à rotação de berço, tendo em atenção a estreita banda disponível;
- •Intervencionável futuramente, caso se detete um comportamento anormal. As estacas e os maciços têm negativos para permitir a furação abaixo da ponta (tratamento já realizado em estacas inacessíveis).





6 – AUTOPISTA URBANA SIERVO DE LA NACIÓN

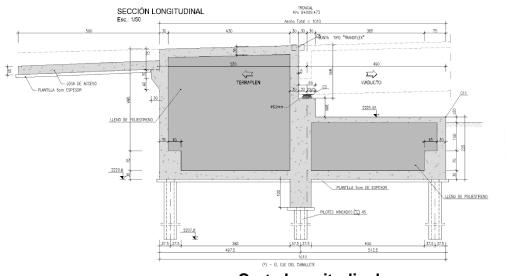


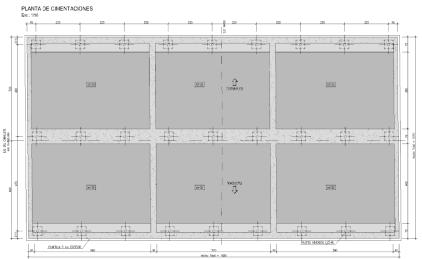
DETALHES DO ENCONTRO

Solução de encontro flutuante.

1º tramo do tabuleiro simplesmente apoiado para facilitar a absorção de assentamentos diferenciais.

Limitação da altura de aterro a 2/3m.





Corte Longitudinal Planta de fu

Planta de fundações





6 – AUTOPISTA URBANA SIERVO DE LA NACIÓN









6 – AUTOPISTA URBANA SIERVO DE LA NACIÓN



ENSAIOS DE CARGA







GEG

7 – AVANÇO DA OBRA





AVANÇO DA OBRA







GEG

7 – AVANÇO DA OBRA



AVANÇO DA OBRA















Obrigado pela Vossa atenção.

