



Classificação do Comportamento Sísmico dos Solos da Cidade de Lisboa

Apresentação Final do Trabalho

Projeto desenvolvido por Centro Europeu de Riscos Urbanos

U
LISBOA
UNIVERSIDADE
DE LISBOA



EUROPA
EUR-OPA MAJOR HAZARDS AGREEMENT
ACCORD EUR-OPA RISQUES MAJEURS



Plano de Trabalho

- Análise da carta geológica de Lisboa
- Identificação de locais com formações de cobertura de espessura relevante
- Estimativa de valores de V_{s30} para todas as formações identificadas em (1) e, caso seja adequado, para alguns dos sítios identificados em (2)
- Revisão e retificação da classificação realizada em (1) e definição de uma Carta de Classificação de Solos baseada nos parâmetros definidos no EC8
- Realização de medidas de vibrações ambientais, em locais a seleccionar, para caracterizar e/ou confirmar os resultados obtidos em (3) e (4)
- Realização de modelação numérica unidimensional para validar as opções tomadas



1. Análise da carta geológica de Lisboa

Carta Geológica + Carta de Vulnerabilidade Sísmica dos Solos (atualmente aceite)



- Identificação das diversas formações aflorantes
- Separação das formações rochosas dos solos e das formações de cobertura

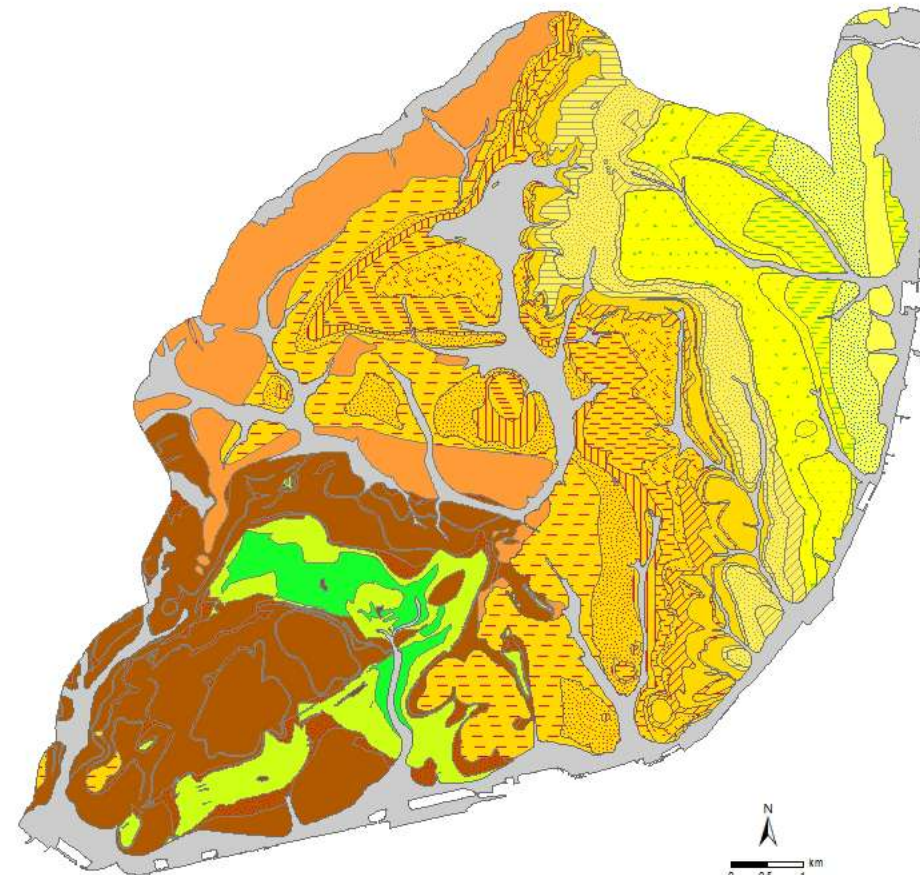
Com base na geologia de superfície (< 30 m):
Zonar o terreno em 4 classes em função da amplificação devida aos efeitos de sítio sísmicos (A, B, C e D)



Classificação preliminar dos solos
1ª Zonagem

Carta Geológica do Concelho de Lisboa

Escala 1:10 000



Legenda

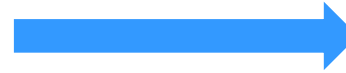
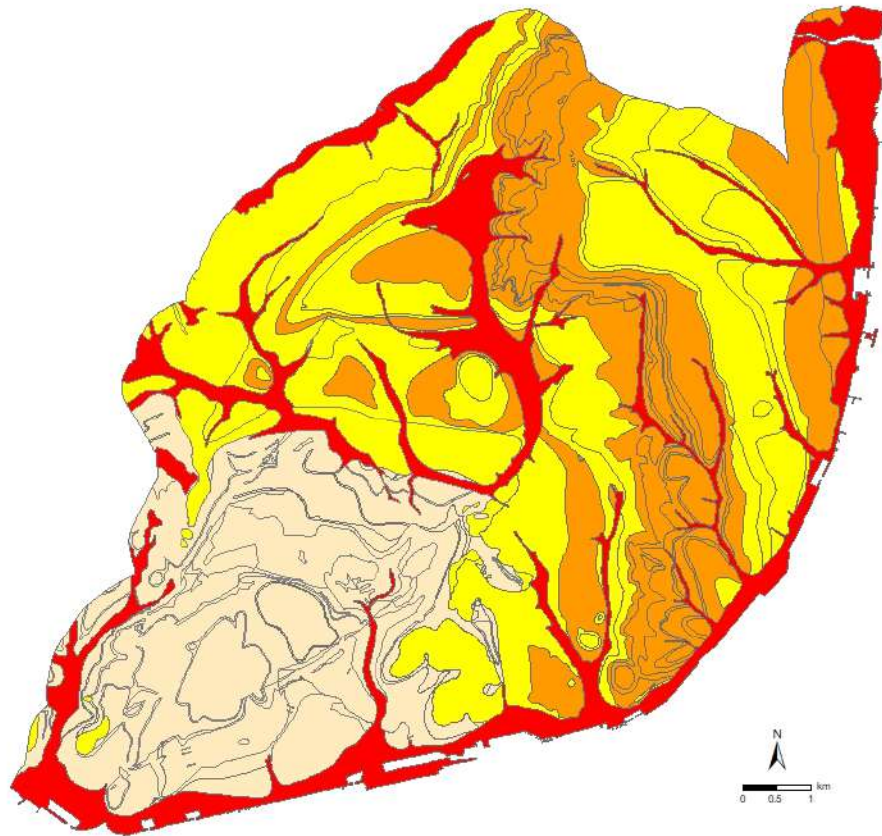
Aluviões e/ou aterros
Formação das Areolas de Cabo Ruivo (MVIIb)
Formação das Areolas de Braço de Prata (MVIa)
Formação dos Calcários de Marvila (MVIc)
Formação dos Grés de Gílios (MVIb)
Formação das Argilas de Xabregas (MVIa)
Formação dos Calcários de Quinta das Conchas (MVIc)
Formação das Areias de Vale de Chelas (MVIb)
Formação dos Calcários de Musgueira (MVIa3)
Formação das Areias com Placuna miocénica (MVIa2)
Formação das Areias com Placuna miocénica (MVIa2): intercalações calcárias
Formação dos Calcários de Casal Vistoso (MVIa1)
Formação das Areias de Quinta do Bacalhau (MVIb)
Formação das Argilas de Forno do Tijolo (MVIa)
Formação dos Calcários de Entrecampos ("Banco Real") (MIII)
Formação das Areolas de Estefânia (MI)
Formação das Argilas dos Prazeres (MI): argilitos e calcários
Formação de Benfica: conglomerados, arenitos e argilitos
Formação de Benfica: intercalações calcárias (Calcários de Alfornelos)
Complexo Vulcânico de Lisboa
Complexo Vulcânico de Lisboa: rochas piroclásticas
Filões e chaminés de basalto
Formação da Bica: calcários com rudistas
Formação de Caneças: calcários, margas, arenitos e dolomitos

1. Análise da carta geológica de Lisboa

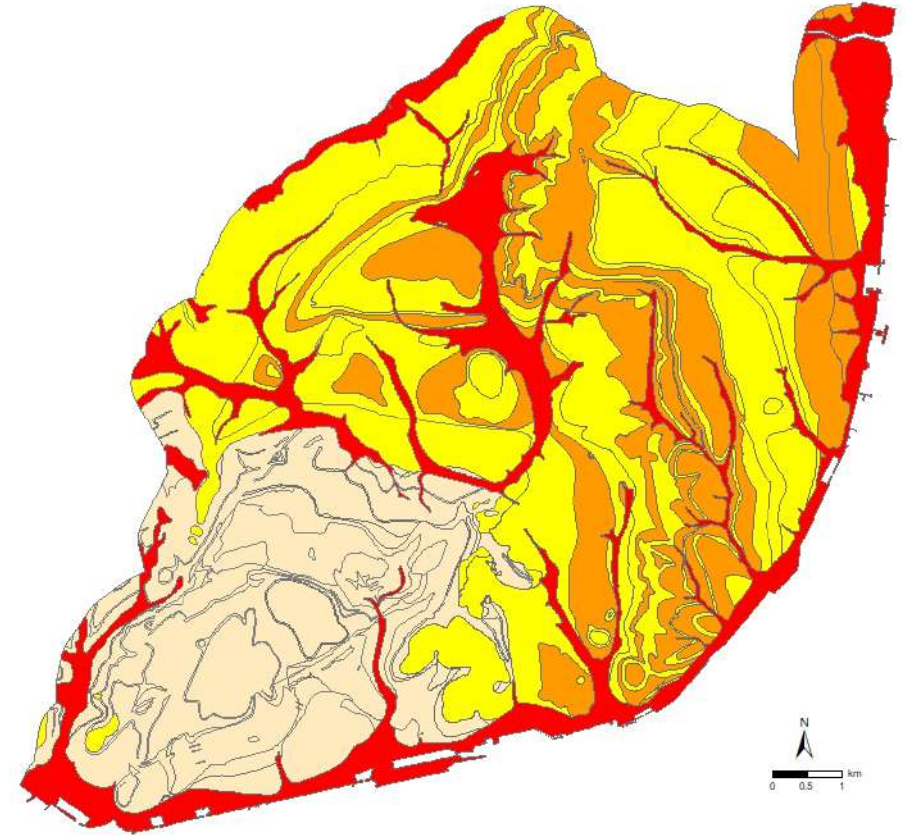
Carta inicial

Classificação dos Solos do Concelho de Lisboa

Classificação preliminar dos solos
1ª Zonagem



Legenda
Vulnerabilidade Sismica dos Solos
Baixa
Elevada
Moderada
Muito Elevada



Legenda
A
B
C
D

2. Análise de locais com formações de cobertura

Layer "Coberturas"
CML



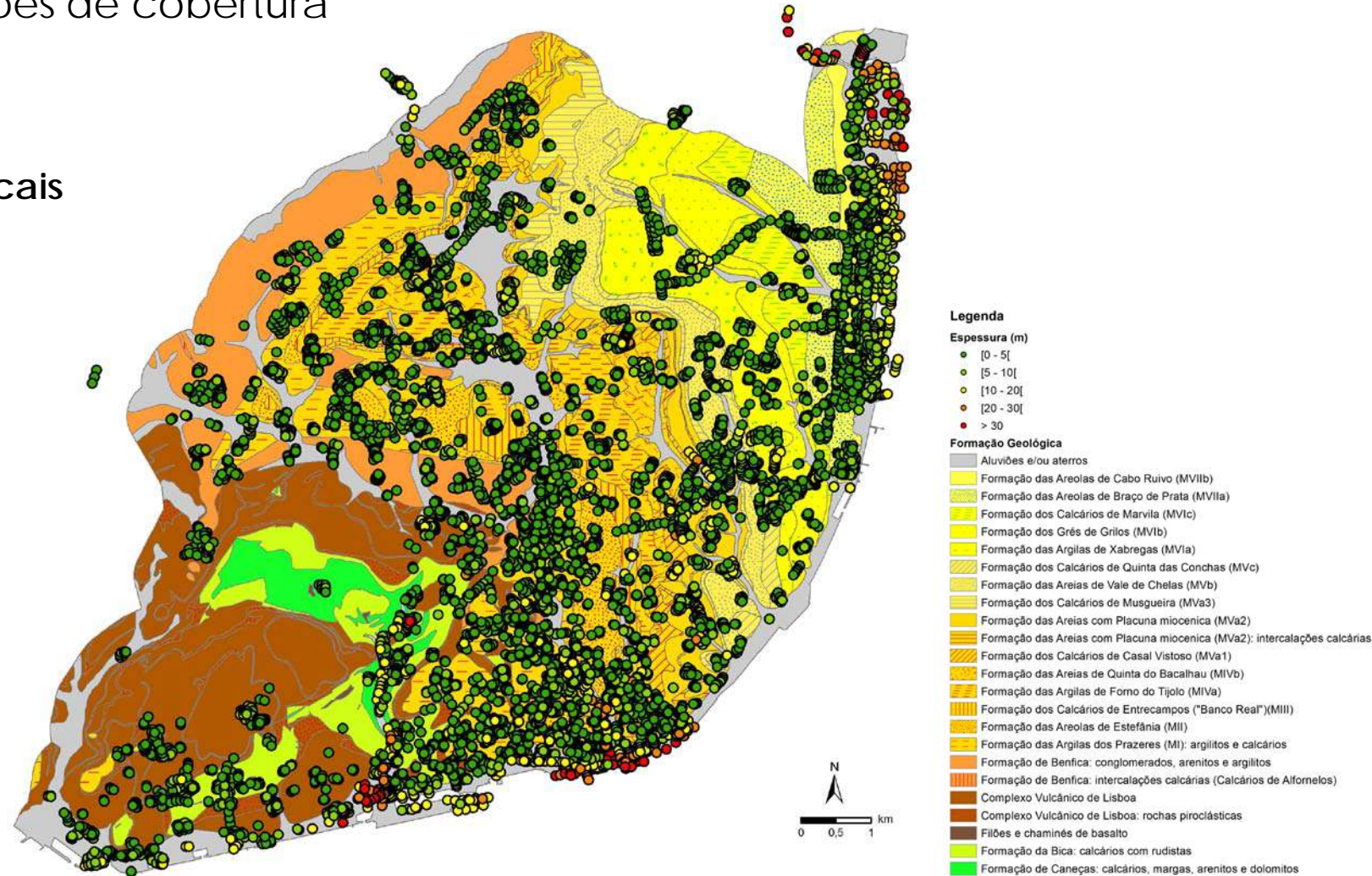
Identificação de locais com
formações de cobertura

Realização de perfis sísmicos em 4 locais
selecionados:

- Chelas
- Quinta dos Alcoutins (Lumiar)
- Musgueira
- Encarnação

Geologia de cada local para conhecer
as formações geológicas presentes

Formações de Cobertura no Concelho de Lisboa



2. Análise de locais com formações de cobertura

Dificuldades

Na base de dados disponibilizada pela CML, há **áreas** de Lisboa onde **não existe informação geotécnica**

Identificação de **grandes "zonas sombra"**

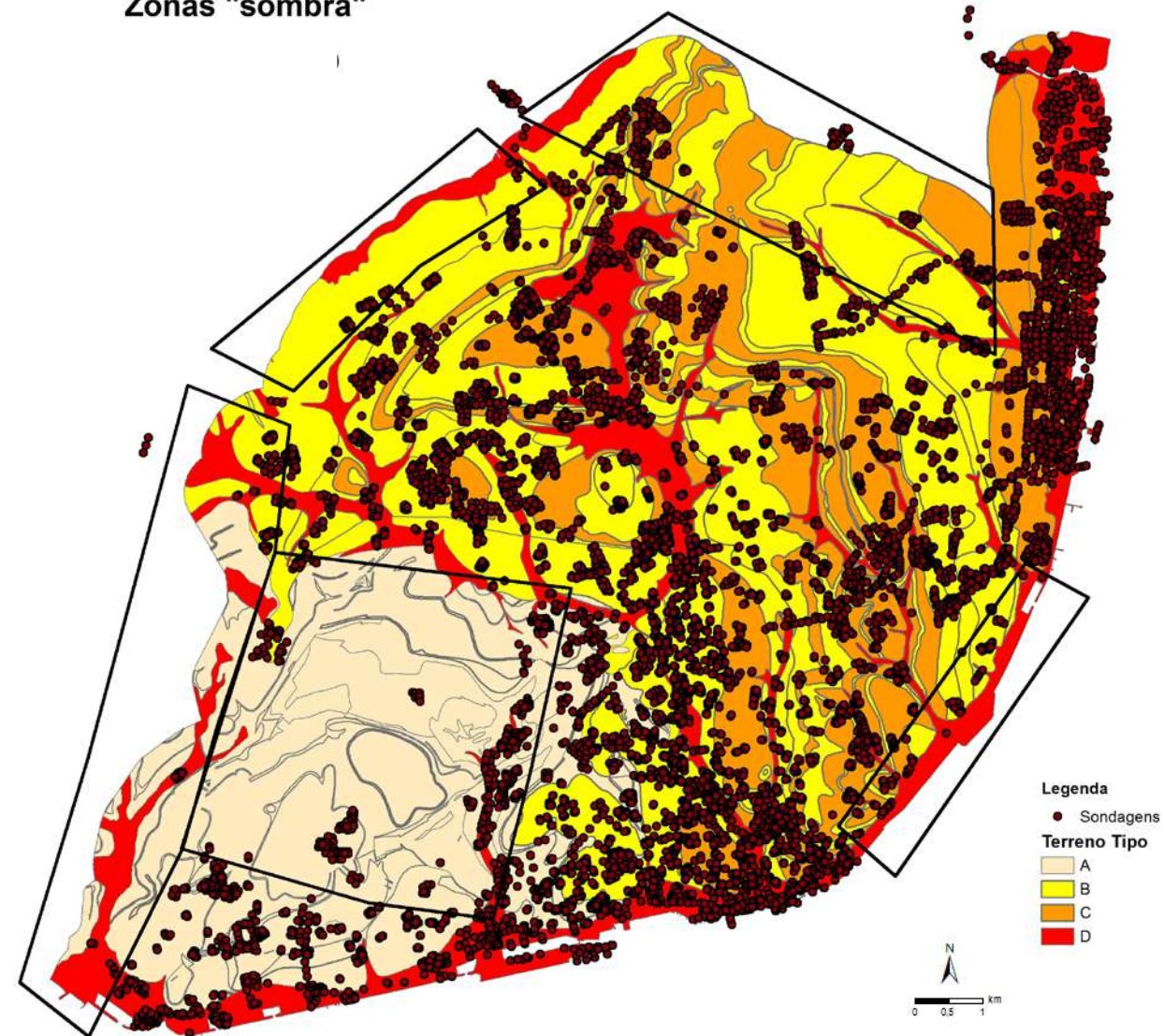
Causa

Não existem sondagens disponíveis nessas áreas ou, poderão existir mas a **informação ainda não está introduzida na base de dados**

Consequência

A **classificação** dos terrenos localizados nessas "zonas sombra" deverá ser **interpretada tomando em consideração esta lacuna**

Carta Geológica do Concelho de Lisboa
Zonas "sombra"



3. Estimativa de valores de Vs30

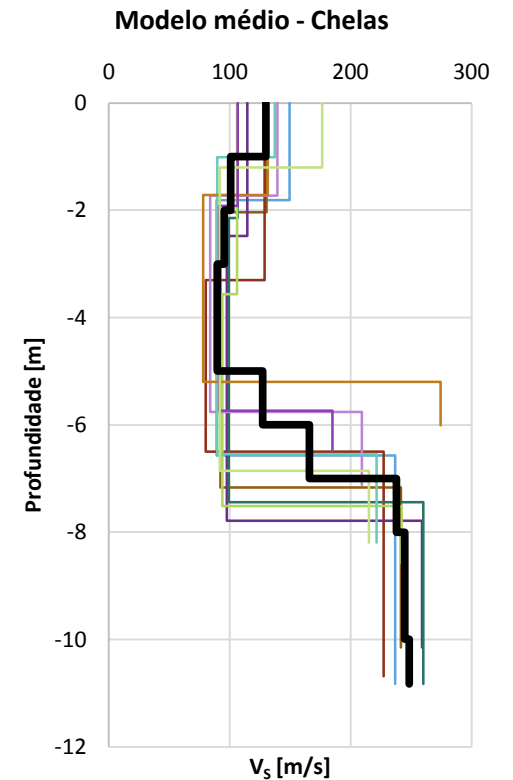
É necessário

- (1) Realização de perfis sísmicos
- (2) Análise de relatórios de sondagens com informação geofísica

(1) → Realização de **perfis sísmicos** de modo a estimar **valores de Vs30** para cada um dos sítios amostrados (ReMi)

→ Os perfis sísmicos permitem estimar a velocidade das ondas de corte, V_s , e/ou a espessura (**H**) de cada camada

→ A partir destes parâmetros é possível determinar (ou **estimar**) o valor de **Vs30** que **caracteriza o sítio em estudo (EC8)**

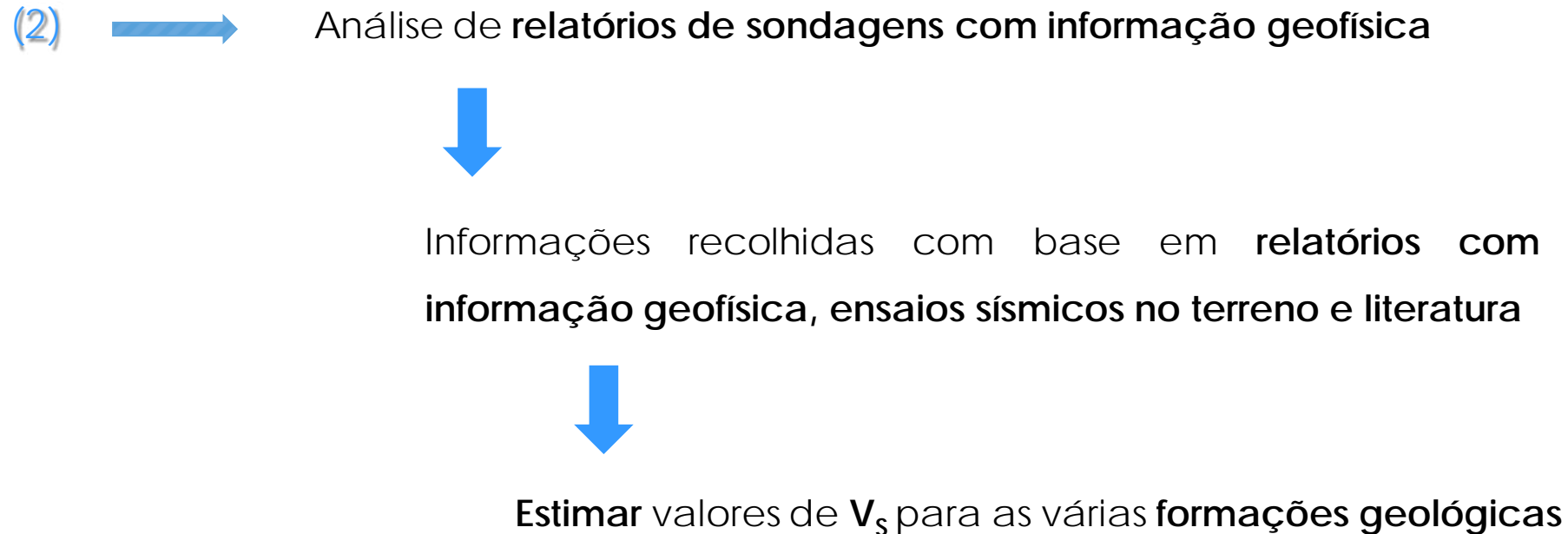


$V_{s30} = 157$ m/s

3. Estimativa de valores de V_s

É necessário

- (1) Realização de alguns perfis sísmicos
- (2) Análise de relatórios de sondagens com informação geofísica



3. Estimativa de valores de Vs30

Valores médios de V_s (m/s) para cada formação geológica

Formação Geológica	Terreno Tipo	V_s (m/s)				
Aterros	D	72 - 500	Interior	Aterros + Aluviões	Ribeirinho	380 - 650
		470 - 650	Ribeirinho			
Aluviões	D	144 - 528	Interior		Interior	72 - 528
		380 - 650	Ribeirinho			
Depósitos de vertente	D	120 - 740	Material muito heterogéneo			
Formação das Areolas de Cabo Ruivo	C					
Formação das Areolas de Braço de Prata	C					
Formação dos Calcários de Marvila	B					
Formação dos Grés de Grilos	B					
Formação das Argilas de Xabregas	B	408 - 700				
Formação dos Calcários de Quinta das Conchas	B	754 - 900				
Formação das Areias de Vale de Chelas	C	210 - 604				
Formação dos Calcários de Musgueira	B					
Formação das Areias com Placuna miocénica	C					
Formação das Areias com Placuna miocénica: intercalações calcárias	B					
Formação dos Calcários de Casal Vistoso	B					
Formação das Areias de Quinta do Bacalhau	C					
Formação das Argilas de Forno de Tijolo	B	440 - 740				
Formação dos Calcários de Entrecampos	B					
Formação das Areolas de Estefânia	C					
Formação das Argilas dos Prazeres: argilitos e calcários	B	400 - 583				
Formação de Benfica: conglomerados, arenitos e argilitos	B	600 - 1088				
Formação de Benfica: intercalações calcárias (Calcários de Alfovelos)	B					
Complexo Vulcânico de Lisboa	A	437 - 1201				
Complexo Vulcânico de Lisboa: rochas piroclásticas	A					
Filões e chaminés de basalto	A					
Formação da Bica: calcários com rudistas	A	355 - 2003				
Formação de Caneças: calcários, margas, arenitos e dolomitos	A	817 - 961				

4. Realização de medidas de vibrações ambientais

Objetivo

Fornecer **informação complementar** sobre o **comportamento sísmico dos solos**

Onde realizar?

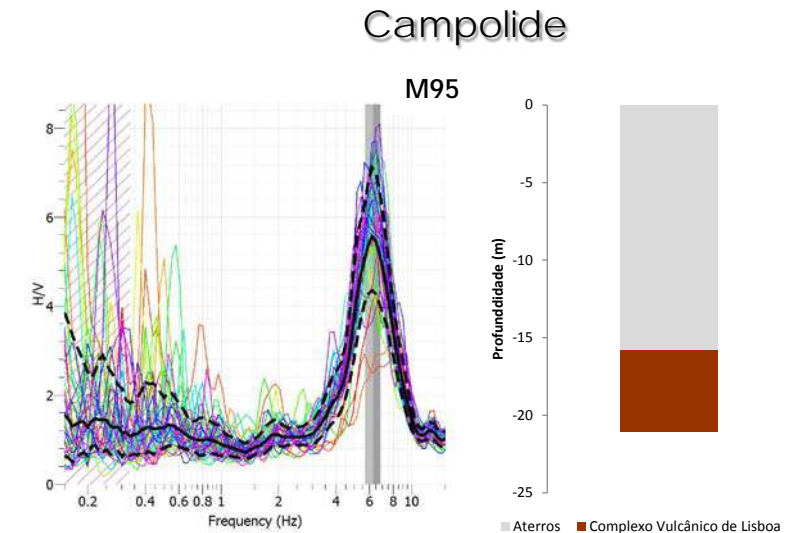
Locais a seleccionar de acordo com a análise efetuada em (2) e dos resultados obtidos em (3) e (4)

- Medidas de vibrações ambientais recolhidas no ano de 2009 em diversos locais da cidade de Lisboa – reanálise dos dados

Análise

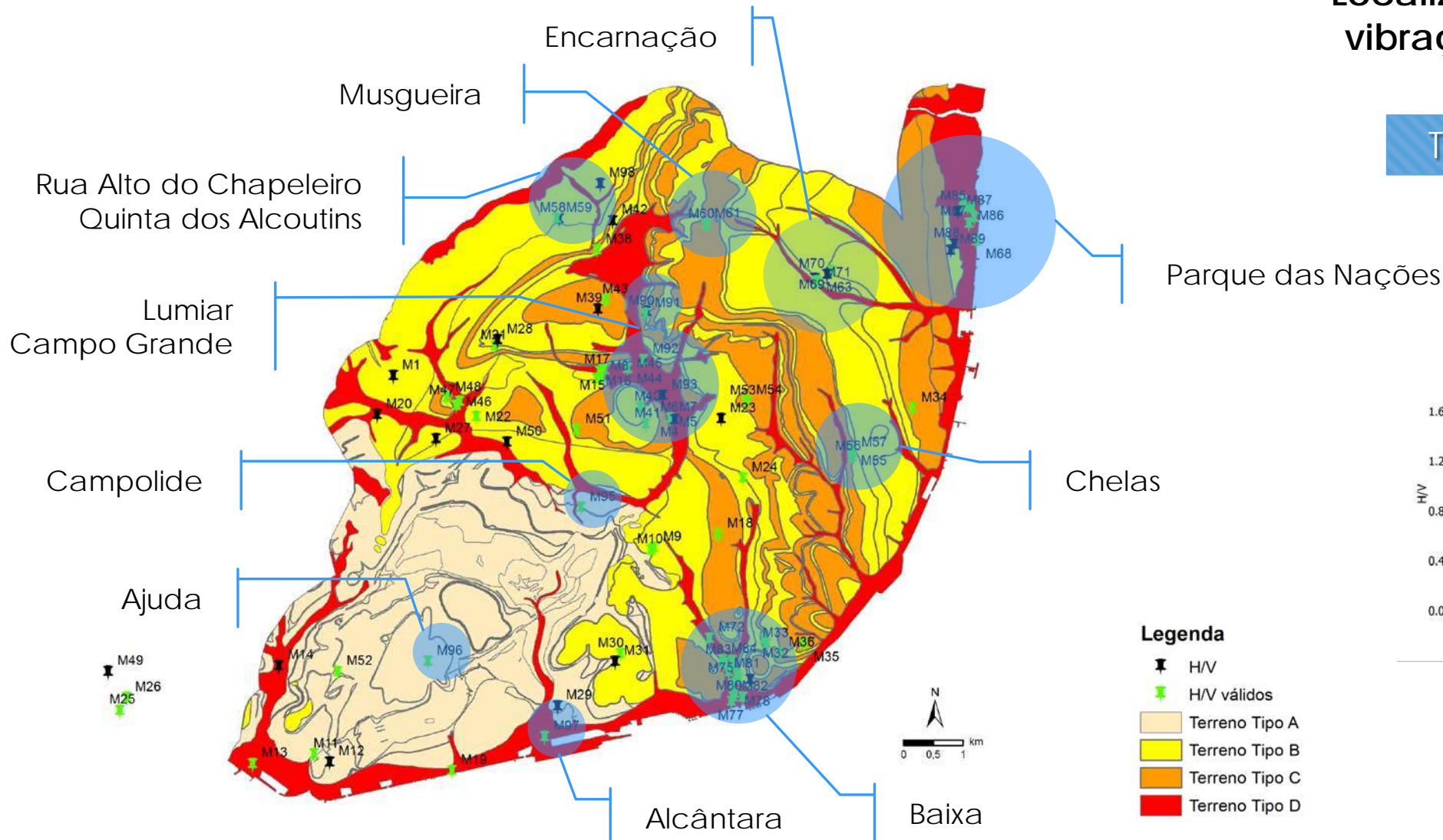
Método de **Nakamura (1989)** – determinação da **curva H/V**

Determinação da **frequência do sítio**, f_0 (com a respetiva amplitude A_0)



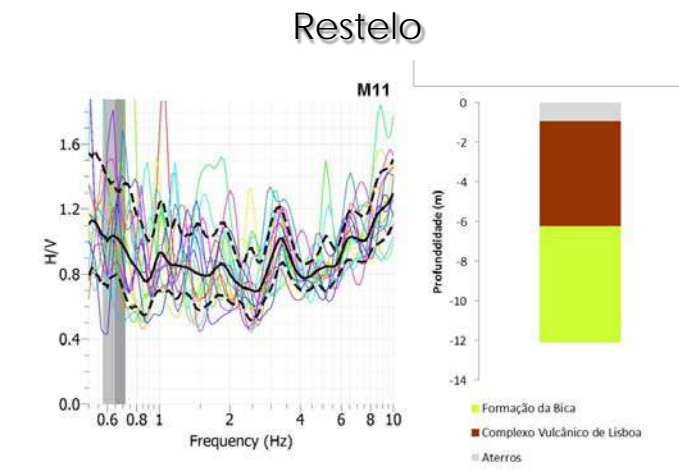
Espeçura (m)	
Aterros	15.8
Aluviões	0
Aterros + Aluviões	15.8
f_0	6.29
A_0	5.53

4. Realização de medidas de vibrações ambientais



Localização das medidas de vibrações ambientais (H/V)

TOTAL = 98 pontos



Curva típica de uma formação rochosa

5. Revisão e retificação da classificação realizada em (1)

Objetivo inicial

Classificação dos terrenos tipo de Lisboa **com base no valor de Vs30** (parâmetro primário de classificação definido no EC8)



Dados existentes na base de dados – **valores de NSPT**

Solução

Classificação baseada em valores estimados de NSPT30 – proxy (parâmetro alternativo de classificação definido no EC8)



Algoritmo

Algoritmo de cálculo para a **identificação do substrato sísmico e classificação do terreno de acordo com o Eurocódigo 8** a partir da análise dos valores de NSPT existentes na base de dados da CML (estimativa de **NSPT30**)

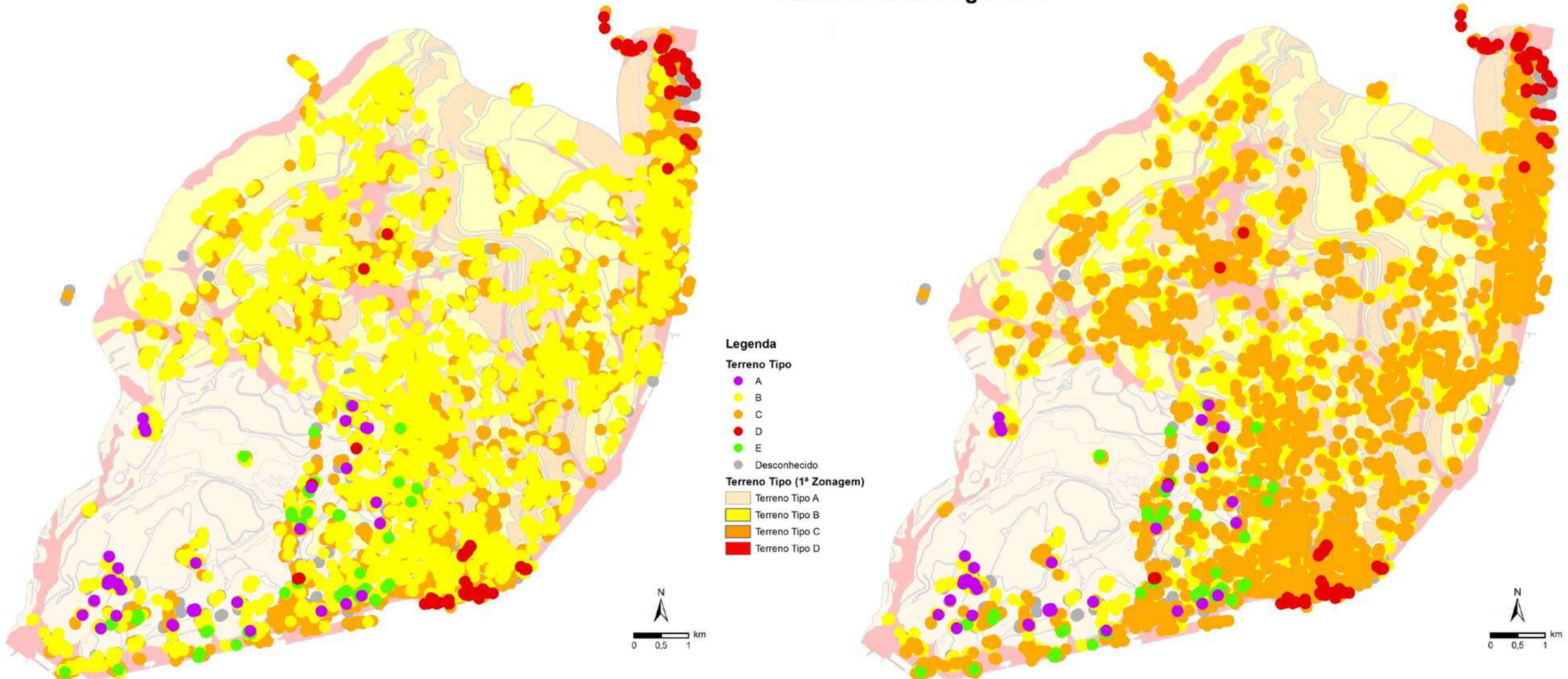
Classificação em 5 terrenos tipo: A, B, C, D, E

Alerta!

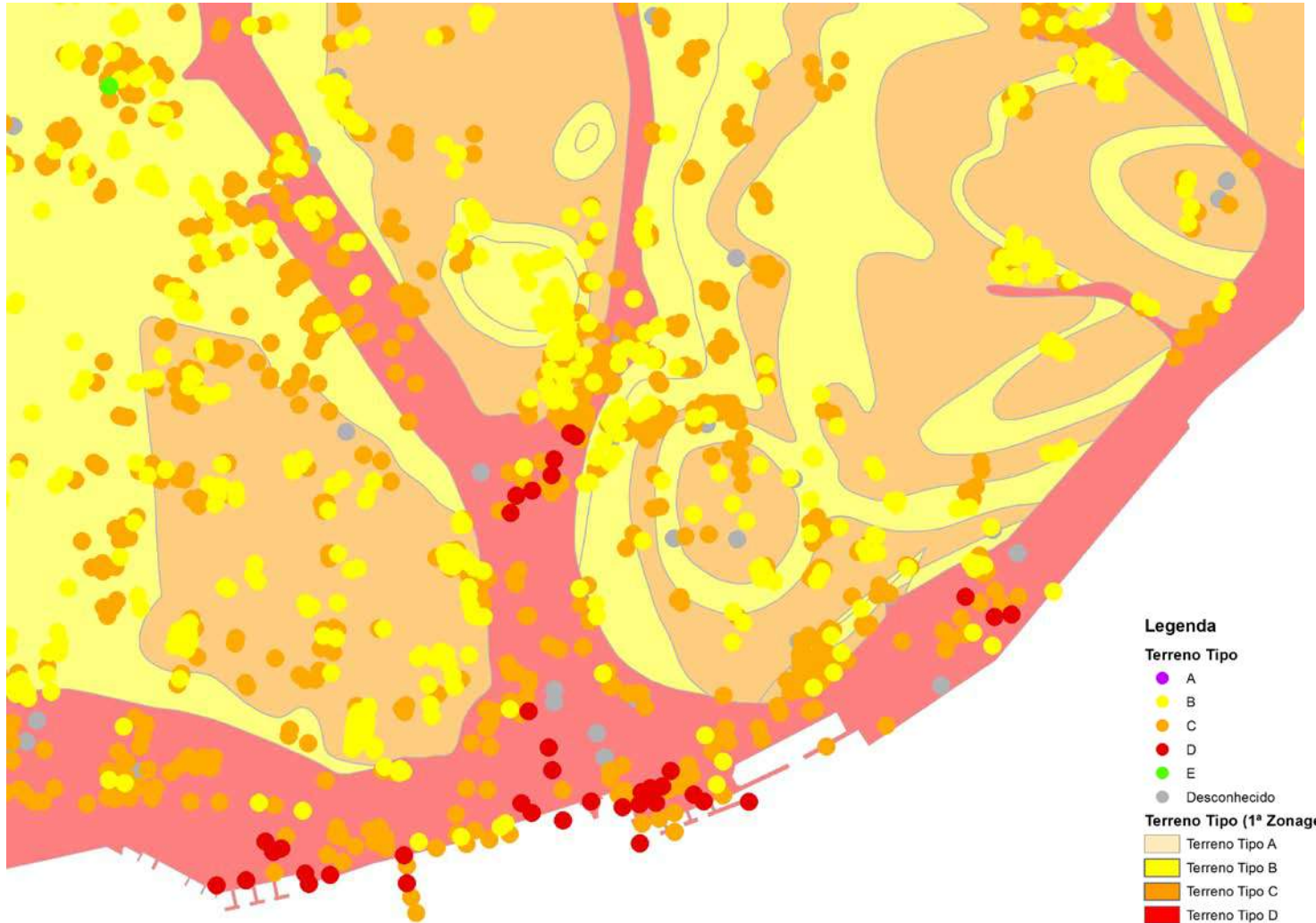
Os **valores de NSPT vêm afetados de uma incerteza impossível de quantificar**, devido a todas as opções tomadas de modo a contornar as dificuldades que surgiram (zonas sombra, reduzido número de sondagens que atingem a profundidade de 30 m, relatórios que datam desde 1935 a 2015, ...)

5. Revisão e retificação da classificação realizada em (1)

Terrenos Tipo no Concelho de Lisboa
Resultados do Algoritmo



5. Revisão e retificação da classificação realizada em (1)



Desafio



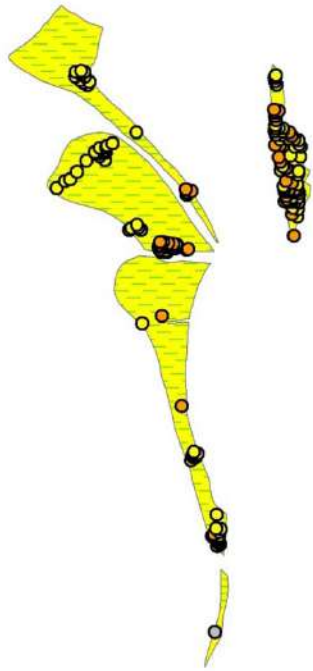
A partir da classificação para cada sondagem definir o zonamento

Dificuldades



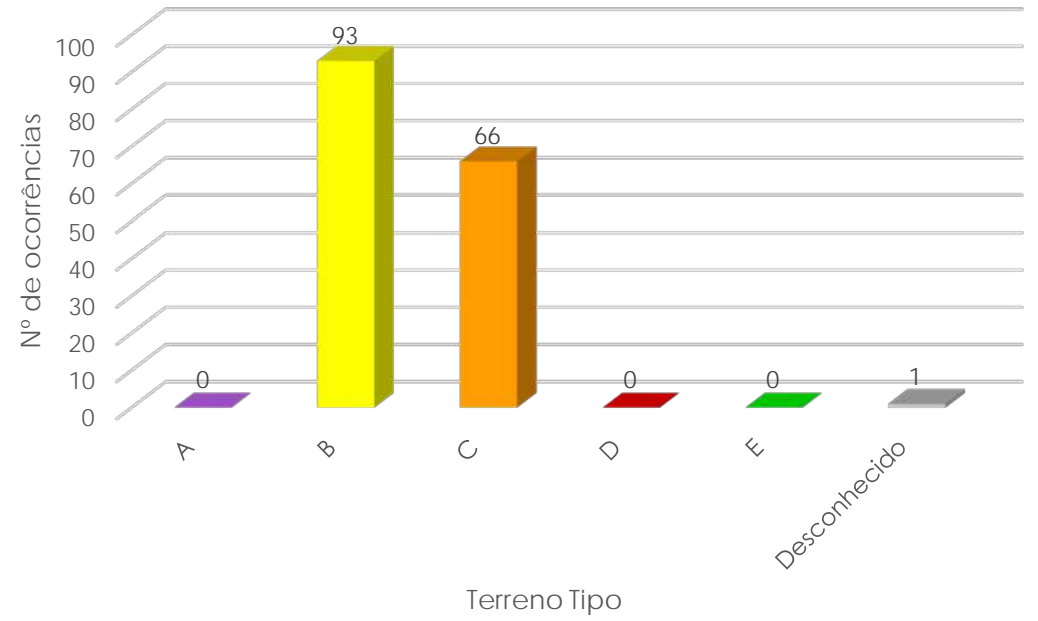
- Elevada variabilidade lateral do perfil de terreno
- Distribuição irregular das sondagens

5. Revisão e retificação da classificação realizada em (1)

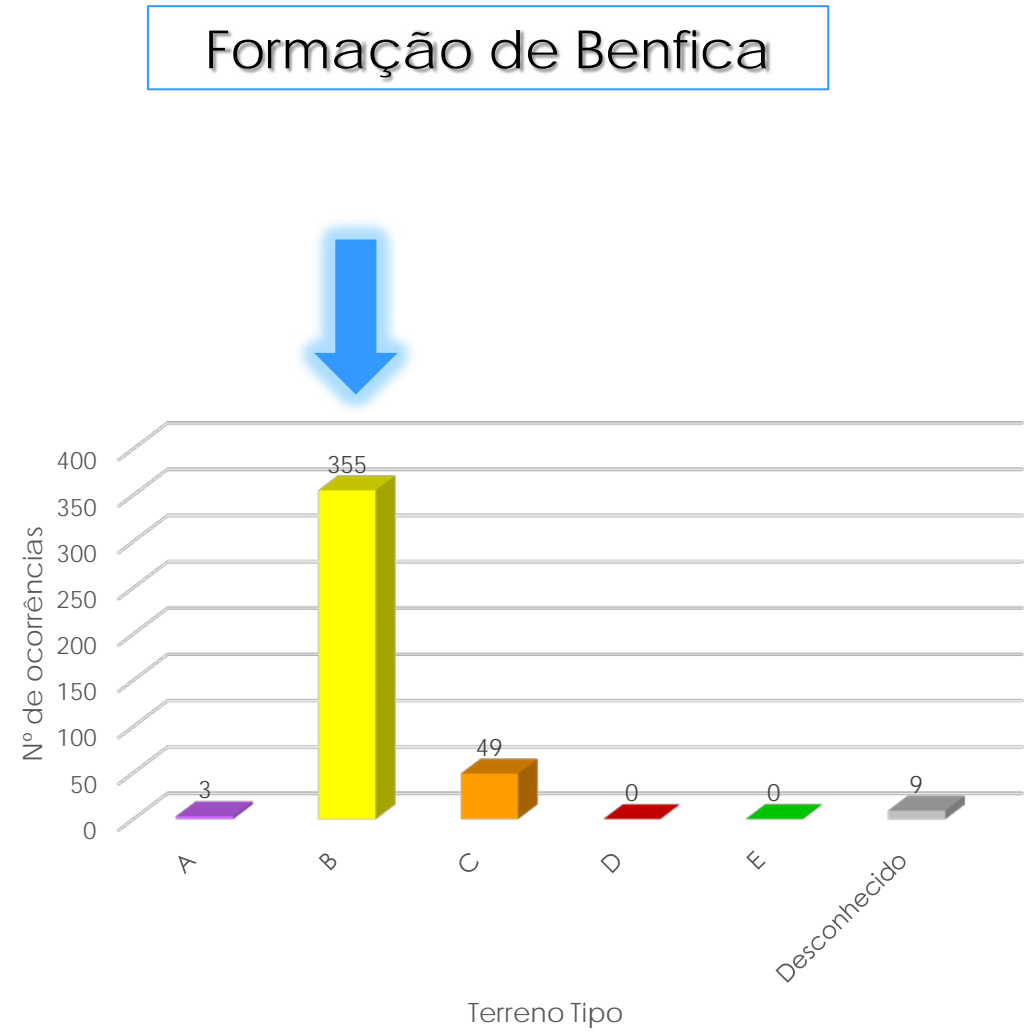


- Legenda**
Terreno Tipo
- A
 - B
 - BC
 - C
 - D
 - E

Calcários de Marvila

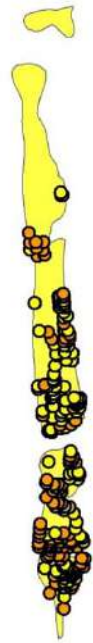


5. Revisão e retificação da classificação realizada em (1)



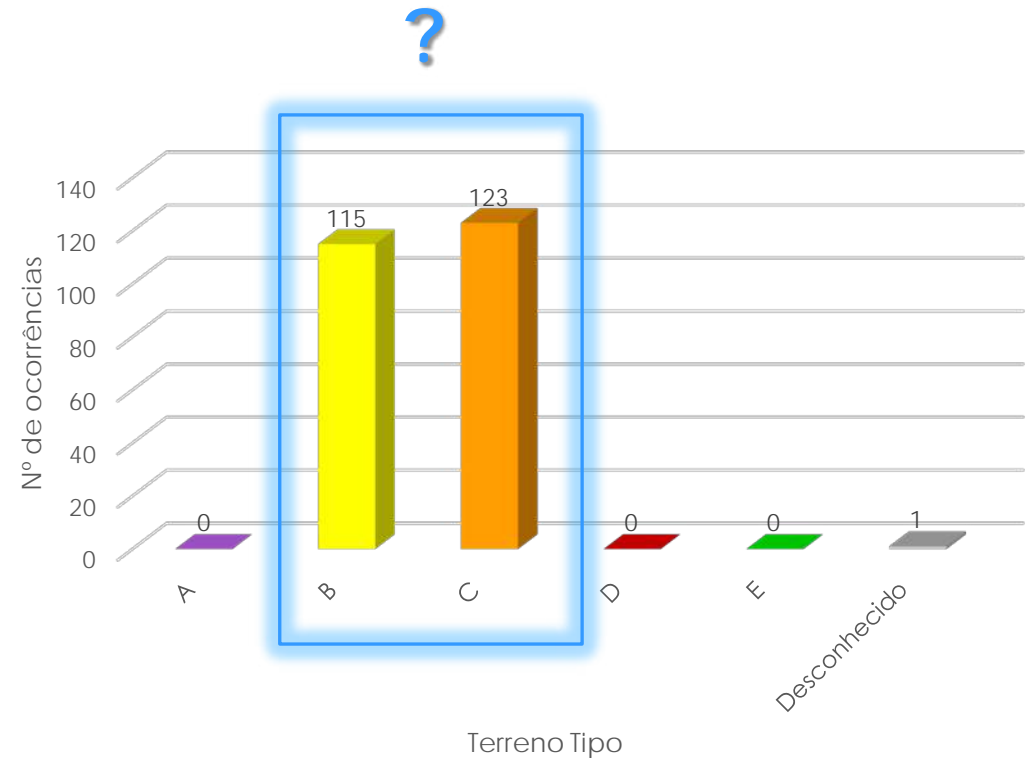
5. Revisão e retificação da classificação realizada em (1)

No entanto...



- Legenda**
Terreno Tipo
- A
 - B
 - BC
 - C
 - D
 - E

Areolas de Cabo Ruivo



5. Revisão e retificação da classificação realizada em (1)

Formações geológicas com comportamento intermédio

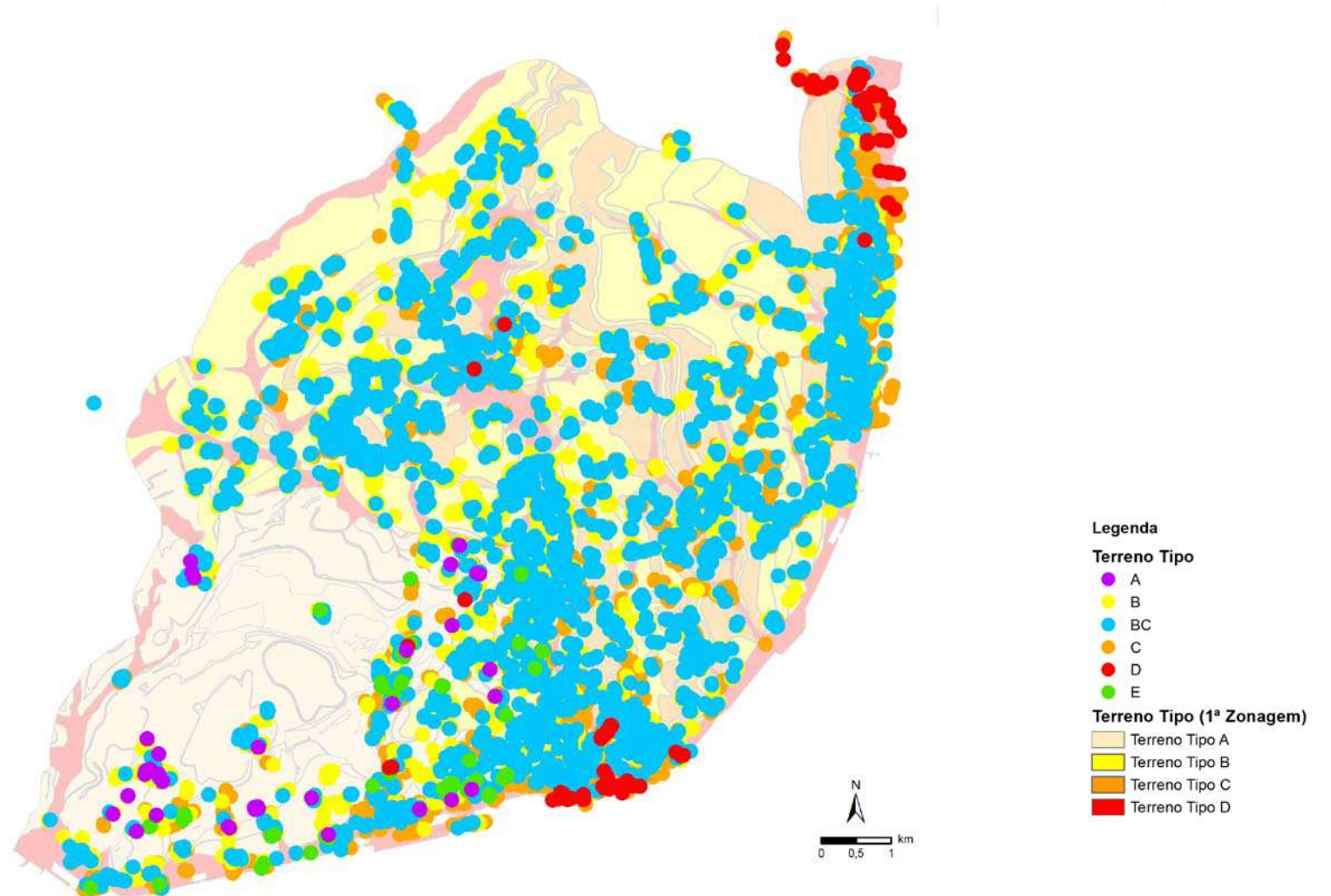


Classe de solo intermédia BC

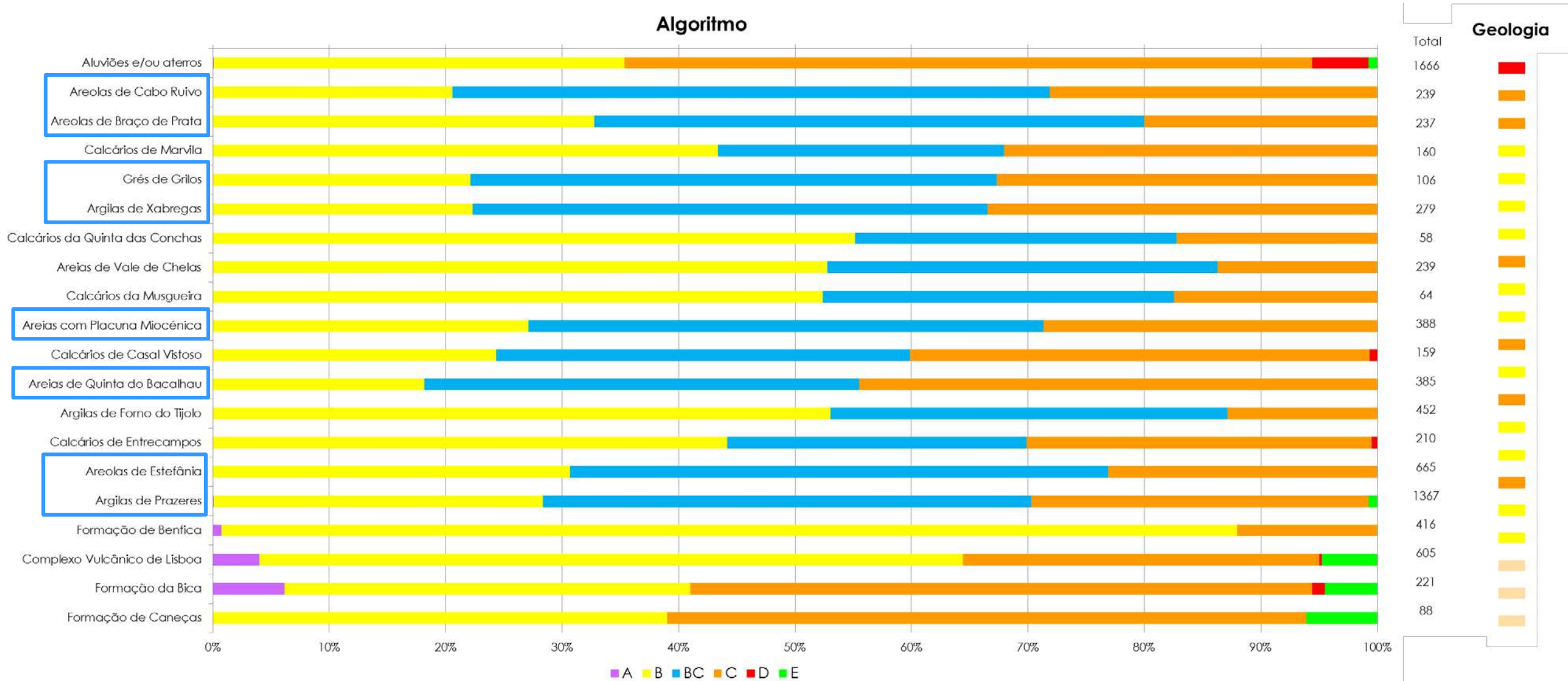
Valor de N (*output* do algoritmo)

Condição: Para as sondagens com classificação de terreno tipo B ou C e $40 \leq N \leq 70$, o terreno tipo será BC

Terrenos Tipo no Concelho de Lisboa
Resultados do Algoritmo
(classe intermédia)

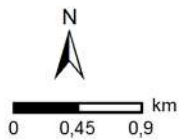
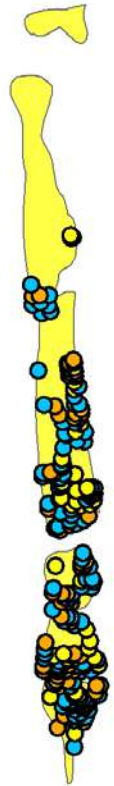


5. Revisão e retificação da classificação realizada em (1)



8/15 Formações miocénicas

5. Revisão e retificação da classificação realizada em (1)



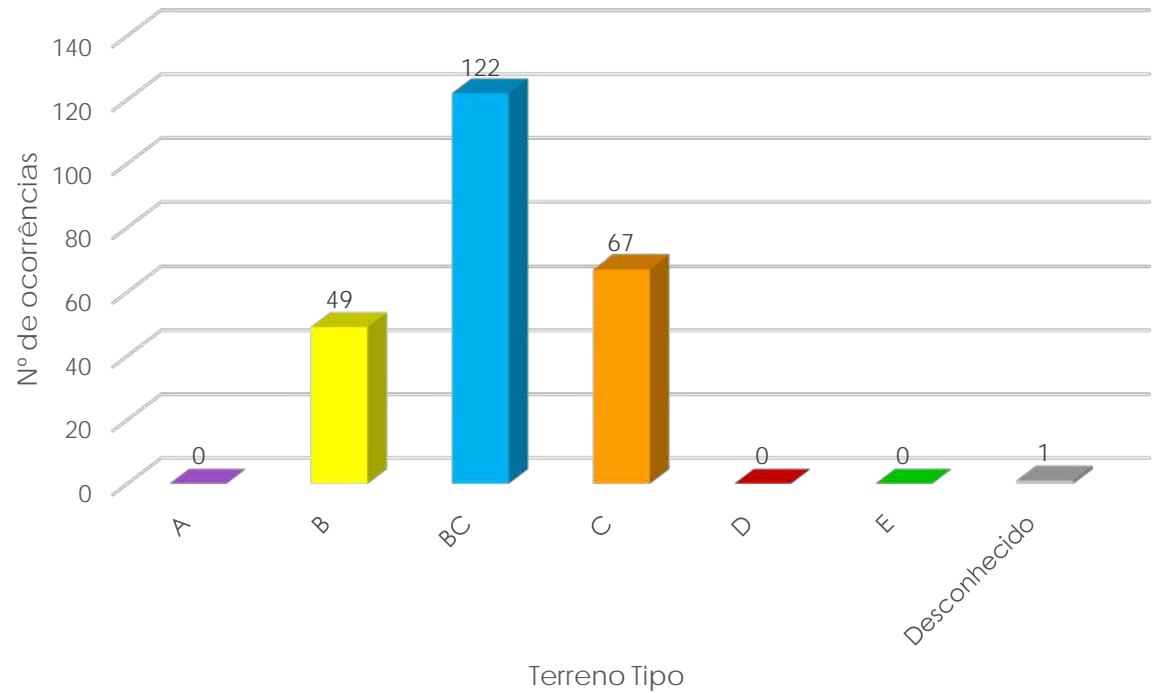
Legenda

Terreno Tipo

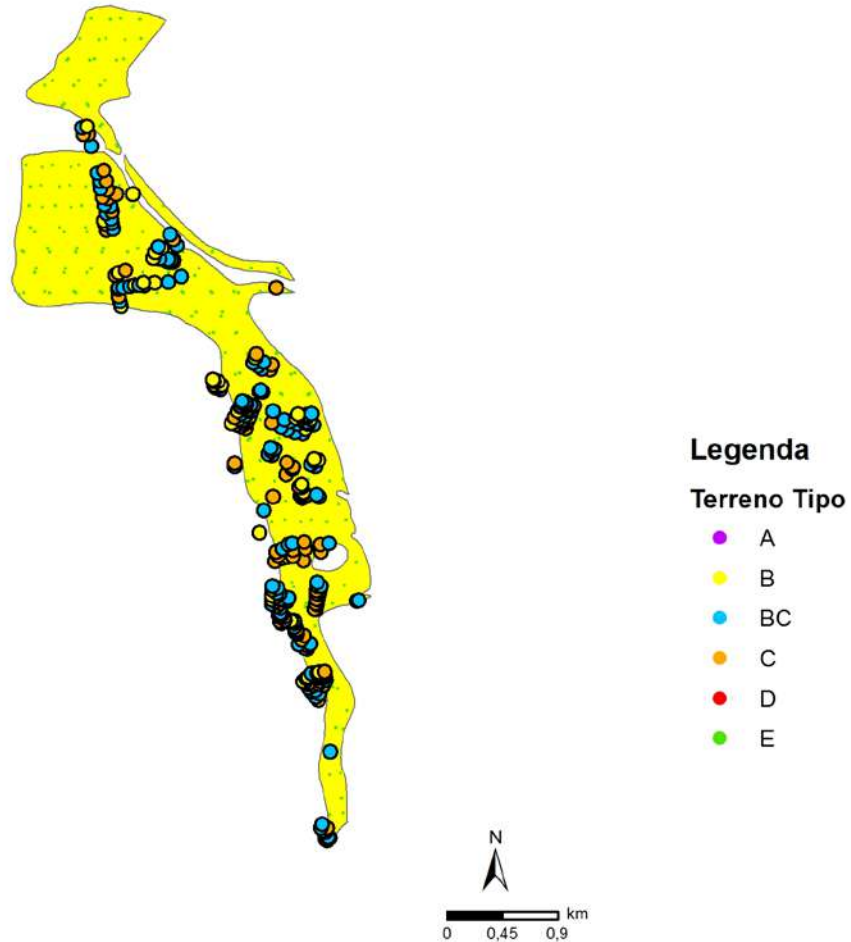
- A
- B
- BC
- C
- D
- E

Areolas de Cabo Ruivo

Terreno Tipo BC

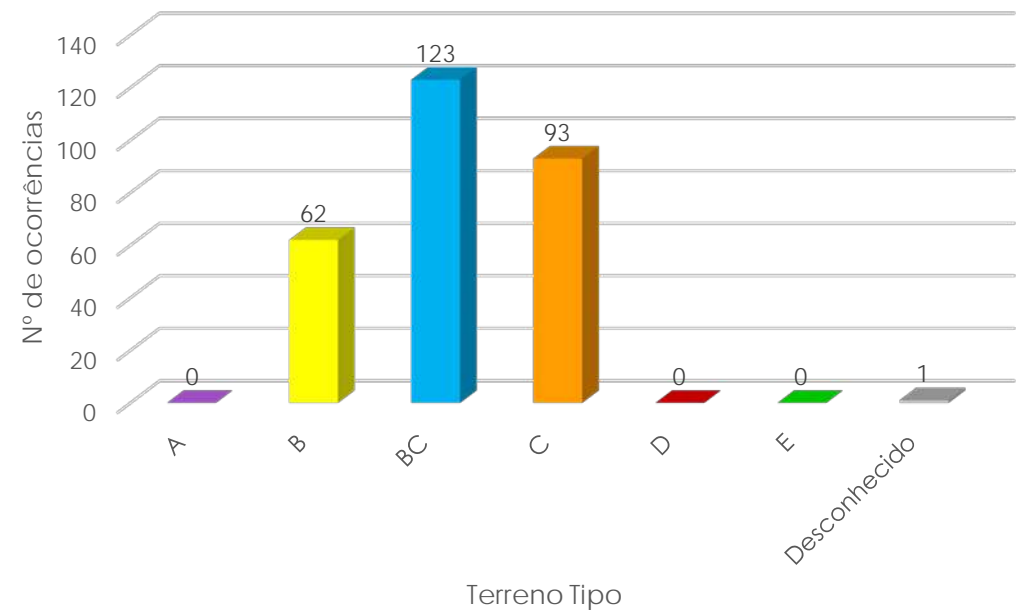


5. Revisão e retificação da classificação realizada em (1)



Argilas de Xabregas

Terreno Tipo BC



5. Revisão e retificação da classificação realizada em (1)

Formações geológicas do cretácico

- Complexo Vulcânico de Lisboa
- Formação da Bica
- Formação de Caneças



Esperado ⇒ **Elevado número de sondagens** classificadas como terreno tipo **A**

No entanto...

Apenas as duas primeiras apresentam terrenos tipo A sendo, contudo, **predominantes as sondagens** classificadas como **terrenos tipo B ou C**

- **Número e distribuição espacial** das sondagens
- **Não realização de ensaios SPT em rocha** (terreno tipo A)



Definição de um segundo **tipo de terreno intermédio – AB**

É de realçar:

Classificação intermédia **BC** atribuída em duas situações diferentes

- A existência de um **grande número de sondagens dos dois tipos de terreno** (B e C) na mesma formação – grande heterogeneidade na sua distribuição espacial;
- A formação apresenta um **comportamento intermédio entre as duas classes de terreno principais**, correspondente a uma classe de solo intermédia.

Classes de terreno tipo: A, AB, B, BC, C, D e E

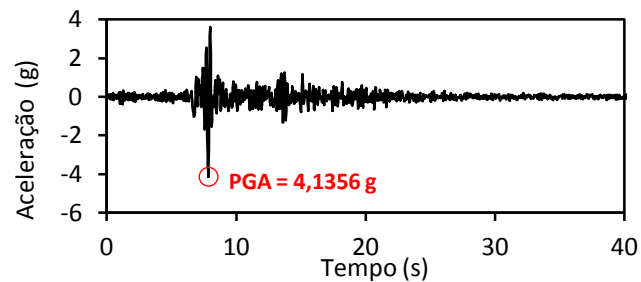
6. Realização de modelação numérica unidimensional

Objetivos

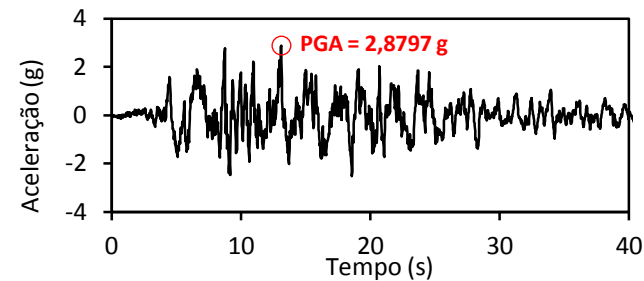
- (1) Investigar sítios de classificação dúbia
- (2) Confirmar a classificação efetuada

Duas ações sísmicas

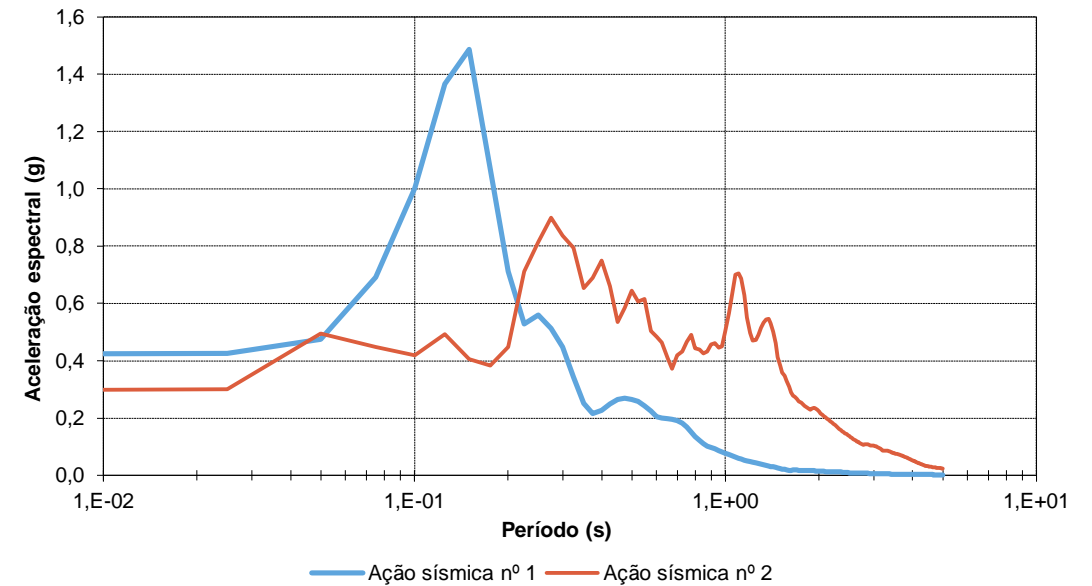
Ação sísmica nº 1



Ação sísmica nº 2



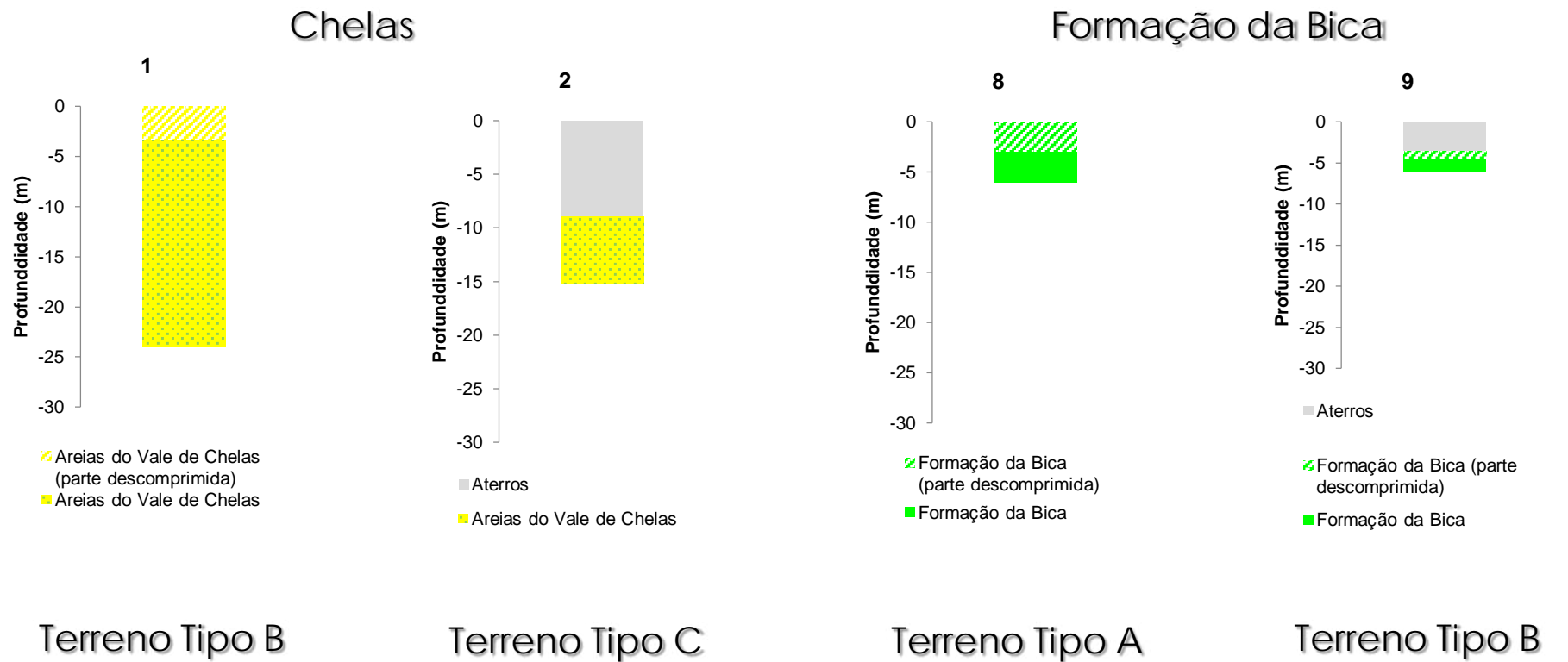
Espectros de Resposta



6. Realização de modelação numérica unidimensional

De que forma diferentes perfis de solo respondem a diferentes ações sísmicas?

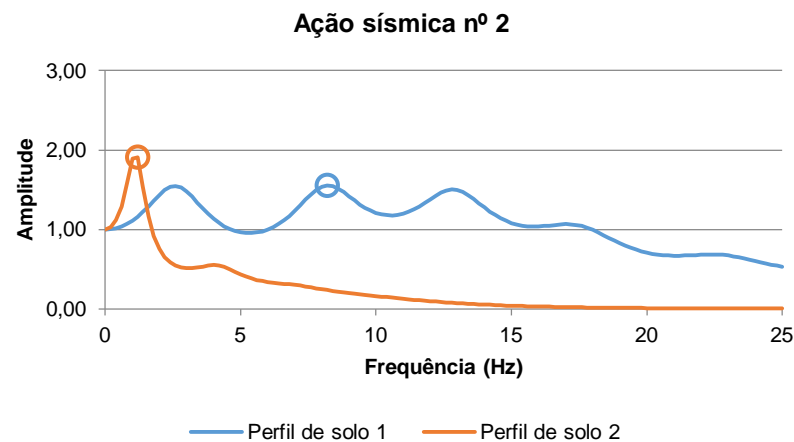
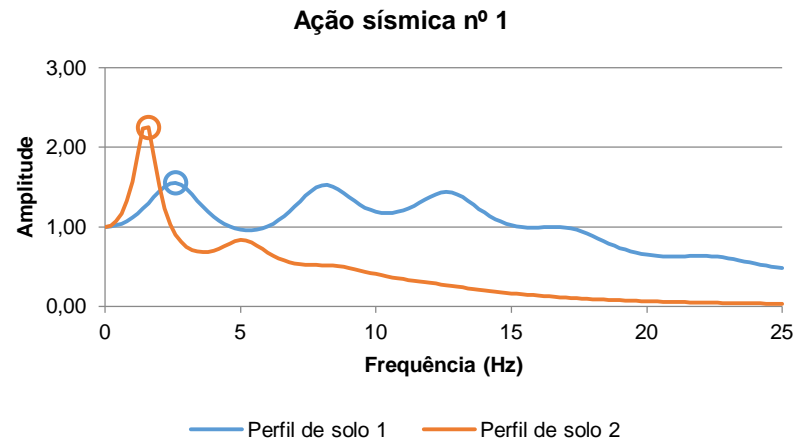
Dois conjuntos de perfis de solo



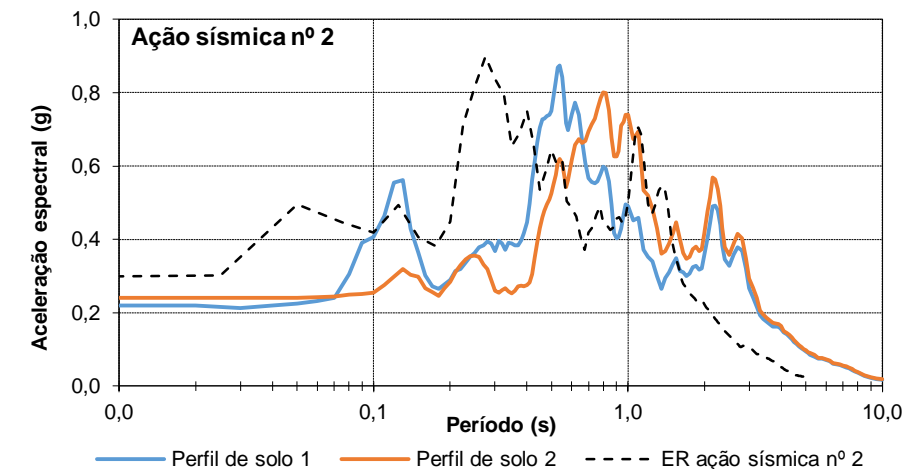
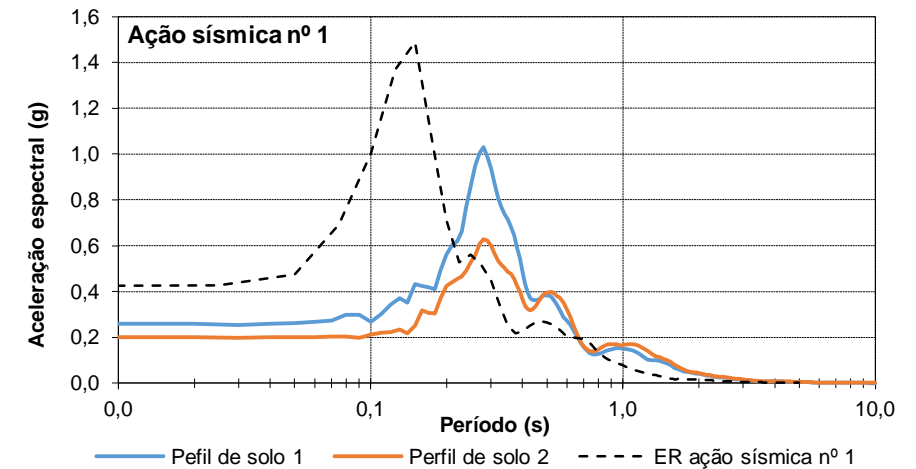
6. Realização de modelação numérica unidimensional

Perfis de solo em Chelas (B/C)

Funções de Transferência



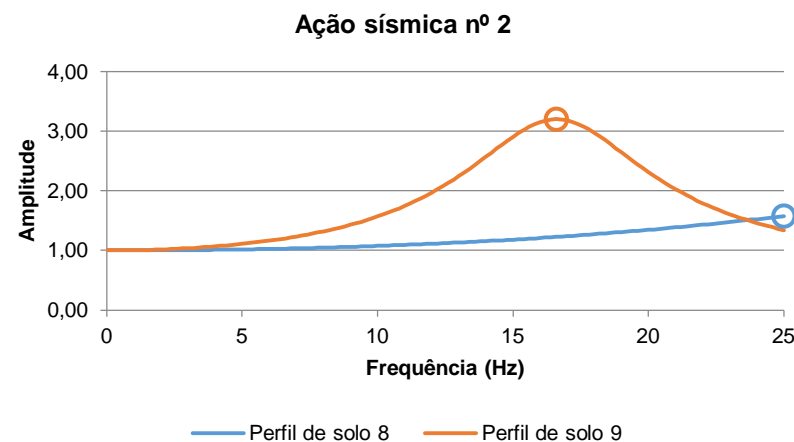
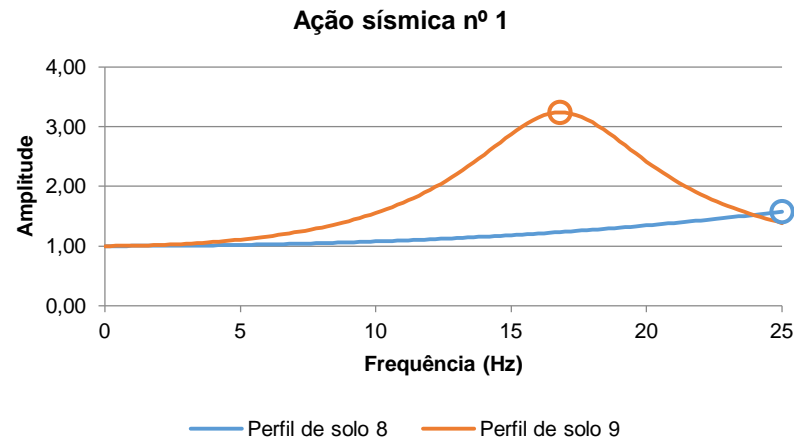
Espectros de Resposta



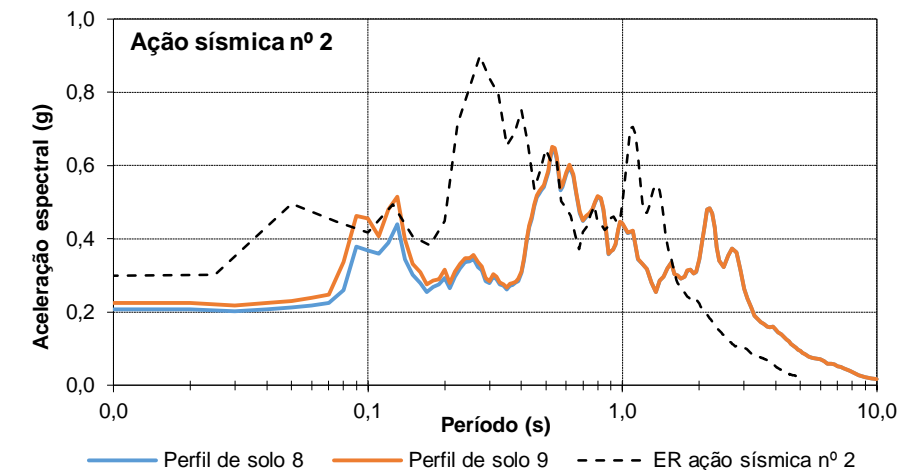
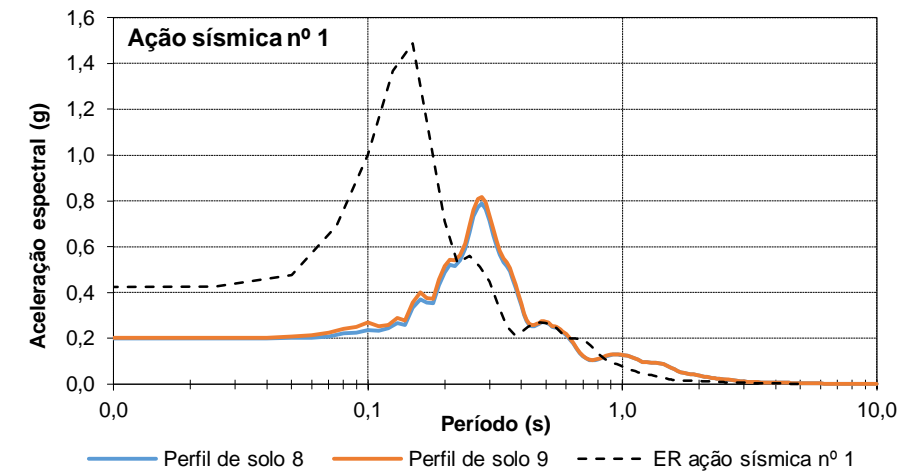
6. Realização de modelação numérica unidimensional

Perfis de solo na Formação da Bica (A/B)

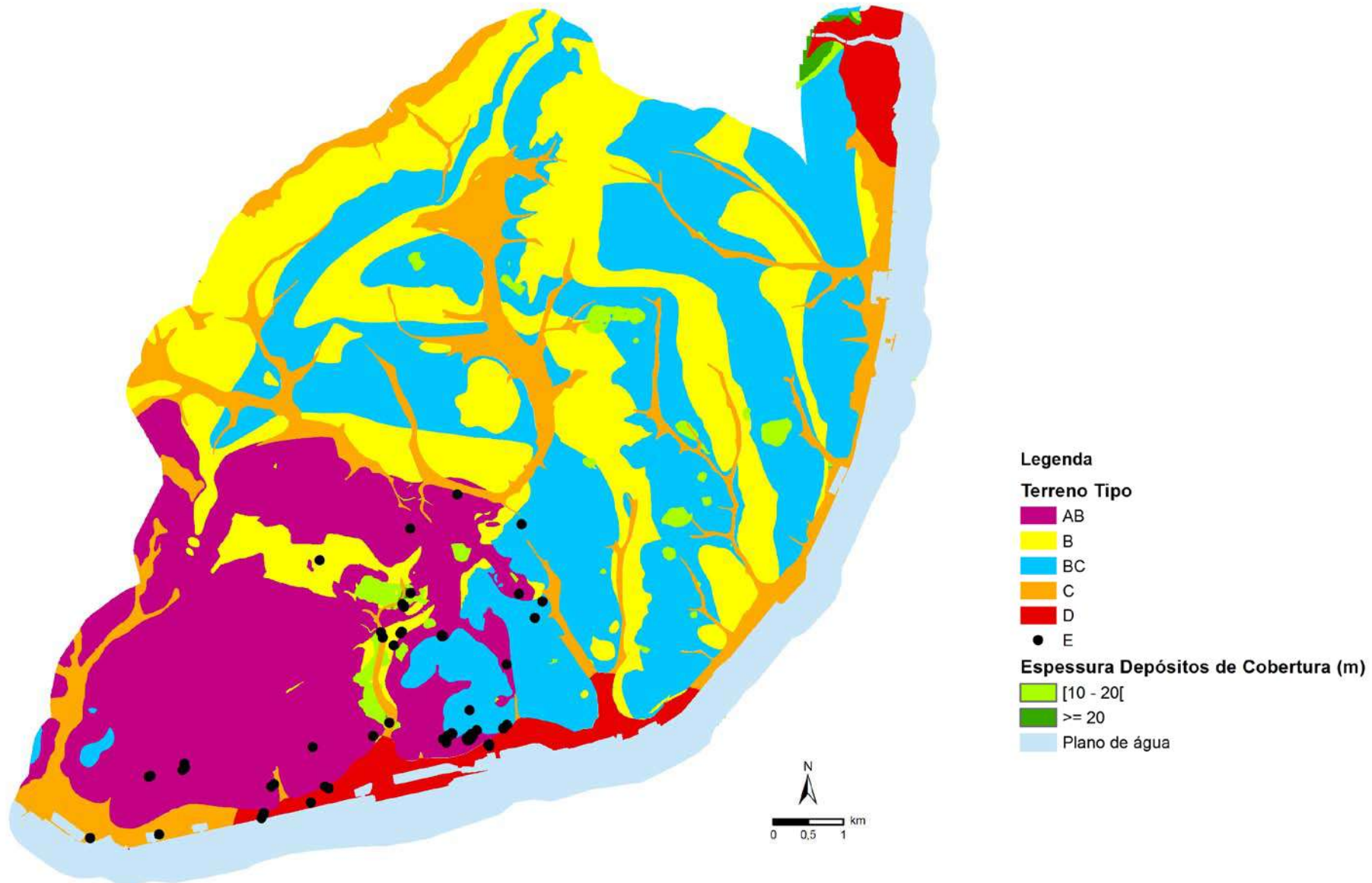
Funções de Transferência



Espectros de Resposta



Carta de Classificação dos Solos do Concelho de Lisboa

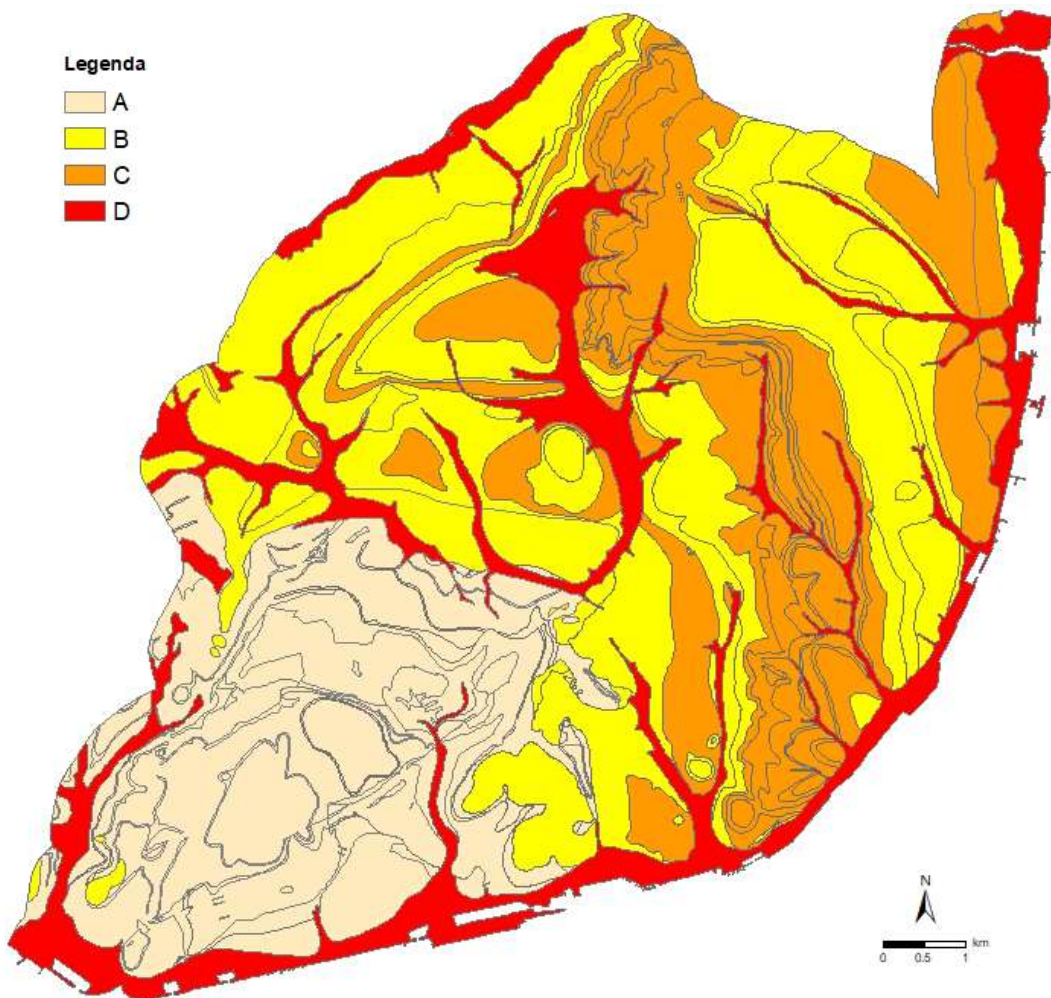


Carta de Classificação dos Solos do Concelho de Lisboa

O antes

Legenda

- A
- B
- C
- D



O depois

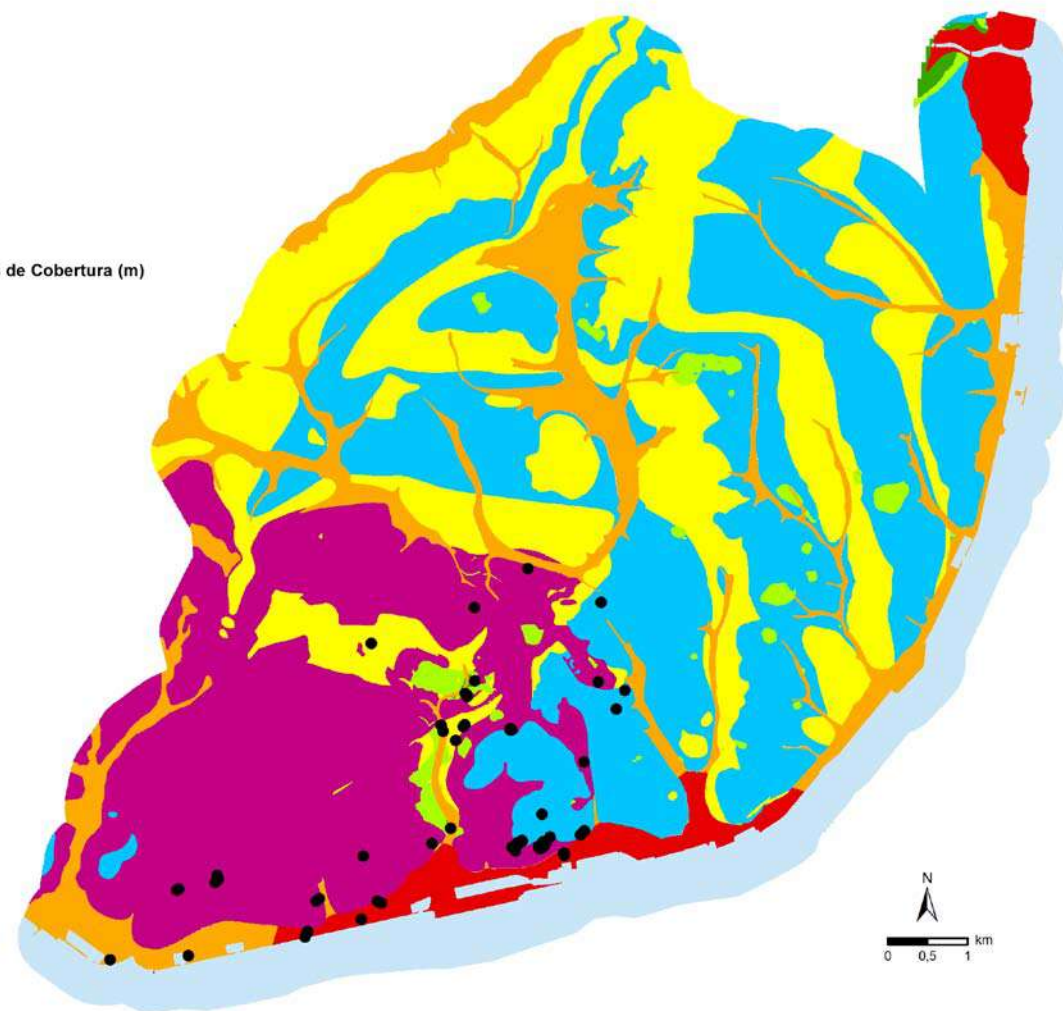
Legenda

Terreno Tipo

- AB
- B
- BC
- C
- D
- E

Espessura Depósitos de Cobertura (m)

- [10 - 20[
- >= 20
- Plano de água





A equipa do CERU - UL

Liliana Oliveira, Paula Teves Costa, Rui Carrilho
Gomes & Isabel Moitinho de Almeida