

Sítio do Mosteiro dos Jerónimos *versus* sítio da Cordoaria Nacional. Análise comparativa das condições locais.

1. INTRODUÇÃO

Correspondendo à solicitação de S.E., o Secretário de Estado da Cultura, procedeu-se a uma análise comparativa dos sítios do Mosteiro dos Jerónimos e da Fábrica Nacional de Cordoaria no que se refere à sua estabilidade (fundações) e à sua exposição aos perigos de cheias, do movimento sísmico vibratório do solo e de tsunami.

Esta análise visa fundamentar um parecer relativo à questão suscitada pela eventual incompatibilidade entre o edifício do Mosteiro dos Jerónimos, onde está actualmente o Museu Nacional de Arqueologia, e o edifício da Cordoaria Nacional, para o qual este museu poderia ser eventualmente transferido.

Na elaboração do presente parecer, além dos documentos disponibilizados pela SEC (Anexo A), foram tidos em conta os seguintes elementos de informação:

- a) Sobre a drenagem da Bacia do Rio Seco
 - "SIMTEJO – Saneamento Integrado dos Municípios do Tejo e do Trancão., SA. Obras de drenagem e interceptação de águas residuais da bacia do Rio Seco (D12) – com solução de câmara de válvulas de maré. Projecto de Execução. Volume 1 – Memória descritiva e justificativa." HIDRA, Hidráulica e Ambiente LDA., Dezembro, 2008.
- b) Sobre o perigo de tsunami (ver Referências)
 - Pereira de Sousa (1911)
 - Galbis Rodrigues (1932)
 - Falcão Machado (1937)
 - Sousa Moreira (1968, 1973)

c) Sobre as condições locais

- Carta Topográfica de Lisboa 1856-58, Filipe Folque.
- MOTAENGIL – GEOTECNIA. SIMTEJO, Câmara de Válvulas de Maré do Rio Seco. Sondagens S1 e S2. Estudo G.060Q1.2006.

2. ESTABILIDADE DAS FUNDAÇÕES

Tanto o Mosteiro dos Jerónimos como a Cordoaria Nacional foram construídos na zona ribeirinha de Lisboa em locais situados muito próximo das margens do corredor terminal do Tejo. Do ponto de vista geológico, esta zona caracteriza-se pela ocorrência de uma cobertura arenosa superficial sobre um substrato rochoso constituído por camadas do Complexo Vulcânico de Lisboa e por calcários cretácicos (Fig.1).

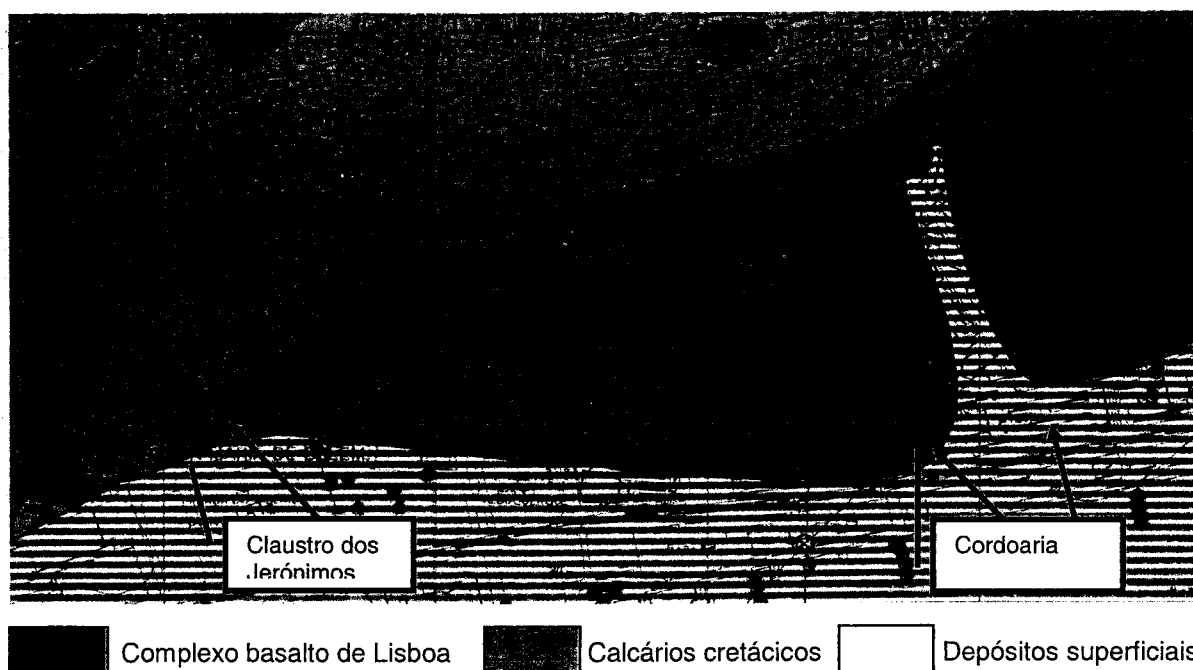


Fig.1 – Localização do Mosteiro dos Jerónimos e Fábrica Nacional de Cordoaria na Carta Geológica de Lisboa na escala 1/10 000 (Almeida, F.M., 1986)

A partir do século XIX, o alargamento da zona ribeirinha à custa da construção de aterros aumentou consideravelmente a distância ao rio dos edifícios dos Jerónimos e da Cordoaria Nacional. Todavia, ambos foram originalmente fundados no terreno natural. Nem um, nem outro, assentam em terrenos recuperados ao rio por meio de aterros.

O início da construção dos Jerónimos data de 1502, tendo o claustro sido concluído em 1517. O espaço ocupado pelo Museu Nacional de Arqueologia é muito mais recente. Corresponde à ala sul de um novo claustro ou pátio interior construído no século XIX. Este

acrescento foi planeado após a instalação da Casa Pia de Lisboa no local (1834), tendo sido executado sobretudo a partir dos anos 60. Em 1878, quando a nova ala se encontrava quase concluída, deu-se a derrocada do respectivo corpo central (torre e segmentos da ala imediatamente adjacentes) pelo que a obra só foi concluída em 1895.

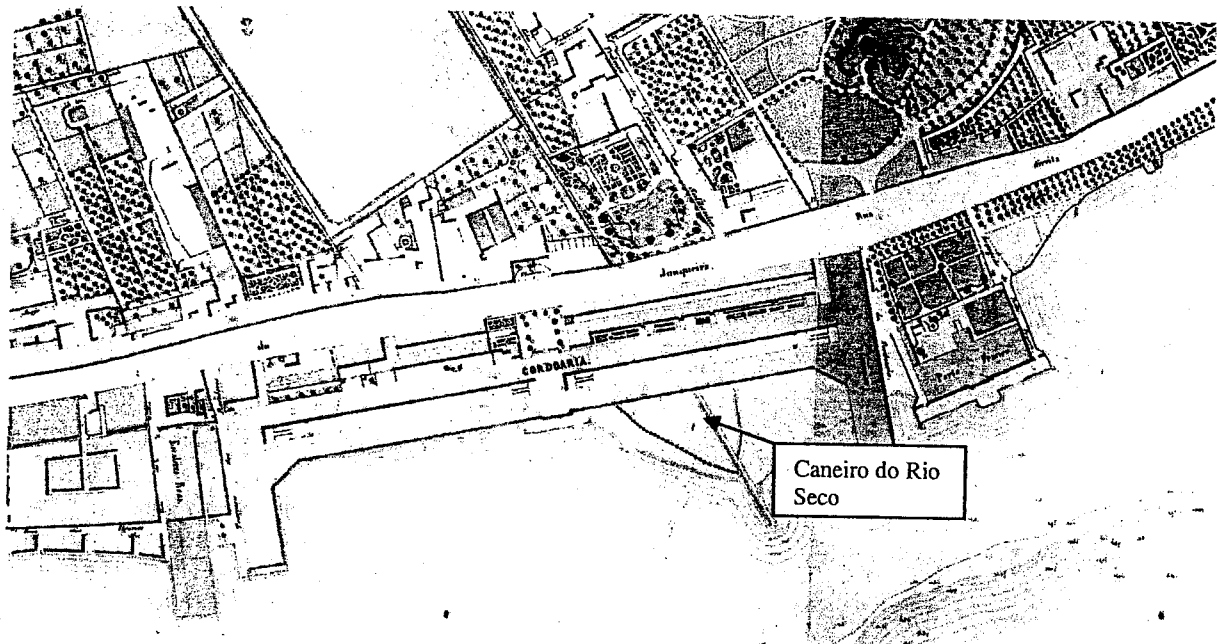


Fig. 2 – Localização da Cordoaria Nacional junto ao Tejo em 1856, de acordo com a Carta Topográfica de Lisboa 1/1000 de Filipe de Folque (1856-58).

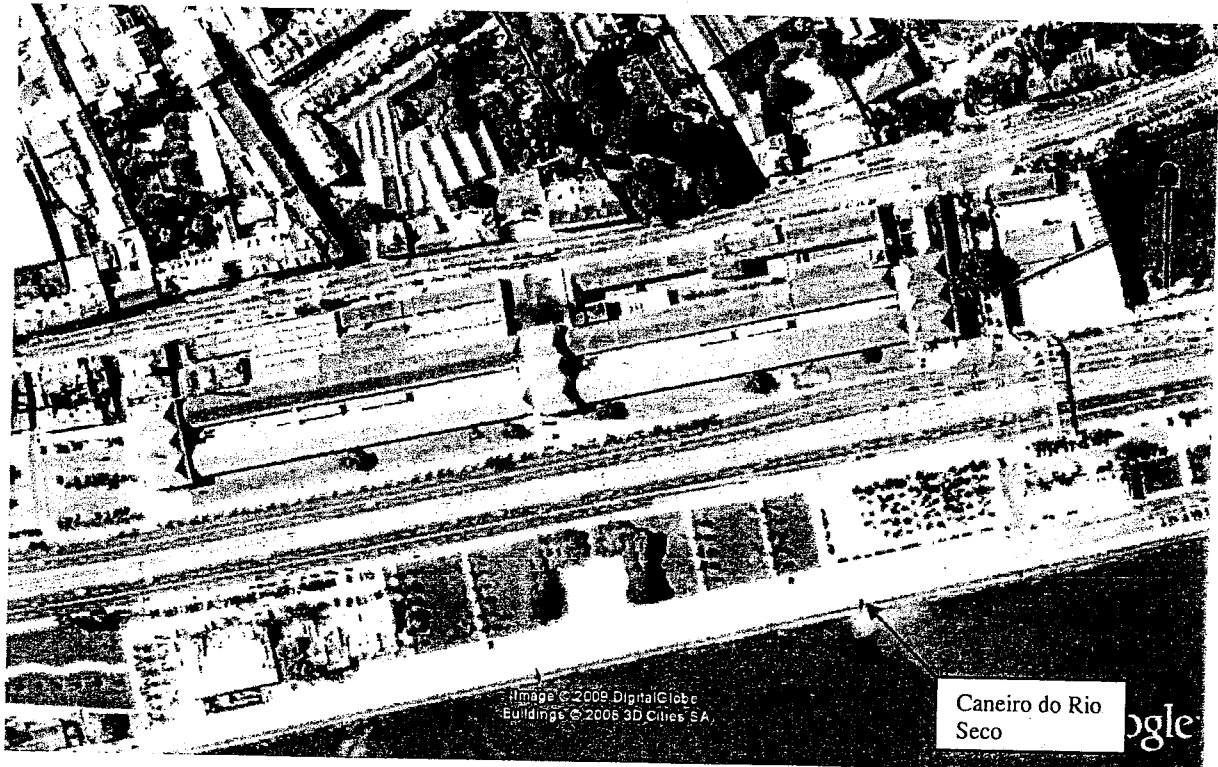


Fig. 3 – Actual localização da Cordoaria Nacional relativamente ao rio Tejo.

Tanto a parte antiga como o acrescento oitocentista dos Jerónimos foram directamente fundados no Complexo Basáltico de Lisboa e nos calcários cretácicos que ali ocorrem a pequena profundidade sob as areias superficiais. Estes maciços caracterizam-se por uma rigidez e resistência elevadas, o que lhes confere uma elevada capacidade de suporte.

De acordo com os dados de sondagens realizadas em Junho de 2000, pode considerar-se a ocorrência do nível freático a uma profundidade de cerca de 4 metros sob os Jerónimos. Nesta zona, as condições hidrogeológicas deverão ser influenciadas pela proximidade do rio Tejo e pela circulação subterrânea nos calcários que drenam a encosta do Restelo.

A Fábrica Nacional de Cordoaria data de 1779. Trata-se de um edifício industrial, destinado à manufactura de cabos e tecelagem de velas, o que exigiu a construção de um edifício com grande desenvolvimento linear, em piso térreo, com um comprimento de 400 metros. Dado que a proximidade do rio era crucial para a sua funcionalidade, o edifício foi implantado na antiga praia da Junqueira, paralelamente à margem do Tejo, de forma a permitir a aproximação das embarcações. Devido aos seus 400 metros de comprimento, esta localização implicou o atravessamento da foz do Rio Seco, sendo as águas pluviais desta ribeira conduzidas sob o edifício por intermédio de um caneiro, cuja posição se assinala nas Figuras 2 e 3.

No local de implantação do edifício ocorre a pequena profundidade, sob a cobertura arenosa superficial, um substrato rochoso constituído pelos terrenos do Complexo Basáltico de Lisboa, o que deverá ter permitido descarregar directamente neste maciço a fundação dos edifícios da Cordoaria Nacional, à excepção do pequeno troço que atravessa o enchimento do vale do Rio Seco.

Na época da construção da Cordoaria Nacional havia já um excelente domínio das técnicas de preparação do terreno e de fundação de estruturas em depósitos de aluvião, de que é testemunho eloquente a construção da Baixa Pombalina e da Praça do Comércio. Além disso, pelo facto de se tratar de um edifício construído junto ao rio, de forma a permitir a aproximação das embarcações, as suas fundações devem ter sido objecto de cuidados particulares, quer no que respeita à sua concepção, quer à sua construção. De qualquer forma, importa salientar que, passados 230 anos, os edifícios da Cordoaria Nacional não exibem quaisquer assentamentos ou deformações. Tendo em conta tratar-se de edifícios com 400 metros de comprimento, este facto notável pode ser interpretado com segurança como uma demonstração do excelente desempenho das suas fundações.

Assim, a ideia de que os edifícios da Cordoaria Nacional se encontram construídos sobre um "preenchimento de sedimentos móveis fluidos, constituídos na faixa litoral por

entulhos recentes”, não tem qualquer correspondência com a realidade. Assumindo que a nova utilização proposta para os edifícios em questão não comporta cargas permanentes significativamente superiores às correspondentes à sua anterior utilização como edifício industrial, não se encontra motivo que justifique a necessidade de um reforço das suas fundações com “sistemas compactos de micro-estacagem em profundidade”.

De acordo com os dados de sondagens recentes (Novembro de 2008) realizadas nos terrenos situados entre a Cordoaria e o rio Tejo, o nível freático encontra-se a cotas da ordem de (+1,10 m) NG. Considerando que a Cordoaria se situa cerca da cota (+3,70 m) NG, tal significa a ocorrência do nível freático a cerca de 2,60 m de profundidade, sendo as condições hidrogeológicas directamente influenciadas pela proximidade do rio Tejo.

Em conclusão, tanto as condições geológicas locais, como o comportamento dos edifícios do Mosteiro dos Jerónimos e da Fábrica Nacional de Cordoaria, permitem concluir que, em ambos os casos, se observa um excelente desempenho das suas fundações.

3. EXPOSIÇÃO ÀS CHEIAS

Na frente ribeirinha do Tejo entre Belém e Alcântara, a Rua da Junqueira intercepta transversalmente as bacias das linhas de água afluentes do Tejo. O perigo de inundação ao longo da Rua da Junqueira está geralmente associado aos efeitos da ocorrência de precipitação intensa ampliados no caso de coincidência com o período de preia-mar.

No caso do Rio Seco, tanto as águas pluviais como as águas residuais são conduzidas para o Tejo por intermédio de um colector terminal (fig. 3) cuja localização coincide com a do antigo caneiro que passava sob o edifício da Cordoaria Nacional (fig. 2). Estes colectores são invadidos pela preia-mar e, no caso desta coincidir com a ocorrência de caudais de ponta da bacia do rio Seco, a dificuldade do escoamento é susceptível de causar situações de inundação na rua da Junqueira, a qual se encontra todavia a cotas sensivelmente mais baixas do que a Cordoaria Nacional.

A HIDRA, Hidráulica e Ambiente Lda, desenvolveu recentemente para a SIMTEJO, Saneamento Integrado dos Municípios do Tejo e Trancão, S.A., o Projecto de Execução “Obras de drenagem e intercepção de águas residuais da bacia do Rio Seco (D12) – com solução de câmara de válvulas de maré”.

Solução proposta neste Projecto de Execução integra a construção de uma câmara de válvulas de maré junto a descarga do colector do Rio Seco, para o caudal pluvial, e a instalação de uma câmara de desvio e respectivo equipamento a montante junto à Cordoaria Nacional, de modo a desviar o caudal doméstico para o interceptor Algés-

Alcântara, prevendo-se igualmente a reabilitação do colector do Rio Seco na zona a intervencionar.

As válvulas de maré são dispositivos de aplicação junto ao mar na foz das ribeiras com o objectivo de impedir a entrada da maré. A zona de vedação com uma inclinação da ordem de 10º garante o regresso da tampa à sua posição inicial, fechando automaticamente a embocadura do colector após a descarga dos efluentes, impedindo a entrada da maré em sentido contrário.

Assim, a execução das obras previstas neste projecto irá alterar as condições actuais, realizando por um lado o desvio e controlo de caudais domésticos do colector do Rio Seco para o interceptor Algés-Alcântara e minimizando, por outro lado, os riscos de inundação mediante a adopção de uma câmara de válvulas de maré.

4. EXPOSIÇÃO AOS SISMOS

A consideração das localizações do Mosteiro dos Jerónimos e da Cordoaria Nacional na chamada “Carta de Vulnerabilidade Sísmica” de Lisboa não é uma forma competente de avaliar ou de comparar o comportamento sísmico dos dois edifícios. De facto, a Carta de Vulnerabilidade Sísmica foi concebida e elaborada como instrumento de planeamento municipal e das acções de protecção civil, carecendo de sentido a sua aplicação à avaliação do comportamento sísmico de um edifício específico. É um caso típico de utilização de um instrumento fora do seu domínio de aplicação.

O conceito de *perigo sísmico* de um sítio diz respeito à sua exposição aos efeitos directos ou indirectos dos sismos, durante o tempo de vida útil das estruturas aí localizadas. Os edifícios do Mosteiro dos Jerónimos e da Cordoaria Nacional estão ambos situados na mesma área de Lisboa, a cerca de 1 km de distância um do outro. Além disso, os dois sítios não diferem significativamente entre si do ponto de vista das suas condições topográficas e geológicas. Nestas condições estão ambos expostos ao mesmo nível de *perigo sísmico*.

O *risco sísmico* é uma função do *perigo sísmico* e da *vulnerabilidade* das edificações expostas ao perigo. Inclui a probabilidade das consequências, ou seja, da perda de vidas humanas, da perda de função de uma estrutura ou da sua ruína, face a um determinado nível de *perigo sísmico*. Os outros factores que entram na avaliação do risco são por isso o *valor* dos bens expostos ao perigo e a sua *vulnerabilidade*, ou seja, o grau de danos estruturais associados a um dado nível de perigo sísmico. A relação entre estes factores pode ser representada por

$$[\text{Risco sísmico}] = [\text{Perigo sísmico}] * [\text{Vulnerabilidade}] \times (\text{valor})$$

No caso presente, tendo o sítio dos Jerónimos e o sítio da Cordoaria Nacional ambos a mesma *perigosidade sísmica*, a distinção entre os dois edifícios em termos de *risco sísmico* não se coloca no plano do *perigo sísmico*, mas sim no plano da *vulnerabilidade* dos próprios edifícios. Nesta perspectiva, tendo em conta a arquitectura dos dois edifícios, não será de estranhar que o edifício dos Jerónimos possa eventualmente exibir uma vulnerabilidade mais elevada do que o edifício da Cordoaria Nacional, face ao mesmo nível de movimento sísmico do solo.

5. EXPOSIÇÃO AO PERIGO DE TSUNAMI

Dada a sua localização na zona ribeirinha, tanto o sítio dos Jerónimos como o sítio da Cordoaria Nacional estão expostos ao perigo de um *tsunami*.

Um *tsunami* ou maremoto é uma onda marinha de longo período (da ordem de 1 hora) e de grande comprimento de onda (superior a 100 km). A sua velocidade de propagação (c) depende da profundidade do mar (h) sendo aproximadamente $c^2 = g.h$, sendo g a aceleração da gravidade ($g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$).

No caso das costas de Portugal, considerando que a profundidade da região submarina a Sudoeste do Cabo de Vicente, onde se situa a localização provável da geração dos tsunamis, é da ordem de 4000 m, vem para o tsunami uma velocidade da ordem de 700 km/hora. À medida que se aproxima da costa, a velocidade de propagação da onda decresce devido à diminuição da profundidade do mar; ao mesmo tempo aumenta a amplitude da onda de forma a manter constante o fluxo de energia.

Ao atingir a costa, o *tsunami* pode surgir como uma onda de maré rápida, ou como uma vaga com vários metros de altura. O efeito de *run-up* corresponde à inundaçãõ da área costeira e mede-se pela máxima altura atingida pela água acima do nível da preia-mar, sendo a *distância de inundaçãõ* a maior distância atingida em terra relativamente à linha da água da preia-mar.

As costas de Portugal continental têm uma longa história de ocorrências de *tsunamis*. No Quadro I resumem-se as principais ocorrências na região de Lisboa, com base em descrições de catálogos e de testemunhas oculares. Neste quadro, a Intensidade atribuída aos *tsunamis* históricos baseou-se na escala de Intensidade de Karnik (1971) descrita no quadro II. Estas descrições permitem formar uma ideia dos efeitos dos *tsunamis* sobre as edificações costeiras em função da sua intensidade.

A exposição ao perigo de *tsunami* engloba as pessoas, as estruturas e o património construído situados ao longo da costa. Numa abordagem de primeira aproximação, é corrente considerar a cota (+15,00) ZH como limite da área exposta ao perigo de *tsunami*.

Quadro I – Principais ocorrências de *tsunamis* históricos em Portugal na região de Lisboa

| Data | Epicentro (° N - °W) | Localidades afetadas | Intensidade do Tsunami | Observações |
|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------|---|
| 218/216 A.C. | | Cadiz e costas vizinhas | V-VI ? | |
| 210/209 A.C. | | Cadiz e costas vizinhas | ? | |
| 60 A.C. | | Costas de Portugal | V-VI ? | |
| 382 | | Costas de Portugal | V-VI ? | |
| 1356 24 de Agosto | 36.0 - 11.0 ? | Costas de Portugal | ? | |
| 1755 1 de Novembro | 36.0 - 10.6 | Lisboa | V | Onda de 4 a 6 metros de altura. |
| | | Praia de Porto Novo (Torres Novas) | V-VI | Onda de cerca de 10 metros de altura. |
| | | Ericeira | IV-V | Barcos arremessados para terra. |
| | | Cascais | VI | Cerca de 300 mortos, a maioria afogados. |
| | | Oeiras | V | Onda de cerca de 6 metros de altura |
| | | Sesimbra | IV-V | Destruição de barcos |
| | | Setúbal | VI | Danos muito severos na baixa da Vila (Bairro do Troino); muitos afogamentos |
| 1761 21 de Março | 36.0 - 10.6 | Lisboa | III | |
| 1903 14 de Setembro | 38.3 - 9.0 | Lisboa | II ? | Epicentro provável ao largo de Setúbal |
| 1969 28 de Fevereiro | 36.0 - 10.7 | Cascais | II | 81,5 cm de amplitude |
| | | Pedrouços | II | 65,5 cm de amplitude |
| | | Praça do Comércio | I | 28,5 cm de amplitude |
| | | Cacilhas | II | 55,0 cm de amplitude |
| | | Cabo Ruivo | I | 13,5 cm de amplitude |

Quadro II – Escala de Intensidade de Tsunami (Karnik, 1971)

| Intensidade | Descrição |
|-------------|---|
| I | Muito baixa. Onda muito fraca, apenas detectada pelos marégrafos. |
| II | Baixa. Onda perceptível apenas nas costas muito baixas, pelos habitantes do litoral habituados a observar o mar. |
| III | Média. Geralmente perceptível. Inundação das costas de declive suave. Arrastamento para terra de embarcações muito leves. As estruturas leves situadas junto à costa sofrem danos ligeiros. Inversão do escoamento fluvial nos estuários até certa distância para montante. |
| IV | Forte. Inundação costeira até certa profundidade. Danos em estruturas de aterro e diques. Danos nas estruturas costeiras leves. Danos ligeiros em estruturas sólidas junto à costa. Grandes e pequenas embarcações à deriva para terra ou para o largo. Detritos flutuantes espalhados pela costa. |
| V | Muito forte. Inundação costeira generalizada. Danos em muros-cais e estruturas costeiras sólidas. Destruição de estruturas leves. Severa erosão dos terrenos de cultivo e poluição da costa com materiais flutuantes e peixes mortos. À excepção dos grandes navios todas as outras embarcações são arrastadas para terra ou para o mar alto. Formação de grandes ondas nos estuários. Danos generalizados nas obras portuárias. Afogamentos. Onda acompanhada de grandes roncões. |
| VI | Devastador. Destruição parcial ou total de todas as obras humanas até certa distância da costa. Inundação da zona costeira até grande profundidade. Danos severos em grandes navios. Árvores arrancadas pelas ondas. Muitos mortos. |

Numa abordagem mais precisa seria necessário considerar a área entre a linha de costa e a área de maior *run-up* histórico, de forma a delimitar a *área de inundação potencial*.

O *tsunami* que acompanhou o terramoto do 1º de Novembro de 1755 constitui praticamente a única fonte de dados relativos à ocorrência de um tsunami de intensidade elevada nas costas de Portugal Continental. De acordo com os dados disponíveis, a altura da onda que atingiu a costa na região de Lisboa foi da ordem de 4 a 6 m.

O edifício do Mosteiro dos Jerónimos situa-se entre as cotas (+4,50) e (+5,00) NG e a cerca de 450 m de distância do Tejo. O edifício da Cordoaria situa-se a cotas (+3,80) NG e a 120 metros de distância do Tejo. Em ambos os casos, a frente ribeirinha é constituída por uma área plana. Nestas condições, será razoável admitir que, no caso de um *tsunami* de Intensidade igual ou superior a IV na escala de Karnik (Quadro II), tanto o sítio do Mosteiro dos Jerónimos como o sítio da Fábrica Nacional de Cordoaria, se encontram dentro da área de inundação potencial.

Também neste caso, as consequências da exposição ao *tsunami*, ou seja, o risco associado a esta ocorrência, depende da vulnerabilidade dos edifícios do Mosteiro dos Jerónimos e da Cordoaria face a um *tsunami* de intensidade elevada. No caso de edifícios, a sua vulnerabilidade pode ser avaliada com base nos seguintes parâmetros:


- a) **Número de pisos:** inundação do piso térreo e, no caso da existência de um único piso, impossibilidade de evacua o vertical.
- b) **Tipologia do piso térreo:** a maior vulnerabilidade corresponde a pisos em *open-space* com objectos móveis, e a menor aos pisos com divisórias.
- c) **Materiais de constru o, idade e arquitectura:** Os edifícios de alvenaria bem conservados têm vulnerabilidade moderada, mas mais elevada do que a dos edifícios de betão armado.

Estas considera es não permitem basear uma aprecia o da vulnerabilidade relativa dos edifícios dos Jerónimos e da Cordoaria face a um *tsunami* de intensidade elevada. Apesar da maior distância ao Tejo, a exposi o dos Jerónimos ao perigo de um tsunami não parece todavia ser muito mais favorável do que a do sítio da Cordoaria, no caso do *run-up* de um *tsunami* de intensidade elevada. Acresce que as características arquitectónicas da ala sul do claustro oitocentista onde se encontra o Museu Nacional de Arqueologia, com as suas paredes exteriores mais esbeltas e rasgadas por amplas aberturas parecem dar azo uma maior vulnerabilidade em compara o com o edifício da Cordoaria Nacional, relativamente mais baixo, de paredes mais espessas e com janelas de reduzida dimensão.

6. CONCLUSÕES

Em conclusão, os locais do Mosteiro dos Jerónimos e da Cordoaria Nacional não apresentam entre si diferenças significativas do ponto de vista da estabilidade das suas funda es nem da sua exposi o, quer ao movimento sísmico do solo, quer de um tsunami de intensidade elevada. Quanto   exposi o ao perigo de cheias, o risco actual deverá ser convenientemente minimizado com a execu o das obras previstas de drenagem e de intercep o das águas residuais da bacia do Rio seco e de constru o de uma câmara de válvulas de maré.

Lisboa, 23 de Dezembro de 2009


Ant nio Gomes Coelho

REFERÊNCIAS

- Falcão Machado, F., 1951, "Notícia de Alguns Maremotos em Portugal" , A Terra, Coimbra.
- Galbis Rodrigues, J., 1932, "Catálogo Sísmico de la zona comprendida entre los meridianos 5 E e 20 W de Greenwich y los paralelos 45 e 25 N, Instituto Geográfico y Casdastral, t. I, Madrid.
- Karnik, V., 1971, "Seismicity of the European Area", Part 2, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.
- Pereira de Sousa, Francisco L., 1911, "Le Raz de Marée du Grand Tremblement de Terre de 1755 au Portugal", Compte Rendus, Tome 152, p. 1129.
- Sousa Moreira, Victor, 1968, "Tsunamis Observados na Europa" Serviço Meteorológico Nacional, Publicação GEO 134, Lisboa.
- Id, 1973, "Tsunamis Observados na Europa" Serviço Meteorológico Nacional, Publicação GEO 157, Lisboa.

Anexo A – Documentos disponibilizados pela SEC

- “Memorando sobre a Transferência do Museu Nacional de Arqueologia do Mosteiro dos Jerónimos”, de Francisco J. S. Alves, Director do MNA (11.2.1982).
- “Inundações da Cidade de Lisboa durante o Século XX e seus factores agravantes” de Pedro Elias_Oliveira e Catarina Ramos, Finisterra, XXXVII, 74, 2002.
- “Programa de prospecção geotécnica do local interessado pela remodelação do Museu Nacional de Arqueologia”, Nota Técnica, LNEC, 2000.
- “Museu Nacional de Arqueologia – Prospecção Geotécnica” Keller Grundbau GmbH, 2000.
- “Parecer técnico sobre o plano de pormenor em modalidade simplificada - Projecto urbano do Centro de Congressos de Lisboa”, Departamento de protecção Civil da Câmara Municipal de Lisboa, Junho de 2008.