



# **Conceção de Estruturas de Betão com Capacidade de Adaptação a Alterações Funcionais**

**Sebastião Maria da Silva Febra Cabelo Madeira**

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

## **Engenharia Civil**

Orientadores: Prof. João Carlos de Oliveira Fernandes de Almeida

Prof. Eduardo Nuno Brito Santos Júlio

### **Júri**

Presidente: Prof. Luís Manuel Coelho Guerreiro

Orientador: Prof. João Carlos de Oliveira Fernandes de Almeida

Vogais: Prof. António Manuel Candeias de Sousa Gago

**Janeiro 2016**



## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar queria agradecer aos meus orientadores, Prof. Eduardo Júlio e Prof. João Almeida, pelo acompanhamento ao longo da dissertação e por toda a disponibilidade e aconselhamento sempre importante para o desenvolvimento do trabalho.

A todos os Eng. e Arq. com quem me cruzei durante o desenvolvimento da tese e que sempre disponibilizaram todos os materiais e conhecimentos necessários para o desenvolvimento da mesma: Arq. Sofia Coutinho, Arq. Pedro Cabral, Eng. Margarida Cabelo, Eng. Paulo Barros e Eng. Eduardo Monteiro.

A toda a minha família e amigos por todo o apoio dado ao longo do curso e da tese, em especial aos meus pais que tornaram este curso possível.

## Resumo e Palavras-chave

A concepção estrutural é a primeira fase de um projeto e uma das mais relevantes para assegurar a qualidade final da construção. O desenvolvimento de conceitos de concepção estrutural adaptativa deve permitir que as estruturas se adaptem a funcionalidades diferentes daquelas para as quais foram inicialmente concebidas e dessa forma permita uma maior amplitude de resposta por parte da mesma.

Foi definido como principal objetivo desta dissertação a definição de princípios orientadores para conceber estruturas com capacidade de adaptação a alterações funcionais, tendo-se direcionado o estudo para diferentes tipos de estruturas: edifícios hospitalares, edifícios escolares, espaços comerciais, e passagens superiores, cada um com valências próprias e requisitos de adaptabilidade diferentes. A escolha do tipo de estrutura a analisar recaiu sobre as estruturas citadas anteriormente já que as mesmas apresentam uma elevada necessidade de adaptação a novas funcionalidades, nomeadamente devido a alterações funcionais de organização dos espaços ou evolução das tecnologias referentes às mesmas.

A previsão de alterações futuras deve ser baseada na experiência passada, tendo sido este o racional para a definição e análise de vários casos de estudo representativos dos diferentes tipos estruturais atrás referidos. Foram igualmente consideradas diretivas de projeto, antigas e atuais, com o objetivo de tipificar, dentro do possível, alguns casos de alterações recorrentes. A tomada de certo tipo de medidas ao nível de projeto que permita dar resposta a estas alterações previamente tipificadas permitirá poupar bastante a estrutura tanto a nível económico como a nível funcional, já que a sua capacidade de adaptação permitirá que a mesma sofra alterações de valência sem perda de resistência ou de utilização.

Palavras-chave: capacidade de adaptação estrutural; concepção estrutural; funcionalidade; hospitais; escolas; passagens superiores

## **Abstract and key words**

Structural design is the first step of a project and one of the most relevant to ensure the final quality of the construction. The development of adaptive structural design should allow structures to adapt to different features than those for which they were originally designed.

The main purpose of this thesis is to define some guidelines to design structures with ability to functional changes capability. This study focus on different types of structures such as hospital buildings, scholar buildings, commercial buildings and overpasses, each themselves with different valences and adaptability requirements. These structures were choose because they are many times require to adapt due to functional changes or due to the evolution of technology.

The prediction of future changes should be based on the experience, this being the *modus operandi* for the definition of several case study's, representing each type of structures mentioned above. Project policies were also considered, past and present, in order to typify the main changes verified in that kind of structures. The adoption of certain measures, in the project phase, allows the structure to adapt in the future preventing losses both an economic and a functional level.

Key-words: structural adaptability; structural design; functionality; hospitals; schools; highway overpasses.

## Índice

|       |                                                                                                                                                    |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | Introdução.....                                                                                                                                    | 1  |
| 1.1   | Enquadramento Geral .....                                                                                                                          | 1  |
| 1.2   | Objetivos e metodologia .....                                                                                                                      | 1  |
| 1.3   | Organização do documento .....                                                                                                                     | 2  |
| 2     | Estruturas Hospitalares .....                                                                                                                      | 3  |
| 2.1   | Evolução histórica da construção hospitalar .....                                                                                                  | 3  |
| 2.1.1 | Prestação de cuidados em hospitais e evolução da conceção arquitetónica .....                                                                      | 3  |
| 2.1.2 | Hospitais Gerais .....                                                                                                                             | 4  |
| 2.1.3 | Hospitais em pavilhão .....                                                                                                                        | 4  |
| 2.1.4 | Hospital em bloco .....                                                                                                                            | 5  |
| 2.1.5 | Arquitetura Hospitalar Social .....                                                                                                                | 5  |
| 2.2   | Recomendações e Especificações Técnicas do Edifício Hospitalar .....                                                                               | 6  |
| 2.3   | Especificações técnicas para o comportamento sísmo-resistente de edifícios hospitalares..                                                          | 8  |
| 2.4   | Caso de estudo .....                                                                                                                               | 12 |
| 2.4.1 | Hospital de Cascais .....                                                                                                                          | 12 |
| 2.5   | Capacidade de adaptação estrutural em estruturas hospitalares .....                                                                                | 15 |
| 3     | Estruturas Escolares .....                                                                                                                         | 20 |
| 3.1   | Evolução do projeto de estruturas escolares .....                                                                                                  | 20 |
| 3.1.1 | Diretivas de projeto antigas – até 1939 .....                                                                                                      | 20 |
| 3.1.2 | Diretivas de projeto antigas – entre 1940 e 1968.....                                                                                              | 21 |
| 3.1.3 | Diretivas de projeto antigas – desde 1968 .....                                                                                                    | 22 |
| 3.2   | Evolução das características construtivas e estruturais da rede pública de escolas da zona centro e sul de Portugal.....                           | 23 |
| 3.2.1 | Edifícios com pavimentos em madeira e paredes portantes de alvenaria .....                                                                         | 23 |
| 3.2.2 | Edifícios com pavimentos em betão armado e paredes portantes de alvenaria .....                                                                    | 24 |
| 3.2.3 | Edifícios de betão armado anteriores à regulamentação sísmica .....                                                                                | 25 |
| 3.2.4 | Edifícios de betão armado posteriores à regulamentação sísmica, mas anterior ao RSA (Regulamento de Segurança e Ações de Edifícios e Pontes) ..... | 26 |
| 3.2.5 | Edifícios construídos na década de 1970 por métodos industrializados .....                                                                         | 30 |
| 3.3   | Diretivas de projeto atuais – Programa Parque Escolar .....                                                                                        | 31 |

|       |                                                                                                                         |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.1 | Introdução.....                                                                                                         | 31 |
| 3.3.2 | Diagnóstico do Parque Escolar .....                                                                                     | 32 |
| 3.3.3 | Modelo conceptual para a intervenção .....                                                                              | 32 |
| 3.4   | Casos de estudo.....                                                                                                    | 34 |
| 3.4.1 | Escola Secundária Passos Manuel.....                                                                                    | 34 |
| 3.4.2 | Escola Secundária Luís de Camões .....                                                                                  | 37 |
| 3.4.3 | Escola Secundária Pedro Nunes.....                                                                                      | 40 |
| 3.4.4 | Escola Secundária D. Filipa de Lencastre .....                                                                          | 42 |
| 3.5   | Capacidade de adaptação estrutural nas estruturas escolares .....                                                       | 48 |
| 4     | Estruturas de áreas comerciais .....                                                                                    | 51 |
| 4.1   | Introdução.....                                                                                                         | 51 |
| 4.2   | Casos de estudo.....                                                                                                    | 51 |
| 4.2.1 | Cadeia multinacional na área do retalho .....                                                                           | 51 |
| 4.3   | Capacidade de adaptação estrutural em estruturas de áreas comerciais .....                                              | 54 |
| 5     | Passagens superiores de autoestrada (PS).....                                                                           | 56 |
| 5.1   | Introdução.....                                                                                                         | 56 |
| 5.2   | Casos de Estudo .....                                                                                                   | 58 |
| 5.2.1 | A1 – Autoestrada do Norte sublanço Feira/Carvalhos – Alargamento e Beneficiação para 2x3 vias – Passagem Superior ..... | 58 |
| 5.2.2 | A13 – Autoestrada Almeirim/Marateca sublanço Almeirim/Salvaterra de Magos – Passagem Superior .....                     | 62 |
| 5.3   | Capacidade de adaptação de Passagens Superiores (PS's) .....                                                            | 65 |
| 6     | Conclusões e Desenvolvimentos Futuros .....                                                                             | 67 |
| 6.1   | Conclusões .....                                                                                                        | 67 |
| 6.2   | Desenvolvimentos futuros .....                                                                                          | 68 |

## Índice de figuras

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2-1 - Espectros de resposta elástico da ação sísmica para a zona de Lisboa .....                           | 9  |
| Figura 2-2 Representação esquemática em planta da separação em blocos do edifício. [8] .....                      | 13 |
| Figura 2-3 - Distribuição em planta dos elementos resistentes de parede. [8].....                                 | 13 |
| Figura 2-4 - Solução pré-esforçada na zona do núcleo central [8] .....                                            | 14 |
| Figura 3-1 - Estrutura da cobertura do ginásio Liceu Pedro Nunes, Lisboa [23].....                                | 23 |
| Figura 3-2 - Asnas de madeira para apoio do revestimento de telha [23] .....                                      | 24 |
| Figura 3-3 - Efeitos de paredes incompletas de alvenaria [20].....                                                | 25 |
| Figura 3-4 - Efeitos das escadas no fenómeno de coluna curta [20].....                                            | 26 |
| Figura 3-5 - Evolução da população estudante no Ensino Básico e Secundário (1961-1985) [25] .....                 | 27 |
| Figura 3-6 - Liceu de Rainha D. Leonor [23].....                                                                  | 28 |
| Figura 3-7 - Pormenor das diagonais que servem para travar transversalmente a estrutura [23] .....                | 29 |
| Figura 3-8 - Galeria coberta, Escola Secundária D. João V, Damaia. [23].....                                      | 29 |
| Figura 3-9 - Esquema representativo da solução CLASP [23] .....                                                   | 31 |
| Figura 3-10 - Articulação e organização dos setores funcionais e dos espaços escolares [24] .....                 | 33 |
| Figura 3-11 - Vigas mestras com perfis I associados em paralelo [23] .....                                        | 35 |
| Figura 3-12 - Vigas mestras treliçadas [23].....                                                                  | 35 |
| Figura 3-13 - Paredes divisórias de betão armado [23] .....                                                       | 36 |
| Figura 3-14 - Pormenor do reforço estrutural da laje de esteira para a implementação do sistema<br>AVAC [23]..... | 37 |
| Figura 3-15 - Fotografia aérea da escola secundária Luís de Camões .....                                          | 38 |
| Figura 3-16 - Planta de implantação da escola Secundária Pedro Nunes [23] .....                                   | 40 |
| Figura 3-17 - Imagem aérea do Liceu D. Filipa de Lencastre [12].....                                              | 43 |
| Figura 3-18 - Corte Longitudinal da Escola D. Filipa de Lencastre [23] .....                                      | 44 |
| Figura 3-19 - Estrutura de apoio dos ginásios existentes [23].....                                                | 46 |
| Figura 3-20 - Novo ginásio [23] .....                                                                             | 46 |
| Figura 3-21 – Esquema de juntas estruturais do Liceu D. Filipa de Lencastre [23] .....                            | 47 |
| Figura 5-1 - Número de obras-de-arte correntes (PS's e PI's) em autoestradas da concessionária<br>Brisa [5].....  | 56 |



|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 5-2 - Perfil Transversal Tipo de Autoestrada [19] .....                                 | 57 |
| Figura 5-3 - Investimento em reabilitação de obras-de-arte nas autoestradas da Brisa [5] ..... | 57 |
| Figura 5-4 - Planta da solução final 2x3 vias [6] .....                                        | 58 |
| Figura 5-5 - Pormenor da solução existente e da solução proposta [6] .....                     | 59 |
| Figura 5-6 - Alterações ao perfil longitudinal [6].....                                        | 60 |
| Figura 5-7 - Representação da solução final [6] .....                                          | 61 |
| Figura 5-8 -Secção transversal da Passagem Superior [7] .....                                  | 62 |
| Figura 5-9 - Perfil Longitudinal da obra-de-arte[7] .....                                      | 63 |
| Figura 5-10 - Corte da carlinga dos apoios [7].....                                            | 63 |
| Figura 5-11 - Secção transversal do pilar [7] .....                                            | 64 |
| Figura 5-12 - Esquema da solução de PS com pilar central.....                                  | 65 |
| Figura 5-13 - Esquema da solução de PS com pilares laterais .....                              | 66 |

## Índice de tabelas

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 2-1 - Classes de importância de edifícios e respetivo valor do coeficiente de importância [11]<br>..... | 10 |
| Tabela 2-2 - Sobrecargas em edifícios hospitalares [9].....                                                    | 17 |
| Tabela 2-3 - Sobrecargas em locais específicos de edifícios hospitalares [1] .....                             | 18 |
| Tabela 3-1 - Esbeltezas dos diferentes locais da obra existente .....                                          | 44 |
| Tabela 3-2 - Sobrecargas de utilização [9].....                                                                | 49 |
| Tabela 3-3 - Sobrecargas de utilização em coberturas [9] .....                                                 | 50 |
| Tabela 4-1 – Alturas indicativas para as lojas [16].....                                                       | 52 |
| Tabela 4-2 - sobrecargas de utilização [9] .....                                                               | 53 |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento Geral

A cada vez mais frequente necessidade de intervenção em determinados tipos de estruturas para que estas se possam adaptar a mudanças de funcionalidade dos espaços, implica muitas vezes a necessidade de reforço estrutural. A perceção, ao nível de projeto, da provável necessidade de futura adaptação a novas condições funcionais, justifica o estudo de abordagens de conceção estrutural que integrem a capacidade de adaptação da estrutura ao tipo de alterações que se prevê que as mesmas venham a estar sujeitas durante o seu período de vida útil, minimizando ou mesmo eliminando a necessidade de reforço estrutural.

Prever as necessidades de adaptação futura das estruturas em geral não é viável. Existem contudo certos tipos de estruturas que estão normalmente sujeitas a alterações e em que estas são mais previsíveis, como é o caso dos hospitais e das passagens superiores de autoestrada, e que por estas razões foram adotadas como base de estudo para o desenvolvimento de um método de conceção estrutural que tenha em conta a capacidade de adaptação futura. A análise de diferentes tipologias de construção permite perceber quais as necessidades de adaptação principais dessas estruturas ao longo do tempo e possibilita que se entendam quais as metodologias utilizadas para responder a essas necessidades bem como o custo envolvido nas mesmas.

## 1.2 Objetivos e metodologia

O objetivo principal do trabalho realizado no âmbito da presente dissertação de mestrado é apresentar uma primeira abordagem ao tema da capacidade de adaptação de determinado tipo de estruturas de betão. A capacidade de adaptação estrutural, sendo um conceito inovador, não está ainda estudado e sistematizado. No entanto, a sua integração nos princípios gerais de conceção estrutural promove certamente um aproveitamento mais racional das estruturas, com benefícios claros tanto em termos económicos como em termos ecológicos.

A metodologia adotada nesta dissertação inclui primeiramente a identificação dos tipos de estruturas mais suscetíveis de necessidades de alterações futuras, tendo sido feita posteriormente uma recolha de elementos referente à evolução ao longo do tempo dessas mesmas estruturas. Esta recolha recaiu principalmente sobre as diretivas de projeto e as recomendações técnicas específicas desses tipos de construções. De seguida foram analisados alguns casos de estudo, tendo como objetivo a tipificação das alterações registadas ao longo do tempo nos diferentes tipos de estruturas. Por fim elaborou-se uma proposta preliminar de metodologias gerais de conceção que promovam a capacidade de adaptação estrutural de determinados tipos de estruturas de betão.

### 1.3 Organização do documento

A dissertação está organizada em seis capítulos, estruturados segundo as diferentes tipologias estruturais analisadas, conforme se detalha seguidamente.

No primeiro capítulo, faz-se o enquadramento do estudo, justifica-se o seu interesse, enunciam-se os principais objetivos e descreve-se a organização da dissertação.

O Capítulo 2 trata das estruturas hospitalares e apresenta como caso de estudo o Hospital de Cascais, construído recentemente, já à luz de alguns conceitos de capacidade de adaptação futura.

As estruturas escolares são tratadas no capítulo 3 onde se apresentam, cronologicamente, as diretivas de projeto antigas, assim como as novas ideias, nomeadamente a recente atualização feita pela Parque-Escolar, das novas diretivas para as escolas a construir. Como caso de estudo foram selecionadas as seguintes escolas intervencionadas no âmbito do programa da Parque-Escolar: Escola Secundária Passos Manuel, Escola Secundária Luís de Camões, Escola Secundária Pedro Nunes e o Liceu Filipa de Lencastre.

O capítulo 4 trata das estruturas comerciais, fazendo-se uma abordagem essencialmente baseada em casos de estudo. Esta opção relaciona-se com a dificuldade de definição das diretivas de projeto adotadas antigamente bem como as diretivas atuais. Como caso de estudo foi selecionado o manual de projeto de uma loja de uma cadeia multinacional na área do retalho.

No capítulo 5 abordam-se as estruturas de passagens superiores de autoestrada (PS). É feita uma breve referência às tipologias estruturais de passagens superiores que normalmente se adotam e de seguida faz-se o estudo de dois projetos. O primeiro é o de uma PS que sofreu obras de reabilitação devido ao alargamento da via principal e o segundo é o de uma PS com um projeto feito de raiz com um alargamento de via principal previsto.

Por fim, no capítulo 6, faz-se uma referência às conclusões retiradas após a elaboração desta dissertação, bem como de possíveis estudos a desenvolver no futuro.

## 2 ESTRUTURAS HOSPITALARES

### 2.1 Evolução histórica da construção hospitalar

Com base em documentos elaborados sobre arquitetura hospitalar, [15] e [14], é possível definir a evolução ao longo do tempo deste tipo de estruturas.

As estruturas hospitalares tiveram uma evolução bastante grande desde os primeiros registos de cuidados de saúde que aparecem na pré-história, na civilização da Grécia Antiga. Os primeiros hospitais da Europa aparecem no séc. XV e estão muito ligados aos cuidados levados a cabo pelas ordens religiosas.

Os primeiros hospitais a serem construídos exclusivamente com esse propósito aparecem no séc. XVIII e refletem o aparecimento de alguma separação entre a igreja e os cuidados médicos. Estes hospitais recebem o nome de Hospitais Gerais.

No final do séc. XIX aparecem os hospitais pavilhonares que se erguem para responder à necessidade de construir hospitais de campanha, sendo posteriormente adaptados para a prática comum da arquitetura hospitalar.

No início do séc. XX, aliado à revolução do betão armado, aparecem os hospitais em bloco onde se utiliza a construção em altura para erguer edifícios modernos para a época que funcionam como um marco arquitetónico das diferentes cidades. Este modelo de edifício recebe o nome de Hospital em Bloco.

No pós segunda guerra mundial aparecem os hospitais que ainda hoje, com algumas adaptações, são construídos. A Arquitetura Hospitalar Social reflete os princípios de uma sociedade com maiores preocupações sociais em que os direitos universais, nomeadamente o direito ao tratamento hospitalar, servem como princípios orientadores para as políticas sociais.

#### *2.1.1 Prestação de cuidados em hospitais e evolução da conceção arquitetónica*

A remodelação do *Ospedale di Santo Spirito* em Roma, ordenada pelo Papa Sisto IV, no séc. XV, marca uma mudança no paradigma hospitalar já que as ordens religiosas, que na altura se encarregavam dos cuidados médicos, tinham preocupações de higiene, iluminação, ventilação dos edifícios e de organização hospitalar, promovendo a separação por género e por patologia. Nesta altura os hospitais desenvolviam-se em redor da capela, que ocupava um lugar central, através de várias enfermarias com cerca de 10 a 20 camas por quarto. Os cuidados prestados nestes edifícios iam para além da medicina, já que estes “hospitais” acolhiam todo o tipo de pessoas, desde doentes, pobres ou vagabundos.

Só em finais do séc. XVIII os hospitais começam a cumprir requisitos de higiene e requisitos médicos, sendo a especialização um fator bastante presente, através da separação das alas de enfermaria militar, obstetrícia e unidades privadas, com melhores condições, para os pacientes que tivessem a possibilidade de pagar os cuidados que recebiam.

### *2.1.2 Hospitais Gerais*

A evolução do conhecimento médico e a realização de tratamentos baseados na ciência e não em curas espirituais e religiosas fez com que a separação entre igreja e hospital fosse mais vincada nesta fase. A capela que anteriormente servia de esteio à estrutura hospitalar começa a ser desviada e a localizar-se em zonas mais periféricas sem um grande contacto com a zona de trabalho do hospital em si mesmo.

A exclusão de inválidos e de incuráveis era nesta altura uma prática comum, já que o objetivo era tornar o hospital num local mais limpo e puro e no entender da época esse tipo de pacientes não contribuía positivamente para isso.

O conhecimento da ciência médica aumenta e com isso existe uma ainda maior separação das alas de tratamento e de enfermaria, sendo criadas alas específicas para doenças infetocontagiosas visando minimizar o mais possível o nível de contágio. Acontece que, nesta época, se cria um grande descrédito na estrutura hospitalar já que se constata que os pacientes que são tratados fora do hospital apresentam uma taxa de sobrevivência maior do que os hospitalizados.

### *2.1.3 Hospitais em pavilhão*

A guerra da Crimeia (1853-1856) levou a que a enfermeira inglesa Florence Nightingale (1820-1910) fosse destacada para ir para a Turquia cuidar dos combatentes ingleses que lá participavam na guerra e com o auxílio do Eng. Brunel erguem os denominados "hospitais de campanha". Estes hospitais são estruturas montadas no local, de um único piso normalmente de madeira e organizados em alas com uma capacidade máxima de 50 pacientes.

A satisfatória experiência tida nos campos de batalha levou a que fossem concebidos hospitais nas cidades com as mesmas características, mas mais evoluídos. São pensados hospitais constituídos por pavilhões em paralelo intervalados com áreas ajardinadas e com vários pátios comuns.

A ventilação e a renovação do ar são aspetos cada vez mais valorizados nesta fase, fins do séc. XIX, onde existe uma grande evolução da medicina. Os desenvolvimentos neste período foram bastante importantes, desde a descoberta do raio X por parte de Röntgen (1895) até à descoberta do processo de fermentação da bactéria, por Louis Pasteur (1859) levando a que as estruturas / soluções estruturais também necessitassem de evoluir.

A construção dos hospitais em pavilhão deparou-se com dois grandes problemas que levaram a que a mesma fosse substituída: o aumento do custo dos terrenos para construir e a falta de funcionalidade da solução em pavilhão. O custo dos terrenos urbanos começou a subir e como o hospital em pavilhão exigia uma grande área de implantação, esta solução começou a ser abandonada em detrimento da construção em altura. A falta de funcionalidade deste tipo de solução advinha de problemas de organização dos procedimentos hospitalares já que o facto da solução em pavilhão privilegiar a

construção em extensão faz com que alguns serviços hospitalares ficassem demasiado afastados entre si.

#### *2.1.4 Hospital em bloco*

Surge então no início do séc. XX o conceito de “hospital em bloco”. Aliado à evolução da indústria da construção, com a criação do betão armado, foi possível desenvolver estruturas que se erguessem em altura e com isso permitisse que os hospitais se tornassem estruturas mais compactas.

A construção em altura permitiu que existisse uma maior separação das funcionalidades dos hospitais, sendo, em particular, muito bem definidas as zonas de circulação de visitantes, circulações internas, quartos individuais, enfermarias e zonas de serviços. O bloco operatório instala-se normalmente em zonas periféricas, viradas a sul, para permitir a entrada de luz solar durante o máximo tempo possível.

A conceção hospitalar dos “hospitais em bloco” levou a que se construíssem hospitais com uma estrutura imponente que fossem também eles estruturas marcantes de uma cidade como pontos de referência das mesmas.

#### *2.1.5 Arquitetura Hospitalar Social*

Após a 2ª Guerra Mundial a sociedade começou a ter outras preocupações, nomeadamente ao nível de políticas sociais, em que se propõe princípios que condenam a segregação social e proclamam a justiça entre dos cidadãos. No seguimento desta política são criados os sistemas de saúde e respetivos centros hospitalares. Os hospitais evoluem de edifícios vistos como *bed-castle* (castelos de camas) por acomodarem várias camas num edifício que se desenvolve em altura para configurações em planta do tipo ‘T’ ou ‘K’, entre outras tipologias.

Os hospitais em altura foram reorganizados, já que, devido aos sucessivos avanços tecnológicos, se concluiu que era mais fácil fazer obras de reabilitação nos pisos mais baixos dos edifícios do que nos pisos superiores, passando-se assim as alas de internamento para os pisos superiores e as alas mais tecnológicas como por exemplo os serviços de imagiologia para os pisos inferiores.

Em termos urbanísticos notam-se algumas diferenças nas construções hospitalares já que existe uma elevada necessidade de espaço para construção, sendo privilegiados os hospitais na periferia de forma a facilitar o seu acesso tanto a pacientes como a pessoal de serviço.

As décadas de 1950 e 1960 marcam uma forte evolução no crescimento das estruturas hospitalares. O Hospital passa a ser uma “instituição burocratizada e com necessidade de subsistir” [14]. O contacto com espaços verdes e amplos torna-se importante para as terapêuticas adotadas sendo privilegiadas as construções de janelas e varandas.

Hoje em dia o conceito de arquitetura hospitalar ainda se mantém, embora com as devidas adaptações aos tempos modernos.

## 2.2 Recomendações e Especificações Técnicas do Edifício Hospitalar

Os edifícios hospitalares são estruturas de elevada importância ao nível da organização de uma sociedade e por essa razão devem estar sempre na plenitude das suas funções para responder a todas as solicitações necessárias.

De forma a tornar a conceção estrutural e arquitetónica mais universal e adequada às várias situações, foi desenvolvido, em Portugal, pela Administração Central dos Sistemas de Saúde (ACSS), um documento [1] com diversas diretivas para este tipo de edifícios. Em síntese, os edifícios hospitalares devem ser dotados de:

Flexibilidade funcional – o edifício deve ter capacidade para sofrer alterações de uso de determinados espaços sem que as instalações especiais do edifício ou a sua estrutura sejam profundamente alteradas;

Flexibilidade interna – o funcionamento do hospital deve ser suficientemente adaptável para que trocas de serviço ou de funcionalidades dentro do hospital não levem a uma obstrução do mesmo;

Flexibilidade estrutural – a estrutura do hospital deve ter a capacidade de poder sofrer ampliações com um mínimo de obstrução ao funcionamento;

Flexibilidade de demolição - a demolição de partes do edifício não deve introduzir perturbações no normal funcionamento do hospital;

Flexibilidade de expansão – o aumento de área do edifício hospitalar deve ser tido em conta aquando do projeto inicial, de forma a que essa necessidade não represente uma quebra no normal funcionamento do hospital.

A expansão atrás referida pode ocorrer de várias formas:

- Expansão sem alteração do perímetro exterior;
- Expansão para fora do perímetro exterior;
- Expansão por anexos;
- Expansão vertical.

Todas as flexibilidades referidas podem traduzir-se na maior ou menor facilidade de alteração das componentes do edifício, nomeadamente:

- Facilidade de alteração de instalações especiais;
- Facilidade de alteração de pavimentos;
- Facilidade de alteração de compartimentação;
- Facilidade de alteração de tetos;
- Facilidade de alteração de vãos.



### Previsão de alterações futuras

O projeto inicial do edifício hospitalar deve ter em conta, segundo a ACSS [1], várias previsões de alteração futura. Este tipo de alterações deve ser pensado aquando do projeto inicial de forma a tornar a estrutura mais adaptável no futuro.

Estas alterações podem ser de vários tipos, nomeadamente: necessidade de expansão, novas acomodações de serviços e aumento da estrutura em altura.

Ao nível do projeto, as alterações futuras previstas são “facilmente” tidas em conta, não acontecendo o mesmo quando essa necessidade só é percebida durante a exploração da construção. Uma das indicações fornecidas pelo documento do ACSS [1] prende-se com a definição de sobrecargas. Este documento recomenda que as sobrecargas a utilizar em projeto sejam consideradas de forma simplificada, sendo por isso tomadas medidas que fazem com que a estrutura fique globalmente sobredimensionada.

O aumento da estrutura em altura é uma previsão que normalmente se adota ao nível de arquitetura e tem de ser igualmente considerado no projeto da estrutura. Este aumento em altura faz com que toda a estrutura, principalmente as suas fundações e pilares, sejam sobredimensionadas, relativamente às condições iniciais de funcionamento, de forma a terem capacidade resistente para suportar este possível futuro aumento.

O aumento em altura atrás referido advém normalmente de previsões demográficas que apontam para um aumento substancial, num determinado espaço de tempo, das necessidades a que o hospital terá que responder no futuro.

### Modelação de vãos

A fim de facilitar a adaptabilidade da estrutura, tanto a nível arquitetónico como estrutural, a “estrutura deve ser concebida de forma a minimizar a intrusão em compartimentos e circulações” [1] privilegiando-se estruturas porticadas com muitas áreas de *open space* com paredes resistentes concentradas em determinados pontos do edifício.

As atuais recomendações para edifícios hospitalares preveem a adoção de vãos mínimos de 7,30 m de forma a otimizar a utilização do espaço. A utilização destes vãos permite que a estrutura seja relativamente adaptável aos diversos tipos de serviços, não parecendo atualmente existir, por parte das entidades competentes, a necessidade de alterar esta recomendação. Existem porém alguns locais do edifício que devem ser concebidos com vãos maiores, nomeadamente blocos operatórios e zonas de imagiologia.

A alteração, por exemplo, de um serviço de internamento que passa a funcionar como um serviço de consultas externas, pode assim fazer-se de uma forma relativamente simples, sendo resolvida recorrendo a paredes divisórias de gesso cartonado. Transformações mais substanciais, como a alteração de posição do bloco operatório ou zonas de imagiologia não são normalmente requeridas.

### Solução de pavimentos

A indicação do ACSS é no sentido de que as lajes dos edifícios hospitalares sejam, sempre que possível, lajes fungiformes, maciças ou aligeiradas, de forma a facilitar a circulação de instalações técnicas (eletricidade, AVAC e outras). O problema da circulação das instalações técnicas, bastante comum no âmbito dos edifícios em geral, é particularmente relevante no caso de construções hospitalares e dessa forma a adoção deste tipo de lajes permite contornar esse obstáculo.

Estas lajes, segundo indicação referida pelo ACSS, devem ter uma banda maciça entre pilares, devem ser acompanhadas de paredes resistentes convenientemente fundadas e vigas de bordadura na periferia para que a resposta global da estrutura às ações sísmicas seja satisfatória. O mesmo documento [1] diz também que são de evitar lajes aligeiradas constituídas por nervuras dispostas apenas numa direção.

Não se refere explicitamente, no documento da ACSS [1], a forma como se deve fazer o aligeiramento das lajes fungiformes. Este aligeiramento deve ser feito de forma a diminuir a sua perceção por parte do utilizador, podendo ser materializado através de blocos perdidos, sem a necessidade de recorrer a tetos falso, ou com moldes recuperáveis, contemplando a existência de tetos falsos.

## 2.3 Especificações técnicas para o comportamento sísmo-resistente de edifícios hospitalares

A ação sísmica é uma ação extremamente importante para o dimensionamento estrutural já que Portugal se encontra numa zona sísmica bastante representativa. A ação sísmica é usualmente considerada no dimensionamento estrutural através do espectro de resposta e considera dois tipos de sismos: um sismo com elevada magnitude e com um epicentro muito distante da estrutura em análise (sismo tipo 1), correspondente aos movimentos entre placas, e uma ação sísmica em que se considera que a estrutura em análise tem uma distância ao epicentro mais pequena e com uma magnitude menor (sismo tipo 2), correspondente aos movimentos dentro de cada placa tectónica.

Os edifícios hospitalares são usualmente edifícios de betão armado, pelo que o coeficiente de amortecimento adotado para este tipo de material é de 5%. Este coeficiente interfere na definição do espectro de resposta elástico, já que os vários tipos de estruturas apresentam coeficientes diferentes, consoante os materiais que a compõe. A Figura 2-1 representa os diferentes espectros elásticos, correspondendo o sismo 1 a um sismo de maior magnitude e maior distância focal e o sismo 2 a um sismo de menor magnitude e menor distância focal, para a região de Lisboa, com um solo do tipo C e com um coeficiente de importância de categoria IV, tipicamente adotado para as estruturas hospitalares. A relevância de cada um dos tipos de ação sísmica para o dimensionamento da estrutura está muito dependente da sua localização, sendo por isso importante definir convenientemente este tipo de ação, para cada estrutura particular.

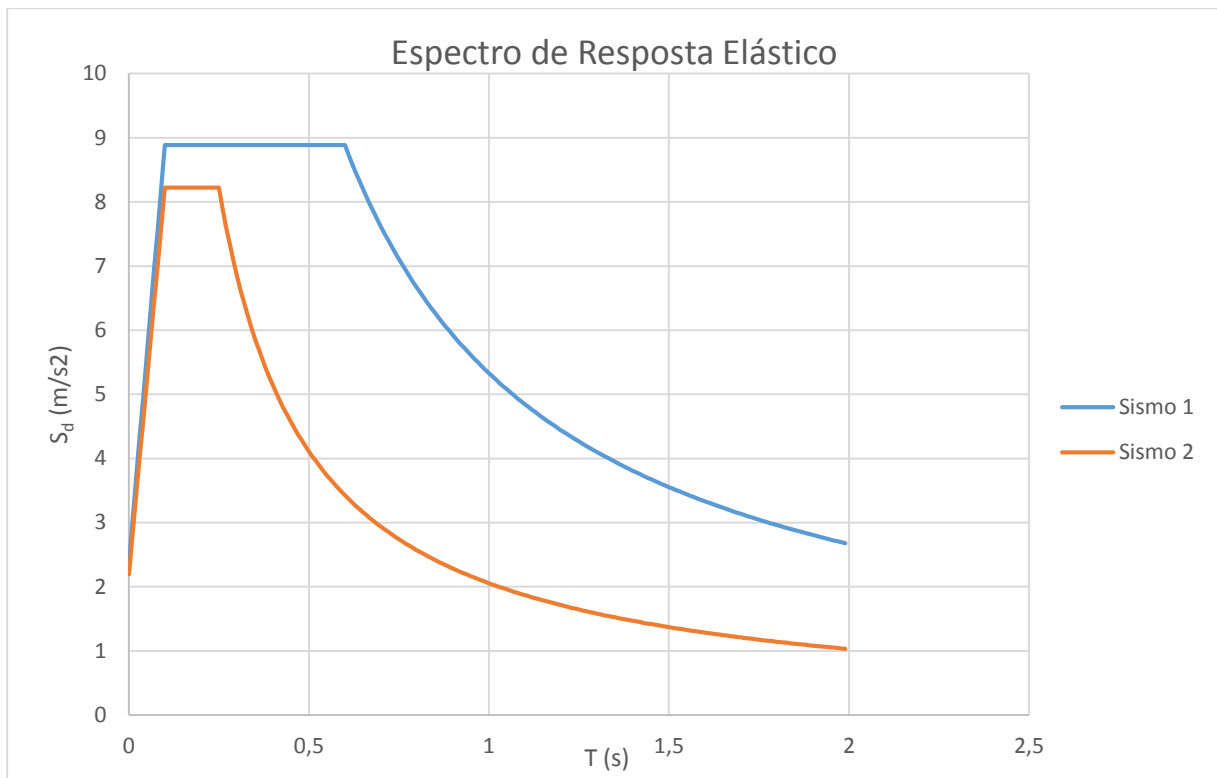


Figura 2-1 - Espectros de resposta elástica da ação sísmica para a zona de Lisboa

Importa referir que os espectros representados na Figura 2-1 são os espectros elásticos, não sendo afetados pelo coeficiente de comportamento. Este coeficiente, que permite que seja feita uma análise elástica das estruturas, tendo em conta, de forma simplificada, os efeitos não lineares dessa mesma ação [20]. Este procedimento, muito utilizado ao nível do projeto, permite tornar as análises estruturais mais simples e aplica-se dividindo os efeitos da ação sísmica por um determinado valor que depende das características de ductilidade da estrutura.

A conceção estrutural para a resistência às ações sísmicas deve ser muito cuidada neste tipo de estruturas, principalmente porque os hospitais são estruturas cujo funcionamento terá que estar assegurado aquando da ocorrência de um sismo. Este tipo de preocupação está bem expresso nos códigos estruturais, por exemplo no EC8 [11] através de classes de importância a considerar para as estruturas hospitalares que fazem com que as ações a considerar sejam bastante superiores às das estruturas correntes. A Tabela 2-1 apresenta os valores, fornecidos pelo EC8 [11], referente às ações sísmicas, onde é possível verificar a majoração que é feita a este tipo de ações.

Tabela 2-1 - Classes de importância de edifícios e respetivo valor do coeficiente de importância [11]

| Classes de importância | Edifícios                                                                                                                                                                       | Valor do coeficiente |              |        |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------|--------|
|                        |                                                                                                                                                                                 | Sismo tipo 1         | Sismo tipo 2 |        |
|                        |                                                                                                                                                                                 |                      | Continente   | Açores |
| I                      | Edifícios de importância menor para a segurança pública, como por exemplo edifícios agrícolas, etc.                                                                             | 0,65                 | 0,75         | 0,85   |
| II                     | Edifícios correntes, não pertencentes às outras categorias.                                                                                                                     | 1,00                 | 1,00         | 1,00   |
| III                    | Edifícios cuja resistência sísmica é importante tendo em vista as consequências associadas ao colapso, como por exemplo escolas, salas de reunião, instituições culturais, etc. | 1,45                 | 1,25         | 1,15   |
| IV                     | Edifícios cuja integridade em caso de sismo é de importância vital para a proteção civil, como por exemplo hospitais, quartéis de bombeiros, centrais elétricas, etc.           | 1,95                 | 1,50         | 1,35   |

O documento [2] produzido pelo ACSS, referente às especificações técnicas para o comportamento sísmo-resistente das estruturas hospitalares dá algumas indicações gerais relativamente à conceção que deve ser seguida neste tipo de estruturas, as quais se indicam seguidamente.

Simplicidade Estrutural – a adoção de uma estrutura simples, com um sistema simplificado de transmissão de cargas tanto horizontais como verticais, deve estar sempre presente ao nível da conceção. Esta simplicidade deve ser conseguida através de uma harmonia adequada entre as diferentes especialidades, desde a arquitetura à engenharia de estruturas, passando pelas instalações técnicas. O cuidado com a simplicidade estrutural deve ser tido em conta tanto em planta como em alçado e, se tal for necessário, devem ser adotadas juntas estruturais não devendo essas juntas passar por locais onde seja exigido um ambiente de assepsia, como é o caso dos blocos de operações.

Uniformidade e simetria – Deve existir uma distribuição de massas e de rigidez de forma adequada, minimizando deste modo os efeitos de torção sentidos pelo edifício. A massa dos elementos estruturais deve ser somada a massa dos equipamentos mais relevantes já que o posicionamento dos mesmos pode ter importância, nomeadamente ao nível das ações sísmicas. A constância em altura da rigidez lateral e da massa deve ser, sempre que possível, mantida, mas, quando tal não for possível, deve ser feita uma redução, de forma gradual, da base para o topo do edifício. Os painéis de alvenaria provocam uma alteração na rigidez, que depende da sua distribuição tanto em planta como em altura, pelo que a sua consideração deve ser feita com as devidas precauções.

Resistência e rigidez às forças horizontais – os elementos estruturais devem ser alinhados segundo uma malha estrutural ortogonal para que a resposta às forças horizontais seja a melhor possível.

Resistência e rigidez à torção – os efeitos de torção devem ser minimizados, sempre que possível, através da inclusão de elementos resistentes na periferia da estrutura.

Travamento das fundações – os elementos de fundação devem ser ligados por vigas de fundação de forma a evitar assentamentos diferenciais e para que as acelerações do solo devidas às ações sísmicas transmitidas através das fundações sejam uniformes em planta. Este travamento pode ser dispensado quando as condições geotécnicas assim o permitam e quando existirem caves no edifício.

Princípios de comportamento sísmo-resistente de estruturas de betão armado – os elementos resistentes principais não devem apresentar descontinuidades importantes em altura; as lajes fungiformes quando são vazadas ou aligeiradas devem ter bandas maciças nos alinhamentos dos pilares de forma a aumentar significativamente a sua resistência; devem ser sempre contempladas vigas de bordadura no alinhamento dos pilares ou paredes periféricas; para evitar o colapso progressivo das lajes em situações de punçoamento devem ser contempladas armaduras de “colapso progressivo” nas lajes após situação excepcional de rotura por punçoamento.

Possíveis modificações futuras na estrutura devem ser sempre acompanhadas de um estudo ao nível sísmico e de resposta a ações verticais. A adoção de um conceito estrutural adaptável permite que essas alterações sejam de mais fácil execução pelo fato da estrutura já estar possivelmente preparada para essas alterações.

## 2.4 Caso de estudo

### 2.4.1 Hospital de Cascais

O artigo escrito pelo Prof. José Câmara e pelo Eng. Carlos Figueiredo no âmbito do “Encontro Nacional Betão Estrutural Lisboa de 2010” [8] serviu como base para a escrita deste subcapítulo que remete para o projeto do Hospital de Cascais.

O projeto do Hospital de Cascais é recente, tendo sido desenvolvido para substituir o antigo Hospital de Cascais, que se situava no meio da cidade. O novo projeto é parte integrante de um programa de hospitais desenvolvidos em parceria público-privada entre o estado e várias empresas de saúde.

#### Geometria global

As estruturas hospitalares são construções que exigem uma elevada robustez e normalmente são edifícios com uma grande área de implantação. O edifício do Hospital de Cascais enquadra-se nestes pressupostos já que apresenta uma área de construção de 45.000 m<sup>2</sup> em que se instalam 8 pisos com um entre pisos de 4,5 m. A altura definida é compatível com o tipo de pavimento adotado, uma solução em laje vigada com tetos falsos. A malha estrutural adotada foi de 7,3 m x 7,3 m construindo-se assim uma estrutura mista “pórtico-parede”. Este tipo de malha foi adotado já que apresenta elevados níveis de resposta para a funcionalidade dos edifícios hospitalares, tal como referido anteriormente no documento do ACSS [1].

#### Conceção estrutural do edifício

O edifício foi idealizado com quatro blocos independentes, três com dimensão mais reduzida e um com uma dimensão superior, tal como se apresenta esquematizado na Figura 2-2. Esta separação em blocos permite tornar o edifício mais regular, em vez de ser um elemento único com uma geometria bastante irregular. A estrutura foi concebida “(...) de modo a compatibilizar-se com paredes de circulações e minimizar a intrusão dentro de compartimentos ou circulações. A relação de pilares, ductos e paredes deu origem, sempre que possível, a compartimentos livres destes e que não obstruem os equipamentos aí instalados.”[13].

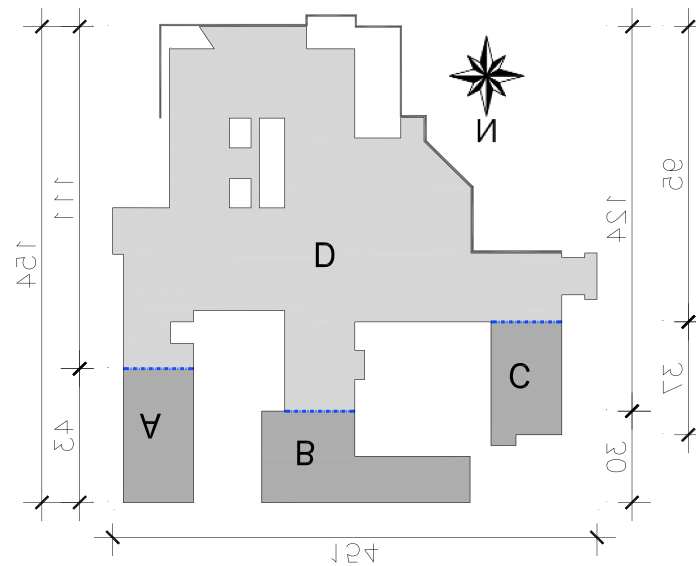


Figura 2-2 Representação esquemática em planta da separação em blocos do edifício. [8]

Os blocos de menor dimensão foram isolados através de juntas estruturais para que se tornassem independentes. Esta independência é importante para o dono de obra já que está prevista uma expansão do hospital através desses blocos e caso não fossem adotadas estas juntas a classificação do edifício seria prejudicada, devido ao aumento da irregularidade do mesmo. No bloco de maiores dimensões foram preconizadas juntas parciais, nos pisos inferiores, estrategicamente colocadas de forma a minimizar os efeitos de retração do betão e as variações de temperatura a que a estrutura estará sujeita.

O posicionamento das paredes estruturais em planta, tal como se esquematiza na Figura 2-3, permitiu que a rigidez global ficasse devidamente distribuída para que a resposta às solicitações horizontais, como por exemplo a ação sísmica, fosse eficiente.

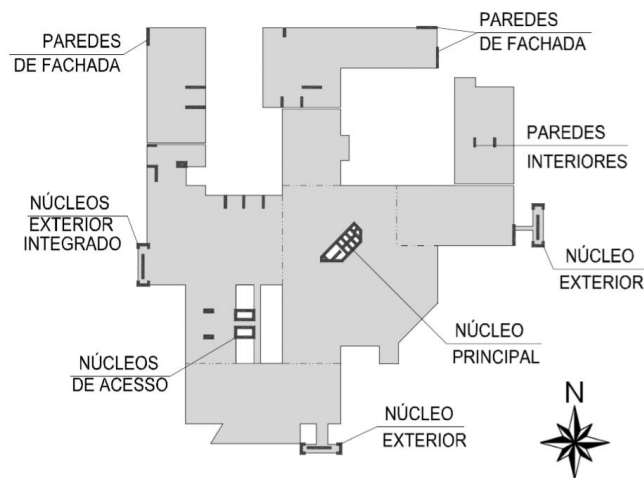


Figura 2-3 - Distribuição em planta dos elementos resistentes de parede. [8]

O posicionamento adotado permitiu também que os efeitos de retração do betão não causassem elevados esforços nas lajes, nomeadamente na do bloco central, de elevadas dimensões.

### Descrição da estrutura

A estrutura foi idealizada através da padronização das malhas de forma a reduzir os custos de construção. Para isso foram projetados pavimentos em laje vigada com uma espessura de 0,18 m em média, com espessamentos pontuais que levavam a laje até espessuras na ordem de 0,25 m. O espessamento da laje deu-se nas zonas onde existiu um aumento da sobrecarga e um aumento de vãos a vencer, já que foi necessário aumentar a altura útil da laje de forma a responder satisfatoriamente ao aumento dos esforços. A adoção de lajes vigadas é bastante económica em termos de consumo de materiais, já que permite que exista um maior controlo da deformabilidade da mesma e ainda permite que a abertura de *couretes* seja bastante flexível.

Em zonas específicas do edifício, nomeadamente junto ao núcleo principal (Figura 2-3), a malha central, orientada a 45°, deu origem a vãos bastante superiores, na ordem dos 11 m. Este fato levou a que fossem preconizadas soluções de laje pré-esforçada, tal como se representa na Figura 2-4.

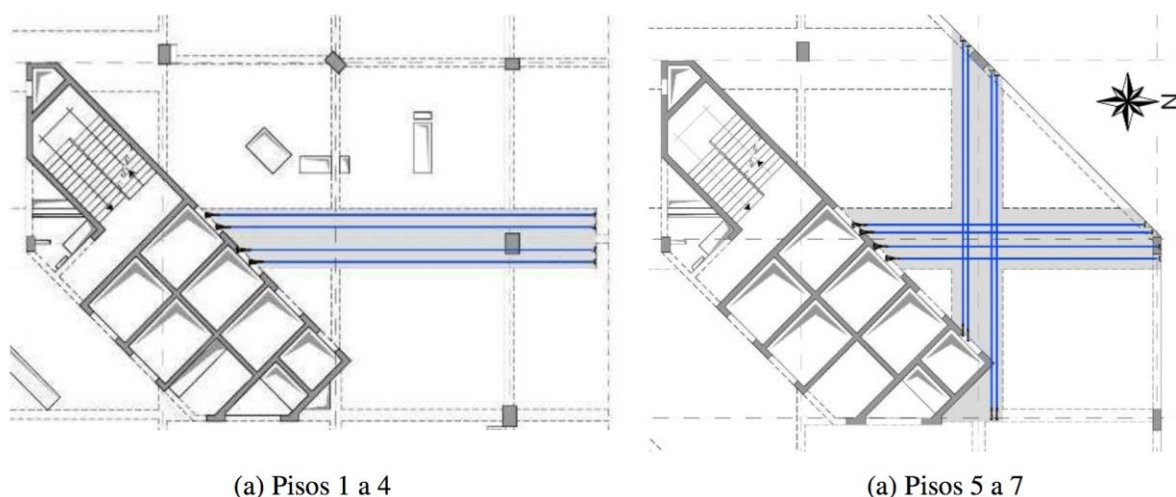


Figura 2-4 - Solução pré-esforçada na zona do núcleo central [8]

As vigas de betão armado que constituem a estrutura têm em geral uma secção de 0,35 x 0,65 m<sup>2</sup>, exceto as vigas que constituem os pórticos de contorno registando-se um aumento de altura para os 0,80 m.

Os pilares, com secção variável, sofrem alterações graduais de secção em altura, chegando às fundações com uma secção quadrada de 0,80 m de lado.

As fundações são diretas, através de sapatas, com uma área mínima de 2,0 m<sup>2</sup>, ligadas através de lintéis em direções ortogonais, já que foi detetado um maciço com uma capacidade resistente satisfatória a uma cota suficiente para adotar este tipo de solução. Foram adotadas também vigas de



fundação de forma a fazer uma melhor distribuição dos momentos devidos às ações sísmicas e para diminuir os assentamentos diferenciais. Na zona norte existiam uns antigos *bunkers* militares que impossibilitavam em certas zonas as fundações superficiais, tendo sido adotada nesse caso a solução de fundações no terreno inferior.

## 2.5 Capacidade de adaptação estrutural em estruturas hospitalares

Os hospitais são estruturas de elevada importância para a sociedade e de elevado custo tanto ao nível de projeto como ao nível de construção e, por estas razões, devem ser pensados de forma a responder a todas as solicitações tanto a curto como a médio prazo. Este planeamento a pensar no futuro deve estar sempre presente para que possíveis alterações a nível arquitetónico, funcional ou estrutural não tenham um elevado custo tanto a nível financeiro como funcional do hospital.

A previsão de necessidades futuras de uma estrutura não é um processo fácil, embora seja possível, através do estudo de alguns casos que se verificaram no passado, extrapolar algumas considerações para o futuro. Este estudo permite que sejam tomadas medidas, ao nível do projeto, que permitem que a estrutura esteja mais preparada para ser alvo de certo tipo de alterações. Deve haver uma elevada sensibilidade por parte do dono de obra e do promotor da construção para esta temática, uma vez que partirá deles a decisão final.

Do ponto de vista estrutural esta capacidade de adaptação já se verifica nas diretivas de projeto atuais, nomeadamente ao nível do crescimento em altura. Hoje em dia todos os projetos são feitos com a possibilidade de aumento da estrutura em dois pisos de altura. Esta medida faz com que a estrutura já esteja dimensionada para um possível crescimento futuro e, desta forma, caso seja necessário materializar esse crescimento as obras necessárias sejam em menor número, logo com um menor custo. Todos os elementos verticais, como paredes resistentes, pilares e sapatas, devem estar preparados para este aumento e dimensionados para mais dois pisos, tanto ao nível das ações verticais como das ações horizontais, nomeadamente a ação sísmica.

Ao nível da conceção estrutural as indicações da ACSS [1] dizem que as estruturas devem ser modulares segundo um vão específico, de 7,30 m. Face às atuais indicações, este vão parece adaptar-se a todas as necessidades dos intervenientes hospitalares. As alas hospitalares mais sujeitas a alterações são possivelmente o internamento e as consultas externas, logo seriam estas que estariam mais sujeitas a alterações ao nível estrutural. O vão de 7,30 m permite porém que todas as adaptações se façam sem prejuízo do funcionamento do hospital. No caso de estudo apresentado do Hospital de Cascais nota-se que a malha adotada vai de acordo com as indicações fornecidas no documento da ACSS [1] já que a mesma consegue responder de forma satisfatória em termos funcionais.

Em termos de soluções de pavimento as lajes fungiformes, maciças ou aligeiradas, são preferidas, segundo as diretivas fornecidas pelo ACSS [1], em detrimento das lajes vigadas devido à maior facilidade de passagem de cablagem para instalações técnicas.

O comportamento estrutural do edifício é bastante afetado por esta escolha já que o comportamento sísmico das duas soluções é muito diferente. A laje vigada é a laje que conduzirá mais facilmente a um adequado comportamento sísmico já que permite que se criem pórticos, em conjunto com os pilares, que são estruturas bastante eficazes na dissipação de energia proveniente das ações sísmicas. As lajes fungiformes por sua vez não permitem a criação de pórticos e dessa forma a dissipação de energia não é feita de forma tão eficaz. De forma a contornar este problema as diretrizes de projeto do ACSS [1] referem que devem ser adotadas bandas maciças entre os pilares, melhorando dessa forma o comportamento estrutural destas lajes, nomeadamente no que toca a ações sísmicas.

A escolha entre estes dois tipos de laje influencia a capacidade da estrutura de se adaptar a alterações futuras nomeadamente:

- Necessidade futura de aberturas em lajes: A laje vigada responde de forma mais satisfatória a uma necessidade de abertura na laje (relacionada com alterações de instalações técnicas) já que o encaminhamento de cargas é mais direto e fácil de definir;
- Aumentos de severidade da ação sísmica regulamentar: A ação sísmica tem vindo a sofrer um aumento de severidade em termos regulamentares com o tempo, devido maioritariamente à revisão feita aos regulamentos desse tipo de ações estruturais. A utilização de lajes fungiformes pode comprometer a verificação de segurança de uma estrutura que anteriormente cumpria essa mesma segurança regulamentar. Este aumento de severidade notou-se na transição entre o RSA e o EC8 (nomeadamente ao nível dos solos fracos) e poderá aumentar no futuro quando o fenómeno sísmico for ainda mais estudado e conhecido.

Os aspetos anteriores, em conjunto com o fato de, no caso das construções hospitalares, ser indispensável a utilização de tetos falso, conduzem a que, quando possível, se possa tornar mais interessante a utilização de lajes vigadas, embora estas tenham o inconveniente de poderem conduzir a um aumento das alturas úteis entre pisos e, conseqüentemente, ao aumento da altura total do edifício.

No caso em que seja preferida a solução com lajes fungiformes devem ser sempre colocadas armaduras de punçoamento para que a laje possa acomodar um aumento de carga substancial e que a execução de aberturas não interfira com o funcionamento da mesma. Este tipo de prevenção faz com que a laje fungiforme apresente uma maior capacidade de dissipação de energia em caso de ação sísmica.

As alterações em locais mais sensíveis como blocos operatórios ou locais de exame com grandes equipamentos que provoquem elevadas cargas para o edifício não são normalmente requeridas, já que usualmente não se observa uma grande necessidade de alteração destes espaços. Aquando da realização do projeto deve ser discutido entre o dono-de-obra e o projetista se haverá necessidade de alterar a localização destes elementos. Dessa discussão devem surgir algumas localizações possíveis para esses espaços, as quais devem ser dimensionadas para esse tipo de cargas.

A utilização de paredes resistentes deve ser muito bem ponderada de forma a tornar o espaço mais amplo e mais adaptável, no sentido em que possíveis futuras alterações não impliquem demolição de paredes ou pilares. Dessa forma deve-se procurar uma grande redundância, ao mesmo tempo que se privilegiam espaços amplos com pouca obstrução provocada pela estrutura.

A divisão da estrutura em blocos independentes, através da adoção de juntas estruturais, é outro ponto bastante importante já que permite uma maior flexibilidade da estrutura global. A divisão em blocos através de juntas estruturais permite que, no futuro, quando for necessário proceder a um aumento da estrutura a mesma não seja demasiado afetada por irregularidade em planta (por exemplo, no caso da classificação do EC8). O posicionamento destas juntas tem que ser bastante bem ponderado já que a sua implementação em elevado número torna a estrutura menos robusta e aumenta o custo inicial (especialmente em zonas de elevada sismicidade e estruturas com elevada exigência de resistência a incêndios como é o caso das estruturas hospitalares) bem como os custos e os problemas de manutenção.

A adoção de juntas estruturais pode ser analisada no caso de estudo apresentado. O Hospital de Cascais tem um número bastante reduzido de juntas estruturais tendo em conta a sua área de implantação. Tal só foi possível devido a uma elevada preocupação, por parte do projetista, em reduzir esse número de forma a tornar a estrutura mais robusta e com menores custos de manutenção. O posicionamento destas juntas foi feito de forma bastante criteriosa já que foi requerido pelo dono-de-obra que existisse a possibilidade de expansão do hospital. Esta possível expansão pode alterar a classificação de regularidade feita no EC8 e dessa forma penalizar a ação sísmica regulamentar. O posicionamento destas juntas permite que esta acomodação de expansão seja feita de forma a não penalizar demasiado a estrutura neste aspeto. Em termos de capacidade de adaptação torna-se também importante prever os locais onde existirá a necessidade de assepsia, não podendo as juntas transpor esses locais.

O documento do ACSS [1] explicita a forma como devem ser tratadas as sobrecargas de utilização dos edifícios hospitalares dizendo que deve ser feita uma simplificação das mesmas, sugerindo também alguns valores a adotar (Tabela 2-3). Os valores sugeridos no documento do ACSS [1] complementam aquilo que está definido nos códigos estruturais, no que diz respeito à sobrecarga a utilizar para as estruturas hospitalares, tal como se apresenta na Tabela 2-2:

*Tabela 2-2 - Sobrecargas em edifícios hospitalares [9]*

| <b>Local</b>        | <b>Valor da sobrecarga [kN/m<sup>2</sup>]</b> |
|---------------------|-----------------------------------------------|
| Enfermaria Hospital | 2,0                                           |
| Hospital no geral   | 5,0                                           |

A adoção de uma sobrecarga simplificada, superior àquela que será previsível que se venha a registrar efetivamente, implica que toda a estrutura seja sobredimensionada. Deste modo a estrutura fica com uma reserva de resistência que lhe fornece uma capacidade de adaptação, não ficando cada compartimento restrito exclusivamente a um tipo de utilização, podendo variar a sua utilização e funcionalidade.

A adoção, em todo o edifício, de um valor de sobrecarga demasiado conservativo (por exemplo o valor de 15 kN/m<sup>2</sup>, a considerar para o espaço onde se localiza o equipamento de ressonância magnética) levaria a soluções economicamente inviáveis, naturalmente pouco interessantes. Para contornar esta problemática devem ser definidas, entre o dono de obra e o projetista, algumas zonas específicas, onde é adotada uma sobrecarga de utilização superior ao necessário, para que a estrutura nessas zonas seja adaptável a eventuais alterações futuras, e.g. alteração da localização de certos equipamentos. Dessa forma todo o edifício deve ser dimensionado considerando uma sobrecarga constante, 5 kN/m<sup>2</sup> por exemplo, sendo este mesmo valor aumentado, para 15 kN/m<sup>2</sup>, nos locais onde tal seja necessário.

*Tabela 2-3 - Sobrecargas em locais específicos de edifícios hospitalares [1]*

| <b>Local</b>                                                                       | <b>Valor da sobrecarga [kN/m<sup>2</sup>]</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Bloco operatório                                                                   | 5,0                                           |
| Laboratórios                                                                       | 5,0                                           |
| Compartimentos para conservação de cadáveres e autópsias                           | 5,0                                           |
| Compartimentos para armazenagem de produtos, como por exemplo: armazém de farmácia | 5,0                                           |
| Biblioteca                                                                         | 5,0                                           |
| Cozinha, lavanderia e áreas anexas                                                 | 6,0                                           |
| Imagiologia                                                                        | 7,0                                           |
| Radiologia e respetivo arquivo                                                     | 10,0                                          |
| Tomografia Axial Computorizada                                                     | 10,0                                          |
| Ressonância Magnética                                                              | 15,0                                          |
| Medicina nuclear                                                                   | 10,0                                          |
| Radioterapia                                                                       | 10,0                                          |

A adaptabilidade estrutural é um fator importante para garantir que a estrutura hospitalar presente, durante o seu tempo de vida útil, todas as valências para as quais foi concebida. O cuidado com a adaptabilidade da estrutura permite que a mesma responda de forma satisfatória a uma grande parte das alterações de funcionalidades e novas necessidades a que estará sujeita. Este conceito de adaptabilidade permite também que fatores como a economia da construção e a sustentabilidade da mesma sejam levados em conta e dessa forma seja possível construir estruturas economicamente mais vantajosas a longo prazo e com uma menor necessidade de intervenções futuras, logo mais sustentáveis em termos ambientais.

## 3 ESTRUTURAS ESCOLARES

### 3.1 Evolução do projeto de estruturas escolares

O documento produzido pela Parque-Escolar [24] faz referência à evolução da construção escolar em Portugal, fazendo uma divisão entre anos específicos. Uma primeira era até 1939, um segundo período que se refere a edifícios escolares construídos entre 1940 e 1968 e ainda um terceiro espaço de tempo que ainda poderá estar em vigor, referente aos edifícios escolares construídos desde 1968.

#### 3.1.1 Diretivas de projeto antigas – até 1939

Os edifícios escolares existentes até ao ano de 1939 devem-se muito à implementação de uma reforma criada por Passos Manuel [21] que visava dotar o país de um conjunto de liceus que contribuíssem para o evoluir da intelectualidade dos cidadãos. No ano de 1836, Passos Manuel elaborou uma reforma que foi buscar o conceito de *Lycée* a França para instituir em Portugal um conjunto de escolas. A reforma acabou por não ser totalmente implementada, uma vez que o Estado não possuía capacidade financeira para construir edifícios à imagem da reforma proposta. Para contornar esta dificuldade, optou-se pela implementação dos ditos liceus em seminários abandonados, hospitais antigos, igrejas ou mesmo em casas particulares.

A proposta de Passos Manuel evoluiu e a reforma de 1905 de Eduardo José Coelho, referente às exigências relativas à construção escolar, permitiu que se erguesse o Liceu Passos Manuel, construído entre 1882 e 1911. Durante este período foram construídos mais três liceus em Lisboa: Liceu Camões (1909), Liceu Pedro Nunes (1911) e Liceu Maria Amália Vaz de Carvalho (1933). Todos estes liceus foram projetados por arquitetos com grande reconhecimento em Portugal.

A configuração dos edifícios da época evoluiu a partir dos edifícios conventuais, de configuração compacta com pátios encerrados, para o modelo desenvolvido em extensão privilegiando a ocupação da totalidade do quarteirão onde estão inseridos, em detrimento da construção em altura.

A evolução em termos formais dá-se dos edifícios do tipo conventuais onde estavam instaladas as antigas escolas, como é o caso do Liceu Passos Manuel, para edifícios mais de acordo com a ideia francesa de *Lycée* com o desenvolvimento das estruturas em extensão como é o caso do Liceu Camões e do Liceu Pedro Nunes.

A organização espacial do edifício considera um grande leque de espaços independentes, nomeadamente salas de aula, biblioteca, anfiteatros, laboratórios e espaços dedicados à prática de exercício físico. O sector administrativo e a biblioteca eram o centro de um sistema que se organizava em alas, descentralizando os restantes espaços. Por uma razão de segurança os laboratórios eram colocados na periferia do edifício, muitas vezes aparecendo inclusivamente destacados do mesmo.

Em termos construtivos os edifícios são bastante robustos, evoluindo das tecnologias construtivas da época para elementos inovadores tais como a utilização de aço em vigas e de ferro fundido na execução

de pilares. A inovação construtiva faz-se também notar nos sistemas construtivos preconizados, notando-se uma evolução para sistemas mistos de paredes autoportantes com estruturas porticadas, com lajes de betão armado e coberturas em terraço.

### *3.1.2 Diretivas de projeto antigas – entre 1940 e 1968*

Entre os anos de 1940 e 1968 verificou-se um aumento da construção de liceus, impulsionadas pelo Ministério das Obras Públicas. Entre 1938 e o final da década de 1960 planearam-se construir 29 liceus, em zonas de fácil acesso, ocupando na maioria dos casos a totalidade do quarteirão de implantação. Estes 29 liceus foram implantados com vinte anos de diferença, tendo, numa primeira fase (1938), sido construídos treze edifícios e posteriormente (1958) os restantes. Todos os projetos destes edifícios foram levados a cabo por técnicos especializados da Junta das Construções para o Ensino Técnico e Secundário (JCTES), seguindo as diretivas dessa mesma organização.

Os edifícios construídos durante este período podem ser divididos em dois grupos com diferentes características: liceus e escolas técnicas.

Os liceus apresentavam configurações diversas, tanto de forma longilínea como em pátio, sendo normalmente formados através da junção de vários corpos independentes de dois ou três pisos. A organização era semelhante à anteriormente descrita com um núcleo central formado pela biblioteca e espaços administrativos com acesso através do exterior e os restantes espaços a desenvolverem-se através de alas com os laboratórios na extremidade. Aqui já havia um cuidado de organização dos espaços por ciclos de escolaridade e com acesso independente a partir da entrada principal.

Surge neste tipo de estruturas uma primeira abordagem à adaptabilidade estrutural com o espaço dedicado ao ginásio a ser dotado de uma caixa de palco que permitia a realização de espetáculos no mesmo espaço, com acesso através do exterior. Na década de 60 aparece o conceito de sala de alunos, o que tira a polivalência ao ginásio, servindo a mesma como sala de espetáculos quando necessário.

Os edifícios destinados às escolas técnicas eram vocacionados para o ensino industrial, comercial e agrícola. Foram construídas várias escolas técnicas durante esta época devido a uma reforma do ensino técnico-profissional, industrial e comercial que tinha como objetivo a maior formação dos jovens, nomeadamente em áreas de elevada utilidade para a sociedade.

A organização funcional destes edifícios estava muito bem definida sendo dividida em três blocos independentes: aulas teóricas e serviços administrativos, espaço desportivo e o corpo de oficinas. O primeiro evoluía em altura, até um máximo de quatro pisos com as salas de aula a ficarem preferencialmente voltadas a sul. O espaço desportivo era semelhante aos liceus ditos normais com um corpo de dois andares. O espaço oficinal era completamente independente dos demais e era dimensionado consoante o curso que lá seria ministrado, não existindo qualquer preocupação ao nível do futuro, nomeadamente ao nível da adaptabilidade estrutural.

Em termos construtivos os liceus e as escolas técnicas adotavam as mesmas técnicas com a utilização

de paredes resistentes de alvenaria de pedra ordinária e de lajes de piso e escadas em betão armado. Em alguns casos as lajes do pavimento eram realizadas com vigotas de betão pré-esforçado e abobadilhas cerâmicas.

A estrutura da cobertura era maioritariamente em madeira, tal como os pavimentos das salas, que normalmente eram em soalho. No caso do corredor nota-se uma utilização de um revestimento mais resistente, ladrilho hidráulico, por estar sujeito a maior desgaste.

O corpo das oficinas era tratado como se fosse um armazém, apresentando estrutura de betão armado e, frequentemente, cobertura em forma de *shed* de forma a deixar entrar luz natural, solução muito utilizada na conceção de edifícios industriais.

### *3.1.3 Diretivas de projeto antigas – desde 1968*

No final da década de 60 tentou-se tipificar a construção escolar através da adoção de um projeto-tipo destinado a liceu, escola técnica e escola preparatória. Este projeto tipo tinha uma grande base pragmática que permitia uma grande rapidez, e conseqüente economia na construção. Ao nível da conceção arquitetónica estes projetos eram pensados como blocos independentes entre si, de forma a se adaptarem melhor às características geomorfológicas do terreno, muitas vezes desconhecidas. A ligar estes blocos existiam galerias cobertas que faziam a transposição entre os mesmos e serviam para que a estrutura se adaptasse melhor à topografia local.

No projeto-tipo dos liceus os blocos que o constituem eram agrupados em quatro tipos: 1) bloco geral, de piso único, constituído pela biblioteca, secretaria, sala de corpo docente e sala de alunos; 2) bloco de planta quadrangular, formando um pátio interior destinado às atividades condicionadas por material específico; 3) bloco de dois pisos destinado a aulas normais; 4) bloco destinado à educação física e prática desportiva, com único campo retangular e uma bancada lateral.

As escolas técnicas seguiam o mesmo caminho, estando dividido também em quatro blocos independentes: 1) bloco geral dotado de biblioteca, secretaria e sala polivalente com um palco elevado que viria no futuro a ser utilizado como refeitório; 2) bloco de aulas com planta retangular e com dois ou três pisos. Este bloco incorporava um pátio central, fechado através de claraboia; 3) bloco de oficinas de piso único, com uma configuração semelhante a um pavilhão industrial; 4) espaço destinado à educação física adotava um modelo de pavilhão.

O projeto-tipo para as escolas preparatórias era mais modesto, sendo constituído por um único bloco com planta retangular e pátio central descoberto onde se inseriam todos os serviços necessário ao funcionamento da escola, adotando uma configuração semelhante à dos edifícios conventuais.

Em termos construtivos estes edifícios apresentavam alguma modularidade. Eram edifícios de estrutura porticadas em betão armado com lajes também em betão armado e paredes não estruturais construídas com panos de alvenaria de tijolo. A modularização aparece devido ao facto de ser necessário tipificar a construção e torna-la mais célere, sendo este género de conceção já algo adaptável, uma vez que a



necessidade de novos espaços pode ser respondida com a junção de novos blocos aos previamente existentes.

## 3.2 Evolução das características construtivas e estruturais da rede pública de escolas da zona centro e sul de Portugal

O livro que descreve algumas das intervenções realizadas no âmbito do projeto da Parque-Escolar [22] faz um levantamento do tipo de estruturas que se adotavam na construção de edifícios escolares antigamente. Este levantamento faz referência aos tipos de materiais utilizados e também aos modelos de concessão que estavam em vigor em determinadas épocas.

### 3.2.1 Edifícios com pavimentos em madeira e paredes portantes de alvenaria

A construção dos primeiros liceus em Portugal coincidiu com o início de utilização de novos materiais de construção, como é o caso do betão armado e do aço estrutural. A opção por este tipo de materiais foi uma opção da Direção Técnica das Construções Escolares (1902) já que a adoção deste tipo de materiais tornava a construção mais rápida e mais económica. As novas estruturas construídas não eram integralmente constituídas por estes novos materiais, sendo também uma boa parte delas compostas pelos materiais utilizados anteriormente, nomeadamente a alvenaria de pedra e a madeira.

Genericamente as estruturas destes novos edifícios eram compostas por paredes periféricas e interiores em alvenaria de pedra ou de tijolo que suportavam os pavimentos, constituídos por vigamentos de madeira revestidos com soalho nos pisos térreos ou por perfis metálicos com abobadilha cerâmica nos pisos em que se previa a existência de humidades. As paredes de periferia eram feitas com alvenaria de pedra e tinham elevadas espessuras, que podiam atingir 1,00 m. As paredes interiores eram usualmente menos espessas, apresentando espessuras entre os 0,60 m e os 0,90 m, podendo variar em altura.

As coberturas destes edifícios eram normalmente feitas com vigamentos de madeira que serviam de suporte ao revestimento em telha. Estes vigamentos em madeira venciam o vão total entre fachadas, não existindo apoios nas paredes intermédias. O único local que fugia a este tipo de conceção era o ginásio que apresentava uma estrutura de cobertura mais aligeirada (Figura 3-1).

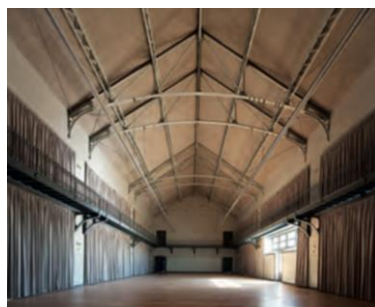


Figura 3-1 - Estrutura da cobertura do ginásio Liceu Pedro Nunes, Lisboa [23]

As paredes de alvenaria interiores nem sempre tinham a altura integral do edifício já que por vezes alguns alinhamentos eram interrompidos, sendo as paredes superiores apoiadas em perfis metálicos. As fundações destes edifícios eram diretas, materializadas por sapatas ou por poços de alvenaria unidos por arcos, também eles de alvenaria.

A resistência a ações sísmicas não era contemplada na conceção, apresentando a estrutura, por esta razão, deficiências como falta de resistência e de capacidade de deformação das paredes exteriores que eram o principal elemento resistente da estrutura. O facto de os pisos não funcionarem a 100% como diafragmas rígidos no seu plano e a deficiente ligação entre paredes ortogonais também eram fatores que contribuíam para a deficiente resposta destas estruturas às ações sísmicas.

### *3.2.2 Edifícios com pavimentos em betão armado e paredes portantes de alvenaria*

A organização dos espaços fez com que se juntassem vários corpos independentes formando edifícios com estruturas tipo 'U', 'H', 'L' ou 'E'. A estrutura resistente destes edifícios era feita através de paredes de alvenaria de pedra no exterior (com espessuras sempre superiores a 0,60 m) onde apoiavam os pavimentos interiores em betão armado, geralmente aligeiradas e armados unidirecionalmente. As vigas também eram em betão armado e as paredes interiores (menos espessas que as exteriores, na ordem dos 0,25 m a 0,30 m) eram de alvenaria de tijolo. As escadas eram feitas em betão armado, mas contrariamente às lajes de pavimento, eram maciças.

Para algumas zonas destes edifícios existia um requisito de espaços amplos, tipicamente nos átrios de entrada e nos recreios cobertos. De forma a poder dotar estes edifícios dessas características eram previstas estruturas de betão armado constituídas por grelhas de vigas que, apoiadas em pilares, suportavam os pavimentos, também em betão armado. Nos alinhamentos destas vigas de betão armado desenvolviam-se as paredes em alvenaria que apoiavam as lajes dos pisos superiores.

A cobertura destes edifícios era materializada através de estruturas de madeira que serviam de apoio para o revestimento em telha. Nos casos em que existia uma laje de esteira o apoio era feito diretamente nesta, mas quando tal não acontecia eram criadas asnas de madeira para materializar esse mesmo apoio (Figura 3-2):



*Figura 3-2 - Asnas de madeira para apoio do revestimento de telha [23]*

A evolução até este ponto da construção ainda não tinha em conta as ações sísmicas e dessa forma os problemas que anteriormente os edifícios exibiam, mantinham-se:

- Pouca resistência e baixa capacidade de deformação das paredes exteriores de alvenaria;
- Pisos sem comportamento como diafragmas rígidos, já que apesar de serem constituídos por lajes de betão armado existe uma deficiente ligação entre as lajes e as paredes de alvenaria;
- Insuficiente resistência e capacidade de deformação por parte dos pilares de betão armado.

### 3.2.3 Edifícios de betão armado anteriores à regulamentação sísmica

O sistema estrutural destes edifícios era constituído por uma estrutura reticulada formada por pórticos de betão armado. Estes pórticos encontravam-se apoiados nas fachadas e nos corredores dos edifícios, geralmente em paralelo. Os pórticos que estavam na direção longitudinal do edifício serviam para suportar as cargas que são aplicadas às lajes de betão armado, que eram aligeiradas nas zonas das salas de aula e maciças nos corredores. Na direção transversal não existiam vigas. Existiam juntas de dilatação (muito pequenas, na ordem de 1 a 2 cm) que se repetiam a cada 15 m a 25 m de comprimento longitudinal do edifício. A existência de apoios indiretos de pilares em vigas era recorrente já que a alteração de disposição de espaços de piso para piso era solucionada dessa forma.

O dimensionamento de pilares é feito apenas para um esforço de compressão simples, negligenciando a existência de momentos fletores. Este fato faz com que a estrutura apresente muito baixa ductilidade, sendo este efeito piorado pelo facto de se utilizarem varões lisos.

A disposição das alvenarias de tijolo nas paredes interiores travava os pilares praticamente em toda a sua altura, possibilitando a existência de fenómenos de coluna curta. O fenómeno de coluna curta manifesta-se em alguns edifícios devido nomeadamente a dois fatores: presença de escadas com patamares a meia altura de pilares e panos de alvenaria incompletos entre pilares. Estes dois efeitos têm consequências idênticas nos pilares da estrutura, já que reduzem a altura útil dos mesmos. A Figura 3-3 ilustra a situação de uma parede de alvenaria que não tem a mesma altura que os pilares adjacentes e dessa forma faz reduzir a altura útil dos pilares.

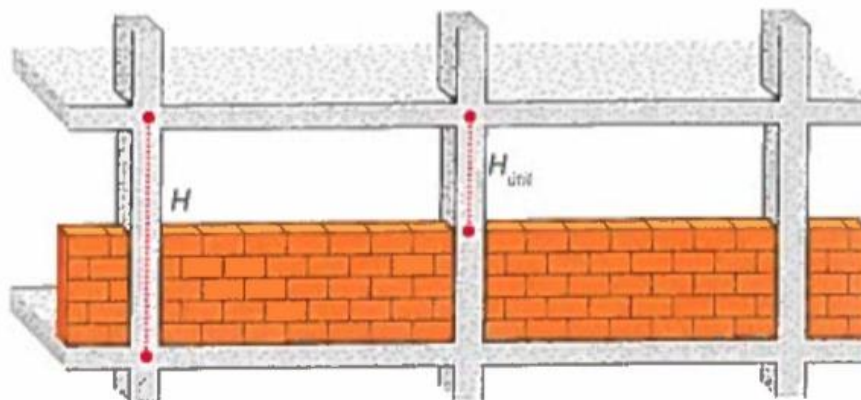


Figura 3-3 - Efeitos de paredes incompletas de alvenaria [20]

Tanto no caso das escadas (Figura 3-4) como das paredes de alvenaria, usualmente são se contabiliza a sua contribuição para a resistência global dos edifícios. Este procedimento é normalmente considerado seguro, já que a resistência global do edifício fica subavaliada e dessa forma trabalha-se do lado da segurança. Existem porém efeitos locais que podem provocar graves problemas, nomeadamente nos pilares da estrutura. Se o patamar da escada ou uma parede de alvenaria impede que o pilar se deforme num determinado troço implica que a altura útil do pilar tem de acomodar todo o deslocamento imposto pelo piso. O deslocamento imposto pela laje do piso é todo igual, já que essa laje funciona como elemento rígido no seu plano e isso faz com que todos os pontos desse plano tenham o mesmo deslocamento. Este valor de deslocamento provoca uma deformação nos pilares em que o fenómeno da coluna curta se encontra presente maior do que os restantes, já que para o mesmo deslocamento a sua altura útil é menor.

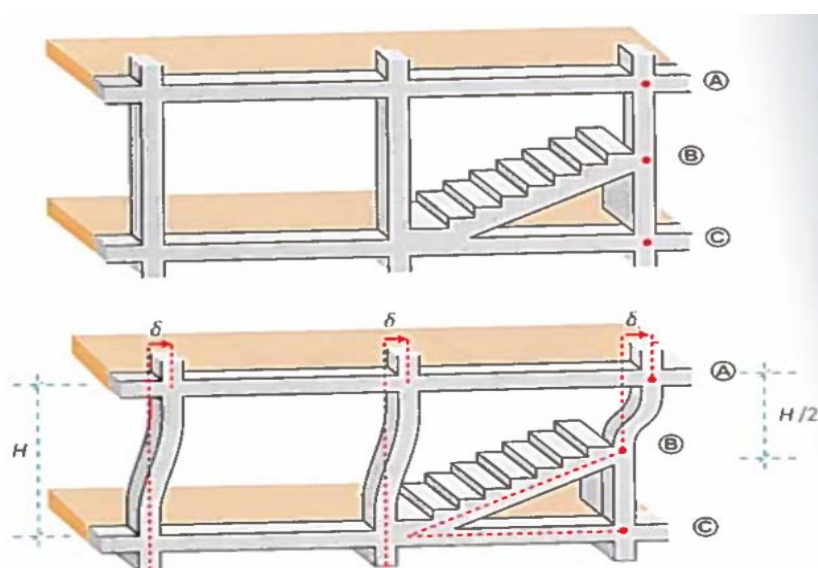


Figura 3-4 - Efeitos das escadas no fenómeno de coluna curta [20]

A irregularidade de distribuição dos painéis de alvenaria tanto em planta como em alçado contribui para uma deficiente distribuição de rigidez da estrutura, originando efeitos de torção, sempre indesejáveis.

### 3.2.4 Edifícios de betão armado posteriores à regulamentação sísmica, mas anterior ao RSA (Regulamento de Segurança e Ações de Edifícios e Pontes)

O dimensionamento de edifícios escolares entre 1958 e 1983 (ano de entrada em vigor do RSA) [4] incluía uma abordagem às ações sísmicas através do “método do coeficiente sísmico”. Este método admitia uma distribuição constante em altura das forças horizontais e não tinha em conta condições de ductilidade dos edifícios.

A necessidade de construir mais escolas fez com que fossem elaborados projetos-tipo com o objetivo

de cumprir prazos de execução, tendo em simultâneo, preocupações ao nível da economia de construção.

O aumento da população escolar (Figura 3-5) provocou uma necessidade de construção de muitas escolas num curto espaço de tempo. Esta necessidade levou a que fosse iniciada uma construção em massa de edifícios escolares, levando a projetos tipificados com elevado rendimento tanto a nível económico como a nível de rapidez de execução.

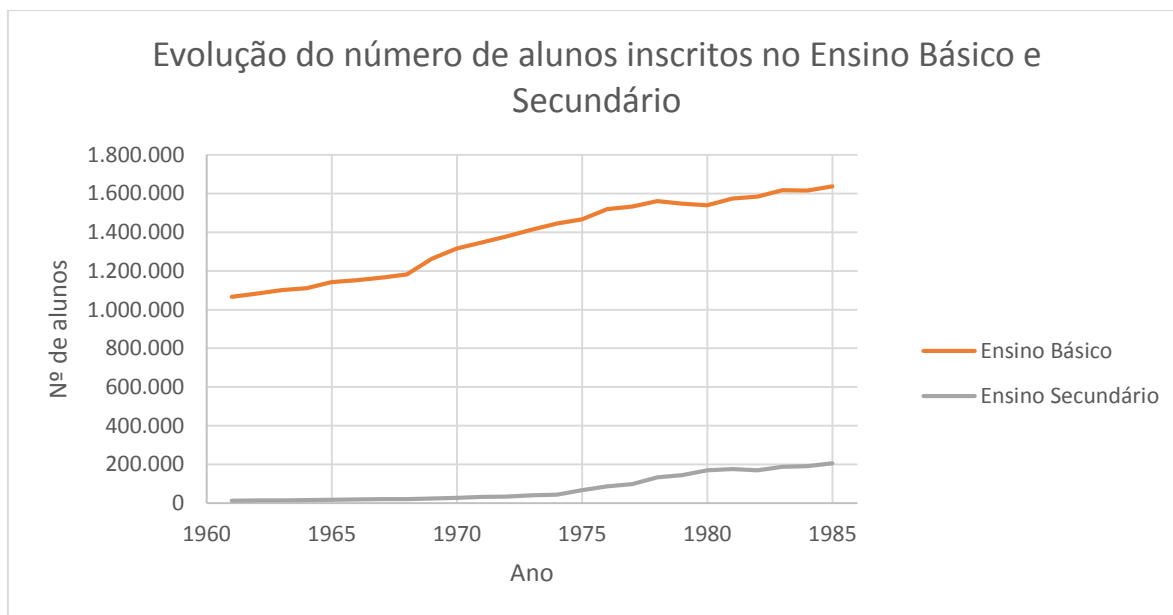


Figura 3-5 - Evolução da população estudante no Ensino Básico e Secundário (1961-1985) [25]

#### 1º Projeto Normalizado destinado a escolas comerciais e industriais, Projeto Mercúrio (1960)

No final da década de 1950 foi criado um plano de construção de várias escolas técnico-profissionais, exigindo uma resposta por parte da Junta Central de Construções do Ensino Técnico e Superior (JCETS). De forma a responder a esta necessidade foi criado o 1º Projeto Normalizado, denominado Projeto Mercúrio (1960). Este projeto, elaborado pela JCETS, destinava-se a escolas comerciais e industriais com capacidade de 800 a 1200 alunos.

A base do Projeto Mercúrio era um edifício principal com configuração linear ao qual se juntavam vários outros edifícios ligados através de juntas de dilatação. Já existia nesta altura alguma preocupação com as ações sísmicas, mas ainda não se tratava essa ação como se faz hoje em dia. O dimensionamento da estrutura para a resistência à ação sísmica era feito através do coeficiente sísmico. Este coeficiente relaciona o peso da estrutura (cargas permanentes e ações quase permanentes das sobrecargas) com as forças horizontais que aparecem devido à ação sísmica, como se apresenta na equação [1]:

$$\beta = \frac{F_{sismica}}{F_{gravitica}} \quad [1]$$

O “método do coeficiente sísmico” não tinha em conta a diferente qualidade dos solos e a diferente propagação das ondas sísmicas que daí advém, nem fazia uma hierarquização dos edifícios em termos de importância. Este método dividia o país em 3 zonas distintas e apresentava diferentes valores para cada zona.

O Liceu de Rainha D. Leonor (Figura 3-6) apresenta-se como um ensaio deste tipo de projeto, já que a solução aqui empregue serviu de base para as estruturas de todas as escolas construídas ao abrigo do Projeto Mercúrio.



*Figura 3-6 - Liceu de Rainha D. Leonor [23]*

A solução estrutural encontrada para o Projeto Mercúrio prende-se com uma solução reticulada de betão armado, com pórticos longitudinais de fachada e de corredor compostos por pilares e vigas, que suportam as cargas transmitidas pelas lajes. As lajes eram de betão armado, aligeiradas na zona das salas de aula e maciças nos corredores. A resistência para as ações sísmicas era garantida por estes pórticos longitudinais que eram dimensionados com um coeficiente sísmico de 0,10. A solução preconizada para a direção ortogonal destes projetos era pouco comum, já que as lajes maciças dos corredores eram admitidas como sendo vigas “deitadas” que faziam o encaminhamento das cargas na direção transversal. Na direção transversal apenas existiam vigas nos alinhamentos das juntas que serviam para receber as cargas que vinham da “laje-viga” e encaminhar as mesmas para a fundação. Nestes alinhamentos das juntas e das vigas existiam também umas diagonais em betão armado (Figura 3-7) que serviam para travar a estrutura transversalmente.

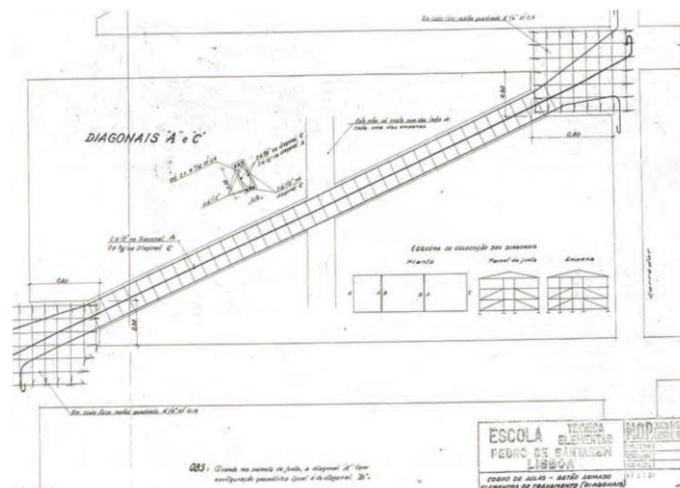


Figura 3-7 - Pormenor das diagonais que servem para travar transversalmente a estrutura [23]

### Projeto Base Técnica

O projeto de base técnica foi desenvolvido através da experiência acumulada nos projetos normalizados anteriores. Este projeto distingue-se dos demais devido à sua elevada adaptabilidade à topografia do terreno de implantação da estrutura. Os blocos independentes são ligados através de galerias cobertas (Figura 3-8) que fazem a adaptação à topografia do local. O projeto de base técnica foi aplicado a todo o país, não sendo feita uma adaptação estrutural, aconselhada devido à severidade da ação sísmica.



Figura 3-8 - Galeria coberta, Escola Secundária D. João V, Damaia. [23]

Em termos estruturais os edifícios são organizados em pórticos nas duas direções com ligação vigapilar a sustentar as cargas que são transmitidas através das lajes. A existência de juntas de dilatação que separam os blocos em 4 corpos independentes não foram dimensionadas tendo em conta os possíveis

movimentos dos edifícios, apresentando espessuras demasiado reduzidas. A análise dos edifícios realizadas pelos técnicos da parque-escolar permitiram relevar alguns problemas junto dessas juntas, havendo ainda a possibilidade de efeitos de choque entre edifícios.

### Projeto 3x3

O projeto 3x3 foi elaborado para o projeto de escolas preparatórias e secundárias. A conceção destes edifícios foi feita tendo em conta uma malha regular de 7,20 x 7,20 m<sup>2</sup>. As salas de aula eram quadradas, composta apenas por um conjunto de malha ficando com 50 m<sup>2</sup>, e o restante edifício era composta pela junção três malhas, ficando com as dimensões de 21,60 x 21,60 m<sup>2</sup>.

Os módulos aqui adotados serviam para resolver todo o tipo de espaços, já que eram utilizados tanto para salas de aula como para biblioteca, serviços administrativos e laboratórios ou oficinas.

Os blocos de salas de alunos, bar e cozinha eram espaços onde existia uma maior necessidade de espaços amplos, sendo dessa forma preconizadas soluções de 5x3 blocos de 7,20 x 7,20 m<sup>2</sup>.

### *3.2.5 Edifícios construídos na década de 1970 por métodos industrializados*

Nos meados da década de 1970 procedeu-se à importação, nomeadamente do Reino-Unido (solução CLASP), de projetos de estruturas pré-fabricadas em estrutura mista aço-betão. Para além deste utilizaram-se também mais dois tipos de projeto, estes em estruturas pré-fabricadas de betão: Projeto Imprel e Projeto Indubel (sistema de construção iP2).

#### Projeto Imprel (1970)

No projeto Imprel eram pensadas estruturas pavilhonares constituídas por pilares betonados *in-situ*, paredes de betão armado pré-fabricadas e lajes também pré-fabricadas, que formavam uma estrutura bastante rígida e robusta. Através da análise, realizada por técnicos da Parque-Escolar, deste projeto foram perceptíveis alguns problemas ao nível das ligações entre os pilares e as sapata e ainda junto a aberturas de grandes dimensões devido ao elevado esforço que se verificava nos pilares. A forma de reforço preconizada foi a de colocação de paredes em 'L' nos cantos dos edifícios.

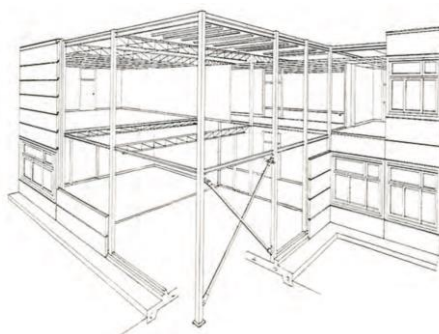
#### Projeto Indubel (sistema de construção iPs2)

Na solução de construção indubel era preconizada uma solução em pavilhão reticulada com lajes de piso alveolares. A resistência para ações sísmicas era garantida através de pilares que apresentavam um funcionamento em consola, já que a ligação às vigas é considerada articulada. Este tipo de comportamento esforça muito a base do pilar (zona de encastramento) e através de estudos efetuados verificou-se que os mesmos não apresentavam resistência suficiente.



### Solução CLASP

O sistema CLASP caracterizava-se por ser um sistema de pré-fabricação misto aço-betão com pilares e vigas metálicas que suportam lajes de piso de betão armado revestido com pré-lajes. As paredes exteriores eram painéis pré-fabricados de betão e as interiores serviam exclusivamente para fazer a divisão entre espaços, sendo materializadas por aglomerado de madeira. Os contraventamentos laterais (Figura 3-9) eram responsáveis pela resistência da estrutura a ações horizontais dispondo-se nas duas direções do edifício.



*Figura 3-9 - Esquema representativo da solução CLASP [23]*

Uma análise da capacidade de resistência do edifício, realizada pela Parque-Escolar, permitiu perceber que estes contraventamentos não eram suficientes para resistir a esse tipo de forças. O fenómeno explicado atrás, referente a colunas curtas, também se encontrava presente, uma vez que a ligação dos contraventamentos aos pilares não se efetuava à mesma cota do que a ligação entre as vigas e os pilares.

## 3.3 Diretivas de projeto atuais – Programa Parque Escolar

O livro “Parque-Escolar 2007-2011 – Intervenção em 106 Escolas” [22] refere os estudos que foram feitos para o desenvolvimento do programa da Parque-Escolar, desde o diagnóstico realizado até ao modelo conceptual adotado para a intervenção, sendo definida também a forma de operacionalizar o programa de intervenções.

### 3.3.1 Introdução

O programa da Parque Escolar foi desenvolvido com o objetivo de “(...) planeamento, a gestão, o desenvolvimento e a execução da política de modernização e manutenção da rede pública de escolas secundárias”[22].

Nas últimas décadas, a construção escolar em Portugal centrou-se muito na “industrialização” da construção, com o objetivo do alargamento da rede de escolas. Esta construção em série levou a que não fossem tidas em conta questões como a manutenção, conservação ou mesmo a adaptabilidade

dessas construções. As constantes evoluções ao nível do currículo, das práticas educativas e a não adaptação funcional das escolas levou a que as mesmas se tornassem quase obsoletas, ao nível dos equipamentos e das estruturas.

O programa da Parque-Escolar permitiu desenvolver projetos que estavam essencialmente centrados em três eixos principais:

- As atividades extracurriculares ganharam um elevado peso na formação letiva, dessa forma devem ser desenvolvidas estruturas que possibilitem que a escola funcione em turno único, de forma a existir mais espaço/tempo para a realização destas atividades;
- O ensino a prestar nas escolas secundárias é uma ferramenta bastante importante para o evoluir de uma sociedade e por essa razão devem ser criadas todas as condições para que o ensino obrigatório até ao 12º ano se realize com a melhor qualidade e rigor;
- As escolas devem estar devidamente equipadas de forma a dar resposta às áreas de ensino vocacional.

### *3.3.2 Diagnóstico do Parque Escolar*

O diagnóstico desenvolvido pela Parque-Escolar permitiu identificar alguns dos problemas que se verificavam nas escolas. No geral as edificações escolares apresentavam um grau de deterioração bastante elevado, derivado à sua utilização, falta de manutenção e à falta de qualidade generalizada das soluções adotadas.

Ao nível construtivo foram identificados quatro focos de problemas: recinto exterior, envolvente exterior das edificações, interior dos edifícios e infraestruturas e instalações especiais.

A pouca adaptabilidade dos espaços foi outro dos problemas identificados pelos técnicos da Parque-Escolar já que a pouca funcionalidade dos mesmos levou a que muitos se tornassem desatualizados. Com o evoluir do processo educativo foram criadas novas necessidades que tiveram que ser resolvidas com os mesmos espaços, sem qualquer hipótese de alteração, sem ser com recurso a obras em muitos casos bastante dispendiosas.

### *3.3.3 Modelo conceptual para a intervenção*

A intervenção proposta tem como base a resposta a necessidades específicas de cada edificação, mas ao mesmo tempo tem a ideia geral e globalizante que permite criar uma estrutura duradoura e adaptável no tempo.

Para combater os problemas das infraestruturas e acompanhar a evolução das práticas educativas foram desenvolvidas alguns princípios orientadores, pelos técnicos da Parque-Escolar, nomeadamente ao nível da arquitetura dos espaços a conceber:

Espaços atrativos – espaços que garantam as condições essenciais de uma boa prática pedagógica, coincidente com os valores educativos que se pretendem transmitir, estimulando o trabalho educativo.

Espaços flexíveis – espaços adaptáveis no tempo ao evoluir das necessidades tanto a nível curricular como a nível tecnológico onde, caso sejam necessárias alterações, as mesmas sejam tão pouco dispendiosas quanto possível;

Espaços multifuncionais – espaços com várias valências em que a sua utilização não fique submetida exclusivamente à comunidade escolar, podendo ser alargada a toda a comunidade;

Espaços seguros, acessíveis e inclusivos – os espaços escolares devem estar preparados para responder a todo o tipo de necessidades: necessidades de mobilidade dos utilizadores e necessidades educativas especiais.

Soluções duradouras – os espaços escolares devem ser projetados para um tempo de vida útil de 50 anos. Este dado deve ser tido em conta de forma a tornar os custos de manutenção e de gestão o mais baixo possível. Dessa forma a estrutura deve ser duradoura e adaptável em termos físicos, ambientais e funcionais.

O paradigma educacional alterou-se ao longo do tempo e com isso também as estruturas tiveram que se adaptar. Passou-se de um tipo de ensino expositivo, em que o professor era o centro de todas as atenções, para um sistema mais integrado em que a investigação e a experimentação desenvolvida pelos alunos é o tema principal. Para dar resposta a esta nova forma de transmitir conhecimento a Parque-Escolar organizou os espaços escolares da forma esquematizada na Figura 3-10:

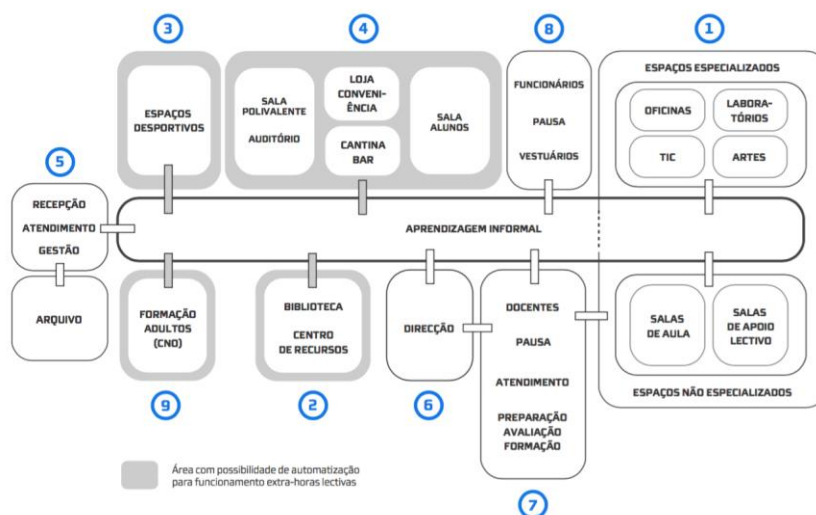


Figura 3-10 - Articulação e organização dos setores funcionais e dos espaços escolares [24]

A reorganização escolar permite redefinir vários locais, aliando uma reformulação arquitetónica a uma reformulação funcional. Espaços como os de circulação, escadarias ou mesmo espaços exteriores que antigamente eram vistos apenas como de passagem devem ser hoje alvo de uma atenção diferente. Estes espaços devem ser destinados, para além da sua função vital, a serem espaços de convívio e interação entre alunos e professores.

Todo o edifício escolar deve então ser concebido para que exista uma elevada articulação entre setores, tanto áreas letivas como não letivas, de forma a fomentar uma política de funcionamento integrado entre os vários utilizadores. Outro aspeto importante prende-se com a abertura de alguns espaços dos edifícios escolares à comunidade exterior nos períodos não-letivos.

Toda a abordagem estrutural deve estar em consonância com este novo paradigma. Espaços mais amplos, versáteis e que se adaptem facilmente a todas as mudanças que se verifiquem devem ser privilegiados, em detrimento de espaços fechados em si, muito individuais e que não tenham qualquer potencial de adaptação a alterações futuras.

### 3.4 Casos de estudo

Os casos de estudo aqui apresentados baseiam-se nas intervenções realizadas pela Parque-Escolar que se encontram relatadas no livro “Parque-Escolar - Reforço Sísmico de Edifícios Escolares” [23]. Estas intervenções têm uma forte componente de reforço sísmico, mas possuem também intervenções ao nível de alterações funcionais dos edifícios escolares.

#### 3.4.1 *Escola Secundária Passos Manuel*

##### 3.4.1.1 *Descrição geral da construção existente*

O liceu Passos Manuel, anteriormente designado Lyceu Central de Lisboa, foi projetado em 1882 tendo sido inaugurado apenas em 1911. O edifício tem três pisos (um em cave e dois acima do nível do solo) e a sua tipologia estrutural assenta em paredes de alvenaria de tijolo maciço e de pedra. Estas paredes suportam pavimentos mistos, compostos por abobadilhas cerâmicas e perfis metálicos.

As fundações do edifício são profundas com a sua cota a variar entre os 7 m e os 19 m, assentes numa camada de calcário rijo e materializadas através de argamassas hidráulicas unidas entre si por arcos de alvenaria.

O pavimento do piso térreo é formado por abobadilhas com tijolo de 2 furos e nivelado com argamassa de regularização onde assentavam os ladrilhos hidráulicos. Os perfis I que servem de apoio às abobadilhas cerâmicas estavam apoiados em vigas mestras, também em aço, que se encontram embebidas nas paredes de alvenaria de pedra. Estas vigas mestras são maioritariamente formadas por perfis em I associados em paralelo, afastados de 0,80 m entre si e ligados por rebites (Figura 3-11).



*Figura 3-11 - Vigas mestras com perfis I associados em paralelo [23]*

Em alguns locais as vigas mestras são vigas treliçadas com 0,90 m de altura, compostas através da associação de cantoneiras duplas e chapas de aço, tal como se mostra na Figura 3-12:



*Figura 3-12 - Vigas mestras treliçadas [23]*

No primeiro andar existem algumas diferenças ao nível dos revestimentos de piso e também da solução estrutural adotada. O revestimento do pavimento é feito com soalho de madeira e apoiado diretamente em vigas de madeira. Estas vigas de madeira apoiam também em vigas mestras, metálicas, na periferia.

Existem paredes de alvenaria de pedra com continuidade estrutural ao longo do edifício em altura, o que confere uma elevada rigidez ao mesmo. As paredes interiores são formadas por alvenaria de tijolo ou por paredes de betão armado com varões lisos e de reduzida espessura, cerca de 10 cm (Figura 3-13).



*Figura 3-13 - Paredes divisórias de betão armado [23]*

Adotando uma visão global, o edifício apresenta um bom comportamento ao nível das solicitações sísmicas. As lajes comportam-se como diafragma rígido no seu plano, existe uma elevada simetria e regularidade tanto em planta como em altura devido à disposição conventual do edifício e a continuidade dos elementos verticais resistentes também contribui para a boa resposta a esse tipo de ações.

Uma análise tridimensional, realizada no âmbito do projeto<sup>1</sup> da obra de reabilitação, permite concluir que o anfiteatro localizado no primeiro piso do bloco central induzia elevados esforços nas paredes desse mesmo bloco devido à configuração desse local, com elevados vãos devido à restrição de colocação de pilares. Apesar deste fato essa mesma análise permite concluir que a generalidade das paredes resistentes apresentava um nível de tensões aceitável e dessa forma cumpre os regulamentos atuais.

#### *3.4.1.2 Descrição do novo programa arquitetónico e da respetiva solução estrutural*

A escola Passos Manuel apresenta um elevado valor patrimonial, já que foi o primeiro Liceu em Portugal (tendo adotado este nome em 1908 em homenagem ao ministro que instituiu os liceus em Portugal), bem como uma grande qualidade ao nível do projeto e da execução da obra herdada da construção da era Pombalina. Por esse motivo a intervenção foi feita de forma a preservar tanto os materiais utilizados como as soluções construtivas.

A estrutura não apresentava elevado níveis de degradação a não ser alguma fendilhação que se fazia

---

<sup>1</sup> A2P Consultadoria Estudos e Projetos, Lda

notar nas paredes suportadas pelas vigas metálicas, que ocorreu devido à deformação das mesmas. O assentamento de algumas fundações foi contrariado através do recalçamento das mesmas recorrendo à utilização de microestacas.

A criação de novas infraestruturas ao nível das instalações técnicas do edifício levou a que fosse necessária a colocação de sistemas AVAC na laje de esteira, que necessitou de intervenção. Para manter o sistema construtivo, este reforço foi elaborado através da implementação de vigas metálicas HEB240 que vencem um vão de 9,40 m e que por sua vez recebem vigas de madeira, tal como se pode ver na Figura 3-14. O acabamento do pavimento é realizado através de placas de *Viroc*.



Figura 3-14 - Pormenor do reforço estrutural da laje de esteira para a implementação do sistema AVAC [23]

#### 3.4.1.3 Notas finais

A elevada qualidade de construção do edifício levou a que as intervenções que nele se efetuassem não fossem em grande número. A massa e a rigidez estavam bem distribuídas e o elevado pé-direito permitiu que fossem instalados alguns pisos técnicos, em mezanino. A laje de esteira viu a sua carga ser aumentada devido à colocação dos sistemas AVAC pelo que teve que ser reforçada estruturalmente através da colocação de perfis HEB240. Procurou-se que estas soluções, tanto de estrutura nova como de reforço, fossem leves e fossem executadas de acordo com os materiais e com as soluções estruturais adotadas no projeto original.

### 3.4.2 Escola Secundária Luís de Camões

#### 3.4.2.1 Introdução

A escola secundária Luís de Camões contempla um conjunto de edifícios como se pode ver na Figura 3-15: edifício principal da escola, laboratórios de Física e Química, antiga escola António Arroio, Auditório Camões e pavilhão gimnodesportivo. O liceu foi projetado no ano de 1907, tendo sido inaugurado, o edifício principal, em 1909. Estes edifícios são de épocas diferentes tendo sido reabilitados também em épocas diferentes, sendo que a intervenção mais antiga ocorreu em 1911, no edifício principal, e a mais recente em 2002, também no edifício principal. Estas remodelações

deveram-se primeiramente a reaproveitamento das caves do edifício, sendo posteriormente feito um reforço sísmico da estrutura.



*Figura 3-15 - Fotografia aérea da escola secundária Luís de Camões*

#### *3.4.2.2 Caracterização estrutural do edifício existente*

As paredes exteriores do edifício são materializadas através de alvenaria de pedra ordinária e fundadas através de pegões em profundidade que se prolongam até aos 10 m. As paredes interiores são feitas de alvenaria de tijolo com 15 cm, que se apoiam em perfis metálicos, ao nível do rés-do-chão, que são posteriormente encastrados nas paredes exteriores.

Os pavimentos são constituídos por vigamentos de madeira apoiados nas paredes exteriores ou em alinhamentos de perfis metálicos que servem de suporte aos mesmos. Existiram intervenções posteriores à data de construção do edifício, realizadas a partir da segunda metade do séc. XX que alteraram a solução adotada ao nível dos pavimentos, sendo a solução descrita atrás substituída por uma solução com vigotas pré-esforçadas e abobadilhas cerâmicas.

A cobertura do ginásio é uma estrutura de asnas treliçadas compostas por cantoneiras metálicas com ligações rebitadas. O pavimento deste bloco tem vigamentos de madeira e soalho e tem um apoio intermédio em pilares de betão armado, também fundados em pegões profundos.

#### *3.4.2.3 Descrição do novo programa arquitetónico e da respetiva solução estrutural*

O programa arquitetónico de remodelação do edifício principal previu várias alterações, algumas das quais com implicações a nível estrutural, nomeadamente ao nível da resposta a ações sísmicas. Este programa não chegou a ser concretizado por motivos orçamentais e de organização do programa da Parque-Escolar. Pretendia-se fazer a introdução de acessos verticais, elevadores e zonas técnicas nas



caves para a acomodação dos depósitos de incêndio. Outra das alterações que se ponderou foi a modificação interior dos espaços de forma a dar resposta a novas funcionalidades, nomeadamente a demolição e criação de novas paredes.

Depois de uma análise cuidada do edifício, por parte do projetista<sup>2</sup>, definiu-se o plano de intervenções estruturais, nomeadamente o reforço das estruturas de pavimentos, para que o comportamento de diafragma se verifique, e das paredes. Foi também referida a necessidade de aumento da capacidade resistente destes elementos.

De forma a resolver as anomalias anteriormente identificadas pretendiam-se implementar as mais diversas medidas, nomeadamente a melhoria das ligações entre elementos. As paredes interiores e exteriores seriam reforçadas com reboco armado de forma a melhorar o seu confinamento e também para garantir uma boa ligação entre estes elementos. Este reforço seria bastante importante já que as paredes interiores têm uma função crucial a nível estrutural, para o travamento das paredes exteriores.

Os pavimentos de madeira estavam em boas condições e dessa forma não seria necessário fazer alterações significativas. O único ponto em que esses pavimentos não cumpriam a regulamentação atual de estruturas de madeira (EC5) era no que toca à ligação entre os mesmos e as paredes, devido à entrega das vigas. De forma a resolver esta questão estas ligações seriam reforçadas através da introdução de chumbadouros e elementos metálicos.

O comportamento de diafragma que se pretendia implementar seria materializado através de cruces de Santo André em planta que fazem com que a distribuição das forças sísmicas seja satisfatória.

#### *3.4.2.4 Notas finais*

À semelhança dos liceus franceses o edifício do Liceu de Camões tem uma construção muito assente nas boas condições de higiene, luz e ventilação, tendo utilizado vários materiais de construção inovadores para a época, como o ferro e o tijolo.

As alterações estruturais foram preconizadas para que a estrutura respeitasse a regulamentação atual, nomeadamente no que diz respeito às ações sísmicas. Essas soluções foram concebidas para que se mantivessem os aspetos arquitetónicos anteriores, devido ao elevado valor patrimonial da edificação, apesar de não terem sido ainda implementadas.

---

<sup>2</sup> A2P Consultadoria Estudos e Projetos, Lda.

### 3.4.3 Escola Secundária Pedro Nunes

#### 3.4.3.1 Introdução

Os edifícios da Escola Secundária Pedro Nunes foram construídos em épocas diferentes: o edifício principal no início do séc. XX (1911), a cantina e o ginásio 50 anos mais tarde e os dois novos edifícios aquando da intervenção de 2009-2010.

#### 3.4.3.2 Descrição da construção existente

A estrutura do edifício desenvolve-se em torno de um 'U', sendo os topos desse 'U' ocupados com as alas norte e sul e sua base ocupada com a ala principal, tal como se representa na Figura 3-16:

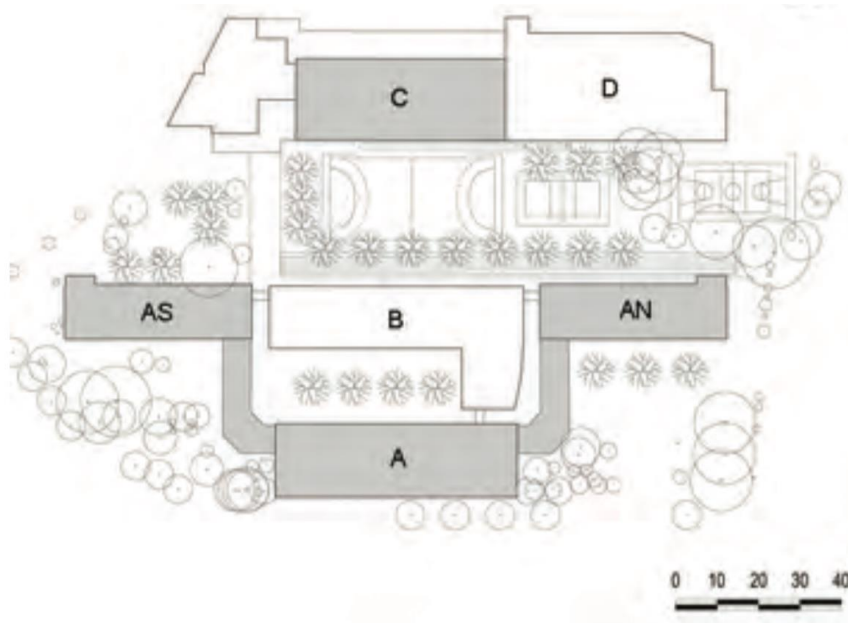


Figura 3-16 - Planta de implantação da escola Secundária Pedro Nunes [23]

#### 3.4.3.2.1 Sistema estrutural

O edifício do liceu Pedro Nunes apresenta paredes de alvenaria ordinária de pedra calcária nas fachadas, complementadas pontualmente com panos de tijolo. As paredes interiores são bastante díspares, apresentando diferentes constituições. Por norma as paredes dos pisos inferiores são mais espessas que as dos pisos superiores, apresentando também diferenças ao nível da sua constituição, sendo as dos pisos inferiores de pedra calcária, tais como as de fachada, e as paredes superiores de tijolo maciço.

As coberturas apresentam uma combinação de asnas e madres, tanto de madeira como de metal. Os apoios são feitos inteiramente nas paredes de fachada, não sendo feito qualquer apoio nas paredes interiores. Os pavimentos originais são feitos de vigamentos de madeira com cobertura de soalho tendo sido esporadicamente colocados vigamentos de metal ou mesmo substituição integral por lajes de

betão armado.

As fundações do edifício são materializadas por poços profundos com 4 m de profundidade unidos com arcos de alvenaria de forma a fazer uma melhor transmissão de cargas para o terreno.

### *3.4.3.3 Intervenção estrutural*

A ala principal foi alvo de particular atenção já que a sua resistência a ações horizontais não era satisfatória. Para essa fraca resistência contribuíam as grandes irregularidades na distribuição de paredes de alvenaria, o que afetava a distribuição de rigidez. Todas as paredes de periferia no ginásio são bastante compridas e altas, situação que, sem o travamento transversal adequado, punha em causa a resistência da estrutura ao nível da resistência a este tipo de ações.

O reforço sísmico preconizado<sup>3</sup> consistiu na implantação de estruturas metálicas de travamento das paredes do ginásio que permitiram que a resposta estrutural fosse melhorada para as ações horizontais. Para que o nível de tensões nas paredes de alvenaria diminuísse foram construídos pórticos de betão armado para encaminhar as cargas dessas paredes para as fundações.

A ala sul está a ser suportada por paredes resistentes que se desenvolviam longitudinalmente, sendo pontualmente contraventadas por paredes transversais, perpendiculares à fachada. Todas as paredes resistentes têm grandes vãos e prolongam-se desde as fundações até à cobertura, apresentando uma redução de espessura ao longo da altura.

A resposta das paredes resistentes a solicitações verticais é satisfatória, mas para ações horizontais nota-se uma concentração de tensões elevadas numa zona anteriormente intervencionada. Nesta intervenção foi substituído um troço de parede resistente por elementos metálicos, situação que levou a que a parede perdesse alguma resistência.

A fissuração observada na ligação entre a parede de fachada e as paredes interiores faz prever que exista algum assentamento das fundações da parede de fachada, fazendo com que a mesma “descolasse” do resto da construção. De forma a combater este problema reforçaram-se as fundações das paredes de fachada através da realização de microestacas.

Foi também fechada a abertura executada aquando da intervenção anterior, bem como melhorada a ligação entre as paredes resistentes que faziam parte da construção. Para que os pavimentos trabalhem como diafragmas rígidos no seu plano foi preconizada uma solução de aumento de rigidez dos elementos de pavimento.

Os edifícios de alvenaria necessitam de uma boa ligação entre os elementos de parede resistente ortogonais de forma a ter uma resposta satisfatória ao nível das ações horizontais e por esse fato

---

<sup>3</sup> Teixeira Trigo, Lda

realizou-se um reforço dessa ligação. Para que os pavimentos se apresentem como rígidos no seu plano foi melhorada a ligação entre pavimentos contíguos e entre estes e as paredes resistentes e ainda foi colocada mais uma camada de soalho.

O reforço das paredes resistentes fez-se tanto para elementos paralelos como para elementos perpendiculares sendo os elementos paralelos ligados através de tirantes e os elementos perpendiculares reforçados com recurso a peças metálicas.

A intervenção arquitetónica prevista obrigava à criação de um novo vão entre a ala principal e outro edifício. Para a elaboração deste vão foi necessário demolir parte da fundação da fachada, tendo sido feita uma nova fundação com recurso a microestacas. Os vigamentos de madeira em zonas húmidas tais como instalações sanitárias foram substituídos por lajes colaborantes de elementos metálicos.

A constante monitorização da execução da obra levou a que fossem adotadas mais medidas para além das que estavam previamente estipuladas em projeto, nomeadamente na cobertura onde se notava uma elevada deterioração dos elementos de madeira, tanto ao nível da sua constituição (atacada por caruncho) como também ao nível da deformação. Estes elementos foram substituídos por elementos lamelados colados que garantem uma melhor durabilidade e resistência.

#### *3.4.3.4 Notas finais*

A criação de um novo corpo, destacado dos demais, permitiu redefinir a organização da escola através da criação da nova entrada principal. Este novo corpo incorpora também a biblioteca e espaços de apoio aos alunos. Esta nova organização tem bastantes semelhanças com as adotadas anteriormente em que o elemento da entrada principal incorporava a biblioteca e alguns elementos de importância elevada como as salas de convívio dos alunos.

### *3.4.4 Escola Secundária D. Filipa de Lencastre*

#### *3.4.4.1 Introdução*

O edifício do Liceu de D. Filipa de Lencastre, projetado pelo Arq. Jorge Segurado em 1933 e construído entre 1933 e 1937, apresenta uma planta simétrica em relação ao plano longitudinal, com uma área de implantação de 160 m por 63 m de largura máxima.

Tal como os liceus da época, o liceu de D. Filipa de Lencastre apresenta uma divisão entre dois blocos principais: bloco de salas de aula, aproximadamente quadrado e com um pátio interior e um bloco de ginásio com uma planta retangular tal como se pode observar pela Figura 3-17. Na altura do projeto inicial o paradigma em vigor defendia a criação de alas e a independência dos espaços e embora neste edifício a forma conventual possa levar a presumir o contrário existe uma desconexão entre os espaços, embora a mesma não seja física.

Os dois blocos têm dois pisos, embora com tipologias diferentes. O bloco das salas de aula tem um

piso no rés-do-chão e um primeiro andar existindo um segundo piso em zonas parciais do edifício. O bloco de ginásio tem uma cave e um rés-do-chão com duplo pé-direito, tal como se pode observar pela Figura 3-18. A zona administrativa e as salas de professores estão, tal como nos projetos antigos, numa zona central junto à entrada do edifício.



Figura 3-17 - Imagem aérea do Liceu D. Filipa de Lencastre [12]

#### 3.4.4.2 Descrição geral da construção existente

##### 3.4.4.2.1 Sistema estrutural

Os elementos estruturais verticais são maioritariamente paredes de alvenaria ordinária de pedra e argamassa de cal com uma espessura bastante elevada: 0,70 m para as paredes exteriores e 0,60 m para as paredes interiores. As paredes de separação entre salas são feitas de tijolo furado com uma espessura de 0,30 m. Nas paredes de fachada, entre vãos utiliza-se tijolo maciço e existem também pilares de betão armado, ainda que muito pontualmente, ao longo da construção.

Nas fundações e nas caves utilizou-se argamassa de cimento, contrariamente às paredes dos pisos superiores, onde se verificou a utilização de argamassa de cal.

A estrutura dos pavimentos é feita de lajes e vigas de betão armado. As vigas da sala de aula vencem um vão de 6,5 m com uma secção de 0,40 m de altura. Para as vigas sobre o ginásio, para vencerem o vão de 17 m apresentam uma seção com 1,5 m de altura e 0,60 m de largura. O aço utilizado é A235 com varão liso. A utilização de uma solução de betão armado para vencer este tipo de vãos não é hoje aconselhada, sendo preferível uma solução metálica ou uma solução de betão pré-esforçado. Na altura da construção do edifício (1937) a solução de pré-esforço não estava desenvolvida e devido a esse fato adotaram-se várias vigas de betão armado muito próximas entre si de forma a reduzir a carga por viga.

As esbeltezas apresentadas na Tabela 3-1 referem-se à solução existente:

Tabela 3-1 - Esbeltezas dos diferentes locais da obra existente

| Local        | Vão (m) | Altura da viga (m) | Esbelteza |
|--------------|---------|--------------------|-----------|
| Sala de aula | 6,5     | 0,40               | 16,25     |
| Ginásio      | 17      | 1,55               | 11        |

As paredes estruturais estão fundadas em sapatas corridas com sobrelargura em relação a estas mesmas paredes.

O projeto original contempla também alguns elementos verticais de betão armado ao longo do edifício, bem como vigas também em betão armado.

O edifício é contemporâneo do regulamento de betão armado de 1935, onde as ações eram definidas sem fazer qualquer referência à ação sísmica. Desta forma foi preconizada um reforço estrutural<sup>4</sup> ao nível sísmico.

Através da comparação entre o projeto original e o edificado foi possível perceber que existiam algumas alterações ao primeiro com algum significado ao nível estrutural. Existiu a necessidade de construir mais um piso, num local de terraço bem como proceder ao fecho de uma cobertura em terraço que permitiu a criação de outro piso no módulo das salas de aula.

Não é possível definir ao certo o que levou a que fossem necessárias estas alterações, mas é expectável que a necessidade de acomodar um maior número de alunos tenha levado a que tais medidas fossem colocadas em prática.

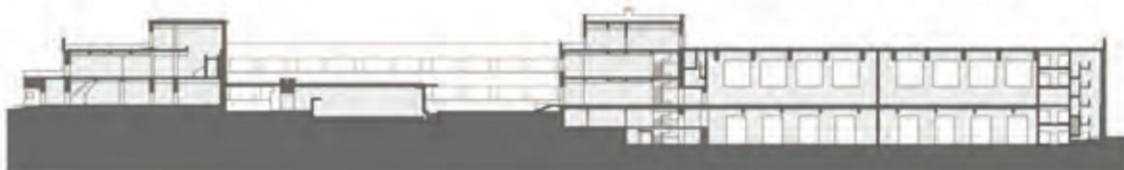


Figura 3-18 - Corte Longitudinal da Escola D. Filipa de Lencastre [23]

---

<sup>4</sup> Teixeira Trigo, Lda

As inspeções feitas pelos técnicos da Parque-Escolar não detetaram, atendendo à idade do edifício, grandes problemas de conservação no mesmo. Notavam-se algumas fissuras nas paredes e nos pavimentos e existiam problemas de entrada de água na cobertura, que provocavam alguma corrosão nas armaduras.

#### *3.4.4.3 Intervenção arquitetónica*

A ocupação do lote em que este edifício estava inserido era total e por essa razão optou-se por introduzir os espaços exigidos pelo programa em cave a executar sobre o construído. Procedeu-se também à reorganização de alguns espaços de forma a ir de encontro ao programa estipulado.

##### a) Átrio de entrada e zona de serviço

A ampliação desta zona levou a que fossem demolidas várias paredes de alvenaria resistentes, tendo estas sido substituídas por pilares de betão armado.

##### b) Caves

No local entre o ginásio e as salas de aula foi feito um novo piso em cave que se destinava ao novo refeitório e cozinha.

Durante a obra decidiu-se que as fundações das paredes resistentes não seriam demolidas e optou-se pela manutenção das vigas e lajes dos pisos superiores.

De forma a permitir que existisse alguma luz natural foram executadas aberturas de elevadas dimensões nas paredes estruturais que causaram alguns problemas ao nível do encaminhamento das elevadas cargas a que estas mesmas paredes estavam sujeitas.

##### c) Ginásio

Os novos ginásios da escola foram construídos sob os antigos, local previamente ocupado por espaços com reduzido pé-direito, com muitas zonas de aterro e muitas vezes inacessíveis, como é perceptível através da fotografia da Figura 3-19.



*Figura 3-19 - Estrutura de apoio dos ginásios existentes [23]*

O pavimento do antigo ginásio era suportado por vigas que descarregavam em dois alinhamentos de pilares centrais (Figura 3-19) e nas paredes de alvenaria existentes na periferia.

Para que fosse possível construir o novo ginásio (Figura 3-20) foi necessário proceder à demolição dos alinhamentos de pilares construídos anteriormente. De forma a vencer o vão necessário foi preconizada uma solução com vigas pré-esforçadas que descarregavam diretamente nas paredes exteriores. Estas paredes foram reforçadas através da construção de lâminas de betão na zona de encontro com as vigas pré-esforçadas. Devido ao aumento de carga a que estas paredes ficaram sujeitas foi necessário reforçar as suas fundações, tendo sido executadas microestacas.



*Figura 3-20 - Novo ginásio [23]*

#### d) Balneários

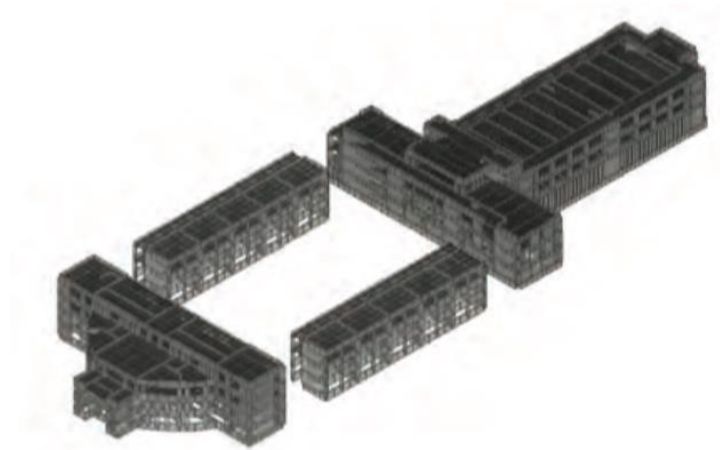
Nos balneários optou-se por manter as paredes de alvenaria estrutural, mas demoliram-se as lajes existentes de forma a poder adicionar dois pisos com lajes de betão armado.



#### 3.4.4.4 *Intervenção estrutural*

O reforço sísmico do edifício foi efetuado através de várias medidas que tinham como objetivo dar à estrutura capacidade resistente para este tipo de ações.

Foram introduzidas juntas estruturais (Figura 3-21) que permitiram uma compartimentação do edifício em quatro blocos com um comportamento mais simples e mais previsível. Este objetivo alcançado permite que o encaminhamento de cargas seja feito de forma mais clara, curta e direta [3].



*Figura 3-21 – Esquema de juntas estruturais do Liceu D. Filipa de Lencastre [23]*

As coberturas foram alvo de algumas remodelações, embora não tenha sido possível aumentar a sua carga já que a sua reserva de resistência era diminuta.

Os panos de alvenaria foram reforçados para que não se registasse um aumento do grau de fissuração do edifício.

Para diminuir os efeitos da ação sísmica nas paredes de alvenaria existentes foram construídas duas paredes, ortogonalmente a estas, em betão armado. Estas duas paredes ficaram responsáveis pela absorção de uma parte bastante significativa da ação sísmica. As paredes de alvenaria foram também reforçadas com reboco armado, principalmente nas zonas mais esforçadas.

#### 3.4.4.5 *Notas finais*

Em resumo, a reorganização interna a que a escola foi sujeita permitiu concentrar os espaços administrativos e de gestão junto à entrada principal, bem como as áreas sociais junto à zona desportiva.

O aumento de espaço desportivo foi feito à custa do rebaixamento da cave do bloco de ginásio, tendo o pátio sido recuperado também para a prática desportiva.

A modernização do edifício do Agrupamento de D. Filipa de Lencastre não contemplava uma

intervenção sísmica, no seu projeto inicial, mas o acompanhamento em obra, por parte de uma equipa de consultoria decidiu proceder a essa intervenção o que permitiu que o edifício respeitasse na íntegra os regulamentos sísmicos atuais.

A modernização do edifício do Agrupamento de D. Filipa de Lencastre não contemplava uma intervenção sísmica

### 3.5 Capacidade de adaptação estrutural nas estruturas escolares

A evolução da construção e do projeto de edifícios escolares em Portugal acompanhou a evolução dos materiais e das técnicas construtivas. Em termos de conceção tanto estrutural como arquitetónica os edifícios foram-se moldando às necessidades da época, sem ter em conta possíveis avanços futuros, sempre muito difíceis de estimar.

O programa da Parque-Escolar de reabilitação do edificado escolar teve uma forte componente de reforço sísmico, já que existiam muitos edifícios escolares que necessitavam desse reforço de forma a cumprir as normais mais recentes, no que se refere a ações sísmicas. Aliada a esta intervenção de melhoramento sísmico realizaram-se também melhoramentos, tais como alterações de funcionalidade e de utilização que tiveram que ser devidamente acompanhados de projetos estruturais.

O regulamento da ação sísmica atual, EC8, atribui aos edifícios escolares um coeficiente de importância superior ao dos edifícios correntes, tal como se pode observar pelos valores da Tabela 2-1.

Conclui-se que a modularização deve estar sempre presente, por exemplo, através da utilização de um padrão da estrutura tanto ao nível dos gabinetes dos professores (salas de professores) como das salas de aula. Este tipo de concessão torna a estrutura mais adaptável já que a sua implementação possibilita que existam permutas de funcionalidades de espaços sem recorrer a obras que tornem essa alteração inviável. No caso de estudo apresentado em 3.4.2, da escola Luis de Camões, foi necessário proceder à “ (...) eliminação de paredes interiores e/ou criação de novas paredes em zonas distintas (...)”[23].

As divisões entre gabinetes não devem ser feitas com elementos resistentes (paredes ou pilares), de forma a tornar mais fácil a sua possível demolição e as cargas utilizadas para dimensionar estas áreas devem ser as mais condicionantes. De acordo com o regulamento europeu existem dois tipos de sobrecargas a utilizar no dimensionamento destes dois tipos de estrutura: categoria  $C_1$  para as escolas no geral e categoria  $C_2$  para as salas de aula. Como se pode observar na Tabela 3-2 existe uma diferença nestes valores, embora subtil, devendo ser utilizado para o dimensionamento o valor condicionante (categoria  $C_2$ ).

Tabela 3-2 - Sobrecargas de utilização [9]

| <b>Categoria</b>                  | <b>Sobrecarga distribuída [kN/m<sup>2</sup>]</b> |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------|
| C <sub>1</sub> – escolas em geral | 3,0                                              |
| C <sub>2</sub> – salas de aula    | 4,0                                              |

Este tipo de abordagem torna possível que uma sala de aula seja divisível em gabinetes bem como um conjunto de gabinetes seja associável para que se torne uma sala de aula, consoante as necessidades.

Em termos de modulação estrutural não existe um vão específico requerido pela Parque-Escolar, podendo ser feita uma análise com base no projeto descrito em 3.2.4, Projeto 3x3, onde se utilizam vãos de 7,20 m. Este tipo de modulação permite que sejam definidos os diferentes espaços, desde salas de aula até aos gabinetes administrativos e bibliotecas, através de uma modularização que deve ser procurada neste tipo de estruturas.

Com o objetivo de existir uma maior relação entre a escola e a família, hoje em dia são criadas diversas atividades lúdicas que se desenvolvem nas escolas. Estas atividades necessitam de um espaço amplo para se realizarem e muitas vezes não existe essa possibilidade. É possível detetar este tipo de pensamento ao nível da conceção arquitetónica dos liceus entre 1940 e 1968. Nas diretivas fornecidas na época nota-se uma preocupação em tornar o ginásio num local onde é possível realizar espetáculos. Um pensamento envolvente como o atrás apresentado obriga a que seja definido um espaço com as devidas condições para acomodar eventos deste género.

As soluções de paredes resistentes devem ser sempre muito bem ponderadas, já que uma possível alteração de valência de qualquer espaço pode levar à necessidade de demolição dessas paredes, nunca conveniente em termos estruturais. Pode-se notar este fato no caso de estudo da escola Filipa de Lencastre onde foram demolidas várias paredes resistentes, substituindo-as por pilares de betão armado (átrio e zonas de serviço).

A quantidade de elementos resistentes e a sua distribuição pode ter uma grande influência ao nível do grau de adaptabilidade de um edifício. A existência de um elevado número de elementos verticais resistentes leva a que sejam concebidos espaços menos amplos e logo com uma menor capacidade de adaptação. Devem, nesse sentido, ser pensadas estruturas em que exista um equilíbrio entre o número de elementos verticais resistentes, sempre com alguma redundância de forma a existir uma reserva de resistência na estrutura, e espaços amplos.

A colocação de elementos verticais resistentes de parede deve ser pensada, sempre que possível, em acessos verticais, já que a sua existência noutros locais torna os espaços menos amplos, logo menos adaptáveis a alterações funcionais. A periferia de um edifício, nomeadamente as paredes de empena, são normalmente locais de eleição para a colocação de paredes resistentes, já que o seu afastamento do centro de massa do edifício otimiza a resistência a efeitos de torção. Porém esta colocação pode

ter implicações ao nível da adaptabilidade já que existem exigências, por exemplo ao nível de iluminação artificial, que não são cumpridas se este tipo de espaços, por exemplo salas de aula, forem implementados junto destas paredes.

O dimensionamento de lajes de esteira/coberturas também é um ponto bastante importante no que toca à adaptabilidade estrutural já que estes espaços são diversas vezes utilizados para a colocação de elementos pesados para as instalações especiais. No caso da Escola Secundária Passos Manuel foi necessário colocar as máquinas do sistema AVAC na cobertura que teve que ser intervencionada e reforçada de forma a poder acomodar este excesso de peso. O Eurocódigo apresenta três tipos de categorias de forma a proceder ao dimensionamento de coberturas (Tabela 3-3):

*Tabela 3-3 - Sobrecargas de utilização em coberturas [9]*

| <b>Categorias</b>                         | <b>Sobrecarga distribuída [kN/m<sup>2</sup>]</b> |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| H – não acessível, apenas para manutenção | 0,4                                              |
| I – acessível                             | 5                                                |
| K – utilizações especiais                 | 6                                                |

Desta forma poderá ser prudente dimensionar as coberturas para valores de sobrecargas próximas das que se verificam no interior do edifício, para que se for necessário possa acomodar algum tipo de instalação.

As paredes de alvenaria são elementos que muitas vezes não são tidas em conta ao nível do dimensionamento / análise, mas que alteram consideravelmente a distribuição de rigidez da estrutura. A influência da sua localização, deve ser estudada de forma a tonar a estrutura mais adaptável a alterações futuras.

---

<sup>5</sup> Valor a definir de acordo com as utilizações definidas nas restantes categorias de sobrecargas para edifícios

<sup>6</sup> Valor a definir de acordo com a utilização a que se destina

## 4 ESTRUTURAS DE ÁREAS COMERCIAIS

### 4.1 Introdução

A construção de estruturas para áreas comerciais há muito que se desenvolve em Portugal com sucesso. Estas estruturas normalmente requerem por parte da arquitetura e da engenharia um grande envolvimento já que os seus elevados vãos e necessidade de espaços amplos fazem com que sejam sempre estruturas bastante imponentes.

A modularização do espaço é importante para quem explora este tipo de espaços já que permite definir, em termos de área, qual a renda a cobrar a cada comerciante. Paralelamente a este, existem ainda outros espaços, mais amplos, que se destinam normalmente a espaços comuns de circulação ou a supermercado.

Todos estes fatores levam a que este tipo de estrutura caia muitas vezes em soluções pré-fabricadas e normalmente metálicas devido à elevada rapidez de execução e aos grandes vãos que têm que vencer.

### 4.2 Casos de estudo

#### 4.2.1 *Cadeia multinacional na área do retalho*

O manual de projeto de uma cadeia multinacional na área do retalho [17] fornece todas as indicações por parte do dono-de-obra de como se deve projetar e construir a obra. Com base neste manual de projeto foi possível estudar algumas diretivas de projeto de forma a perceber o conceito por detrás de uma estrutura comercial.

##### 4.2.1.1 *Introdução*

As lojas da cadeia em análise são projetadas para um tempo de vida útil entre 20 e 30 anos. Este tempo de vida útil é bastante mais curto que o tempo de vida útil de um empreendimento dito normal, mas esse fato deve-se a uma postura por parte dos responsáveis da loja que defendem que o seu conceito de vendas está constantemente em modificação e dessa forma devem ser concebidas estruturas adaptáveis e flexíveis para responderem a todas as mudanças verificadas.

##### 4.2.1.2 *Estruturas Pré-fabricadas*

As estruturas da loja da cadeia multinacional na área do retalho são preferencialmente estruturas pré-fabricadas já que os responsáveis pelos cadernos de encargo assumem que essa solução é aquela que apresenta a melhor relação custo/tempo de construção.

As lojas estão todas tipificadas e devem ser construídas segundo regras bastante específicas e rigorosas fornecidas pelo dono de obra. As lojas devem ter uma modulação de elementos verticais de 8 x 16 m<sup>2</sup> para lajes de betão armado e 16 x 24 m<sup>2</sup> para lajes mistas [17]. Estas lajes devem ser dimensionadas para a situação de carga mais desfavorável e não podem apresentar, em condições de serviço valores de deformação superiores a L/400 [16].

As instalações técnicas são um problema bastante presente em todos os projetos de edifícios e quando se trata de áreas comerciais esse problema torna-se ainda maior já que este tipo de estruturas requiere uma grande densidade de instalações.

As alturas entre pisos e o espaço destinado a instalações estão bastante bem definidas nas diretivas de projeto das lojas da cadeia em análise como se reproduz na Tabela 4-1.

*Tabela 4-1 – Alturas indicativas para as lojas [16]*

|                                        | <b>Local de comércio</b>                         | <b>Local de exposições</b> | <b>Local de recolha de compras</b> |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Pé-direito                             | 3,00 m                                           | 3,00 m                     | 8,00 m                             |
| Entre pavimento e instalações técnicas | 0,35 m                                           | 0,35 m                     | -                                  |
| Instalações e laje                     | A definir                                        | -                          | -                                  |
| Cobertura e instalações                | -                                                | A definir                  | A definir                          |
| TOTAL                                  | 5,10 m                                           | 5,40 m                     | 10,50 m                            |
| Garagem                                | Altura mínima até às vigas primárias é de 2,50 m |                            |                                    |

Os valores apresentados na Tabela 4-1 revelam um cuidado por parte do dono-de-obra de garantir elevados valores de pé-direito de forma a tornar a estrutura mais ampla e aberta. Este fato permite também que a sua adaptabilidade aumente, uma vez que existe mais liberdade para proceder a instalação de mezaninos ou mesmo pisos técnicos.

#### *4.2.1.3 Especificações e exigências de projeto*

As diretivas de projeto fornecidas pelo dono-de-obra definem as cargas que devem ser contabilizadas no dimensionamento dos diferentes espaços da loja. As cargas para a zona de exposições são de 4 kN/m<sup>2</sup> e em zonas de comércio estas cargas chegam aos 5 kN/m<sup>2</sup>. As maiores cargas definidas pelo dono de obra estão na zona de recolha de compras e no armazenamento. Estas zonas têm uma

elevada altura e apresentam elevadas cargas devido à presença de estantes que suportam todo o material armazenado nas lojas. São assim definidas cargas de 15 kN/m<sup>2</sup> para estas zonas. Estes valores advêm de cálculos efetuados pelo dono-de-obra e tem em conta todos os equipamentos utilizados no manuseamento dos seus produtos. Em comparação com os códigos estruturais os valores fornecidos são algo diferentes, tal com se esquematiza na Tabela 4-2:

Tabela 4-2 - sobrecargas de utilização [9]

| <b>Categoria</b>         | <b>Sobrecarga distribuída [kN/m<sup>2</sup>]</b> |
|--------------------------|--------------------------------------------------|
| C3 – salas de exposição  | 5,0                                              |
| C1 – cafés, restaurantes | 3,0                                              |
| D2 – grandes armazéns    | 5,0                                              |

Comparando ambos os valores nota-se que no caso das exposições as sobrecargas a considerar são menores, mas por outro lado existe uma grande penalização das cargas a contabilizar nos locais de armazenamento de cargas. Esta situação deve-se ao fato de os donos-de-obra terem um estudo bastante profundo acerca das solicitações a que a estrutura estará sujeita e dessa forma conseguirem definir um valor mais próximo da realidade. Os códigos estruturais, nomeadamente o Eurocódigo 1 [9], já têm em conta a possibilidade do Dono de Obra estabelecer um valor caso assim o entenda, sendo assim possível utilizar em projeto valores de sobrecarga diferentes daqueles que se apresentam nos ditos códigos.

É feita ainda uma referência aos efeitos da alternância de cargas na zona de armazenamento, já que uma situação em que a estante está totalmente carregada e uma outra oposta em que a estante está descarregada leva a diferenças de comportamento na estrutura de suporte, nomeadamente na laje de betão armado.

A abertura de fendas é também um tema abordado pelo dono-de-obra nas suas diretivas. As lojas da cadeia multinacional da área do retalho querem ter um elevado valor para o cliente e dessa forma a abertura de fendas é limitada a 0,2 mm [18] de espessura para as combinações definidas no Eurocódigo 1. A limitação de abertura de fendas é um parâmetro que é usualmente definido pelo dono-de-obra em todos os projetos, mas normalmente ronda os 0,3 mm, sendo neste caso imposto um valor ligeiramente mais exigente.

Outro dos temas estudados e definidos pelas diretivas de projeto do dono-de-obra é a utilização de juntas de dilatação. É assumido pelos responsáveis da loja que a temperatura dentro das lojas é sempre controlada e monitorizada e dessa forma mantida constante entre os 15°C e os 25°C. Este fato aliado à presença de estruturas pré-fabricadas com ligações entre elementos faz com que segundo essas diretivas não seja necessário implementar juntas de dilatação.

Também as juntas de construção devem ser evitadas ao máximo. As diretivas de projeto dizem que devem ser feitas as maiores áreas possíveis por betonagem de forma a evitar a criação destas juntas e também que, no caso de ser estritamente necessária a existência das mesmas, devem ser colocadas em locais, dentro do possível, escondidos do público.

No que toca ao relatório geotécnico o dono-de-obra exige que seja feita uma investigação cuidada do solo onde será implementada a estrutura. Este processo deverá ser feito por empresas especializadas e as sondagens a efetuar não devem ser baseadas em estudos de arquivo, mas sim em novas sondagens. Segundo indicações por parte do dono-de-obra exista uma elevada probabilidade de os relatórios antigos já estarem desatualizados ou serem inconclusivos aquando da construção da nova estrutura, devendo assim ser feitos novos ensaios. Estes ensaios, de forma a serem representativos, não devem distar mais do que 50 m entre eles.

O estacionamento das lojas em análise é sempre calculado com a possibilidade de subir em altura. Este fato leva a estruturas sobredimensionadas, mas que no futuro já estão prontas para receber mais pisos em altura. É requerida, por parte do dono-de-obra, uma padronização dos elementos verticais sendo que esta padronização leva a que sejam utilizados muitas vezes pilares com uma seção maior que a necessária e dessa forma sobredimensionados. A utilização do mesmo tipo de pilar consegue que exista uma maior racionalização de utilização de cofragens e seja possível atingir uma maior rapidez construtiva, sendo a maior utilização de material compensada pela velocidade de execução.

Em termos de proteção ao fogo os responsáveis das lojas não estabelecem nenhum valor para a estrutura, ficando o projeto sujeito às condições do local onde a estrutura será implementada, no caso de Portugal o RSA e os Eurocódigos.

### 4.3 Capacidade de adaptação estrutural em estruturas de áreas comerciais

A necessidade de ter elevados vãos e áreas sem elementos verticais neste tipo de estruturas faz com que estas sejam estruturas bastante dispendiosas. O elevado investimento envolvido neste tipo de estruturas faz com que a sua adaptabilidade a alterações futuras seja uma característica muito importante.

A adaptabilidade de uma estrutura comercial prende-se com as alterações que este tipo de estruturas está normalmente sujeito: alterações de compartimentação de espaços e alterações funcionais desses mesmos espaços.

No caso de estudo apresentado notam-se vários casos de adaptabilidade estrutural. A modularização procurada com malhas regulares de 8 x 16 m<sup>2</sup> para lajes de betão armado e 16 x 24 m<sup>2</sup> para lajes mistas, é um desses casos já que o fato da estrutura possuir estes vãos a torna mais ampla e dessa forma com uma maior capacidade de adaptação a alterações futuras.



O reforço e a padronização dos pilares do estacionamento é outro dos casos em que está presente uma concessão com vista à adaptabilidade estrutural. A possível futura subida em altura do estacionamento prevê que tal seja necessário no tempo de vida útil da estrutura, já de si bastante mais curto do que o normal (20-30 anos).

O fato dos responsáveis das lojas em análise exigirem que a estrutura seja dimensionada para um período de vida útil de 20-30 anos representa uma nova abordagem por parte do dono-de-obra já que este tipo de estruturas é normalmente concebido para um período de vida útil de 100 anos. Este fato advém do fato dos responsáveis desses estabelecimentos acreditarem que o seu conceito de vendas se pode alterar num prazo de 20-30 anos e dessa forma optarem por projetar uma estrutura com esse período de vida útil. Também aleado a este facto, os responsáveis da cadeia multinacional na área do retalho estabelecem como muito preferencial o uso de estruturas pré-fabricadas. Esta opção ao nível da conceção faz com que as lojas deste grupo apresentem uma elevada padronização, não ficando sujeitas a condições locais de construção.

## 5 PASSAGENS SUPERIORES DE AUTOESTRADA (PS)

### 5.1 Introdução

O atravessamento de uma autoestrada é uma necessidade que aparece com elevada frequência, como se pode depreender através da análise da Figura 5-1, visto ser necessário garantir a comunicação interrompida pela construção da nova via principal, com uma distância relativa entre as mesmas não muito elevada. Existem maioritariamente duas formas de garantir essa comunicação: passagens superiores e passagens inferiores. As passagens superiores são as mais comuns e consistem na criação de uma obra-de-arte que transpõe superiormente a via principal e garante assim a ligação entre os dois lados da mesma. A passagem inferior é diferente, sendo a via principal que cruza superiormente a via a restabelecer.

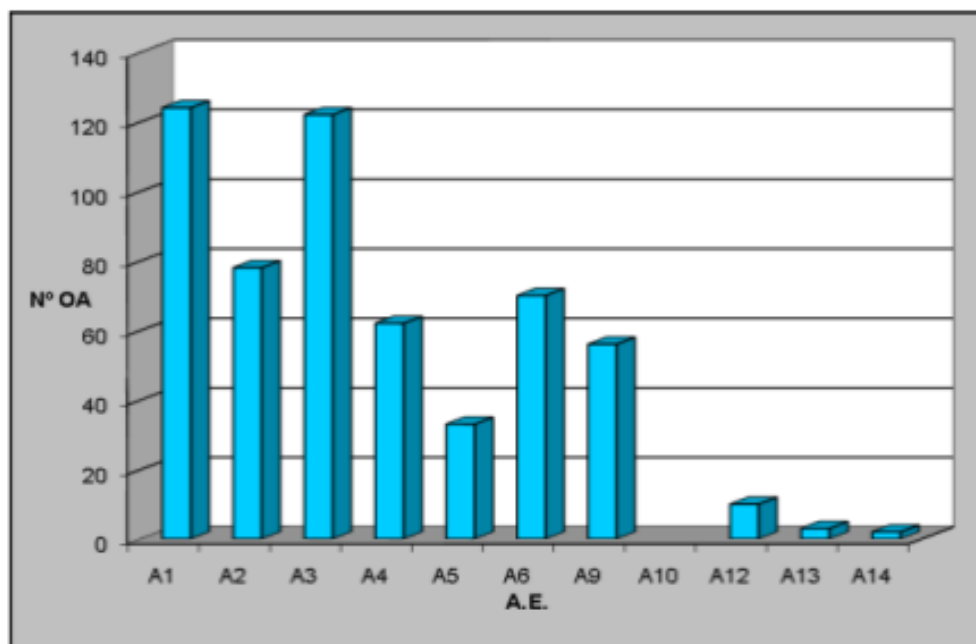


Figura 5-1 - Número de obras-de-arte correntes (PS's e PI's) em autoestradas da concessionária Brisa [5]

No projeto de uma autoestrada existem vários casos de atravessamentos, sendo resolvidos através de uma das soluções atrás apresentadas. Ambas as soluções representam um custo significativo para a realização da autoestrada e dessa forma devem ser pensadas, concebidas e projetadas com ponderação de forma a dar resposta a todas as solicitações a que estarão sujeitas no seu tempo de vida útil.

O perfil transversal tipo de uma determinada autoestrada, como se ilustra na Figura 5-2, permite que sejam tomadas várias soluções estruturais para a obra-de-arte que se pretende construir para permitir o atravessamento da via principal. Estas soluções usualmente recaem sempre sobre duas hipóteses: pilar no separador central ou pilares laterais.

A primeira hipótese, com um pilar no separador central, implica que sejam tomados vãos na ordem dos 20 m, sendo o tabuleiro apoiado apenas no pilar central e nos encontros laterais. Esta solução permite que exista uma redução no número de pilares, embora implique que existam vãos maiores. A condicionante principal deste tipo de solução é a existência de espaço para a colocação do pilar central no separador central. As normas de traçado [19] exigem em geral distâncias livres entre o limite exterior da berma e a face do pilar de 2 m, valor que por vezes pode inviabilizar a solução com pilar central.

A segunda hipótese é a solução de pilares laterais. Esta solução cria um sistema longitudinal com 3 vãos, um central que ronda os 30 m e dois laterais, mais curtos (cerca de 40% a 60% do vão central), ligam os pilares laterais aos encontros da obra-de-arte.

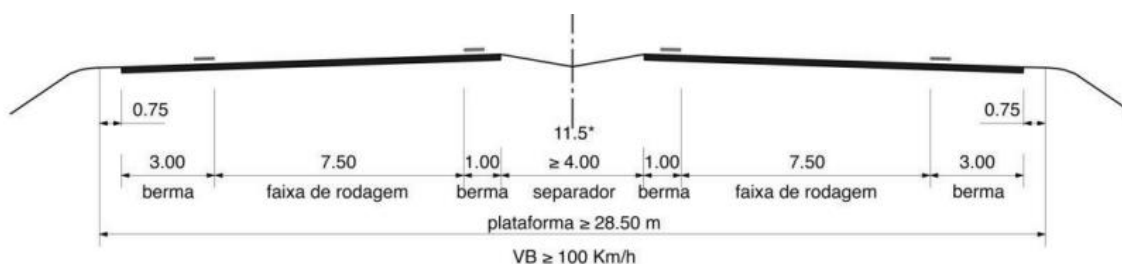


Figura 5-2 - Perfil Transversal Tipo de Autoestrada [19]

A solução com dois pilares laterais é utilizada quando não existe a possibilidade de colocação de pilar no separador central ou quando o vão da obra-de-arte é muito elevado para ser vencido apenas com dois vãos.

Existe uma parcela bastante relevante de orçamento da entidade gestora, neste caso a BRISA, que está direcionada para operações de reabilitação de obras ligadas a autoestradas, como se pode observar na

Figura 5-3. O valor das intervenções de reabilitação realizadas em obras-de-arte entre os anos de 1998 e 2009 foi de cerca de 17.000.000€.[5]

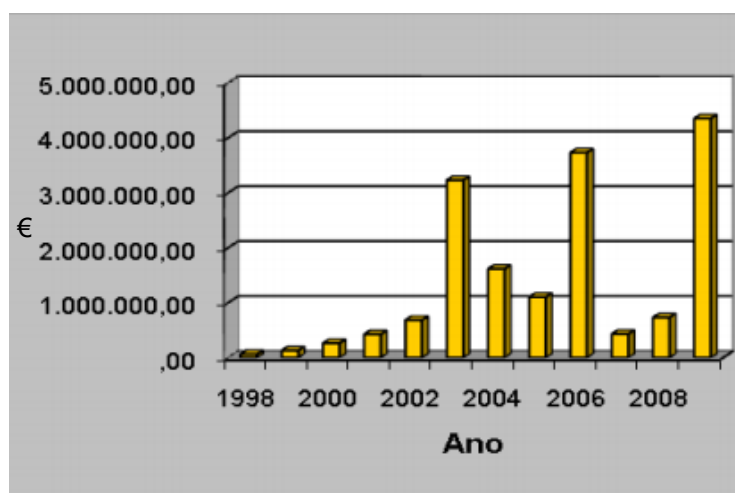


Figura 5-3 - Investimento em reabilitação de obras-de-arte nas autoestradas da Brisa [5]

## 5.2 Casos de Estudo

### 5.2.1 A1 – Autoestrada do Norte sublanço Feira/Carvalhos – Alargamento e Beneficiação para 2x3 vias – Passagem Superior

#### 5.2.1.1 Introdução

A passagem superior PS411 é uma PS que permite que a linha férrea do Vouga transponha a autoestrada do Norte e foi projetada pelo Eng. Pinho Morgado no ano de 1978. Esta autoestrada desenvolve-se, neste troço em 2x2 vias e pretende-se proceder a um alargamento que permita no futuro que a AE tenha 2x4 vias. A Figura 5-4 apresenta uma planta da solução intermédia que foi efetivamente feita em obra, com o alargamento a ser feito de 2x2 vias para 2x3 vias, com o espaço necessário para ser feito o futuro alargamento para 2x4 vias. Esta solução de reabilitação da PS foi projetada pelo gabinete PC&A – Perry da Câmara e Associados.

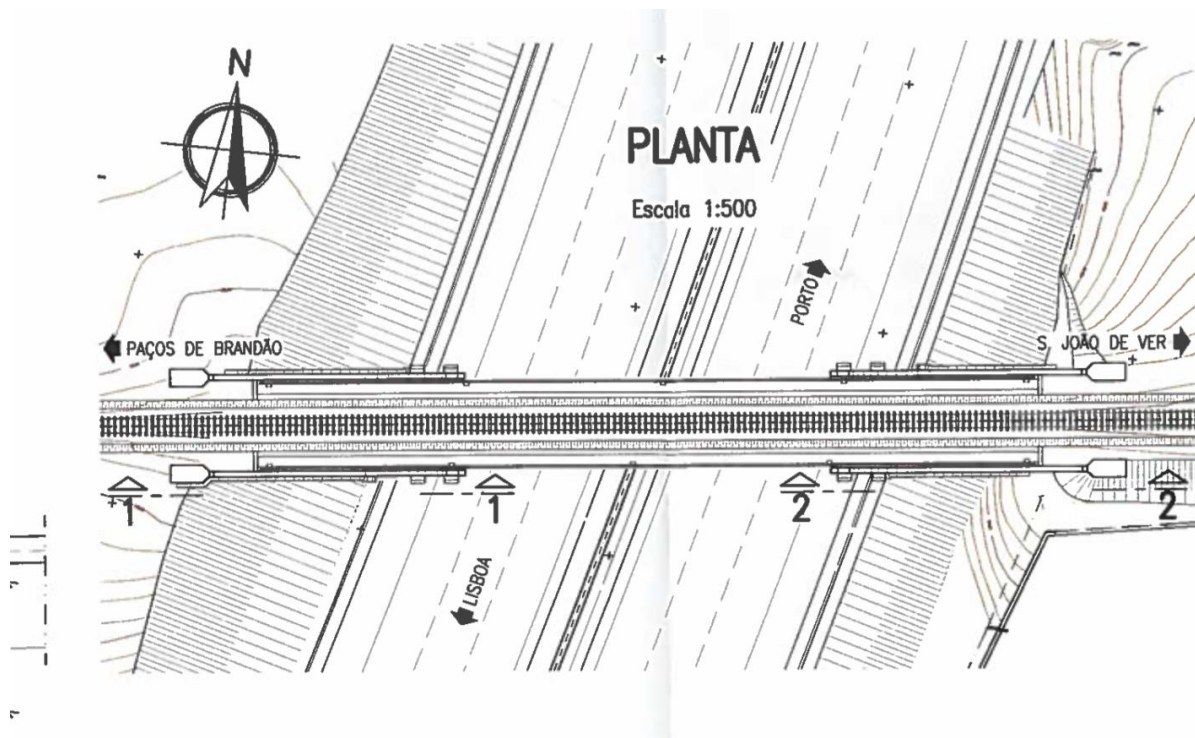


Figura 5-4 - Planta da solução final 2x3 vias [6]

O alargamento da via principal revelou a necessidade de proceder ao aumento do vão da obra-de-arte, apresentando ainda uma condicionante importante: a linha ferroviária que a obra-de-arte serve devia-se manter em funcionamento durante a realização da obra. Esta condicionante levou a que fosse pensada uma solução em que se aproveitasse integralmente o tabuleiro existente, não existindo assim qualquer alteração ao funcionamento da linha férrea.

### 5.2.1.2 Características da Obra de Arte existente

A PS411 apresentava uma modulação de 3 vãos, 13,7+34,26+13,7 m e uma seção transversal de nervura única e constante com uma largura de 7,20 m e uma altura de 1,50 m.

O tabuleiro encontrava-se apoiado em pilares redondos de diâmetro 0,90 m e em encontros em cofre. Em termos de apoios o tabuleiro estava fixo num encontro através de ferrolhos e estava apoiado nos restantes elementos através de aparelhos de apoio de *neoprene* que permitiam o deslocamento longitudinal do tabuleiro. As fundações de todos os elementos eram do tipo direto, materializadas através de sapatas já que o solo apresentava uma boa resistência à superfície.

A análise da Figura 5-5 permite perceber quais as alterações em termos de pilares que foram executadas. A tracejado aparece o pilar existente e a cheio aparece a nova posição do pilar. Uma referência deve ser feita ao tipo de fundação utilizado.

A fundação dos pilares construídos anteriormente era feita através de sapatas e, devido à proximidade entre estes e os novos pilares, a fundação dos novos pilares é materializada através de microestacas. A dificuldade de entivação e escavação leva a que uma solução deste género tenha sido pensada, sendo preferível executar microestacas do que proceder à escavação perto das fundações dos pilares construídos anteriormente.

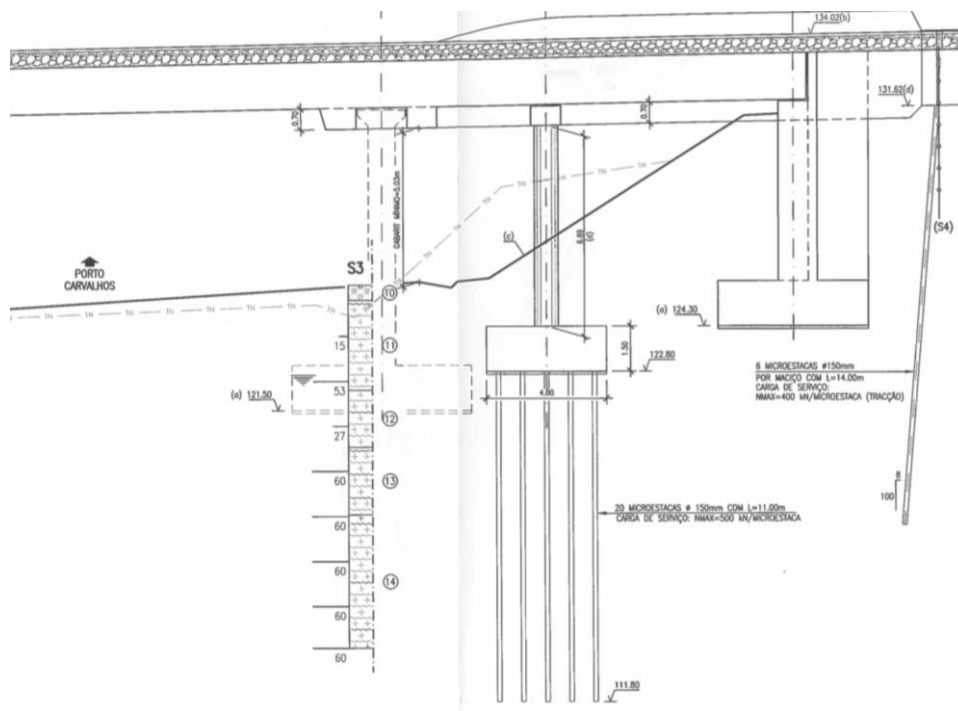


Figura 5-5 - Pormenor da solução existente e da solução proposta [6]

O betão estrutural utilizado está especificado no projeto original ainda de acordo com o REBA e foi equiparado a um betão C35/45.

### 5.2.1.3 Solução estrutural adotada para o alargamento

Esta obra é bastante peculiar devido ao fato de não ser possível proceder ao encerramento da linha férrea nem da AE. A proposta aqui descrita data do ano de 2005.

O perfil transversal da AE apresenta 2x2 vias e numa primeira fase foi feito o alargamento para 2x3 vias de 3,75 m embora a PS em estudo esteja já preparada para um futuro alargamento para 2x4 vias de 3,5 m. O gabarito da PS é superior a 5,0 m e dessa forma, devido à condicionante construtiva de continuidade de funcionamento da AE, este gabarito teve de ser garantido durante a construção da obra.

A solução adotada prevê a demolição dos pilares existentes e a construção de uma nova estrutura para apoio do tabuleiro. Esta nova estrutura é composta por uma carlinga de apoio na zona central do tabuleiro e por carlingas, com 3,70 m de largura e 2,0 m de altura, que estão monoliticamente ligadas ao tabuleiro. As carlingas fazem a passagem de carga para duas vigas de betão armado pré-esforçado que estão construídas nas extremidades das consolas do tabuleiro. As vigas têm um vão de 7,35 m em consola onde apoia a carlinga central e um vão de 14,0 m entre os novos pilares e os maciços de ancoragem. Estes maciços de ancoragem são executados no tardo dos encontros, sendo materializados através de microestacas/ancoragens definitivas no solo.

Esta solução permite que o vão a vencer pela PS aumente e seja possível fazer o alargamento da AE. O vão antes da remodelação era de 31,20 m entre faces dos pilares e passou a ser de 39 m, passível de execução de 2x4 vias. Esta alteração do valor do vão da PS está representada na Figura 5-6, sendo o local dos novos pilares representado por P1 e P2.

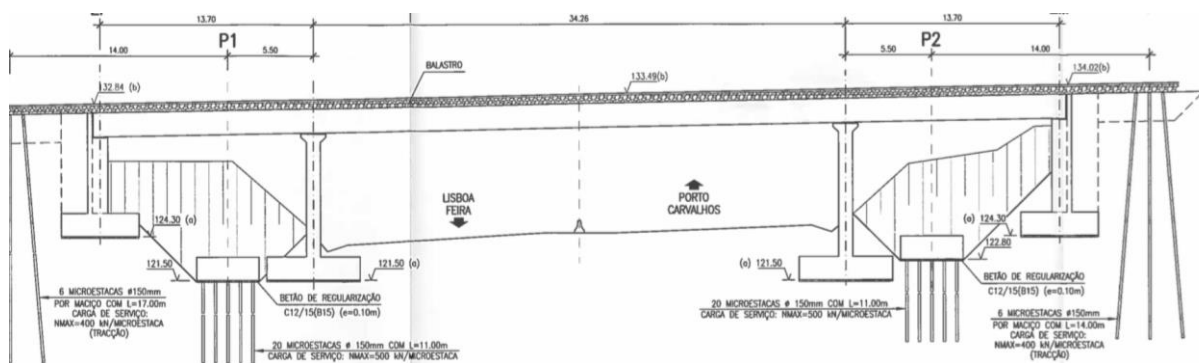


Figura 5-6 - Alterações ao perfil longitudinal [6]

As carlingas que servem para fazer a passagem de carga do tabuleiros para as novas vigas longitudinais são maciços de betão com 3,75 m de largura e 2,0 m de altura, sendo as mesmas pré-esforçadas com quatro cabos de 15 cordões de 150 mm<sup>2</sup>.

As vigas têm um vão em consola, onde apoia a carlinga, de 7,35 m e um vão de 14,0 m entre os fustes elípticos e o maciço de ancoragens que se situam a cerca de 3,0 m dos encontros. A Figura 5-7 permite observar a solução final adotada onde é possível identificar as vigas construídas para sustentar o

tabuleiro e também os pilares a construir para fazer o seu apoio. Nesta figura aparecem representados 4 pilares já que a obra apresenta um viés de 77,251 grados.

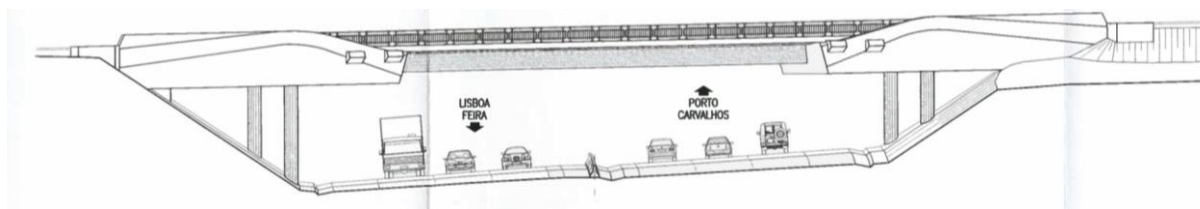


Figura 5-7 - Representação da solução final [6]

Os pilares de apoio à viga têm secção elíptica e alturas de 7,20 m e 6,7 m para cada um dos lados dos encontros. Estes pilares estão fundados através de microestacas, 20 por pilar.

Todo o sistema estrutural da obra-de-arte foi alterado já que se procedeu ao saneamento dos ferrolhos do encontro fixo, ficando a resistência a ações horizontais garantida através dos novos pilares.

#### 5.2.1.4 Estimativa de custos

A estimativa de custos e os estudos económicos das reabilitações de obras de PS devem ser sempre alvos de estudos aprofundados e bem fundamentados de forma a poder ser tomada uma decisão que vá de encontro com todos os objetivos.

A obra de remodelação da PS foi orçamentada, como se pode observar através do Anexo I - Orçamentação PS411, em 310.000 €. Este valor corresponde a todos os trabalhos executados, ficando a solução final com um vão central de 45,26 m (5,50 + 34,26 + 5,50 m). Fazendo uma estimativa ao valor por m<sup>2</sup> de tabuleiro, com uma largura de 7,20 m, chega-se ao valor de 588 €/m<sup>2</sup>, tal como se representa na equação [2]:

$$\Delta C = \frac{310.000}{(14+5,5+34,26+5,5+14) \times 7,20} = 587,7 \text{ €/m}^2 \quad [2]$$

Considerando, de forma simplificada, igualmente um valor de 400 €/m<sup>2</sup> de tabuleiro para a obra-de-arte inicial, obtém-se a estimativa de custo representada na equação [3]:

$$C_i = (13,70 + 34,26 + 13,70) \times 7,20 \times 400 = 177.581 \text{ €} \quad [3]$$

Uma obra nova, projetada de origem, à data da construção inicial, para vencer os vãos da obra-de-arte remodelada, assumindo comprimentos dos vãos laterais de aproximadamente 40% do vão central, seria orçamentada em 234.628€ tal como se explicita na equação [4]:

$$C_f = (5,5 + 34,26 + 5,5) \times 1,8 \times 7,20 \times 400 = 234.628 \text{ €} \quad [4]$$

O custo de construção da obra inicial, somado aos custos de reabilitação geram um valor de 487.581 €, bastante superior ao valor que seria obtido se a obra tivesse sido construída inicialmente com os vãos que se verificam no final das obras de remodelação, 234.628 €. O valor por m<sup>2</sup> de tabuleiro que se obteve na reabilitação foi bastante elevado, quando comparado com o valor assumido de 400 €/m<sup>2</sup> de tabuleiro.

Esta comparação de valores tem de ser feita com algumas precauções já que os valores assumidos são apenas estimativas e podem não representar com a devida veracidade os valores que realmente se verificam. A somar a isto existem também todas as condicionantes da obra, nomeadamente o facto da circulação na linha férrea servida pela obra não poder ser interrompida durante a execução da mesma. Todos os custos referentes à possível paragem de serviço dessa linha férrea deviam também ser contabilizados bem como todos os custos referentes à manutenção da obra existente.

## 5.2.2 A13 – Autoestrada Almeirim/Marateca sublanço Almeirim/Salvaterra de Magos – Passagem Superior

### 5.2.2.1 Introdução

A passagem superior aqui apresentada serve para fazer a transposição da autoestrada A13 no troço que liga a Marateca a Almeirim. Esta transposição faz-se para estabelecer o contato entre a estrada municipal 589 e a localidade de Foros de Benfica, através de um caminho rural.

### 5.2.2.2 Características da Obra de Arte

O caminho rural que se desenvolve no tabuleiro da passagem superior apresenta um perfil transversal com uma faixa de rodagem de 4,00 m de largura, bermas com 0,50 m e dois passeios sobrelevados com 0,75 m de largura protegidos por guarda-corpos com uma largura de 0,20 m, o que perfaz uma largura total para o tabuleiro de 6,90 m, como representado na Figura 5-8.

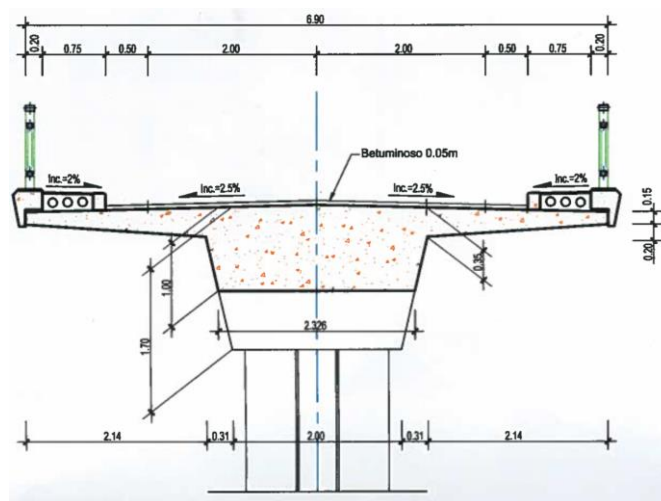


Figura 5-8 -Seção transversal da Passagem Superior [7]



Longitudinalmente esta obra-de-arte tem um sistema estrutural muito utilizado em PS's de autoestradas, com um pilar no separador central e dois encontros nos extremos. Neste caso apresenta dois vãos de 34 m, tal como se representa na Figura 5-9.

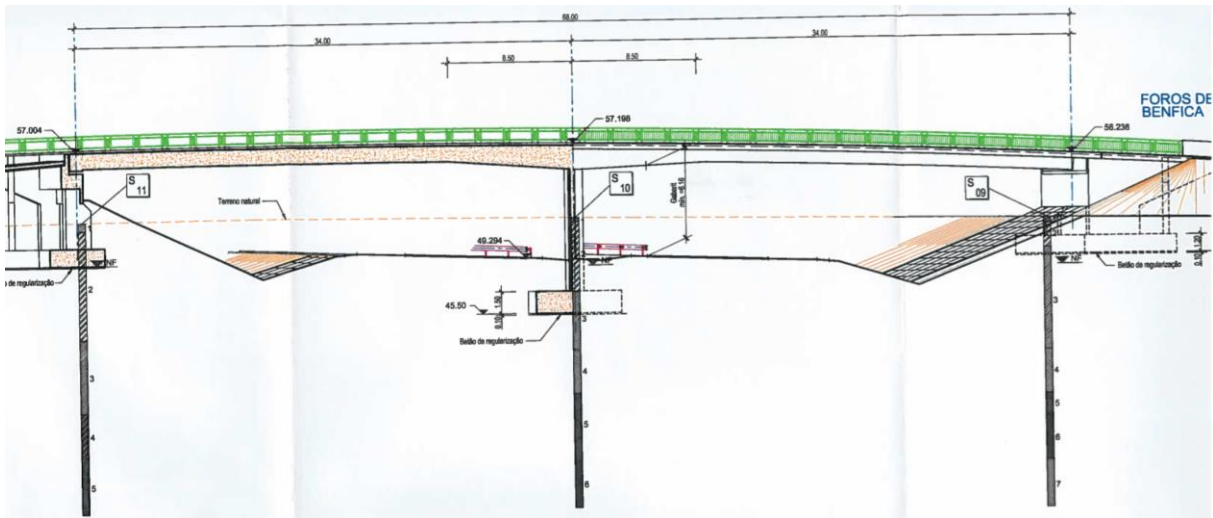


Figura 5-9 - Perfil Longitudinal da obra-de-arte[7]

### 5.2.2.3 Solução estrutural

A solução longitudinal é de um tabuleiro em betão armado pré-esforçado com dois encontros perdidos nos extremos e um pilar central.

Face à largura da seção transversal, adota-se apenas uma nervura, com altura variável. Nas seções de apoio do pilar nos encontros foi adotada uma carlinga (Figura 5-10) de forma a absorver os esforços de torção e para que a reação transmitida aos aparelhos de apoio fosse encaminhada de forma mais eficiente. Este perfil transversal foi adotado para que houvesse uma boa relação entre a resistência transversal e longitudinal e para que existisse uma uniformidade entre as PS's deste troço com o objetivo de minimizar custos e maximizar a operacionalidade da construção.

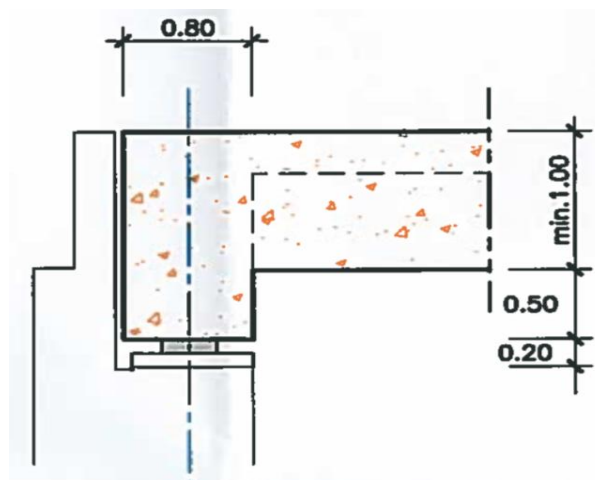


Figura 5-10 - Corte da carlinga dos apoios [7]

O pilar central está monoliticamente ligado ao tabuleiro e apresentava uma seção de  $1,70 \times 0,70 \text{ m}^2$ , tal como se observa na Figura 5-11. Este pilar equilibra as ações horizontais, já que se adotaram dois encontros móveis. Esta solução permite explorar os efeitos estabilizadores de flexão, tanto composta como desviada, do pilar para resistir às ações horizontais. A fixação do pilar central permitiu que se libertassem, reduzissem e reduzissem os deslocamentos sobre os dois encontros.

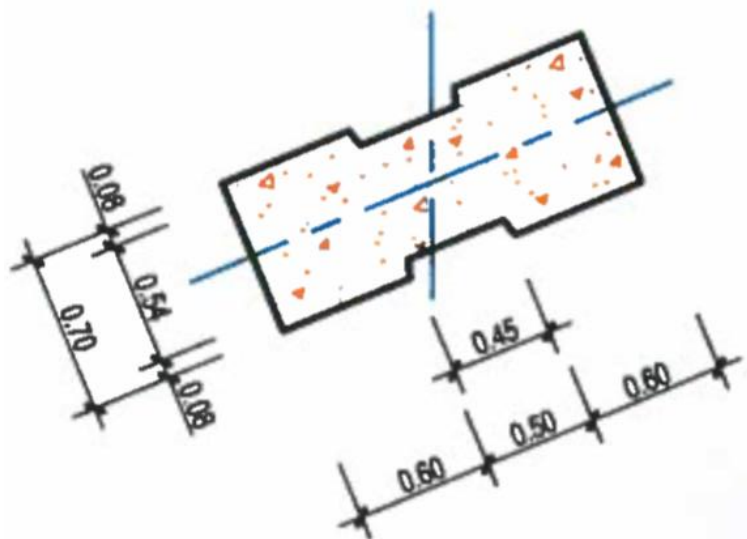


Figura 5-11 - Seção transversal do pilar [7]

Os encontros perdidos foram materializados através de uma viga de estribo e três montantes de seção retangular. A viga de estribo apresenta uma seção retangular de  $1,35 \times 1,00 \text{ m}^2$  e os montantes têm uma seção variável em altura.

De forma a tornar os encontros móveis colocaram-se aparelhos de apoio na ligação entre a carlinga e a viga de estribo. Estes aparelhos de apoio, do tipo “pot bearing”, permitem acomodar os deslocamentos necessários, bem como transmitir as reações verticais do tabuleiro para os encontros.

A interpretação dos resultados das sondagens permitiu que se realizassem fundações diretas, tendo sido dimensionadas para uma tensão de contato de 400 kPa. A presença de nível freático a cotas elevadas levou a que fosse tido uma especial atenção à execução destas fundações, nomeadamente recorrendo a drenagem.

Os pilares dos encontros têm sapatas retangulares corridas, enquanto que o pilar central apresenta uma sapata individual quadrada como 4,80 m de lado e 1,50 m de altura.

### 5.3 Capacidade de adaptação de Passagens Superiores (PS's)

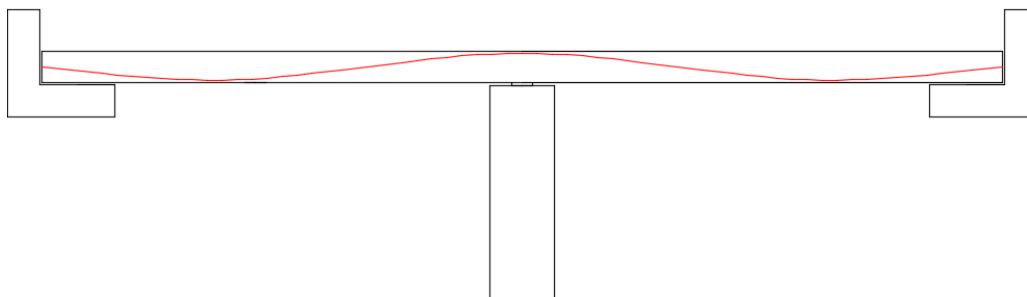
As estruturas de passagens superiores em autoestradas são das estruturas que mais modificações sofrem ao longo da sua existência. Estas modificações devem-se quase sempre a alterações significativas do tráfego na via principal, em relação ao inicialmente previsto no estudo de tráfego, sendo necessário posteriormente proceder ao alargamento da via principal e conseqüente remodelação ou substituição das obras de arte de atravessamentos.

No caso de estudo que se descreve em 5.2.1 foi necessário proceder a obras de remodelação da PS411 devido ao alargamento que se verificou necessário na autoestrada do Norte. Este tipo de situações é bastante comum no caso das PS's e os seus efeitos podem ser minorados se, aquando da realização do projeto inicial, forem já considerados estes eventuais alargamentos.

Analisando os custos desta obra de reabilitação nota-se que foi mais dispendioso fazer a reabilitação da PS do que seria construir uma obra de novo. Esta solução não pôde ser implementada já que existia a condicionante de manter a linha férrea em utilização. Devem ser sempre tidas em conta todas as hipóteses e haverá situações em que será benéfico demolir uma estrutura e construir de novo do que reabilitar a estrutura existente.

O caso de estudo apresentado em 5.2.2 é um exemplo de uma estrutura de PS que foi inicialmente dimensionada para um futuro alargamento. Pensando em termos futuros a empresa concessionária optou por definir a obra-de-arte com um vão bastante superior ao necessário para as condições iniciais de exploração. Esta percepção permite que a estrutura possua melhor capacidade de adaptação para necessidades futuras.

Uma das indicações de adaptabilidade que se pode tomar é a preferência por colocação de pilar central, como se esquematiza na Figura 5-12, em detrimento da colocação de pilares laterais, como representa a Figura 5-13. Esta solução depende muito da largura disponível para a execução de um pilar no separador central e também do plano de alargamento previsto. Em termos práticos existem duas possibilidades de alargamento: ou se faz para o interior, reduzindo assim o espaço do separador central, ou se faz para o exterior, ocupando o espaço de berma e de talude dos encontros.

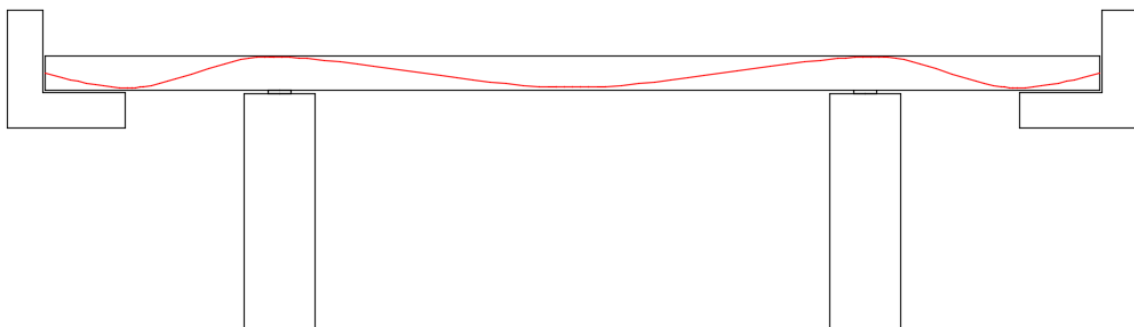


*Figura 5-12 - Esquema da solução de PS com pilar central*

As duas hipóteses de alargamento têm várias especificidades que têm que ser convenientemente estudadas de forma a ser possível tomar a decisão que melhor otimiza o projeto e a construção da obra-de-arte.

A primeira solução, com alargamento para o interior, faz com que seja necessário garantir que exista espaço no separador central para acomodar esse alargamento. Para esta possibilidade de alargamento a solução com pilar central é geralmente mais aconselhável já que permite que o comprimento total da obra-de-arte seja menor em comparação com a solução de pilares laterais. Um dos problemas desta solução prende-se com os elevados vãos que se geram, sendo por vezes necessário alterar o sistema estrutural da mesma passando a contemplar 4 vãos.

A segunda solução de alargamento, para o exterior, implica que seja feita a expropriação dos terrenos, à data de construção da PS e em termos futuros faz com que a materialização do alargamento esteja sujeita a terraplenagem, operação sempre bastante dispendiosa.



*Figura 5-13 - Esquema da solução de PS com pilares laterais*

Aquando do projeto inicial, devem ser estudadas todas as hipóteses de alargamento e a conceção da PS deve-se adequar à opção tomada, tendo a estrutura maior capacidade de adaptação para alterações futuras.

A possibilidade de eventual alargamento do próprio tabuleiro da obra-de-arte também deve ser um fato a ter em conta aquando da sua conceção. Devem ser feitos estudos de tráfego também para a obra-de-arte para que um aumento de tráfego esteja previsto e seja facilmente acomodado pela estrutura. Esta situação torna-se mais importante quando se analisam casos de Passagens Inferiores (PI), já que o alargamento da plena via conduz necessariamente ao alargamento da plataforma da PI.

A empresa Brisa mantém todas as suas obras em constante monitorização [5], sendo feitas vistorias periódicas com elevado rigor de forma a detetar todas as anomalias presentes nas suas obras-de-arte. Indo de encontro a este fato torna-se também relevante, tal como já acontece em projetos mais recentes, que sejam tidos em conta conceitos de capacidade de adaptação estrutural nas obras novas.

## 6 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

### 6.1 Conclusões

A capacidade de adaptação estrutural é um tema que nunca foi alvo de um estudo muito aprofundado, mas que é bastante importante e deve ser explorado já que uma boa noção e aplicação deste conceito pode levar a que algumas estruturas sejam valorizadas. O conceito de estruturas adaptativas pode ser pensado para todo o tipo de estruturas embora cada uma delas tenha a sua particularidade referente a necessidades de alteração futura. As estruturas Hospitalares e as estruturas de Passagens Superiores (PS) de autoestrada, por exemplo, são estruturas que requerem uma elevada adaptabilidade já que existe um grande histórico de necessidade de alterações funcionais. Já no caso de uma estrutura destinada à habitação esta necessidade far-se-á sentir com menos importância, pelo facto da estrutura concebida inicialmente poder em princípio adaptar-se de forma eficaz, à grande maioria das necessidades principais a que estará sujeita no seu tempo de vida útil.

A capacidade de adaptação futura das estruturas permite que se reduza a necessidade e o custo de intervenções futuras, promovendo assim uma economia de longo prazo e também um menor impacto ambiental das estruturas.

As alterações a que uma estrutura está sujeita durante o seu tempo de vida útil podem ser de várias índoles: alterações funcionais, reorganização dos espaços, exigências superiores de utilização. Todas estas necessidades futuras podem ser contabilizadas em termos de projeto de forma a dotar a estrutura de capacidade de resposta para todas estas necessidades.

Ao nível de projeto deve existir uma elevada perceção de quais as mudanças que previsivelmente acontecerão na estrutura de forma a poder preparar a mesma para essas alterações. Essa perceção deve aparecer devido ao estudo e conhecimento de casos de estudo passados e de uma tipificação das alterações recorrentes em determinados tipos de estruturas.

Uma elevada articulação entre a equipa de arquitetura e a equipa de especialidades, na qual se destaca a especialidade de engenharia de estrutura, é fundamental para que o conceito de estruturas adaptativas seja satisfatoriamente aplicado.

Em termos práticos devem ser tomadas várias medidas que refletem este método, tais como a possível subida em altura do edifício ou a simplificação das sobrecargas de dimensionamento a utilizar, nos casos de edifícios de serviços públicos, ou o dimensionamento de passagens superiores com um vão superior ao necessário para ter em conta possíveis alargamentos futuros da autoestrada.

## 6.2 Desenvolvimentos futuros

Considera-se importante a continuação do estudo referente a aspetos de conceção que promovam a adaptabilidade das estruturas. Saliendam-se alguns pontos considerados fulcrais no desenvolvimento de estudos futuros:

- Critérios de adaptabilidade em caderno-de-encargos

A definição ao nível dos cadernos de encargos de critérios que visem aferir a adaptabilidade de um projeto é bastante importante já que essa medida permitirá que o dono-de-obra tenha a noção se a estrutura que foi concebida se adaptará a necessidades futuras.

- Regras de dimensionamento em códigos estruturais

A implementação de regras de dimensionamento nos códigos estruturais torna-se imperativa neste novo modelo de conceção já que torna a adaptabilidade numa obrigatoriedade e permite que algumas estruturas, aquelas que estão mais sujeitas a alterações no futuro (Hospitais, PS, ...) sejam, por lei, concebidas segundo estes princípios.

- Estudo de impacte ambiental

O conceito de estrutura adaptável tem influência não só na parte de engenharia e arquitetura, mas também na parte ambiental já que uma estrutura que seja capaz de se adaptar consoante determinadas necessidades é uma estrutura com uma pegada ecológica menor. Um estudo acerca desta temática poderá levar a uma maior sensibilização dos donos-de-obra e dos produtores para adotarem estas medidas.

- Previsão de alterações futuras / valorização de critérios de adaptabilidade estrutural

A previsão de alterações futuras, como é dito ao longo da dissertação, não é fácil de executar. Esta dificuldade pode, no entanto, ser diminuída se forem feitos estudos exaustivos acerca de possíveis necessidades futuras. Estes estudos devem basear-se em observações do passado de forma a poder tipificar algumas modificações e tentar prever quais as mudanças no futuro.

Finalmente, será desejável que estudos como o agora apresentado possam vir a ser desenvolvidos, no sentido de permitirem integrar aspetos de adaptabilidade estrutural como critério valorizador de soluções estruturais alternativas.

## Bibliografia

- [1]. Administração Central dos Sistemas de Saúde, IP (ACSS) – “Recomendações e especificações Técnicas do Edifício Hospitalar” – 2011;
- [2]. Administração Central dos Sistemas de Saúde, IP (ACSS) – “Especificações Técnicas para o Comportamento sísmo-resistente de edifícios hospitalares” – 2007;
- [3]. Appleton, Júlio – “Estruturas de Betão – Volume 2” – Edições Orion Julho 2013;
- [4]. Appleton, Júlio – “Construções em Betão – Nota histórica sobre a sua evolução” – Artigo;
- [5]. Barros, Paulo – “Gestão de Obras de Arte na Rede Brisa Reabilitação e Requalificação” – Apresentação ppt
- [6]. Brisa - “Projeto de execução - A1 – Autoestrada do Norte sublanço Feira/Carvalhos – Alargamento e Beneficiação para 2x3 vias – Passagem Superior”;
- [7]. Brisa - “Projeto de execução - A13 – Autoestrada Almeirim/Marateca sublanço Almeirim/Salvaterra de Magos – Passagem Superior”;
- [8]. Câmara, José; Figueiredo, Carlos – “Hospital de Cascais – Conceção e Projeto” Artigo *in* Encontro Nacional de Betão Estrutural 2010. Lisboa, Novembro 2010;
- [9]. CT115 (LNEC). (2009) – “Eurocódigo 1: Ações em Estruturas - Parte 1-1 - Ações gerais: Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios NP ENV 1991-1-1”;
- [10]. CT115 (LNEC). (2010) – “Eurocódigo 2: Projeto de Estruturas de Betão – Parte 1-1 – Regras gerais e regras para edifícios NP ENV 1992-1-1”;
- [11]. CT115 (LNEC). (2010) – “Eurocódigo 8: Projeto de Estruturas para resistência aos sismos – Parte 1-1 – Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios NP ENV 1998 – 1”;
- [12]. CTQ – Projetos de Engenharia e Gestão de Empreendimentos, Lda. “<http://www.ctqonline.com>”
- [13]. UTAP – Unidade Técnica de Apoio ao Projeto - “Especificações Técnicas do Novo Edifício Hospitalar – Hospital de Cascais” – Anexo XXV;
- [14]. Ferreira, Ana de Castro Amorim – “Arquitetura Hospitalar” Tese de Mestrado. Universidade Lusíada de Lisboa. Janeiro 2015;
- [15]. Figueiredo, Ana Teresa Rodrigues – “Por um hospital mais urbano”. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Junho 2013;
- [16]. Cadeia multinacional na área do retalho – “Design Brief, Elevated Floors – Technical specifications and design criteria” – Janeiro 2008;
- [17]. Cadeia multinacional na área do retalho – “Engineering & Construction Manual – Chapter 3: Base Building” – 2014;
- [18]. Cadeia multinacional na área do retalho – “Concrete floors in stores” – 2002;
- [19]. IMTT – “Normas de Traçado” – Novembro 2010;
- [20]. Lopes, Mário et al. – “Sismos e Edifícios” – Edições Orion Julho 2008;
- [21]. Parque-Escolar; Ministério da Educação – “Passos Manuel” – Abril 2010 - Artigo;
- [22]. Heitor, Teresa – “Parque-Escolar 2007-2011 – Intervenção em 106 Escolas” – Junho 2011;

- [23]. Gago, António Sousa; Proença, Jorge Miguel– “Parque-Escolar - Reforço Sísmico de Edifícios Escolares” – Dezembro 2011;
- [24]. Parque-Escolar – “Manual de Projeto: Arquitetura” – Agosto 2009;
- [25]. Pordata – “Alunos no sistema de Ensino” – Informação Estatística.



# ANEXOS

# Anexo I - Orçamentação PS411

## A1 - AUTO-ESTRADA DO NORTE SUBLANÇO FEIRA / CARVALHOS - Trecho Nó da Feira / Nó com o IC24 ALARGAMENTO E BENEFICIAÇÃO PARA 2x3 VIAS

### PASSAGEM SUPERIOR 411 - PROJECTO DE EXECUÇÃO

#### Orçamento

| Nº.                                                                                                                                | Designação dos Trabalhos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Un             | Quant. | PREÇO UNITÁRIO | PARCIAIS |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------|----------------|----------|
| <b>CAPÍTULO XV<br/>OBRAS DE ARTE</b>                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                |        |                |          |
| <i>CAPÍTULO XV.1<br/>Trabalhos a realizar de acordo com o<br/>projecto e satisfazendo o estipulado<br/>no Caderno de Encargos.</i> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                |        |                |          |
| 15.1                                                                                                                               | Execução de Obras de Arte                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |        |                |          |
| 15.1.1                                                                                                                             | Escavação em terreno de qualquer natureza para a abertura de fundações incluindo abertura de acessos, entivacões, esgotos de água, eventual rebaixamento do nível freático ou ensecadeiras, elevação e remoção dos produtos escavados (transporte das terras sobranes a vazadouro e eventuais indemnizações por depósito), regularização do fundo e eventual desmonte de rocha (qualquer que seja o volume ocorrente). | m <sup>3</sup> | 300    | 15.00          | 4 500    |
| 15.1.2                                                                                                                             | Aterro e compactação no reenchimento das escavações para fundações, nas condições do Caderno de Encargos, incluindo eventual recurso a empréstimo ou fornecimento de terceiros.                                                                                                                                                                                                                                        | m <sup>3</sup> | 154    | 4.00           | 616      |
| 15.1.3                                                                                                                             | Fundações em estacaria                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                |        |                |          |
| 15.1.3.3                                                                                                                           | Execução de micro-estacas:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                |        |                |          |
| 15.1.3.3.1                                                                                                                         | Com Ø 0,15 m para carga máxima de serviço de 400 kN.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |        |                |          |
| 15.1.3.3.1.1                                                                                                                       | 15.1.3.3.3.1. Verticais.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | m              | 124    | 90.00          | 11 160   |
| 15.1.3.3.1.2                                                                                                                       | 15.1.3.3.3.1. Inclínadas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | m              | 248    | 100.00         | 24 800   |
| 15.1.3.3.2                                                                                                                         | Com Ø 0,15 m para carga máxima de serviço de 500 kN.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |        |                |          |
| 15.1.3.3.2.1                                                                                                                       | Verticais.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | m              | 880    | 100.00         | 88 000   |
| 15.1.7                                                                                                                             | Betões:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |        |                |          |
| 15.1.7.1                                                                                                                           | Betão C12/15 (B15) em regularização de fundações e sob as lajes de transição, com 0,10 m de espessura.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | m <sup>3</sup> | 10     | 65.00          | 650      |
| 15.1.7.3                                                                                                                           | Betão C30/37 (B35) :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |        |                |          |
| 15.1.7.3.1                                                                                                                         | Em sapatas e maciços de encabeçamento de estacas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | m <sup>3</sup> | 96     | 73.00          | 7 008    |
| 15.1.7.3.2                                                                                                                         | Em encontros.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | m <sup>3</sup> | 2      | 78.00          | 156      |

**A1 - AUTO-ESTRADA DO NORTE**  
**SUBLANÇO FEIRA / CARVALHOS - Trecho Nó da Feira / Nó com o IC24**  
**ALARGAMENTO E BENEFICIAÇÃO PARA 2x3 VIAS**

**PASSAGEM SUPERIOR 411 - PROJECTO DE EXECUÇÃO**

**Orçamento**

| Nº.          | Designação dos Trabalhos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Un             | Quant. | PREÇO UNITÁRIO | PARCIAIS |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------|----------------|----------|
| 15.1.7.4     | Betão C35/45 (B40) :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                |        |                |          |
| 15.1.7.4.2   | Na elevação dos pilares.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | m <sup>3</sup> | 25     | 80.00          | 2 000    |
| 15.1.8       | Cofragens e cavaletes:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                |        |                |          |
| 15.1.8.2     | Nos encontros, para betão não à vista.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | m <sup>2</sup> | 4      | 14.00          | 56       |
| 15.1.8.3     | Nos encontros, para betão à vista.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | m <sup>2</sup> | 4      | 16.00          | 64       |
| 15.1.8.4     | Nos pilares, em sapatas e maciços de encabeçamento de estacas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | m <sup>2</sup> | 87     | 13.00          | 1 131    |
| 15.1.8.5     | Nos pilares, para betão à vista.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | m <sup>2</sup> | 97     | 17.00          | 1 649    |
| 15.1.8.7     | Nos tabuleiros, para betão à vista.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | m <sup>2</sup> | 738    | 16.00          | 11 808   |
| 15.1.8.13    | Cavaletes de montagem (cimbres para a execução incluindo eventuais cavaletes com apoio no solo), incluindo montagem, desmontagem, movimentações e todas as operações necessárias à execução do trabalho.                                                                                                                                                                                      |                |        |                |          |
| 15.1.8.13.12 | Passagem Superior 411                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | vg             | 1      | 7000.00        | 7 000    |
| 15.1.9       | Aços:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                |        |                |          |
| 15.1.9.1     | - Aço A 235 nervurado, aplicado em obra.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | kg             | 75     | 0.70           | 53       |
| 15.1.9.3     | - Aço A 500 nervurado, aplicado em obra.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | kg             | 55 000 | 0.75           | 41 250   |
| 15.1.9.4     | Aço de pré-esforço incluindo todas as operações e acessórios necessários à realização do pré-esforço:                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                |        |                |          |
| 15.1.9.4.1   | - Longitudinal.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | kg             | 7 165  | 3.25           | 23 286   |
| 15.1.9.4.2   | - Transversal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | kg             | 1 275  | 5.00           | 6 375    |
| 15.1.10      | Aparelhos de apoio em neoprene cintado, nos encontros, colocados em obra:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                |        |                |          |
| 15.1.10.5    | Móveis com N <sub>máx.</sub> =500 kN e espessura de Neoprene de 24 mm.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | un             | 4      | 200.00         | 800      |
| 15.1.14      | Fornecimento e assentamento de aglomerado negro de cortiça.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |        |                |          |
| 15.1.14.1    | Com 0.02 m de espessura.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | m <sup>2</sup> | 12     | 6.00           | 72       |
| 15.1.22      | Revestimento de taludes nos encontros em lajetas pré-fabricadas de betão assentes com argamassa sobre camada de betão com 0.10 m de espessura mínima, armado com rede electrosoldada tipo malhasol CQ30, colocados em obra, incluindo lancis de bordadura em betão armado e caleiras para recolha e condução de água nas banquetas e descidas laterais de acordo com os desenhos de pormenor. | m <sup>2</sup> | 185    | 8.00           | 1 480    |

**A1 - AUTO-ESTRADA DO NORTE**  
**SUBLANÇO FEIRA / CARVALHOS - Trecho Nó da Feira / Nó com o IC24**  
**ALARGAMENTO E BENEFICIAÇÃO PARA 2x3 VIAS**

**PASSAGEM SUPERIOR 411 - PROJECTO DE EXECUÇÃO**

**Orçamento**

| Nº.                  | Designação dos Trabalhos                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Un             | Quant. | PREÇO UNITÁRIO | PARCIAIS       |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------|----------------|----------------|
| 15.1.30<br>15.1.30.2 | Calçira de 1/2 tubo de betão, incluindo assentamento:<br>com diâmetro de 300 mm                                                                                                                                                                                                                                                 | m              | 12     | 17.00          | 204            |
| 15.1.36              | Pintura de elementos enterrados com produto betuminoso.                                                                                                                                                                                                                                                                         | m <sup>2</sup> | 144    | 4.00           | 576            |
| 15.1.38<br>15.1.38.3 | Demolições, a executar de acordo com o projecto, Caderno de Encargos e Dossier de exploração<br>Passagem Superior 411 (PS CF)                                                                                                                                                                                                   | vg             | 1      | 5000.00        | 5 000          |
| 15.1.41              | Reabilitação das zonas afectadas pelos trabalhos incluindo projecto de enquadramento paisagístico                                                                                                                                                                                                                               | vg             | 1      | 20000.00       | 20 000         |
| 15.1.44              | Dissipadores de energia na extremidade de calçiras de condução de águas pluviais                                                                                                                                                                                                                                                | un             | 4      | 200.00         | 800            |
| 15.1.45              | Fornecimento e aplicação de placas de esferovite com 0,04 m de espessura                                                                                                                                                                                                                                                        | m <sup>2</sup> | 31     | 10.00          | 310            |
| 15.1.54              | Preparação das superfícies de betão para ligação ao betão novo, devendo ser picadas a martelo de agulhas com remoção de todas as partículas em desagregação e limpeza final a jacto de ar. Alicação de agente de aderência do tipo «Sikatom 110 EPOCEM» ou esquema equivalente aplicado de acordo com instruções do fornecedor. | m <sup>2</sup> | 62     | 35.00          | 2 170          |
| 15.1.55              | Operação de corte dos ferrolhos de ligação ao encontro fixo através de fio diamantado incluindo a elevação do tabuleiro em 5 mm para substituição dos aparelhos de apoio dos dois encontros, através da aplicação de macacos planos (emax=25 mm) e capacidade de 40 ton.                                                        | vg             | 1      | 5000.00        | 5 000          |
| 15.1.56              | Fornecimento e aplicação de peças em aço S355, incluindo ligações de acordo com as peças desenhadas do projecto                                                                                                                                                                                                                 | kg             | 160    | 3.50           | 560            |
| 15.1.57              | Fornecimento e aplicação de betão C35/45 (B40) auto-compactável.                                                                                                                                                                                                                                                                | m <sup>3</sup> | 371    | 100.00         | 37 100         |
| Somatório            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                |        |                | 305 634        |
| Arredondamento       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                |        |                | 4 366          |
| <b>Total</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                |        |                | <b>310 000</b> |