



**Politécnico
Castelo Branco**

Escola Superior
de Tecnologia

Análise Comparativa de Custos Diretos e Indiretos na Construção de Blocos Habitacionais com Estrutura de Aço *versus* Betão Armado

Ivo Dias Pires

Orientador / Co-orientadora

Afonso Carlos Bonina de Mesquita

Maria Constança Simões Rigueiro

Trabalho de Projeto apresentado à Unidade Técnico-Científica de Engenharia Civil da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco – Polytechnic University, para cumprimento dos requisitos necessários à aprovação na unidade curricular de Projeto I do Curso de Licenciatura em Engenharia Civil, realizado sob a orientação científica do Professor Adjunto Convidado, Doutor Afonso Carlos Bonina de Mesquita, e co-orientação da Professora Coordenadora, Doutora Maria Constança Simões Rigueiro, do Instituto Politécnico de Castelo Branco - PU.

Janeiro 2026

Composição do júri

Presidente do júri

Doutora, Rosa Paula da Conceição Luzia

Professora Adjunta, Instituto Politécnico de Castelo Branco - PU

Membros

Doutora, Rosa Paula da Conceição Luzia

Professora Adjunta, Instituto Politécnico de Castelo Branco - PU

Doutor, Luís Filipe de Carvalho Jorge

Professor Adjunto, Instituto Politécnico de Castelo Branco - PU

Doutor, Afonso Carlos Bonina de Mesquita

Professor Adjunto Convidado, Instituto Politécnico de Castelo Branco - PU

Doutora, Maria Constança Simões Rigueiro

Professora Coordenadora, Instituto Politécnico de Castelo Branco - PU

Dedicatória

À minha família e a todos os que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização desta conquista.

Agradecimentos

A conclusão deste trabalho de projeto representa o culminar de uma etapa fundamental do meu percurso académico, a qual não teria sido possível sem o apoio, orientação e incentivo de diversas pessoas.

Em primeiro lugar, expresso o meu profundo agradecimento ao meu Orientador, o Professor Adjunto Convidado, Doutor Afonso Carlos Bonina de Mesquita. Agradeço pela disponibilidade constante, pela partilha de conhecimentos e pelo rigor científico que imprimiu a este trabalho, sendo fundamentais para a superação dos desafios encontrados.

À Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco (IPCB), em particular à Unidade Técnico-Científica de Engenharia Civil, agradeço pelo ambiente académico proporcionado e pelos recursos disponibilizados ao longo da licenciatura.

Aos meus Professores, que ao longo destes anos contribuíram para a minha formação técnica e humana, transmitindo as ferramentas necessárias para o exercício da profissão de Engenheiro Civil.

Aos meus Colegas e Amigos, pelos momentos de partilha, entajuda e companheirismo, tornando esta jornada académica mais enriquecedora e memorável.

Por fim, e de forma mais pessoal, agradeço à minha Família e, muito especialmente, à minha Namorada, por todo o apoio incondicional, paciência e carinho demonstrados. Sem o Vosso incentivo, este objetivo não teria sido alcançado

A todos, o meu muito obrigado.

Resumo

O presente trabalho integra-se no âmbito dos requisitos definidos para a unidade curricular de Projecto I do Curso de Licenciatura em Engenharia Civil do Instituto Politécnico de Castelo Branco – Polytechnic University apresenta uma análise comparativa entre os custos diretos e indiretos associados à construção de edifícios residenciais multifamiliares (até 4 pisos), confrontando duas soluções estruturais predominantes: o aço estrutural e o betão armado. O estudo foca-se na quantificação das diferenças de custos e logísticas entre ambos os sistemas, utilizando como base um projeto de referência em aço e o pré-dimensionamento de uma solução equivalente utilizando o betão armado, em conformidade com as diretrizes do Eurocódigo 2.

A metodologia envolveu a elaboração de mapas de medições detalhados e a estimativa orçamental baseada em preços de mercado. Os resultados demonstram que, embora o betão armado apresente custos de materiais bastante competitivos, a sua execução é marcada por uma grande dependência de mão-de-obra (representando cerca de 29% do custo total avaliado) e prazos de execução mais alargados. Em contrapartida, a estrutura metálica, enquanto solução industrializada e de montagem a seco, reduz significativamente os custos indiretos relacionados com o tempo de estaleiro e a gestão de resíduos, apresentando uma incidência de mão-de-obra de 24%. Quanto aos custos dos materiais utilizados para cada solução estrutural verificou-se ser mais económica a opção pelo betão armado, a qual não excede a solução com perfis em aço.

Conclui-se, no entanto, que a estrutura metálica acabou por se revelar como sendo a opção algo mais vantajosa quando considerada a eficiência logística, a celeridade de execução, a própria mão-de-obra e a sustentabilidade ambiental, permitindo uma rentabilização mais rápida do investimento para o promotor na contabilidade global entre custos diretos e indiretos, verificando-se que o custo total final representa para a solução metálica cerca de 98% do custo homólogo referente à solução em betão armado.

Palavras-chave

Construção de Pórticos: Aço *versus* Betão Armado; Custos Diretos e Indiretos; Eficiência Construtiva; Engenharia Civil.

Abstract

This work is part of the requirements defined for the Project I course unit of the Civil Engineering Degree Course at the Polytechnic Institute of Castelo Branco – Polytechnic University presents a comparative analysis between the direct and indirect costs associated with the construction of multi-family residential buildings (up to 4 floors), comparing two predominant structural solutions: structural steel and reinforced concrete. The study focuses on quantifying the financial and logistical differences between the two systems, using a reference steel project and the pre-dimensioning of an equivalent reinforced concrete solution, in accordance with the guidelines of Eurocode 2.

The methodology involved the preparation of detailed quantity take-offs and budget estimation based on market prices. The results demonstrate that, although reinforced concrete presents quite competitive material costs, its execution is marked by a high dependency on labour (representing approximately 29% of the total assessed cost) and longer execution timeframes. In contrast, the steel structure, as an industrialized and dry-assembly solution, significantly reduces indirect costs related to site overhead and waste management, presenting a labour incidence of 24%. Regarding the material costs for each structural solution, the reinforced concrete option proved to be more economical, not exceeding the cost of the steel profile solution.

It is concluded, however, that the steel structure proved to be a somewhat more advantageous option when considering logistical efficiency, speed of execution, labour itself, and environmental sustainability, allowing for a faster return on investment for the developer in the global accounting between direct and indirect costs, with the final total cost for the steel solution representing approximately 98% of the homologous cost of the reinforced concrete solution.

Keywords

Construction of Frames: Steel *versus* Reinforced Concrete; Direct and Indirect Costs; Construction Efficiency; Civil Engineering.

Índice

Capítulo 1	16
Capítulo 2	16
Capítulo 3	16
Capítulo 4	17
Capítulo 5	17
Capítulo 2	18
Capítulo 5	18
Gráficos	18
1.Introdução	21
1.1 Aspetos gerais e considerações preliminares: O foco na eficiência económico-estrutural	21
1.1.1.Objetivos de estudo e pesquisa a realizar	23
1.2.Estrutura do trabalho e metodologia de apresentação	24
Capítulo 2	25
Revisão Bibliográfica e Bases teóricas	25
2. Revisão Bibliográfica e Bases teóricas	27
2.2.2 O Sistema estrutural utilizando o aço como material resistente	31
2.2.2.3 Modelos estruturais e sistemas de Contraventamentos utilizando o aço	35
Figura 2.3 – Modelos de pórticos com 1 vão e 1 piso sujeitos a carregamento concentrado ao centro.....	37
c) Configuração de junta semirrígida	38
d) Configuração de junta articulada.....	
Figura 2.4 – Idealização e modelação de juntas viga-pilar em pórticos de aço e transposição para a respetiva execução construtiva, adaptado de [...]	38
2.2.3 O Sistema Estrutural utilizando o Betão Armado (BA) como material resistente.....	39
2.2.3.1 Considerações introdutórias.....	39
2.2.3.2 Vantagens e desvantagens da solução em BA.....	39
2.2.3 Comparação entre as utilizações de estruturas em aço e em betão armado: Características estruturais e aspectos construtivos	41
2.2.4 Tipos de estruturas porticadas base: Conceitos gerais, elementos constituintes e aspectos de comportamento	42
2.2.4.1 Estruturas em pórtico	43

.....	45
2.2.4.2 Estruturas com paredes	45
2.2.4.3 Estruturas mistas com pórtico e paredes	46
2.2.5 Aspectos relacionados com o projeto estrutural.....	48
2.2.5.1 Considerações preliminares	48
2.2.5.2 As fases do projeto estrutural.....	49
2.2.5.3 Planeamento estrutural	49
2.3 Comparação entre sistemas estruturais/construtivos	52
3. Projetos de base adotados para estudo comparativo	57
3.1 Aspectos introdutórios	57
3.2 Projecto da estrutura metálica a considerar (projecto pré-existente e assumido como referência de base)	57
3.3 Projeto preliminar da estrutura de betão armado homóloga	60
3.3.1 Pré-Dimensionamento de vigas	63
3.3.2 Pré-Dimensionamento de uma laje padrão.....	63
3.3.3 Pré-Dimensionamento de pilares.....	64
3.3.5 Vigas de Fundação	69
3.1.5 Sapatas.....	70
4. Medições	75
4.1. Estrutura de Referência: Aço Estrutural.....	75
4.1.1 Medição da estrutura de aço	75
4.2. Estrutura em betão armado como alternativa à original.....	76
4.2.1 Medição da estrutura de betão armado.....	77
5. Análise comparativa de custos	81
5.1 Custos diretos	81
5.1.1 Custo de Materiais	82
5.1.1.1Custo Betão/Aço de Armadura em Betão Armado <i>versus</i> Aço Estrutural	83
.....	83
Em termos de notas técnicas adicionais relativas aos agregados, acresce referir o seguinte	85
5.1.2 Custo de Mão-de-Obra.....	88
5.1.2.1. Análise da Produtividade e Custo Total de Mão-de-Obra.....	88
5.2.2 Custo de Equipamentos.....	90

5.3 Quantificação de custos	91
5.3.1 Considerações iniciais	91
5.3.2 Quantificação para a estrutura em aço	92
5.3.3 Quantificação para a estrutura betão armado.....	93
5.4 Comparação de resultados para os dois sistemas construtivos	95
6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	101
6.1 CONCLUSÕES.....	101
6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	102
Referências	105

Índice de figuras

Capítulo 1

Figura 1.1 – Exemplos de edificações construídas em aço estrutural	21
Figura 1.2 – Exemplos de edificações construídas em betão armado	21

Capítulo 2

Figura 2.1–Blocos habitacionais correntes (até 5 pisos), adaptado de [...]	28
Figura 2.2–Modelo estrutural e sistema de Contraventamentos em pórticos metálicos-	34
Figura 2.3–Modelos de pórticos com 1 vão e 1 piso sujeito a carregamento concentrado ao centro	35
Figura 2.4–Idealização e modelação de juntas viga-pilar em pórticos de aço e transposição para a respetiva execução construtiva, adaptado [...]	36
Figura 2.5 – Exemplo de estrutura porticadas em betão armado, adaptado de [Google]	42
Figura 2.6 – Planta e alçado frontal de uma estrutura porticadas regular em betão armado, adaptado de [Google]	43
Figura 2.7 – Estrutura com paredes resistentes, adaptado de [...]	44
Figura 2.8 – Estruturas mistas pórticos - paredes resistentes, adaptado de [...]	44
Figura 2.9 – Contraventamentos em pórticos de betão armado	45
Figura 2.10 – Orientação das secções dos pilares em plantas estruturais	48

Capítulo 3

Figura 3.1 – Planta dos pisos 1, 2 e 3 – Desenhos do AutoCad, segundo [escola superior de tecnologia e gestão de Beja].	55
Figura 3.2 – Planta do piso 0 - Desenho do AutoCad, segundo [escola superior de tecnologia e gestão de Beja].	55
Figura 3.3 – Alçado principal– Desenhos do AutoCad, segundo [escola superior de tecnologia e gestão de Beja].	56
Figura 3.4 –Pórticos principais– Desenhos do AutoCad, segundo [escola superior de tecnologia e gestão de Beja].	56
Figura 3.5–Planta de fundações- Desenho do AutoCad, segundo o pré-dimensionamento	57
Figura 3.6 – Planta de piso 1,2,3 e 4 - Desenho do AutoCad, segundo o pré-dimensionamento	58
Figura 3.7 Pórticos principais- Desenho do AutoCad, segundo o pré-dimensionamento	58
Figura 3.8 –Alçado Principal- Desenho do AutoCad, segundo o pré-dimensionamento	59
Figura 3.2 - 1ª Parte, viga segundo o eixo x - vãos e carregamento	63
Figura 3.3 - 1ª Parte, viga segundo o eixo x - Esforço transversal, V [kN]	63

Figura 3.4 -1ª Parte, viga segundo o eixo x - Momento fletor, M [kNm]_____	63
Figura 3.5 - 2ª Parte, viga segundo o eixo x – vãos e carregamento_____	63
Figura 3.6 – 2ª Parte, viga segundo o eixo x - Esforço transversal, V [kN]_____	64
Figura 3.7 – 2ª Parte, viga segundo o eixo x - Momento fletor, M [kNm]_____	64
Figura 3.8 – 1ª Parte, viga segundo o eixo y – vãos e carregamento_____	64
Figura 3.9 -1º Parte, viga segundo o eixo y (esforço transversal)_____	65
Figura 3.10 -1º Parte, viga segundo o eixo y (momento fletor)_____	65
Figura 3.11 -2º Parte, viga segundo o eixo y_____	65
Figura 3.12 -2º Parte, viga segundo o eixo y (esforço transversal)_____	66
Figura 3.13 -2º Parte, viga segundo o eixo y (momento fletor)_____	66
Figura 3.14 - Modelo cálculo para atrição da carga total absorvida pela sapata.____	68

Capítulo 4

Figura 4.1 – Mapa de quantidades para estrutura de aço_____	72
Figura 4.2 – Mapa de quantidades da estrutura de BA_____	73

Capítulo 5

Figura 5.1 – Justificação de preços para estrutura metálica [Cype- gerador de preços] (Kg/€)____	95
Figura 5.2 – Justificação de preços para laje estrutura metálica [Cype- gerador de preços] (m²/€)_____	96
Figura 5.3 – Justificação de preços para cofragem em sapatas [Cype- gerador de preços](m²/€)-_____	97
Figura 5.4 – Justificação de preços para vigas [Cype- gerador de preços] (m³/€)_____	97
Figura 5.5 – Justificação de preços para vigas [Cype- gerador de preços] (m³/€)_____	97
Figura 5.6 – Justificação de preços para pilares [Cype- gerador de preços] (m³/€) _____	98
Figura 5.7 – Justificação de preços para cofragem de vigas de fundação [Cype- gerador de preços] (m²/€)_____	98
Figura 5.8 – Justificação de preços para Lajes [Cype- gerador de preços] (m²/€) _____	98
Figura 5.9 – Comparação de custos entre estrutura de aço e estrutura de betão armado _____	99
Figura 5.10 – Custos para diferentes elementos estruturais de cada solução _____	100
Figura 5.11 –Custos diretos diferenciados por elementos estruturais_____	100
Figura 5.12 –Comparação entre custos diretos para elementos estruturais_____	101
Figura 5.13 – Comparação entre custos diretos e indiretos em ambas as soluções estruturais__	101

Lista de Quadros/Gráficos

Capítulo 2

Quadro 1.2 – Principais vantagens e desvantagens da construção em betão armado	38
Quadro 2.3 - Comparação entre sistemas estruturais: aço versus betão armado	51
Quadro 2.4 - Comparação detalhada entre pórticos em aço e pórticos em betão armado	51

Capítulo 5

Quadro 5.1 – Resumo da seleção do tipo de cimento por classe de resistência do betão	78
Quadro 5.2 – Resumo dos Varões de Aço para elementos de Betão Armado	80
Quadro 5.3 – Características Técnicas dos Agregados (Inertes) para Betão Estrutural	82
Quadro 5.4 – Materiais necessários para execução de uma estrutura de betão armado	83
Quadro 5.5 – Materiais necessários para uma estrutura em aço	84
Quadro 5.6 – Classificação de Custos de Equipamentos	86
Quadro 5.7 – Justificação de preços para estrutura metálica [Cype- gerador de preços] (Kg/€)	88
Quadro 5.8 – Justificação de preços para estrutura metálica [Cype- gerador de preços](m ² /€)	88
Quadro 5.9 – Justificação de preços para cofragem em sapatas [Cype- gerador de preços](m ² /€)	89
Quadro 5.10 – Justificação de preços para vigas [Cype- gerador de preços] (m ³ /€)	89
Quadro 5.11 – Justificação de preços para vigas [Cype- gerador de preços] (m ³ /€)	89
Quadro 5.12 – Justificação de preços para pilares [Cype- gerador de preços] (m ³ /€)	90
Quadro 5.13 – Justificação de preços para cofragem de vigas de fundação [Cype- gerador de preços] (m ² /€)	90
Quadro 5.14 – Justificação de preços para Lajes [Cype- gerador de preços] (m ² /€)	91
Quadro 5.15 – Comparação de custos de diferentes elementos estruturais	92
Quadro 5.16 – Análise dos custos	92

Gráficos

Gráfico 5.1 – Comparação de custos	91
Gráfico 5.2 – Comparação de custos de elementos construtivos	93

Capítulo 1

Introdução

1.Introdução

1.1 Aspetos gerais e considerações preliminares: O foco na eficiência económico-estrutural

No contexto da construção de edifícios residenciais multifamiliares, a escolha do sistema estrutural constitui um fator determinante, não só para a segurança e funcionalidade, mas também para o equilíbrio económico do projeto. O dimensionamento estrutural transcende as considerações meramente geométricas e de segurança, assumindo uma particular responsabilidade na otimização dos custos globais de construção. Uma estrutura do tipo reticular para um edifício deve garantir o equilíbrio estático e a resistência face às ações exteriores através de elementos como sapatas, pilares, vigas e lajes, sendo a eficiência com que o faz em termos de custos a variável fulcral deste estudo.

Atualmente, o mercado inerente à indústria da construção apresenta duas soluções predominantes com características de custo e execução contrastantes: as estruturas em betão armado e as estruturas com perfis de aço laminado a quente.

As estruturas em aço (Figura 1.1) têm ganho destaque devido a benefícios evidentes que se traduzem pelos custos indiretos mais baixos e pelo melhor desempenho ambiental no domínio da sustentabilidade. A sua principal vantagem reside na rapidez de execução e no menor peso próprio, o que permite reduzir o tempo de construção e pode, potencialmente, conduzir a fundações menos robustas e dispendiosas. Adicionalmente, oferecem uma liberdade arquitetónica superior com vãos mais amplos. No entanto, estes ganhos em termos de eficiência indireta são contrabalançados pela influência dos fatores humano e material: a instalação exige uma mão-de-obra muito especializada, com a consequente influência nos custos diretos sobre a montagem dos esqueletos resistentes e na gestão do projeto. Salienta-se, deste modo, o binómio celeridade *versus* custo da especialização.

Por outro lado, a utilização do betão armado em pórticos para construções residenciais (Figura 1.2) continua a ser uma solução amplamente utilizada e fiável, assente na sua robustez, durabilidade e uma inata maior resistência ao fogo. A abundância e a versatilidade dos seus materiais constituintes tornam-no uma opção com custos diretos de material frequentemente mais competitivos evidenciando ainda a grande adaptabilidade geométrica para formas muito variadas. Contudo, o processo construtivo é intrinsecamente mais moroso, envolvendo múltiplas e demoradas fases de cofragens, armaduras, betonagens e, posteriormente, o inevitável período de cura para ganho de resistência. Este aumento do tempo associado ao ciclo de uma obra resulta em custos indiretos de construção mais elevados devido ao maior tempo de permanência no respetivo estaleiro. Para além disso, as estruturas em betão armado são habitualmente mais pesadas, exigindo fundações mais robustas e gerando um maior volume de resíduos. Daqui se infere

sobre a importância da relação robustez e custo-benefício tradicional *versus* impacto do prazo.



Figura 1.1 – Exemplos de edificações construídas em aço estrutural

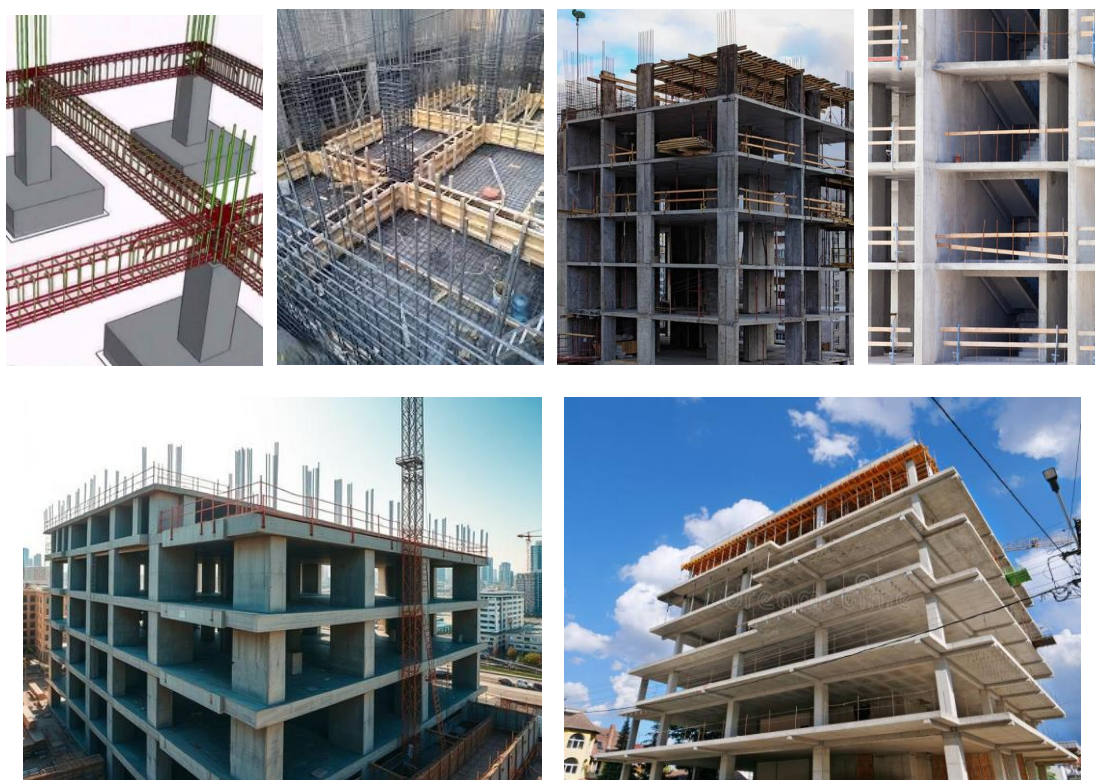


Figura 1.2 – Exemplos de edificações construídas em betão armado

O dimensionamento estrutural representa uma atividade de projecto com particular responsabilidade, uma vez que envolve considerações geométricas e económicas, requisitos de segurança e a procura de uma garantia que a estrutura cumpra adequadamente a sua função enquanto sistema estruturalmente resistente.

É reconhecido que a estrutura de um edifício tem como função fundamental gerar um conjunto de forças internas que sejam capazes de manter o equilíbrio estático, contrabalançar as forças externas e as suas combinações, transmitindo-as posteriormente ao solo. Assumindo que tal sistema estrutural seja do tipo reticular, os vários elementos construtivos como sapatas, pilares, vigas e lajes, devidamente interligados entre si e dimensionados para o fim estabelecido, asseguram a capacidade resistente perante o efeito das ações exteriores ao qual se associa a necessidade de garantir a estabilidade global da estrutura bem como a de todos os elementos através da respetiva análise local.

No âmbito deste trabalho é realizada uma análise comparativa entre os custos diretos e indiretos resultantes para dois tipos de estruturas selecionadas para edifícios do tipo residencial, uma construída em betão armado e a outra em aço mediante perfis laminados a quente. Numa primeira fase, procede-se à apresentação das principais características de cada tipo de solução bem como à identificação das diferenças estruturais entre ambas, abordando-se ainda a composição dos materiais e as principais vantagens e desvantagens associadas a cada sistema estrutural e solução construtiva.

A análise desenvolvida pretende, assim, contribuir para uma tomada de decisão mais fundamentada no âmbito do processo de projeto com vista à construção do tipo de edificações anteriormente descritas.

1.1. Objetivos de estudo e pesquisa a realizar

O âmbito do presente trabalho incide sobre uma análise comparativa rigorosa entre a determinação dos custos diretos e indiretos que se encontram associados à construção de edifícios residenciais do tipo multifamiliar, utilizando quer sejam estruturas em aço quer em betão armado como base de estudo e avaliação.

O foco principal da investigação reside na quantificação das diferenças entre os dois tipos de solução, abordando simultaneamente

- i) custos diretos*, tal como é o caso dos materiais relativos ao aço (em perfis e varões), betão, cofragens, da mão-de-obra especializada/não especializada e dos equipamentos, quantificando-se as quantidades necessárias para cada solução estrutural;
- ii) custos indiretos* referentes aos prazos de execução (como o tempo de estaleiro e respectivos custos associados) bem como a gestão dos resíduos resultantes com a construção necessária a cada uma das referidas soluções.

A análise desenvolvida pretende, pois, ao nível da fase de projecto, contribuir para uma tomada de decisão mais informada e economicamente fundamentada, oferecendo dados concretos sobre quais as implicações financeiras para efeito de escolha do sistema estrutural para o tipo de edificações apresentadas. Por um lado

- a) enfatiza-se a vertente económica utilizando termos como "equilíbrio económico" e "custos globais"; e por outro,
- b) associam-se explicitamente as características de cada tópico aos custos diretos e indiretos:

Assim, de forma objetiva e sistematizada, deseja-se avaliar as implicações técnicas e económicas para cada solução estrutural, de modo a provar qual dos dois tipos de solução estrutural/construtiva apresenta mais vantagens no contexto da construção de blocos habitacionais até 4 ou 5 pisos.

1.2. Estrutura do trabalho e metodologia de apresentação

O conteúdo do trabalho encontra-se subdividido em seis partes fundamentais ao longo das quais se procura abordar de um modo sistematizado e tão completo e referenciado quanto possível.

Para além de uma série de aspetos básicos e considerações introdutórias, inseridas no capítulo 1, enquanto introdução ao tema proposto para a abordagem realizada, o capítulo 2 apresenta um conjunto de características tipicamente associadas às estruturas porticadas utilizando como material resistente o aço estrutural (aço laminado a quente em perfis normalizados), cujas vantagens e desvantagens são igualmente comparadas com as que se observam caso os referidos sistemas porticados para os edifícios residenciais sejam construídos utilizando como material resistente o betão armado.

O capítulo 3 apresenta a definição e a modelação dos casos base de estudo efetuando-se uma comparação entre as correspondentes soluções estruturais.

No capítulo 4 inserem-se as quantidades de materiais habitualmente selecionados para a construção de cada uma das soluções estruturais consideradas.

A estimativa orçamental para cada tipo de solução estrutural é apresentada no capítulo 5 tendo por base uma série de pressupostos relacionados com os preços unitários. Uma análise comparativa de resultados é igualmente inserida no capítulo 5 confrontando custos diretos e indiretos afetos às soluções estruturais anteriormente consideradas.

Finalmente, no capítulo 6, apresentam-se as principais conclusões retiradas com o estudo desenvolvido a que se acrescentam propostas para trabalhos futuros, incluindo-se algumas recomendações para o efeito.

O corpo de texto deste trabalho finaliza com a indicação das principais referências bibliográficas consultadas e que serviram de suporte ao mesmo.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica e Bases teóricas

2. Revisão Bibliográfica e Bases teóricas

2.1 Generalidades sobre o projecto de estruturas

Reconhecendo-se a amplitude, a pluralidade e a relevância da Arquitectura é comum ter-se em consideração que a mesma implica, inevitavelmente, uma construção concebida com o propósito fundamental de se ordenar e organizar um determinado espaço para uma dada finalidade, perspectivando uma certa intenção do Homem ocupar tal espaço.

Em tal processo de ordenação e de expressão a Arquitectura revela-se igualmente como uma arte plástica, uma vez que nos mais variados problemas com que se defronta o arquitecto, desde a fase da criação de um projecto até à da conclusão real da correspondente obra, existe sempre, para cada situação específica, uma determinada margem final de selecção entre um limite assumido como sendo um máximo e um outro como mínimo, estando, todavia, os mesmos condicionados pelo cálculo, marcados pela técnica, limitados ao meio, requeridos pela função ou exigidos por um programa. Baseado num conhecimento tão sólido quanto possível e numa experiência previamente adquirida, o arquitecto deverá escolher numa escala de valores contidos num dado intervalo qual a forma plástica mais apropriada para cada pormenor em função de uma unidade final idealizada para uma certa obra que se deseja conceber e executar.

Sob o ponto de vista construtivo, um edifício é tradicionalmente visto e analisado como sendo um sistema orgânico, e como tal, possuidor de “órgãos”, isto é, subsistemas (horizontais e verticais, por exemplo) interdependentes entre si e cuja cooperação se torna indispensável para o adequado funcionamento que se pretende venha a ter o chamado “produto final”, ou seja, uma determinada estrutura pertencente a uma dada construção e inserida, por sua vez, numa certa obra.

No que diz respeito à participação da Engenharia no processo acima descrito, é possível identificar diferentes elementos entre as componentes de um edifício como sejam as fundações (ou infraestrutura), a superestrutura, a cobertura, o sistema de caixilharia, os paramentos e os revestimentos em geral, bem como diversos sistemas prediais adaptados a cada situação como, por exemplo, as instalações eléctricas, as instalações hidráulicas, os sistemas de ar condicionado ou forçado, entre outros exemplos. Para efeitos de conceção estrutural, ou seja, no contexto do desenvolvimento do projeto de uma estrutura, os principais fatores e critérios a considerar requerem o conhecimento do respetivo projeto arquitetónico, para o qual importa, pois, definir determinados parâmetros e identificar diversos fatores que condicionam qualquer solução. Em termos gerais, e de acordo com diversos autores de referência devem ser tidos em consideração aspetos tão importantes como:

- i) Plantas arquitetónicas dos pisos, cortes e alçados, especificando-se a(o)s
 - ⇒ Tipologia/morfologia da edificação;
 - ⇒ Número de pisos (pavimentos iguais ou diferentes entre si);

- ⇒ Tipo(s) de cobertura(s) (com laje ou sistema treliçado);
 - ⇒ Garagens e parqueamentos (abaixo da cota da soleira);
 - ⇒ Elevadores;
 - ⇒ Escadas;
 - ⇒ Reservatório(s).
- ii) Tipo de terreno e restrições de vizinhança, como por exemplo, o(a)s
- ⇒ Tipo de fundações e respetivas posições em função da natureza geológica de solo(s) existente(s);
 - ⇒ Estruturas de contenção;
 - ⇒ Muros de arrimo.
- iii) Local da edificação, como seja o caso do(a)
- ⇒ Clima e variações de temperatura (efeito da ação da temperatura);
 - ⇒ Ação do vento;
 - ⇒ Ação sísmica;
 - ⇒ Agressividade ambiental (durabilidade do betão e ataque ao aço);
 - ⇒ Facilidade de acesso (materiais, equipamentos, betonagens).
- iv) Finalidade da edificação, tendo em conta o(s)
- ⇒ Tipo de ações variáveis, sobrecargas mínimas em função da utilização arquitetónica e definição dos coeficientes parciais de segurança para as ações (E.L.U. e E.L.S) - Deslocamentos limites e vibrações excessivas;
 - ⇒ Edifícios de habitação unifamiliar, multifamiliar, escritórios, repartições públicas, academias e ginásios para desporto, pavilhões multiusos, laboratórios de ensaios, etc;
 - ⇒ Aeroportos e gares (comboios, portos).
- v) Empreendedor / Construtor, definindo-se claramente o(a)s
- ⇒ Prazos de obra: Início e duração total da obra;
 - ⇒ Custos para estrutura de aço, estrutura de betão ou mista aço-betão; Construção “in situ” ou pré-fabricação de alguns elementos ou de quase todos.
 - ⇒ Tecnologias de construção
 - . Capacidade real do construtor;
 - . Cultura construtiva e Know-how;
 - . Limitações da região;
 - . Equipamentos disponíveis (como gruas e outros equipamentos para içamento de elementos estruturais).

2.2 Blocos habitacionais no Contexto Urbano: Tendências e soluções de construção

2.2.1. Considerações introdutórias

O aço é assumido frequentemente como sendo uma opção muito mais avançada tecnologicamente para o tipo de construção referente aos edifícios residenciais, para além de constituir hoje em dia uma solução claramente mais sustentável e eficiente, o que se torna fundamental tendo em conta as considerações de natureza ambiental e ecológicas.

As estruturas de aço para a construção de edifícios residenciais são mais rápidas de construir, mais leves, mais flexíveis e sustentáveis, permitindo vãos superiores e uma estética muito atraente e bastante apelativa.

O betão armado continua a ser uma opção robusta e duradoura, com aplicações muito importantes como o uso de núcleos resistentes (através de paredes de betão armado para caixas de elevadores e escadas) tendo em vista o aumento da estabilidade global. Por outro lado, os sistemas pré-fabricados aceleram o processo de construção, tornando-os uma opção algo mais competitiva. A escolha entre aço e betão armado depende, naturalmente, do tipo de projeto em questão, perdendo a solução de betão armado para a de aço no que diz respeito à rapidez de construção, amplitude de vãos e sustentabilidade. A opção pela solução com betão armado é tradicionalmente preferida pela sua robustez (embora muitas vezes considerada empírica) e durabilidade, além de ser mais adequada para se explorar a estética do material quando em projetos que exijam grandes massas.

No entanto, uma das principais comparações que deve ser feita ao escolher-se cada tipo de material base para as estruturas dos pórticos diz respeito à questão de saber se as empresas de construção têm ou não disponibilidade e acesso a mão-de-obra qualificada e especializada. Esta situação torna-se mais relevante e exigente quando a solução se centra na escolha do aço estrutural, atendendo ao fabrico em unidades de produção industrial da grande maioria das peças e elementos estruturais para a maior parte das construções em termos de estrutura.

As empresas de metalomecânica, geralmente responsáveis pelo fabrico e montagem de estruturas de aço, têm trabalhadores muito mais especializados do que as empresas que possuem apenas as qualificações e competências para construir utilizando as exigências comuns ao betão armado. Todavia, as competências especializadas dos carpinteiros de cofragem e dos ferreiros fazem igualmente toda a diferença quando se trata de estruturas e construções mais desafiantes, como no segundo exemplo acima mencionado, especialmente se se estiver perante construções com o chamado betão “à vista”.

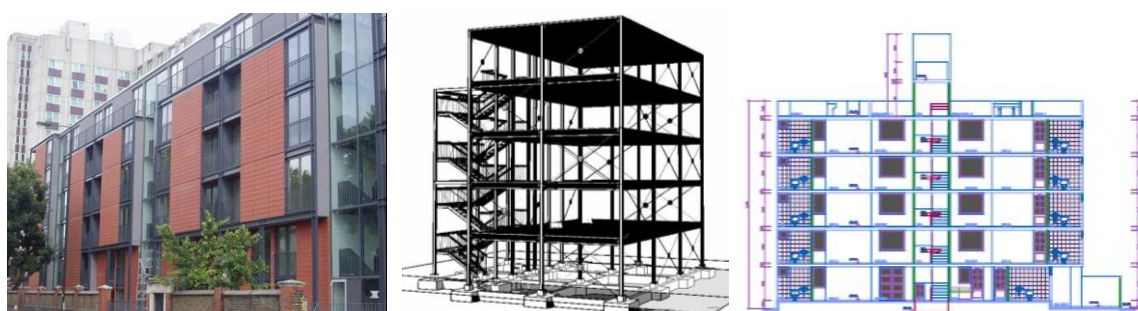
A escolha entre estruturas de aço ou de betão armado para edifícios residenciais com uma altura relativamente baixa (considerando até 4 ou 5 pisos) depende

naturalmente das prioridades e da natureza do próprio projeto, destacando-se, todavia, características como o prazo, o custo, a estética e a durabilidade.

Para edifícios residenciais correntes, geralmente até 5 pisos em áreas urbanas de média densidade, o betão armado (Figura 2.1a) costuma ser, habitualmente, o mais económico em termos de opções iniciais, oferecendo ao mesmo tempo uma durabilidade maior e uma capacidade de resistência ao fogo superior do que a solução exclusiva em aço. Por seu lado, o sistema em aço estrutural (Figura 2.1b) é notoriamente mais rápido de montar e construir, tendo uma relação resistência/peso mais elevada, o que pode ser vantajoso para áreas propensas a sismos bem como para futuras expansões ou requalificações de espaços. A escolha mais realista e sustentada dependerá sempre do equilíbrio entre os fatores decisivos como a velocidade de construção tendo em conta o rendimento dos próprios materiais, os custos de aquisição dos mesmos, para além da mão-de-obra, bem como o desempenho estrutural no contexto da resistência ao efeito da ação sísmica. A sustentabilidade deverá igualmente ser tida em consideração.



a) Soluções de edifícios residenciais com estrutura em betão armado



b) Soluções de edifícios residenciais com estrutura em aço estrutural

Figura 2.1 – Blocos habitacionais correntes (até 5 pisos), adaptado de [Google]

Um sistema misto que utilize ambos os materiais na chamada construção mista aço-betão constitui também uma opção viável, com exemplos de grande qualidade e eficácia atualmente já construídos em muitos países, embora se revele quase sempre como uma solução mais dispendiosa.

Esta análise tem, pois, como principal objetivo fornecer um panorama atualizado de edifícios modernos com vários pisos, comparando-se as vantagens e as desvantagens de diferentes soluções estruturais.

2.2.2 O Sistema estrutural utilizando o aço como material resistente

2.2.2.1 Vantagens e desvantagens das estruturas em aço

Em termos técnicos, as principais vantagens do aço estrutural podem descrever-se como estando relacionadas com a construção mais rápida, onde os componentes pré-fabricados em aço permitem uma montagem com menos tempo consumido, reduzindo significativamente o tempo de construção, atendendo à montagem *in situ* de peças e elementos pré-fabricados em fábrica ou oficina, designadamente no que se refere a soldaduras e furações (com muito maior rigor e controlo). Também a tendência para o elevado rácio resistência/peso, dado que sendo a estrutura de aço mais leve que a de betão, ajuda a reduzir o peso total da estrutura e a diminuir a carga sobre as fundações e o solo onde a mesma assenta.

Por outro lado, a sua resistência superior ao efeito dos sismos, dado que a sua ductilidade permite que se deforme sem romper, torna a solução em aço uma escolha melhor para utilização no contexto de zonas sísmicas. A maior capacidade de flexibilidade para futuras alterações ou modificações (em termos arquitetónicos e construtivos), seja no que diz respeito a uma expansão seja com vista a uma reconfiguração/reutilização conferem ao aço essa possibilidade a médio ou longo prazo.

No contexto das desvantagens que o aço estrutural apresenta encontra-se o custo inicial mais elevado, uma vez que o aço em si mesmo tem apresentado tradicionalmente um custo superior a preços de mercado, embora os tempos de construção mais rápidos *a posteriori* possam vir a compensar tal aspeto, sobretudo em projetos com dimensões mais significativas para a altura e para os vãos.

Complementarmente, a proteção contra incêndios é necessariamente indispensável, dado que o aço perde resistência quando exposto a altas temperaturas, pelo que precisa de ser protegido com revestimentos ou materiais resistentes ao fogo.

A questão da durabilidade e a dependência de uma maior manutenção, requerendo-se uma proteção mais robusta contra o aparecimento da corrosão (ataque de natureza química), especialmente em áreas húmidas ou costeiras, torna-se pertinente, introduzindo uma nova necessidade de custos adicionais. O potencial impacto ambiental, atendendo à produção de aço consumir também muita energia, embora ele próprio seja 100% reciclável, pode acrescentar também alguma desvantagem.

Em síntese, o Quadro 2.1 ajuda a resumir de um modo sistematizado as principais vantagens e desvantagens da construção de edificações utilizando como material resistente o aço estrutural, completando-se aquele quadro com diversas observações e detalhes construtivos associados às respectivas características.

Quadro 2.1 - Principais vantagens e desvantagens da construção em aço estrutural

Principais Vantagens	Detalhes construtivos e Observações
Velocidade de construção	As peças/elementos são pré-fabricados e montados no local, reduzindo significativamente o tempo de construção (especialmente quando comparado com o tempo de cura do betão), o que pode levar a um retorno mais rápido do investimento. As ligações aparafusadas são mais competitivas do que as ligações soldadas, exceto em situações especiais e estruturas menos comuns.
Leveza estrutural	O peso próprio global da estrutura é menor, o que significa fundações menos robustas e, conseqüentemente, custos de fundação mais baixos, um fator muito importante em edifícios mais baixos.
Flexibilidade e comprimento do vão	Permite maior liberdade arquitetónica na criação de espaços interiores sem pilares intermédios, tornando-o adequado para grandes vãos, ideal para <i>layouts</i> residenciais mais modernos e adaptáveis.
Sustentabilidade (Resíduos)	Produz menos resíduos no local da construção, uma vez que o próprio material de aço é 100% reciclável.
Principais Desvantagens	Detalhes construtivos e Observações
Custo inicial e mão-de-obra	O custo inicial do material e a necessidade de mão-de-obra muito mais especializada para a montagem são habitualmente mais elevados.
Desempenho em caso de incêndio	Os elementos requerem proteção passiva contra incêndios (como tintas intumescentes ou revestimentos adequados) para garantir a estabilidade da estrutura em caso de incêndio.

2.2.2.2 Características estruturais e aspectos construtivos da solução em aço

As estruturas em aço são reconhecidas precisamente pela sua eficiência estrutural e flexibilidade construtiva, fatores que as tornam uma solução de excelência na Engenharia Civil contemporânea. Descrevem-se seguidamente e de um modo mais pormenorizado as principais vantagens e desvantagens da construção em aço, fazendo sobressair o foco no âmbito das características mecânicas e estruturais bem como das características construtivas. Assim,

a) Vantagens no âmbito das características mecânicas e estruturais

A escolha do aço como material estrutural baseia-se nas suas propriedades intrínsecas de elevada performance mecânica, e que se traduzem numa otimização dos projetos bem como no desempenho das construções. O aço oferece um conjunto de capacidades que se manifestam desde a fase de projeto até à da construção, com um impacto direto no desempenho estrutural e na economia global da obra. Por outro lado, a construção em aço diferencia-se pelos seus métodos construtivos com alta eficiência e precisão. Deste modo, salienta-se a(o)

- ◇ Elevada Relação Resistência/Peso (σ/ρ) - O aço apresenta uma alta resistência mecânica (tendo por base o conhecimento das tensões de cedência, f_y e última, f_u) a esforços de tração e de compressão, e que conjugada com um peso próprio significativamente inferior comparativamente às peças standard em betão, permite a conceção de elementos estruturais como vigas e pilares mais esbeltos e leves, reduzindo-se a carga permanente total sobre a estrutura e mantendo a capacidade resistente. A redução do peso próprio da superestrutura diminui significativamente os esforços transmitidos às sapatas (fundações), o que leva a uma redução no seu dimensionamento e custos de execução.
- ◇ Vão Livre Máximo - A elevada resistência do aço à flexão e ao corte possibilita o vencimento de grandes vãos com vigas de menor altura, conferindo maior flexibilidade arquitetónica e otimizando a área útil dos espaços dentro dos edifícios, minimizando-se a necessidade de apoios intermédios e obtendo-se maior flexibilidade de *layouts* (plantas arquitetónicas mais abertas).
- ◇ Ductilidade Superior - O aço estrutural é um material intrinsecamente dúctil e bastante homogéneo, sendo tal propriedade essencial para absorver e dissipar energia (de forma controlada) em ocorrências sísmicas, garantindo um comportamento estrutural seguro e globalmente previsível em termos estruturais.
- ◇ Otimização das Lajes - Embora as lajes não sejam tipicamente em aço maciço, o esqueleto metálico é ideal para facilitar a integração de lajes mistas combinando aço e betão armado, que aliam a resistência à tração da chapa de aço e a resistência à compressão do betão, resultando, pois, em lajes mais leves e bastante eficazes para o desejável comportamento como diafragma horizontal nas estruturas dos edifícios.

b) Vantagens no âmbito das características construtivas do “Esqueleto”

- ◇ Pré-fabricação de Precisão - Todos os elementos como pilares, vigas e chapas são fabricados em oficina ou metalomecânica (ambiente industrial controlado) com elevada precisão dimensional e controlo de qualidade,

garantindo um encaixe exato no local da construção e reduzindo significativamente as incertezas e erros associados à execução em obra.

- ◇ Montagem Rápida (sequência construtiva) - A montagem de uma estrutura por meio de ligações predominantemente aparafusadas acelera enormemente qualquer cronograma de trabalhos, uma vez que se eliminam da maioria dos elementos os tempos de cura associados ao betão moldado *in situ*. A sequência de montagem implica habitualmente a construção das fundações (sapatas), seguida do lançamento e alinhamento dos pilares, seguindo-se depois a montagem das vigas principais, montagem das vigas secundárias e por fim a instalação das chapas e conectores (que já podem vir de fábrica) para a construção das lajes mistas. O processo é rápido, permitindo que as sucessivas equipas de especialistas até aos acabamentos iniciem e concluam os respectivos trabalhos mais cedo que o sistema global em betão armado, economizando-se, pois, muito tempo.
- ◇ Compatibilidade e Flexibilidade - A natureza das juntas e ligações aparafusadas permite grande facilidade de ligação entre os perfis de aço e diversos sistemas de construção, proporcionando uma integração suave com outros materiais, bem como a facilidade de futuras ampliações, reforços ou reformulações com grande adaptabilidade durante o ciclo de vida do edifício. Assim, a integração multimaterial e a facilidade de ligação a lajes mistas aço-betão, painéis pré-fabricados para vedação, *drywall* (gesso cartonado) e caixilharias, permite a obtenção de soluções híbridas e eficientes. Por outro lado, a geometria dos perfis permite uma fácil passagem e integração de redes técnicas (elétricas, hidráulicas, AVAC), que podem ser incorporadas nos vãos através das almas dos elementos estruturais.
- ◇ Organização e Gestão do Estaleiro - A pré-fabricação minimiza a necessidade de grandes áreas de armazenamento de materiais e equipamentos pesados no local. Isto contribui para um estaleiro de obras mais limpo, organizado e com menor impacto em áreas urbanas ou confinadas.
- ◇ Durabilidade e Proteção - A proteção dos elementos estruturais contra a corrosão e o incêndio pode ser efetuada através de soluções adaptadas ao projeto, como tintas intumescentes, painéis de isolamento, argamassas projetadas ou o uso de aços patináveis (resistentes à corrosão atmosférica pela exposição).

c) Maiores desvantagens estruturais e construtivas

Apesar das suas múltiplas vantagens, a utilização do aço estrutural requer considerações específicas em termos de projeto e de proteção. Deste modo, salientam-se como principais

➤ Desvantagens mecânicas e estruturais

- ❖ Vulnerabilidade ao Fogo (Comportamento Mecânico) - Para temperaturas elevadas (acima de 550 °C), o aço vai perdendo rapidamente a sua capacidade resistente e o seu módulo de elasticidade (E), o que pode originar um colapso estrutural. A proteção passiva contra incêndios através de revestimentos, tintas intumescentes ou argamassas projetadas é obrigatória e representa um custo e tempo de aplicação adicionais.
- ❖ Instabilidade por encurvadura - Devido à sua elevada esbelteza, os pilares e as vigas em aço são mais suscetíveis ao fenómeno de encurvadura e de instabilidade lateral sob esforços de compressão e flexão, comparativamente ao caso do betão. Tal exige que o projeto incorpore critérios rigorosos quanto à verificação da esbelteza mínima, verificação da capacidade resistente a esses fenómenos e ainda sistemas de contraventamento ou de enrijecimento lateral/global.
- ❖ Fadiga e Vibrações - As estruturas em aço sujeitas a repetidos ciclos de carregamento (como no caso das pontes e de edifícios altos expostos ao vento) são mais vulneráveis à fadiga do material, especialmente nas zonas de soldadura e ligações. Também a sua leveza pode exigir atenção especial no controlo de vibrações para se garantir o conforto dos utilizadores.

➤ Desvantagens construtivas em termos de custos e proteção química

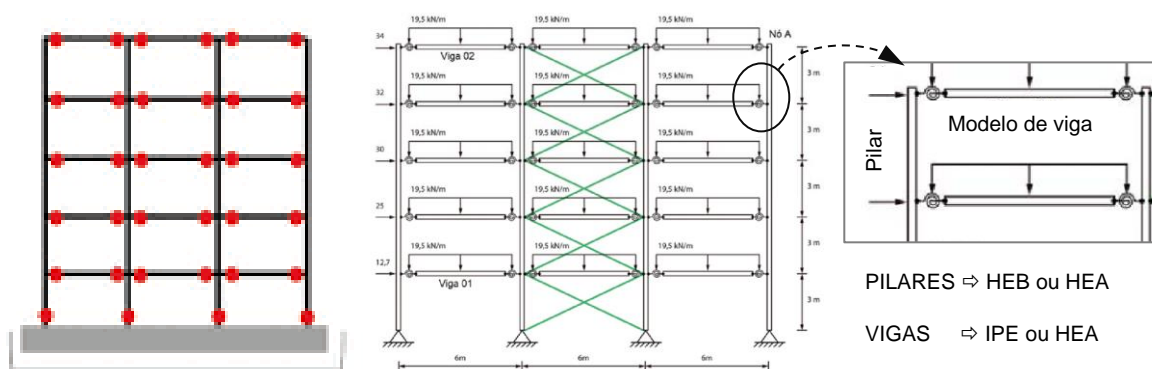
- ❖ Custo Inicial do Material e Processamento - O custo do aço por unidade de peso e o custo do seu processamento em oficina no que se refere ao corte, soldadura, perfuração e pintura, podem ser mais elevados do que os materiais tradicionais, influenciando o investimento inicialmente planeado.
- ❖ Proteção Contra a Corrosão - O aço é suscetível de sofrer corrosão devido à presença de oxigénio (ar, água - humidade). É, assim, necessário aplicar um sistema de proteção mediante pinturas e/ou galvanização, o qual deve ser mantido ao longo do tempo, sobretudo se a estrutura estiver exposta ao efeito de um ambiente agressivo.
- ❖ Mão-de-obra Especializada - A montagem de um esqueleto metálico requer a utilização de mão-de-obra muito especializada (logo, mais exigente e dispendiosa) bem como de equipamentos de elevação adequados, traduzindo-se num fator mais limitador em determinadas regiões, mercados e contextos construtivos.

2.2.2.3 Modelos estruturais e sistemas de Contraventamentos utilizando o aço

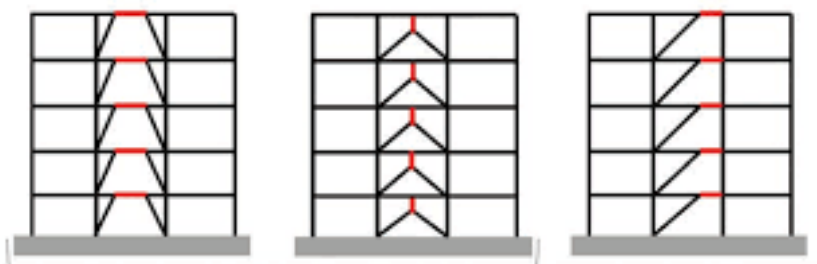
A estabilidade e a integridade global de uma estrutura metálica porticada dependem basicamente da correta modelação dos pórticos interligados entre si bem como da eficiente incorporação de sistemas para efeito de contraventamento

com vista à limitação de deformações laterais. A abordagem ao projeto daquele tipo de estruturas habitualmente adotada é ilustrada esquematicamente a partir da Figura 2.2, com imagens adaptadas do Google, na qual se apresenta um modelo de pórtico estrutural padrão e diversos sistemas de contraventamento no contexto dos pórticos em aço. O primeiro é baseado num modelo estrutural *standard* constituído por vigas bi-rotuladas e pilares contínuos, como se indica na situação a) daquela mesma figura, reconhecido pela sua clareza quanto à análise bem como pela possibilidade na otimização em termos de juntas, ligações e perfis para os elementos constituintes (pilar e viga).

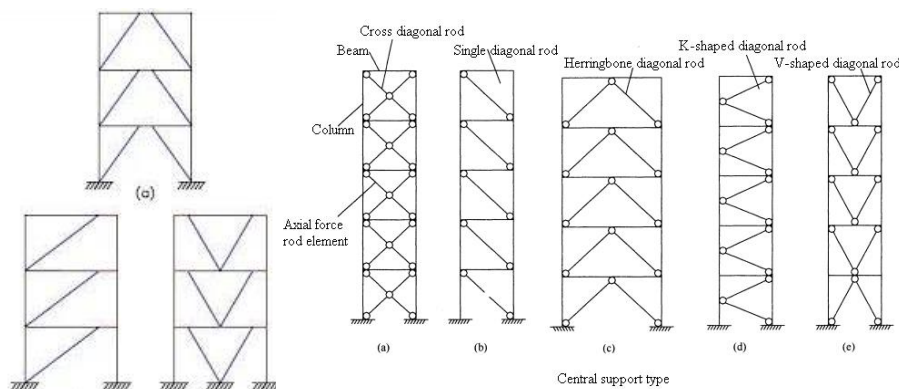
Todavia, para garantir a necessária rigidez contra o efeito das ações horizontais devidas ao vento e ao sismo são tradicionalmente utilizados sistemas estruturais complementares como é o caso dos contraventamentos.



a) Solução de pórtico com vigas bi-rotuladas e pilares contínuos – Modelo estrutural base típico



b) Modelos para contraventamento estrutural de pórticos (simétricos e não simétricos)



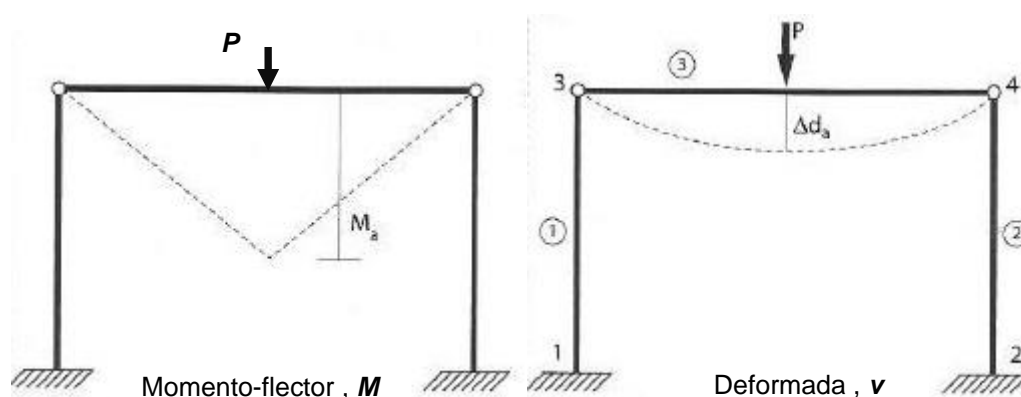
c) Outros modelos de contraventamento com elementos diagonais individualizados

Figura 2.2 – Modelo estrutural e sistemas de contraventamento em pórticos metálicos

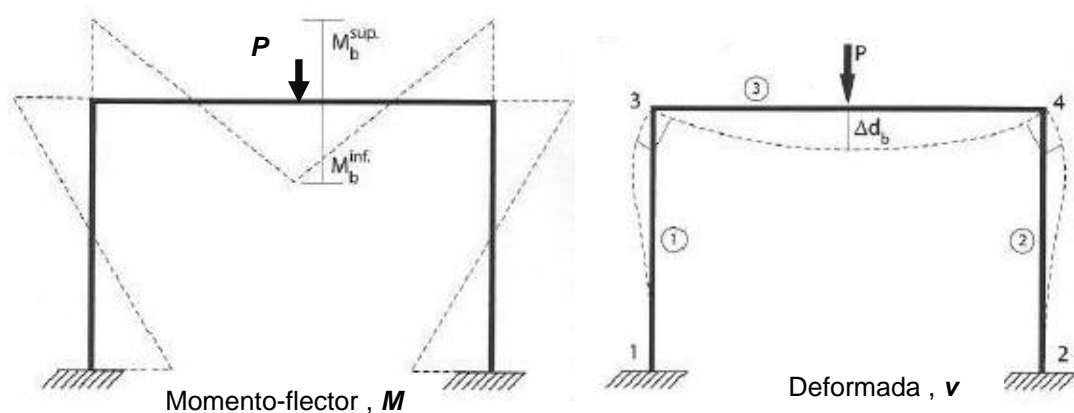
A Figura 2.2 detalha igualmente diversas soluções para se assegurar a referida estabilidade, incluindo modelos simétricos e não simétricos (tal como apresentado na respectiva alínea b), bem como geometrias mais complexas que recorrem a outras configurações de elementos diagonais (tal como se identifica na alínea c) daquela mesma figura).

A escolha final do sistema de contraventamento mais adequado será determinada por critérios de estabilidade lateral, pela capacidade de absorção de cargas mas também por restrições arquitetónicas, procurando-se a máxima eficiência estrutural no contexto do cumprimento integral de requisitos normativos.

Por outro lado, e no contexto dos fundamentos de uma análise estática e cinemática de pórticos, apresenta-se na Figura 2.3, a título de exemplificação para o caso de um só vão e de um só piso, a situação referente a um modelo com as juntas viga-pilar articuladas (a) e a um modelo com as juntas perfeitamente rígidas (b), visualizando-se o traçado gráfico dos correspondentes diagramas de momentos flectores bem como da deformada para cada um dos casos quando se aplica uma força concentrada a meio vão da viga, deixando antever qual a respectiva tendência de comportamento.



a) Pórtico com juntas viga-pilar articuladas



b) Pórtico com juntas viga-pilar “encastradas” (rígidas)

Figura 2.3 – Modelos de pórticos com 1 vão e 1 piso sujeitos a carregamento concentrado ao centro, adaptado de [Google]

Situações de pórticos reais deverão ser analisados por recurso a *software* de cálculo automático tendo em conta a verdadeira hiperestaticidade desses mesmos pórticos. Os modelos reais em aço de tais pórticos poderão traduzir, todavia, um comportamento real intermédio em relação aos diagramas ilustrados na Figura 2.3 uma vez que o comportamento semi-rígido das juntas e ligações em termos do EC3 a isso conduz.

A Figura 2.4 apresenta, por sua vez, a generalização do que sucede habitualmente em pórticos de vários vãos e vários pisos quando se pretende proceder à correspondente modelação e análise em termos de projecto e a forma como se configura a construção de juntas com ligações aparafusadas do tipo viga-pilar, seja por placa de extremidade estendida (Figura 2.4 b) e c) seja por cantoneira de alma (Figura 2.4 d). No exemplo em questão ilustra-se um exemplo de juntas rígidas, juntas semi-rígidas e de juntas articuladas, às quais correspondem, respetivamente, os desenhos das alíneas b), c) e d) da Figura 2.4. Realça-se aqui a terminologia de junta utilizada na versão Portuguesa do Eurocódigo 3, Parte 1-8.

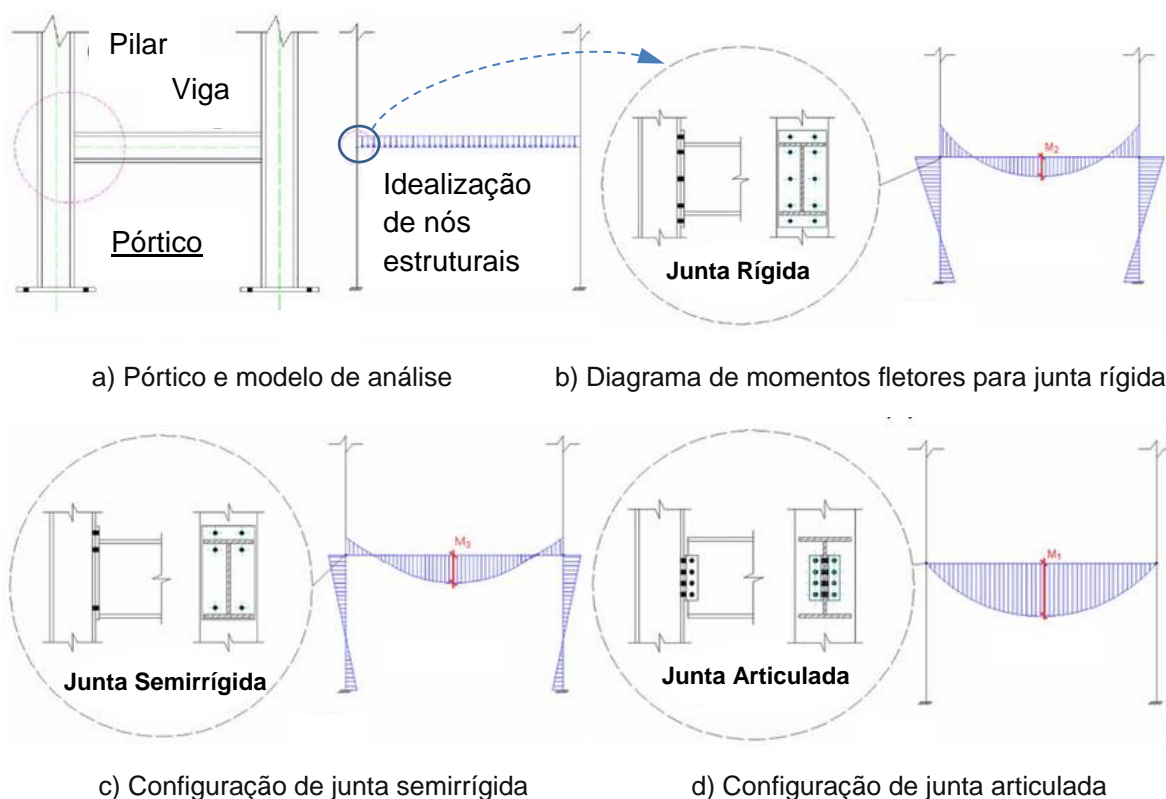


Figura 2.4 – Idealização e modelação de juntas viga-pilar em pórticos de aço e transposição para a respetiva execução construtiva, adaptado de Nardino *et al.* [6]

2.2.3 O Sistema Estrutural utilizando o Betão Armado (BA) como material resistente

2.2.3.1 Considerações introdutórias

O betão armado tem sido tradicionalmente o material mais utilizado em Portugal para a construção de pórticos em edifícios residenciais ao longo dos séculos XX e XXI, pois, sendo robusto e beneficiando de certas inovações que o tornaram mais competitivo com o decorrer do tempo, requer um tipo de mão-de-obra menos especializada do que a solução global empregando a estrutura metálica.

Como vantagens do betão armado cita-se a maior economia inicial, tendo habitualmente custos de aquisição mais baixos para os materiais a utilizar em edifícios de menores dimensões, embora restringidos a vãos mais reduzidos. Em termos de durabilidade a longo prazo torna-se uma escolha fiável para a maioria das condições de utilização.

Em relação à capacidade resistente ao fogo oferece inerentemente uma alta resistência ao fogo sem um tratamento adicional. Quanto à flexibilidade de design, pode ser moldado em formas variadas e complexas, sendo isso menos relevante para blocos residenciais simples atendendo às geometrias básicas do tipo quadrangular, retangular e circular.

Em termos de desvantagens do betão armado constata-se dar origem a peças mais pesadas, aumentando significativamente a chamada “carga morta” sobre o edifício, conduzindo, por isso, a fundações com maiores dimensões.

Por outro lado, este tipo de sistema construtivo e de material resistente é claramente de montagem mais lenta, requerendo-se muito tempo para as operações de betonagem, cura e descofragem, aumentando o tempo de duração total de qualquer construção.

Quanto ao impacto ambiental, vem sendo divulgado pelo meio científico que o mesmo é superior ao das soluções em aço uma vez que a produção de cimento consome muita energia e tem emissões de carbono mais elevadas para o ambiente.

As estruturas em betão armado são tradicionalmente mais vulneráveis a sismos, dado que elas podem ser menos dúcteis, logo, mais frágeis, e propensas a colapsos repentinos caso não estejam devidamente reforçadas.

2.2.3.2 Vantagens e desvantagens da solução em BA

No Quadro 2.2 apresentam-se as principais vantagens e desvantagens da típica construção utilizando o betão armado como material resistente, no qual se adicionam diversos detalhes e observações, por analogia com o apresentado anteriormente para o caso do aço estrutural.

Quadro 2.2 – Principais vantagens e desvantagens da construção em betão armado

Principais Vantagens	Detalhes e observações
Robustez e durabilidade	É conhecido pela sua maior resistência intrínseca ao fogo e por ser muito durável, exigindo pouca manutenção ao longo do tempo. No entanto, em determinados ambientes, degrada-se com o tempo sem proteção especial.
Custo do material (Portugal)	O material final, que inclui agregados como brita, cimento, areia e água, é geralmente mais acessível para as empresas de construção, exigindo menos mão-de-obra especializada, sendo mais comum no mercado tradicional de construção português.
Flexibilidade de forma e estética	A geometria é fornecida. O betão à vista é uma opção estética para determinados projetos com um aspeto sólido e imponente e que pretendem destacar-se em termos de cor.
Estabilidade	A incorporação de núcleos resistentes (paredes de betão armado, comuns em escadas/ caixas de elevador) aumenta a estabilidade geral da estrutura contra a ação do vento e sísmica.
Principais Desvantagens	Detalhes
Tempo de construção	A execução de elementos de betão armado, incluindo a cofragem, o reforço, a betonagem e o tempo de cura necessário para atingir a classe de resistência desejada, torna o processo muito mais demorado do que o aço, uma vez que o aço chega ao local em várias peças para serem unidas, já possuindo toda a sua resistência individual.
Peso e Fundamentos	É um material pesado para elementos de treliça, sobretudo para lajes, que podem exigir fundações mais profundas e mais caras, dependendo, é claro, da natureza do solo e da geometria dos elementos de fundação.
Sustentabilidade (Produção)	A produção de cimento consome muita energia e a sua utilização tradicional geralmente leva a um maior desperdício (entulho) no local. A utilização de elementos pré-fabricados de betão ajuda a reduzir essas duas desvantagens.

As estruturas em betão armado são, pois, reconhecidas pela sua capacidade resistente (incluindo a maior performance ao fogo), durabilidade e manutenção reduzida, fatores que as tornaram numa solução muito utilizada em Engenharia Civil ao longo do tempo.

2.2.3 Comparação entre as utilizações de estruturas em aço e em betão armado: Características estruturais e aspectos construtivos

Em termos gerais, a menos de situações particulares ou especialmente complexas, como conclusão para as recomendações habituais tendo em vista a construção de edifícios residenciais até aos 5 pisos pode referir-se que

- i)* poderá escolher-se o aço para o sistema de pórticos caso a rapidez de execução e a liberdade de projeto arquitetónico (requerendo grandes vãos) sejam as principais prioridades e exigências, enquanto se poderão reduzir os custos de fundações. Por outro lado, o aço permitirá claramente uma solução global muito mais sustentável sob o ponto de vista ambiental.
- ii)* poderá optar-se pelo betão armado se a durabilidade/robustez e o custo do material (potencialmente mais baixo) forem os fatores mais determinantes. Considerando-se a utilização de sistemas pré-fabricados (em vigas, lajes, pilares ou paredes) para se acelerar o processo de construção e procurar mitigar a desvantagem do tempo de construção, conseguirá otimizar-se tal situação.

Os exemplos mais frequentes de utilização de cada um dos materiais referem

- Para zonas sensíveis ao factor custo e com baixa perigosidade em termos de sismicidade, um bloco residencial de baixa altura, em que o orçamento inicial seja a principal preocupação, pode favorecer a escolha relativamente ao betão armado.
- Para projetos que priorizem a rapidez de construção, pois, num empreendimento onde a construção seja mais rápida torna-se essencial, como o caso de um edifício de apartamentos a preços de mercado, sairia beneficiada a solução com uma estrutura de aço.
- Para áreas propensas a sismos, um bloco residencial a construir em tais zonas mais ativas requer uma estrutura de aço atendendo à sua maior ductilidade e capacidade de resistência a forças sísmicas sem falhas repentinas.
- Para o tipo de abordagem híbrida, adopta-se muitas vezes uma estrutura constituída pela combinação de pilares e vigas de aço com uma laje de betão sobre chapa colaborante, oferecendo-se um equilíbrio entre velocidade de construção e desempenho estrutural, sendo comum em edifícios residenciais, os quais incluirão, ainda, caixas de escadas e caixas de elevadores construídas a partir de paredes resistentes em betão armado.

2.2.4 Tipos de estruturas porticadas base: Conceitos gerais, elementos constituintes e aspectos de comportamento

As estruturas verticais de suporte dividem-se habitualmente em estruturas contínuas e descontínuas, sendo estas últimas conhecidas como estruturas pontuais. As estruturas contínuas são tradicionalmente compostas por paredes paralelas, que sustentam pisos horizontais, interrompidos apenas por aberturas e ligados por cordões de betão armado. Tal disposição «liga» toda a estrutura, garantindo-se um comportamento conjunto do tipo «caixão». As paredes podem ser perimetrais, de espinha ou de contraventamento, cada uma com uma função específica bem definida.

Uma estrutura portante contínua é composta por uma série de paredes paralelas, conhecidas como muros, que sustentam os pisos horizontais com as respetivas cargas. Embora permitam aberturas, estas paredes devem ser ligadas por elementos de betão armado denominados cordões, que se estendem continuamente ao longo da alvenaria. Esta ligação garante um comportamento conjunto do tipo «caixão», fundamental para garantir a estabilidade. As paredes podem ser perimetrais, de espigão ou de contraventamento, sendo estas últimas destinadas a contrariar ações horizontais, como as sísmicas.

As estruturas portantes descontínuas são habitualmente compostas por elementos prismáticos chamados pilares, devidamente posicionados no interior da planta do edifício. Estes pilares, juntamente com as vigas principais, que os intersectam, geram estruturas do género quadro reticular em planos paralelos, ligadas por outras vigas horizontais de dimensões compatíveis, conhecidas como vigas de ligação. As fechaduras perimetrais e as divisórias internas neste tipo de estrutura não têm função de suporte e são designadas, respetivamente, de enchimento e divisórias. Os pilares podem ser construídos em betão armado, em aço, em madeira ou ainda em alvenaria armada.

Os pilares de betão armado são de geometria prismática, construídos segundo a direcção vertical e incluem armadura através de varões de aço dispostos longitudinal e transversalmente. Podem ser moldados no local ou pré-fabricados. Os primeiros são feitos através de moldagem vibrada em cofragens posicionadas verticalmente, enquanto os segundos são preparados fora do local e posteriormente posicionados em obra. Os tipos de armadura incluem suportes isolados ou em espiral, cada um com as suas próprias características de resistência e aplicação.

As estruturas com elevação horizontal e inclinadas incluem elementos como vigas, arcos e treliças, que suportam pisos e coberturas, contribuindo para a distribuição uniforme dos carregamentos.

Por seu lado, as vigas podem ser construídas com três materiais básicos, diferentes entre si, como é o caso do betão armado, do aço ou da madeira, igualmente referidos para o caso dos pilares.

As vigas de betão armado, semelhantes em geometria à generalidade dos pilares, são elementos estruturais de forma prismática, cujo eixo se dispõe habitualmente na direcção horizontal. Possuem uma armadura constituída por varões de aço incluindo barras longitudinais paralelas ao eixo (colocadas nas proximidades dos lados superior e inferior da secção, com uma distância mínima da superfície externa do betão chamada de recobrimento) e barras transversalmente dispostas designadas por estribos, que envolvem as armaduras longitudinais. As vigas de betão podem ser construídas no local da estrutura ou serem pré-fabricadas. As vigas *in situ* são diretamente realizadas nos posicionamentos próprios de acordo com o projecto da estrutura, apresentando habitualmente secções retangulares maciças ou em forma de T. As vigas pré-fabricadas, por outro lado, podem ter formas mais complexas e são produzidas fora da obra, sendo posteriormente colocadas nos lugares próprios, ajudando a reduzir o tempo total de construção.

Os elementos de betão também podem ser distinguidos em vigas rebaixadas, com geometrias otimizadas para cargas pesadas e vãos significativos, e vigas com espessura de laje, caracterizadas por uma base consideravelmente maior do que a altura. Esta última configuração, embora desafie os princípios teóricos da Estática e da Resistência dos Materiais, é muitas vezes utilizada em lajes de edifícios residenciais atendendo a condicionantes geométricas em termos arquitetónicos.

Tradicionalmente, as estruturas em betão armado podem ser classificadas segundo as tipologias que a seguir se descrevem. No entanto, em síntese, as estruturas em pórtico, as estruturas com paredes resistentes e as estruturas mistas incluindo pórticos e paredes correspondem habitualmente aos tipos mais comuns para efeito de construção de edificações com vista à utilização residencial. Simultaneamente, tais tipologias de estruturas porticadas e com paredes seguem as linhas orientadoras fundamentais já anteriormente apresentadas em termos de projecto para este género de edifícios segundo as bases estipuladas pelo Eurocódigo 2 – Parte 1-1, bem como pela anterior legislação Portuguesa, REBAP, a qual foi sendo sucessivamente substituída pela primeira referência indicada ao longo das últimas duas décadas.

2.2.4.1 Estruturas em pórtico

Para as estruturas em pórtico, conforme ilustrado na Figura 2.5, a resistência às ações verticais e horizontais é confiada às estruturas porticadas propriamente ditas que possuem um arranjo espacial, onde a resistência ao corte na base deve ser maior ou igual a 65% da resistência total ao corte.

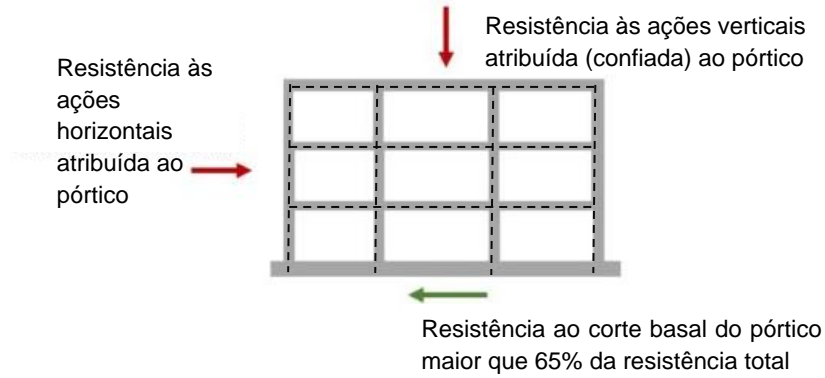
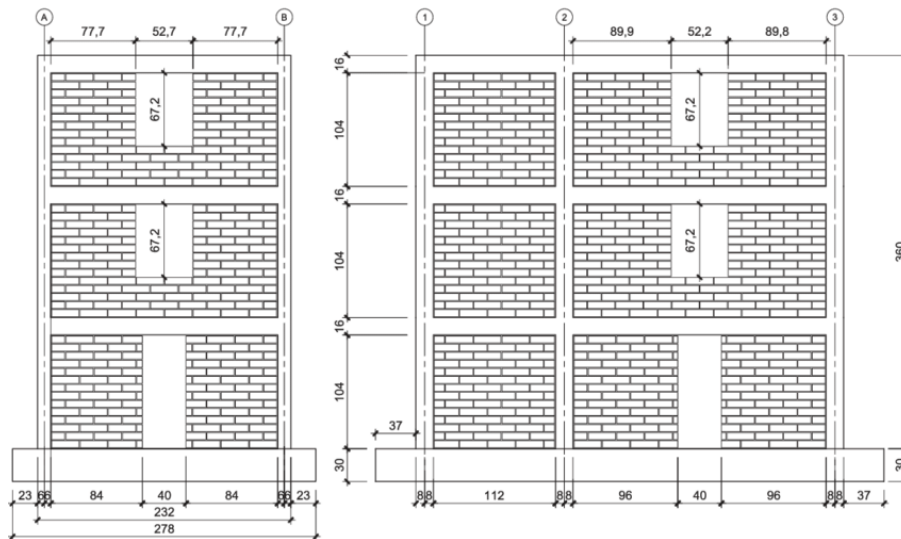
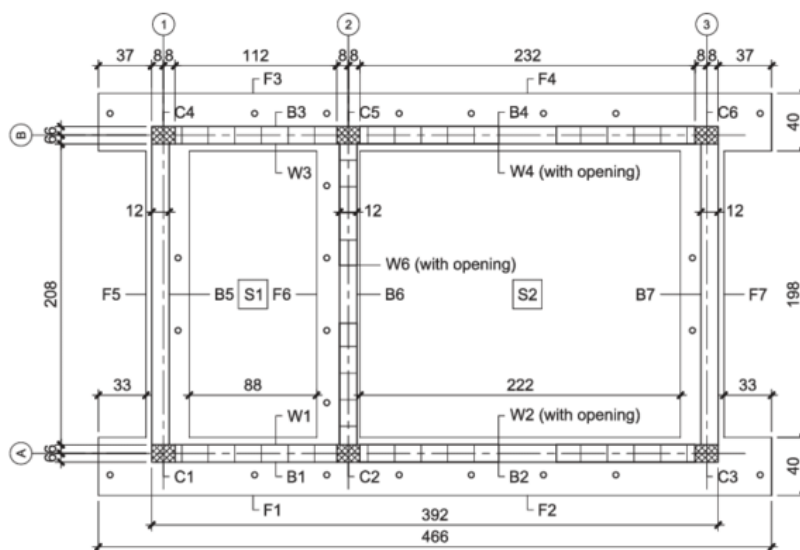


Figura 2.5 – Estrutura porticada

A Figura 2.6 ilustra um exemplo de uma estrutura porticada em betão armado.



a) Vista da estrutura em alçado transversal e em alçado longitudinal



b) Vista da estrutura em planta

Figura 2.6 – Exemplo de estrutura porticada em betão armado, adaptado de [Google]

Na Figura 2.7 esquematiza-se a situação referente a uma determinada planta regular para um edifício em betão armado constituído por 3 vãos (segundo cada uma das direcções em planta) e 3 pisos (incluindo 3 níveis de lajes para os respectivos pavimentos), traduzindo-se numa situação corrente quanto à utilização de estruturas porticadas construídas com aquele material em termos de capacidade resistente. Trata-se, no entanto, de uma situação com perfeita simetria, a qual não sucede na maioria dos casos reais.

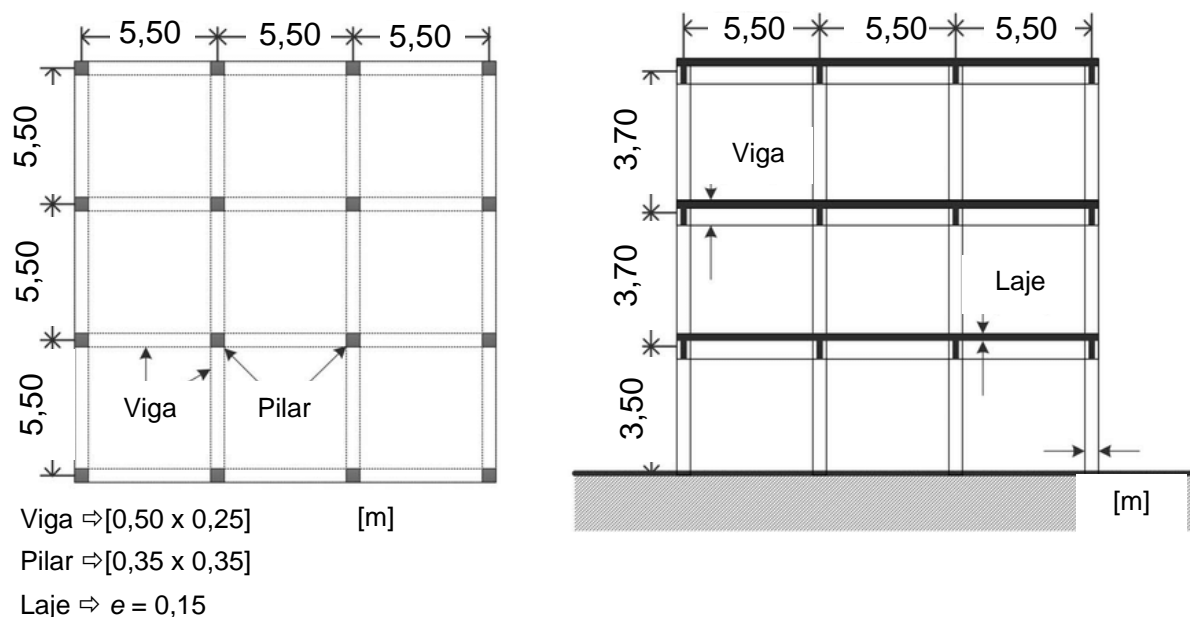


Figura 2.7 – Planta e alçado frontal de uma estrutura porticada regular em betão armado, adaptado de [Google]

2.2.4.2 Estruturas com paredes

Para estruturas com paredes maciças em betão armado, tal como se mostra na Figura 2.8, a resistência às ações verticais e horizontais é confiada principalmente aos elementos de parede, em que a resistência ao corte na base deverá ser maior ou igual a 65% da resistência total ao corte.

As paredes resistentes, dependendo da respectiva forma em planta, são definidas como simples ou compostas. Deste modo, e em função da ausência ou da presença de vigas de acoplamento com comportamentos dúcteis, distribuídas regularmente ao longo da altura, aquele tipo de paredes pode ser definido como sendo simples ou acoplado. Uma estrutura é considerada com paredes acopladas se o momento total na base, produzido pelas ações horizontais, for equilibrado, em pelo menos 20%, pelo par produzido pelos esforços verticais induzidos nas paredes devido ao efeito da ação sísmica.

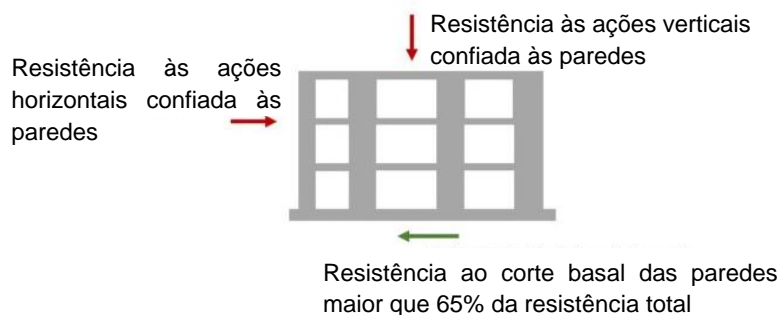


Figura 2.8 – Estrutura com paredes resistentes

2.2.4.3 Estruturas mistas com pórtico e paredes

Nas estruturas mistas integrando pórticos e paredes, conforme se ilustra na Figura 2.9, a resistência às ações verticais é assegurada, sobretudo, pela parte porticada, enquanto a resistência às ações horizontais é assegurada em parte pelos pórticos e em parte pelas paredes, individuais ou emparelhadas.

Se mais de 50% da ação horizontal total for absorvida pelos pórticos, fala-se de estruturas mistas equivalentes a estruturas porticadas, caso contrário, aceita-se o conceito de estruturas mistas equivalentes a paredes resistentes.

Na Figura 2.10 apresentam-se também diversos exemplos de contraventamentos passíveis de serem aplicados em pórticos de betão armado, seja em disposições simétricas ou assimétricas, seja com diagonais constituídas por elementos de betão armado ou de aço estrutural.

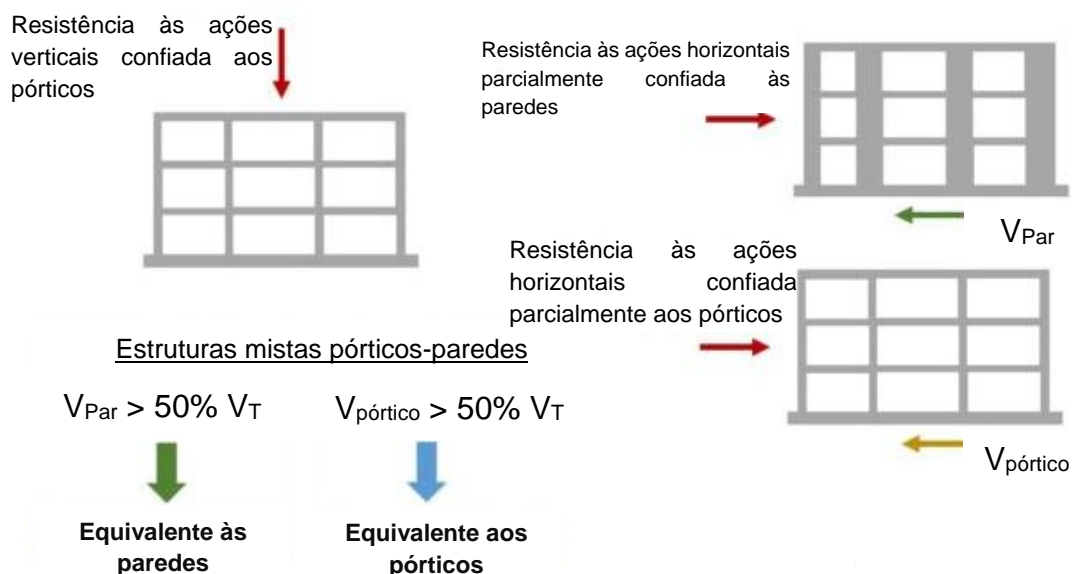


Figura 2.9 – Estruturas mistas pórtico - parede resistente

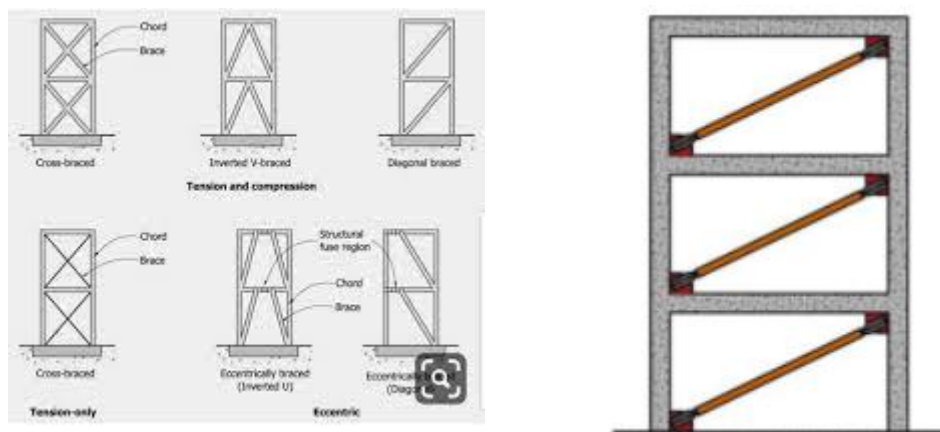


Figura 2.10 – Contraventamentos em pórticos de betão armado, adaptado de [Google]

A definição de uma determinada tipologia estrutural para uma certa solução construtiva, em termos de projecto de estruturas, requer o conhecimento pormenorizado e individual dos vários tipos de elementos estruturais existentes bem como das diversas soluções disponíveis para se materializar uma determinada concepção.

Assim, no contexto das tipologias de estruturas mais utilizadas em edifícios de betão armado (correspondente à grande maioria das edificações construídas ao longo do Séc. XX em Portugal) e tendo por base a influência da acção sísmica é genericamente reconhecido e aceite poderem ser considerados os três casos fundamentais de estruturas de acordo com as Figuras 2.5, 2.8 e 2.9 já apresentadas, conforme estabelecido anteriormente pelo próprio REBAP (1983), ou seja:

- a) Estruturas porticadas formadas apenas por vigas e pilares;
- b) Estruturas em parede resistente propriamente ditas ou núcleos, constituídas enquanto paredes com capacidade à flexão e ao corte, para além da compressão;
- c) Estruturas mistas constituídas pela associação de elementos do tipo pórtico e do tipo parede.

Todavia, a concepção de um sistema estrutural e a optimização das respectivas vantagens pode ser realizada através de várias possibilidades como, por exemplo:

- ☞ Pórticos rígidos, contraventados através de diagonais e exibindo nós deformáveis (com arranjos 2D ou 3D);
- ☞ Pórticos com ligações articuladas (nós metálicos);
- ☞ Pórticos com ligações semi-rígidas (nós metálicos);
- ☞ Treliças e associação entre pórticos e treliças (soluções metálicas);
- ☞ Sistema convencional constituído por laje + viga + pilar (incluindo pórticos segundo as duas direcções em planta);
- ☞ Sistema de lajes fungiformes (sem vigas), correspondente a laje + pilar;

A análise comparativa entre as diversas alternativas estruturais e construtivas implicará sempre, no contexto de várias possibilidades à disposição para efeito de projecto, a consideração das seguintes situações:

- ❖ Estrutura moldada no local de construção ou pré-moldada (pré-fabricada) ou combinação entre as duas possibilidades;
- ❖ Estrutura com elementos em betão armado ou em betão pré-esforçado;
- ❖ Estrutura em aço laminado a quente ou enformado a frio;
- ❖ Estrutura mista aço-betão;
- ❖ Estrutura mista aço-betão-madeira;
- ❖ Em sistemas estruturais para os pavimentos nos pisos:
 - ◆ Laje maciça;
 - ◆ Lajes nervuradas;
 - ◆ Lajes aligeiradas com vigotas pré-fabricadas e enchimento com blocos cerâmicos.

2.2.5 Aspetos relacionados com o projeto estrutural

2.2.5.1 Considerações preliminares

Na fase de projeto e cálculo de uma estrutura em betão armado, é muito importante identificar corretamente o tipo estrutural entre os propostos pelas normativas técnicas. O tipo estrutural determinará, pois, a magnitude do fator de comportamento e o valor da ação sísmica atuante.

O projeto estrutural é o processo de engenharia que define as componentes estruturais de um edifício (como por exemplo, fundações, pilares, vigas, lajes) para garantir a necessária segurança, estabilidade e resistência às solicitações previstas durante a vida útil da respetiva obra.

O projeto estrutural inclui habitualmente em termos práticos uma memória descritiva e justificativa na parte escrita, bem como desenhos relativos a plantas, alçados, cortes (secções), cálculos estruturais, detalhes construtivos, especificações técnicas dos materiais, e/ou relatório geotécnico para as fundações.

O projeto estrutural é obrigatório para todas as novas construções, ampliações, elevações, mudanças de uso do edifício, intervenções estruturais em edifícios existentes (no contexto da chamada reabilitação estrutural) e, de um modo geral, para todos os trabalhos que alteram a estática do edifício.

2.2.5.2 As fases do projeto estrutural

O projeto estrutural pode traduzir-se na aplicação de princípios teóricos e de regras práticas, bem como de normas específicas destinadas a garantir os requisitos essenciais de resistência mecânica, estabilidade e durabilidade.

O paradigma atual de projeto prevê que as obras devem garantir determinados níveis de desempenho, de acordo com os Estados Limite, durante toda a vida útil nominal do projeto.

O alcance de determinados níveis de desempenho permite evitar colapsos, perdas de equilíbrio, mas também manter um certo nível de resistência mecânica em condições de incêndio.

O processo de projeto estrutural, que leva ao alcance de determinados níveis de desempenho, pode ser dividido nas seguintes fases:

- Planeamento estrutural;
- Ações e avaliação das cargas;
- Métodos de análise;
- Projeto dos elementos;
- Detalhes, desenhos e preparação das atividades.

2.2.5.3 Planeamento estrutural

O planeamento estrutural é fortemente influenciado pela escolha tecnológica efetuada, ou seja, pelo material e pela tecnologia a ele associada.

Por sua vez, a escolha tecnológica pode depender de vários fatores, tais como:

- Custo;
- Tempo de execução;
- Requisitos ambientais.

Uma estrutura em betão armado construída *in situ* pode ter um custo mais baixo, mas tempos de construção mais longos em comparação com uma estrutura semelhante, mas construída através da tecnologia de pré-fabricação. A escolha deve ser sempre feita após uma análise de custo-benefício.

Além desses aspetos, porém, a escolha tecnológica influencia, por sua vez, o planeamento estrutural, que deve confrontar-se com outros aspetos, como a perigosidade do local, a categoria do edifício da qual derivam as cargas estáticas e as necessidades do cliente.

Considerando o caso de uma estrutura de armação em betão armado, o processo de planeamento estrutural pode ser dividido nas seguintes fases:

- a) Estudo da perigosidade do local e definição do modelo de projeto;
- b) Posicionamento, orientação e respeito pelas limitações nos pilares;
- c) Posicionamento e respeito pelas limitações nas vigas;
- d) Definição dos pisos;

e) Escolha do tipo de fundação.

a) Estudo da perigosidade do local e definição do modelo de projeto

À luz dos eventos sísmicos passados e doutros mais recentes, que afetaram o nosso território, e, conseqüentemente, da perigosidade que foi deduzida a partir desse conhecimento, o projetista não pode ignorar a aplicação de modelos de projeto capazes de enfrentar tais eventos, que muito provavelmente estão destinados a ocorrer em algum tipo de cenário futuro.

A tradução normativa define, para as estruturas sujeitas a ações sísmicas e não equipadas com dispositivos de isolamento e/ou dissipativos, dois comportamentos para as estruturas:

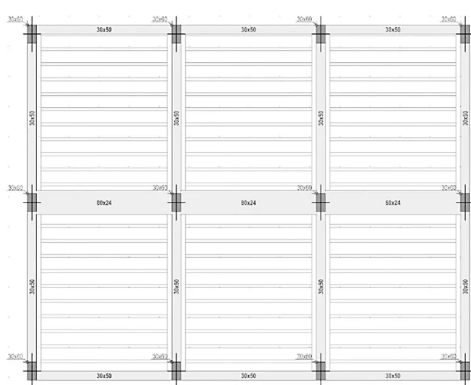
- comportamento estrutural dissipativo;
- comportamento estrutural não dissipativo

Para as estruturas com comportamento dissipativo, deverá escolher-se a classe de ductilidade a ser associada, que influenciará as várias prescrições de modo a regular a capacidade dissipativa, quer seja a nível local quer global.

De acordo com esta abordagem, ao projetista coloca-se o desafio de fazer escolhas sobre o comportamento que deseja obter, com base na perigosidade do local, e que em casos de particular complexidade pode também ser deduzida a partir de um estudo de resposta sísmica local.

b) Posicionamento, orientação e respeito pelas limitações nos pilares

Uma das situações bastante importantes e que normalmente se encontra associada à fase de projecto consiste em identificar o adequado posicionamento dos pilares em termos de orientação segundo uma das direções cartesianas em planta (Figura 2.11), sugerindo-se que no global a disposição em termos de orientação segundo o eixo forte possa ajudar a proporcionar uma rigidez total segundo a direção x tão semelhante quanto possível à que se conseguiria segundo a direção y .



a) Exemplo de orientação correta



b) Exemplo de orientação não benéfica para o cumprimento das verificações estruturais

Figura 2.11 – Orientação das secções dos pilares em plantas estruturais

c) Posicionamento e respeito das limitações nas vigas

As vigas permitem a transferência das cargas para os pilares e, em contextos de carga excecional, devem permitir a ativação/mobilização de rótulas plásticas, de modo a favorecer mecanismos tão dúcteis quanto possível.

Tal como descrito para os pilares, também as vigas devem ser tidas em conta nos seguintes aspetos:

- Posicionamento: Com efeito, as vigas devem, salvo necessidades arquitetónicas específicas ou tipos especiais nos esquemas estruturais, ser colocadas entre os pilares, a fim de criar uma estrutura espacial tridimensional. Isto contribui para tornar o edifício regular em altura e também para limitar os deslocamentos entre pisos.

- Limitações normativas: várias limitações são definidas sobre a geometria, mas além delas, pode-se citar a regra de que a altura da viga deve ser inferior ou igual à altura do pilar menos 5 cm.

Deve ter-se em conta no pré-dimensionamento, a fim de respeitar o princípio da hierarquia da resistência viga-pilar, a verificar, no entanto, após a análise estrutural.

d) Definição dos pisos

As vigas, ou lajes, do ponto de vista estrutural, podem ser de estrutura simples ou dupla.

As lajes de estrutura simples são projetadas considerando idealmente uma faixa unitária livre de qualquer ligação transversal, portanto, sob carga, idealmente, deveriam apresentar uma deformação cilíndrica, mas isso quase nunca acontece.

Este comportamento destaca a necessidade de estabelecer cuidadosamente os parâmetros estruturais do projeto.

Regras simples sugerem manter a relação entre a luz livre do teto e a espessura do mesmo no intervalo de 18-20, a fim de limitar a deformabilidade. Ao limitar a deformabilidade, é possível evitar concentrações de esforço produzidas por elementos não estruturais e, portanto, o surgimento de fissuras.

Em lajes com estrutura única, a interação nas bordas é um aspecto que certamente deve ser levado em consideração. De facto, as estruturas paralelas à estrutura, que não constituem um apoio direto, constituem uma restrição transversal real, que gera tensões internas e, portanto, possíveis fissuras.

O problema pode ser resolvido com a criação de nervuras ou, em casos de tensões elevadas, com a criação de uma junta estrutural ao longo dessas direções.

A direção da estrutura é um aspeto certamente interessante para o projetista. Em geral, tende-se a alternar a direção da estrutura de modo a manter uma distribuição uniforme da carga nos vários andares.

e) Escolha do tipo de fundação

No processo de planeamento estrutural, além dos aspetos já definidos e outros não mencionados, a escolha do tipo de fundação é um aspeto de grande importância.

A fundação é a parte da obra que tem a função de transferir as cargas derivadas das superestruturas para o solo, em condições estáticas e dinâmicas.

As investigações geotécnicas nesta fase podem ajudar a investigar as propriedades do solo, fornecendo também informações úteis sobre a presença de eventuais lençóis freáticos e variações no seu nível.

Existem vários tipos de investigações e, obviamente, devem ser proporcionais à natureza da obra e/ou intervenção a realizar, mas é importante salientar que o projetista é responsável pela definição do plano de investigações, caracterização e modelagem geotécnica, mesmo que esse estudo seja sempre afetado por uma incerteza intrínseca.

A escolha do tipo de fundação nunca deve ser feita *a priori*, sendo sempre necessário investigar as características geotécnicas do terreno, a fim de se poder fazer a melhor escolha para toda a vida útil nominal do projeto.

2.3 Comparação entre sistemas estruturais/construtivos

Uma comparação entre pórticos de aço e pórticos de betão armado (conforme Quadro 2.3) revela diferenças significativas em termos de custos, tempo de construção, propriedades do material e adequação a diferentes tipos de projectos. A escolha entre um e outro dependerá, naturalmente, dos requisitos específicos de cada projecto/obra.

Optar pelo material aço se a rapidez de execução e a liberdade estética do traço arquitetónico requerer grandes vãos será uma decisão adequada se estas forem as prioridades máximas. Caso se pretenda reduzir os custos de fundação será igualmente uma opção a considerar. Em qualquer caso, a solução com aço estrutural permitirá, claramente, uma solução global muito mais sustentável em termos ambientais.

Caso a solidez, a durabilidade e o custo do material (potencialmente mais baixo) sejam os fatores determinantes, a opção pelo betão armado será a mais acertada. A utilização de sistemas pré-fabricados (seja através de vigas, lajes, pilares ou até paredes), de modo a agilizar-se o processo construtivo e mitigar a desvantagem do tempo de construção, ajudará a escolha final em termos competitivos.

Os pórticos construídos em aço e em betão armado comparam-se em termos do respetivo peso, custo, tempo de construção, durabilidade e estética, sendo os

de aço mais leves e rápidos de montar, revelando-se ideais para grandes vãos e projetos com prazos mais apertados, embora, possam resultar, geralmente, mais caros por cada quilo de massa (peso).

Quadro 2.3 - Comparação entre sistemas estruturais: aço *versus* betão armado

Característica	Pórticos em Aço	Pórticos em Betão Armado
Peso	Menor peso próprio	Maior peso próprio
Tempo de Construção	Mais rápido devido à pré-fabricação e montagem	Mais lento, com maior tempo de execução
Custo	Geralmente mais caro por quilo (incluindo material e mão de obra)	Geralmente mais económico, especialmente em projetos menores
Vantagens	Ideal para grandes vãos e projetos com prazos apertados; maior agilidade	Boa relação custo-benefício, especialmente para projetos de menor escala
Desvantagens	Maior custo por quilo	Mais lento e pesado
Aplicações	Pavilhões, edifícios industriais, pontes	Construção geral, edifícios de menor porte e projetos com orçamento limitado

Por seu lado, os pórticos construídos em betão armado são mais pesados, mais demorados, exigindo mais tempo de execução, tendendo a ser mais económicos, especialmente em projetos de menor escala ou que exijam um orçamento mais baixo.

Quadro 2.4 - Comparação detalhada entre pórticos em aço e pórticos em betão armado

Característica	Pórticos em Aço	Pórticos em Betão Armado
Tempo de construção	Mais rápido: As peças são pré-fabricadas em fábrica e chegam ao canteiro de obras prontas para serem montadas. A montagem é ágil e eficiente, feita com parafusos ou soldas.	Mais lento: Envolve várias etapas no local, como cofragem, armadura, betonagem e cura do betão, o que prolonga o cronograma da obra.
Custo	Inicialmente mais elevado: O material (aço) tende a ser mais caro por quilo do que o betão. No entanto, o custo total pode ser competitivo devido à rapidez da construção e à redução da mão-de-obra.	Geralmente mais económico: O betão e os seus componentes são mais baratos e facilmente disponíveis. Contudo, os custos de mão-de-obra e o tempo de construção podem ser superiores.

(Continuação do Quadro 2.4)

Peso próprio	Mais leve: A estrutura de aço é mais leve do que a de betão para a mesma resistência, resultando em menor carga sobre a fundação e potencialmente reduzindo os custos de fundação.	Mais pesado: O elevado peso próprio afeto ao betão pode exigir fundações mais robustas e dispendiosas.
Grandes vãos	Mais adequado: O aço é o material de eleição para estruturas com grandes vãos livres, como em armazéns ou pontes, devido à sua elevada resistência e à possibilidade de criar peças esbeltas.	Menos versátil: Embora seja possível construir grandes vãos, as peças tendem a ser mais maciças e pesadas, limitando a viabilidade de alguns projetos.
Canteiro de obras	Mais limpo e organizado: O processo de montagem gera menos resíduos (entulho) e exige menos espaço no canteiro, uma vez que as peças chegam prontas para instalação.	Mais desorganizado: A preparação da cofragem, a betonagem e a cura do betão produzem mais resíduos e exigem mais espaço para armazenamento de materiais e equipamentos.
Manutenção	Requer proteção: As estruturas de aço precisam de proteção contra a corrosão, especialmente em ambientes húmidos ou agressivos. A proteção deve ser inspecionada e renovada periodicamente.	Mais durável e resistente: O betão protege a armadura de aço da corrosão, garantindo uma boa durabilidade, desde que a execução seja correta e a espessura do cobrimento seja adequada.
Resistência ao fogo	Baixa resistência intrínseca: O aço perde rapidamente a sua resistência quando exposto a altas temperaturas, exigindo a aplicação de proteção ignífuga.	Boa resistência intrínseca: O betão oferece uma excelente proteção natural contra o fogo para a armadura de aço no seu interior.
Modificações e reforços	Mais flexível: As estruturas de aço são mais fáceis de modificar ou reforçar. Chapas adicionais podem ser soldadas ou aparafusadas para aumentar a capacidade de carga.	Mais complexo: Modificar ou reforçar estruturas de betão armado é um processo mais difícil e intrusivo, o que pode limitar as adaptações arquitetónicas futuras.
Desperdício e sustentabilidade	Menor desperdício: O aço é um material reciclável, e a pré-fabricação em fábrica minimiza o desperdício no local de construção.	Maior desperdício: A construção com betão tende a gerar mais resíduos, embora a reciclagem de betão seja uma prática crescente.

CAPÍTULO 3

PROJECTOS DE BASE ADOPTADOS PARA ESTUDO COMPARATIVO

3. Projetos de base adotados para estudo comparativo

3.1 Aspetos introdutórios

O presente capítulo apresenta a descrição das estruturas consideradas para contabilização das respetivas medições, tendo em vista a elaboração do correspondente mapa, cujo conteúdo servirá como comprovativo para a determinação dos custos envolvidos, no contexto da estimativa orçamental que se pretende apresentar para a construção de uma edificação assumindo cada uma das soluções estruturais citadas.

Se no primeiro caso, relativo à análise de uma estrutura metálica, o respetivo projecto é assumido como estando concluído e se analisa o mesmo no sentido de se extraírem todas as informações necessárias a partir dos seus elementos, com vista à determinação das quantidades tradicionalmente requeridas num mapa de medições típico de um projecto, no segundo caso, e antes da aplicação da metodologia antes descrita para o mesmo efeito, descrevem-se primeiramente os critérios e procedimentos técnicos adotados para elaboração do pré-dimensionamento dos elementos estruturais existentes numa estrutura de betão armado, fundamentados nas diretrizes do Eurocódigo 2 (EN 1992-1-1).

O objetivo principal consiste, assim, na definição das geometrias que servirão de base para a quantificação dos materiais em questão e posterior análise comparativa de custos resultantes entre a adoção de uma estrutura metálica ou de uma estrutura em betão armado para uma edificação tão análoga e compatível com a primeira quanto possível.

Para o fim pretendido, e no âmbito dos objetivos de base do presente trabalho, proceder-se-á à realização das medições a partir da análise da estrutura de aço já existente, assumida como sendo uma referência de base para o trabalho em curso, realizando-se a partir desta um pré-dimensionamento para a estrutura de betão armado de forma a compararem-se situações homólogas no contexto das dimensões, das medições e dos custos, tal como referido nos capítulos 4 e 5.

3.2 Projecto da estrutura metálica a considerar (projecto pré-existente e assumido como referência de base)

A solução de referência para o estudo comparativo realizado no presente trabalho (e idealizada como solução de base) corresponde a uma estrutura metálica porticada (assumida já como pré-existente), dimensionada à data pelo Aluno Renato Amorim [8], da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Beja, cujo projecto foi objecto de avaliação em concurso promovido pela CMM (Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista) em 2005 no âmbito da competição de projectos académicos sobre estruturas metálicas e mistas aço-betão. A análise e

dimensionamento da referida estrutura, a que o Orientador deste trabalho teve acesso naquela época, por ser Membro da CMM, seguiu as diretrizes e cláusulas estabelecidas pelo Eurocódigo 3, nas suas Partes 1-1 e 1-8 (EC3-1-1 e EC3-1-8). A referida estrutura caracteriza-se por um sistema de pórticos rígidos compostos por perfis de aço da série europeia (IPE e HEB). A escolha do projeto antes mencionado como base de comparação é justificada pela sua eficiência em grandes vãos e pela rapidez de execução, servindo de termo comparativo (entenda-se métrica) para avaliar igualmente a competitividade da solução alternativa utilizando estrutura porticada mas em betão armado, cujo pré-dimensionamento se apresenta no âmbito deste trabalho.

Assim, na Figura 3.1 apresenta-se a planta referente ao piso 0 do edifício da estrutura metálica já apresentada, enquanto a Figura 3.2 ilustra a planta dos respectivos pisos 1, 2 e 3, em respeito pela respectiva autoria. Refere-se que originalmente o edifício projectado perspectivava a utilização mista para habitação e comércio.

Identifica-se uma disposição de vigas mediante uma malha regular com um total de 7 vãos segundo a direção x e de dois vãos segundo a direção y, ortogonal à primeira. Os respectivos comprimentos variam entre os 2,16 m e os 6,31 m para a direção x, sendo iguais a 5,02 m ao longo da direção y.

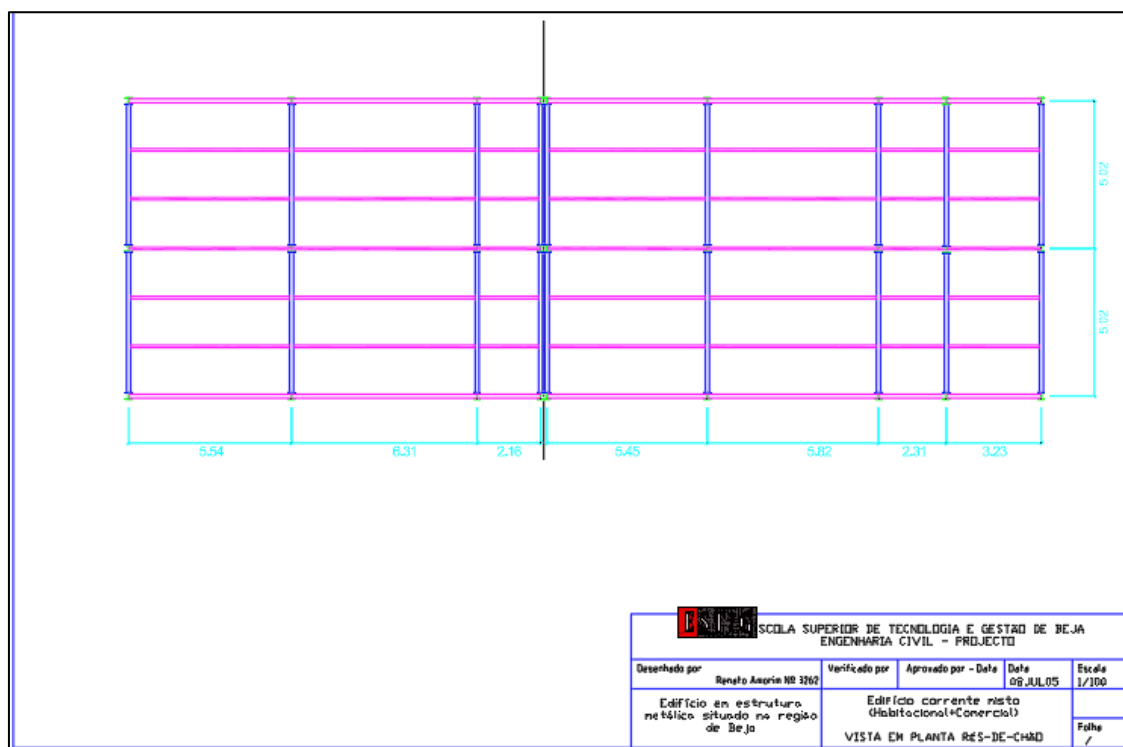


Figura 3.1 – Planta do piso 0 - Desenho do AutoCad, segundo Amorim [8]

A Figura 3.3 apresenta o alçado principal do edifício em causa, contabilizando-se 4 pisos para cada uma das partes A e B em que o edifício se pode decompor,

dada a existência de uma descontinuidade entre ambas. A altura entre pisos varia desde os 2,60 m no piso da cave até aos 3,40 m no Rés-do-chão, sendo igual a 2,85 m nos pisos 1 e 2, conforme se indica no correspondente desenho.

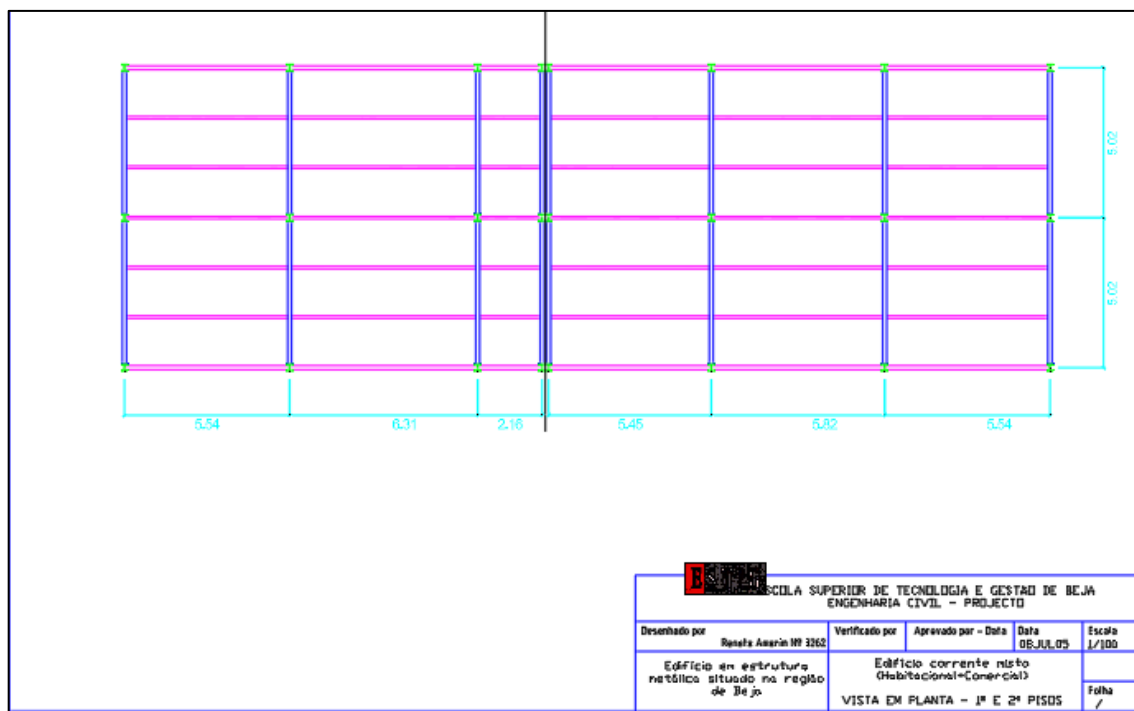


Figura 3.2 – Planta dos pisos 1, 2 e 3 – Desenhos do AutoCad, segundo Amorim [8]

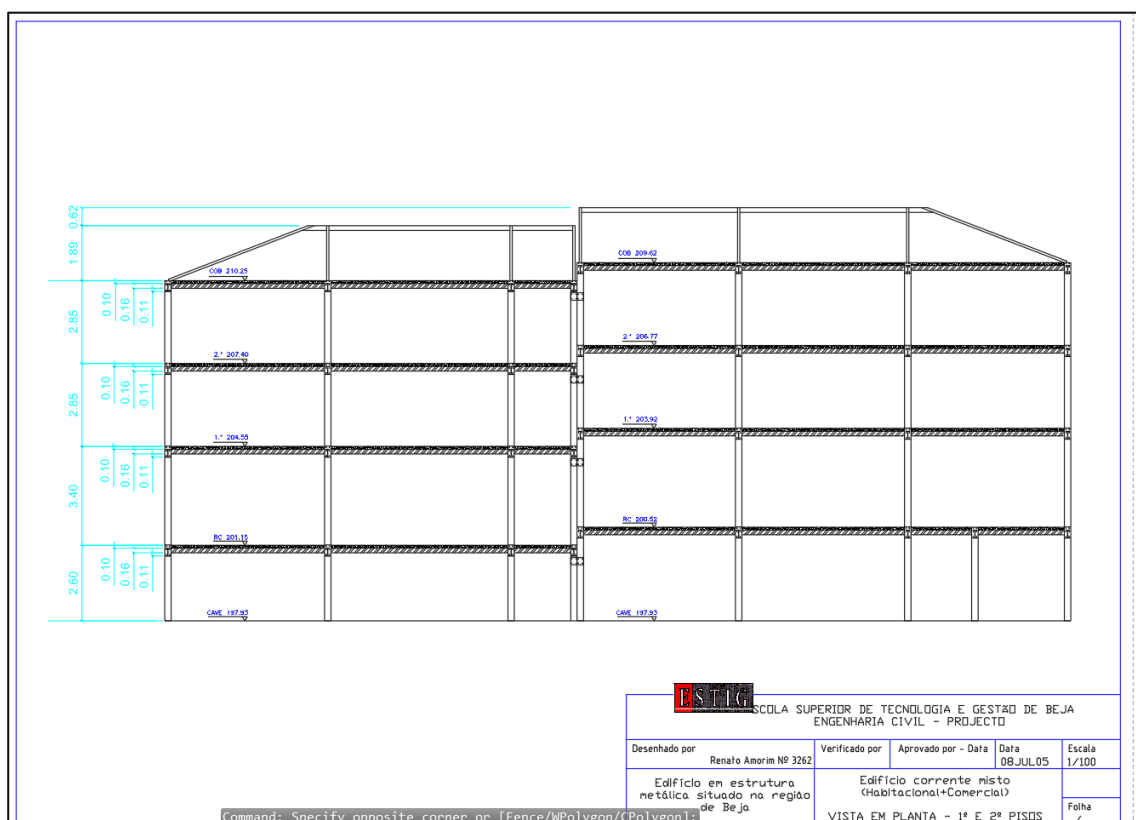


Figura 3.3 – Alçado principal – Desenhos do AutoCad, segundo Amorim [8]

A Figura 3.4 apresenta, por seu lado, os pórticos transversais para cada uma das duas partes do edifício, caracterizados por um desenvolvimento em dois vãos e incluindo 4 pavimentos estruturais. Cada um dos pórticos assume uma tipologia constituída por pilares contínuos e vigas bi-rotuladas, conforme modelo mais tradicional anteriormente introduzido.

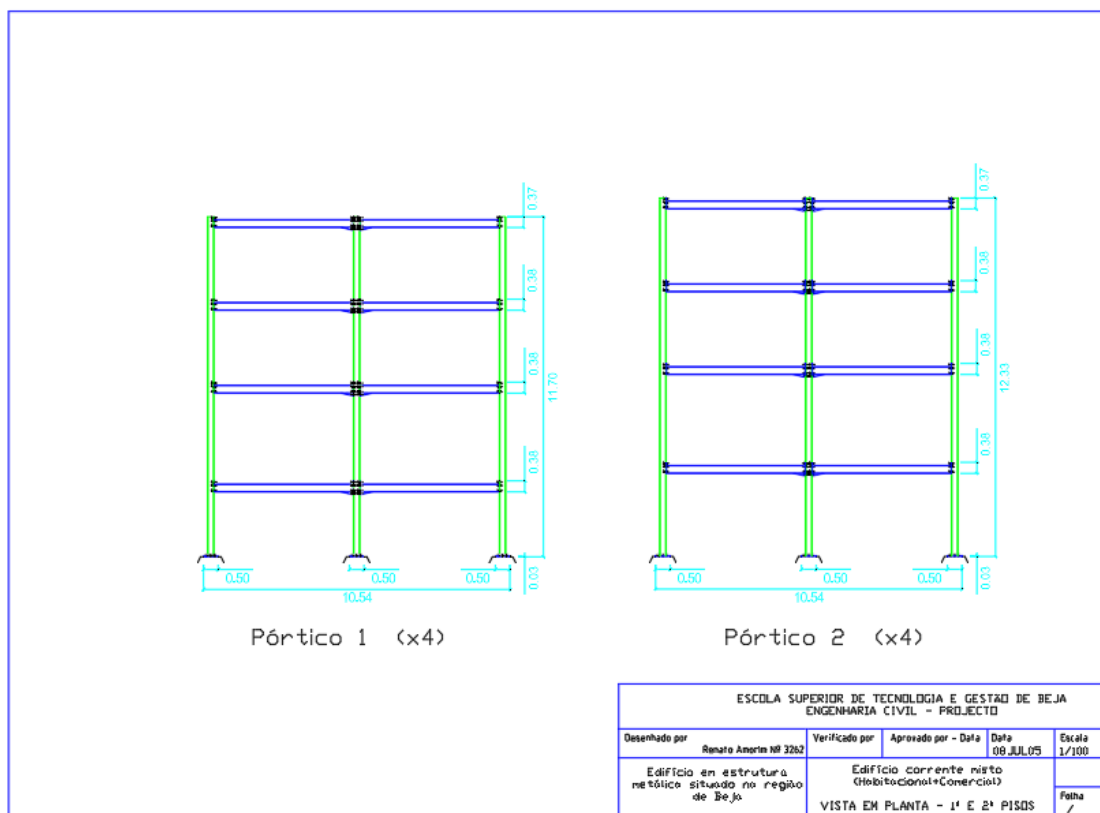


Figura 3.4 – Pórticos principais – Desenhos do AutoCad, segundo Amorim [8]

3.3 Projeto preliminar da estrutura de betão armado homóloga

Para a realização do pré-dimensionamento da estrutura de betão armado desejada consideraram-se os desenhos de AutoCAD da estrutura pré-existente em aço, descrita em 3.2, efetuando-se posteriormente uma análise desta última de modo a retirar os valores referentes às dimensões principais para que o referido pré-dimensionamento da segunda estrutura pudesse ser viável e compatível com a primeira solução perspetivando-se, naturalmente, uma comparação entre ambas as soluções analisadas. Tal situação assume uma importância essencial no sentido de respeitar comprimentos e larguras tão fidedignas quanto possível das dimensões reais da estrutura metálica para se proceder à atribuição de dimensões exequíveis para vãos e secções no caso dos elementos de betão armado.

Na sequência do exposto, as Figuras 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8 apresentam os respetivos desenhos em AutoCad relativos à planta de fundações do edifício original, à planta dos pisos 1, 2, 3 e 4, aos pórticos transversais do mesmo bem como ao alçado principal da mesma edificação.

Para o efeito desejado os desenhos das figuras acima indicadas foram executados com as dimensões determinadas em 3.3.1

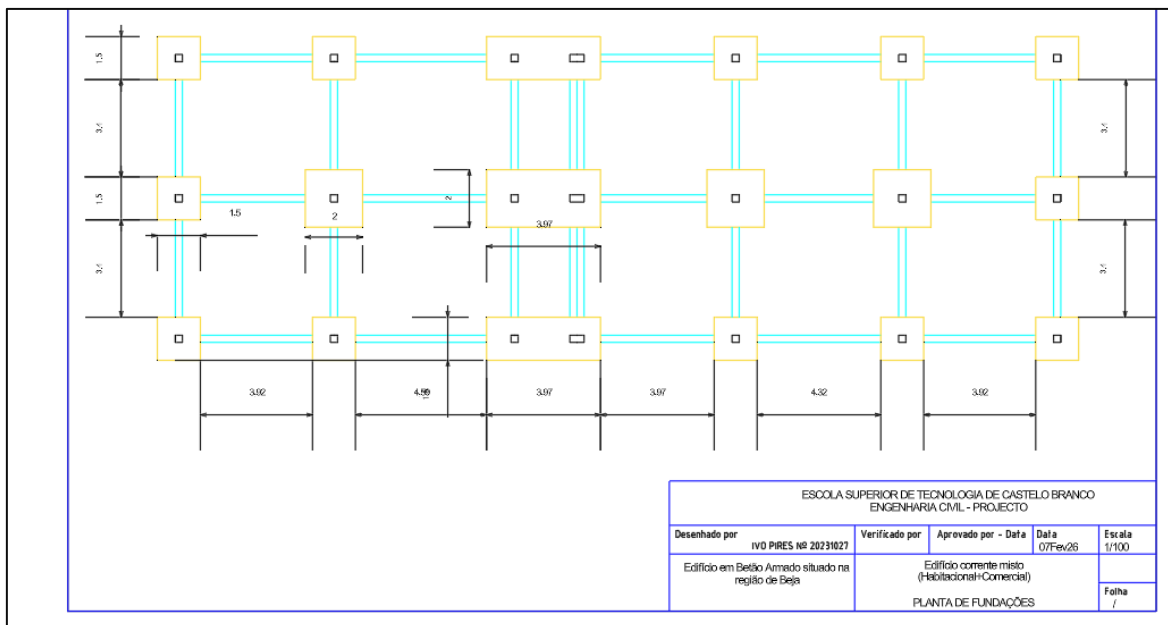


Figura 3.5 – Planta de fundações: Desenho do AutoCad segundo pré-dimensionamento, desenho proposto pelo autor deste trabalho

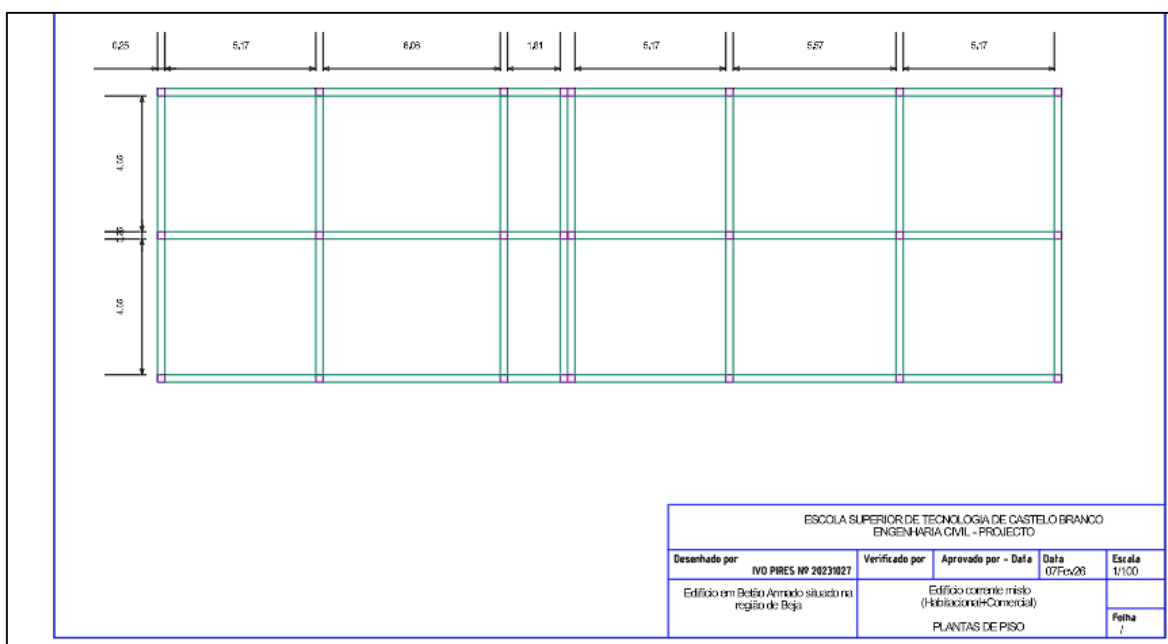


Figura 3.6 – Planta dos pisos 1, 2, 3 e 4: Desenho do AutoCad segundo pré-dimensionamento, desenho proposto pelo autor deste trabalho

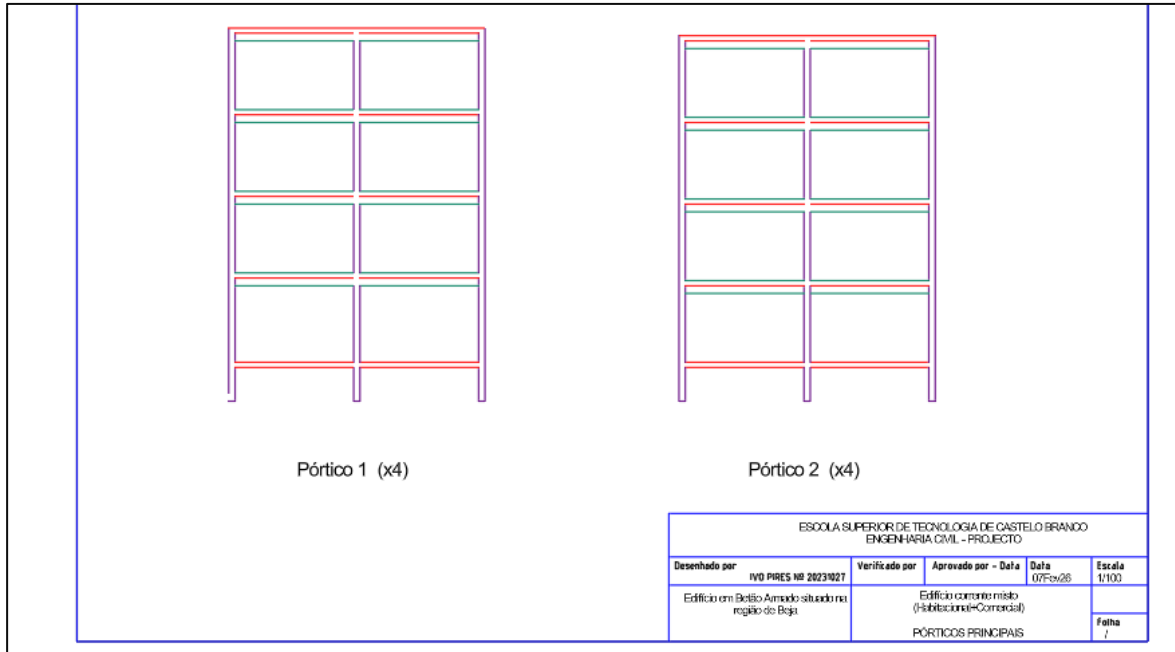


Figura 3.7 – Pórticos principais: Desenho do AutoCad segundo pré-dimensionamento, desenho proposto pelo autor deste trabalho

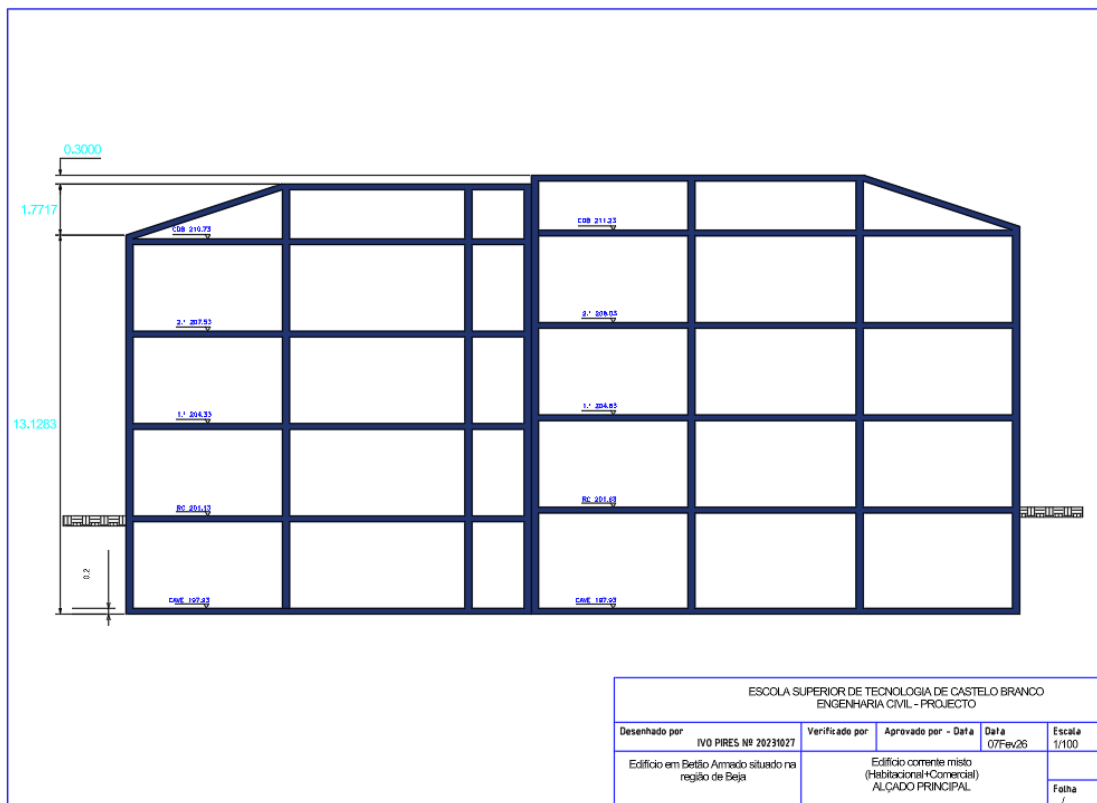


Figura 3.8 – Alçado Principal: Desenho do AutoCad segundo pré-dimensionamento, desenho proposto pelo autor deste trabalho

3.3.1 Pré-Dimensionamento de vigas

As vigas suportam as lajes e transmitem as respetivas cargas aos pilares.

◇ Altura (h_v) - A altura total da viga deverá situar-se entre 1/10 e 1/12 do vão L , consoante o vão seja exterior ou interior no desenvolvimento estático. Admita-se uma relação de $h_v \approx L/10$.

◇ Largura (b_v) - Fixa-se habitualmente entre 1/2 a 1/3 da altura h_v , respeitando a largura mínima de 20 cm ou a largura do pilar, de modo a facilitar a betonagem e o posicionamento das correspondentes armaduras.

Fazendo uma média dos 6 vãos dos pórticos, teremos um comprimento médio igual a:

$$\frac{2,54 + 6,31 + 2,18 + 5,45 + 5,82 + 5,54}{6} = 5,14 \text{ m}$$

a) A dimensão da viga segundo o eixo y , designada por altura, será assumida como sendo igual a:

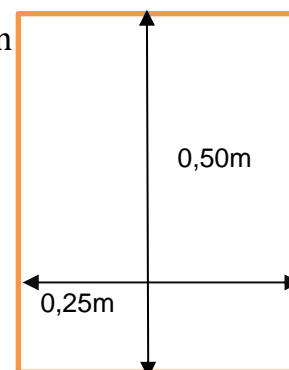
$$5,14 \text{ m}/10 \text{ ou } 5,14 \text{ m}/12 = 0,514 \text{ m ou } 0,428 \text{ m}$$

$$h_v = \frac{0,514 + 0,428}{2} = 0,47 \text{ m} \approx 0,50 \text{ m}$$

Para a largura da viga (segundo o eixo x), resultará:

$$\frac{0,50}{2} \text{ ou } \frac{0,50}{3} = 0,25 \text{ m ou } 0,16$$

$$\Rightarrow b_v = 0,25 \text{ m}$$



Secção transversal das vigas

3.3.2 Pré-Dimensionamento de uma laje padrão

Um pré-dimensionamento inicia-se habitualmente, pelas lajes de piso, uma vez que a sua espessura influencia diretamente o peso próprio que será transmitido aos restantes elementos da estrutura.

◇ Espessura (h ou e) - Para lajes maciças, é frequente utilizar uma relação entre o vão menor (L_{menor}) e um coeficiente que varia com a continuidade do elemento.

◇ Regra prática - $h_l \approx L_{menor}/30$ a $L_{menor}/35$.

◇ Limite mínimo - Recomenda-se uma espessura mínima de 10 cm a 12 cm para o caso dos edifícios habitacionais. Assim, virá,

$$L_{menor} = 5,02 \text{ m}$$

$$\frac{5,02}{30} \text{ ou } \frac{5,02}{35} = 0,167 \text{ m ou } 0,143 = 0,167 \text{ m} \approx 0,17 \text{ m}$$

De modo a colocar numa medida mais standard assumimos 20cm de laje.

3.3.3 Pré-Dimensionamento de pilares

O pré-dimensionamento dos pilares baseia-se no conceito da carga vertical acumulada atendendo à estimativa de áreas de influência.

- Carga de Cálculo (N_{sd}) - Estima-se a carga total baseada no número de pisos e numa carga média por metro quadrado, que traduz uma área, por exemplo,
- Área da Secção de betão (A_c) - Para evitar o fenómeno de encurvadura e ajudar a garantir a segurança preliminar, faz-se:
- $A_c \geq N_{sd}/(0,6 \cdot f_{cd})$

sendo f_{cd} a resistência de cálculo do betão, isto é, a capacidade resistente à compressão, conforme classe de resistência selecionada a utilizar. Em pilares quadrangulares, o lado é naturalmente dado por $a = b = \text{RAIZQ}(A_c)$

Cálculo dos Pesos Próprios (PP)

Peso do betão armado = 25KN/m³

PP viga	0,25*25 = 6,25 KN/m²
PP laje	0,2*25 = 5,0 KN/m²
Sobrecarga de utilização (EC1)	2,0 KN/m²

O projeto é composto por duas partes, sendo a combinação de ações apresentada aplicável a ambas no eixo x. Na sequência, será realizada a elaboração da combinação de ações para o segundo eixo (eixo y), perpendicular ao eixo x.

Situação favorável:

$$Q_{\text{Favorável}} = 1 \times (6.25 + (5) \times 5.02) = 31,35 \text{ KN/m}$$

Situação desfavorável:

$$Q_{\text{desfavorável}} = 1.35 \times (6.25 + (5) \times 5.02) + 1.50 \times (2 \times 5.02) = 57.38 \text{ KN/m}$$

O projeto existente é composto por 2 partes, sendo esta a parte para o eixo y.

Parte 1

Situação favorável:

$$Q_{\text{Favorável}} = 1 \times (6,25 + (5) \times 5,77) = 35,1 \text{ kN/m}$$

Situação desfavorável:

$$Q_{\text{desfavorável}} = 1,35 \times (6,25 + (5) \times 5,77) + 1,50 \times (2 \times 5,77) = 64,70 \text{ kN/m}$$

Parte 2

Situação favorável:

$$Q_{\text{Favorável}} = 1 \times (6,25 + (5) \times 5,68) = 34,81 \text{ kN/m}$$

Situação desfavorável:

$$Q_{\text{desfavorável}} = 1,35 \times (6,25 + (5) \times 5,77) + 1,50 \times (2 \times 5,68) = 63,81 \text{ kN/m}$$

Com o objetivo de maximizar os esforços no segundo apoio (contando da esquerda para a direita), procedeu-se ao carregamento da viga com as ações desfavoráveis aplicadas simultaneamente no primeiro e no segundo tramos, obtendo-se a partir do programa de cálculo *Ftool* os seguintes resultados:

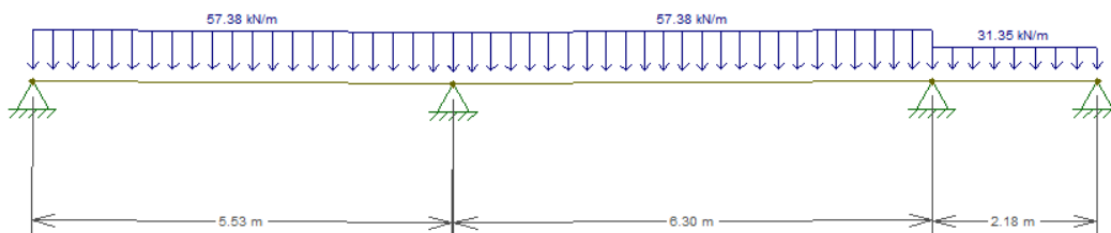


Figura 3.2 - 1ª Parte, viga segundo o eixo x - vãos e carregamento, segundo FTOOL

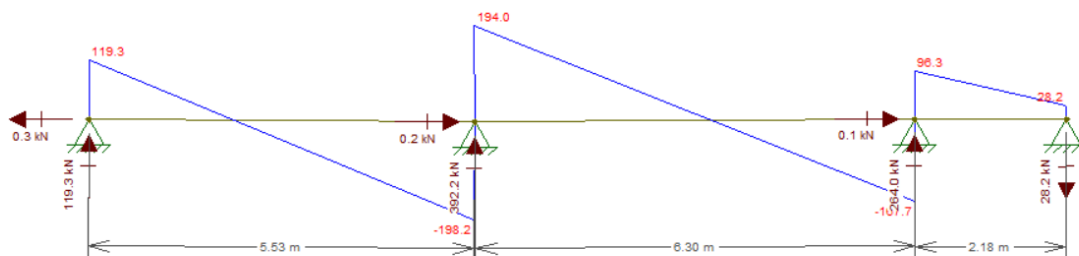


Figura 3.3 - 1ª Parte, viga segundo o eixo x - Esforço transversal, V [kN], segundo FTOOL

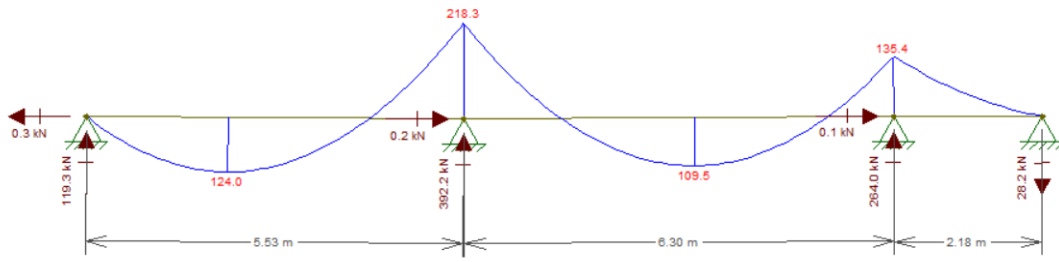


Figura 3.4 - 1ª Parte, viga segundo o eixo x - Momento fletor, M [kNm], segundo FTOOL

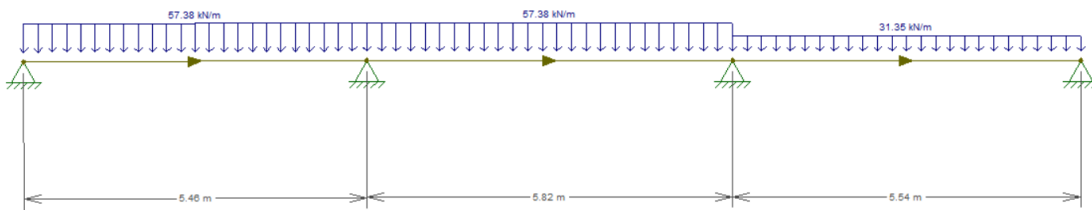


Figura 3.5 - 2ª Parte, viga segundo o eixo x – vãos e carregamento

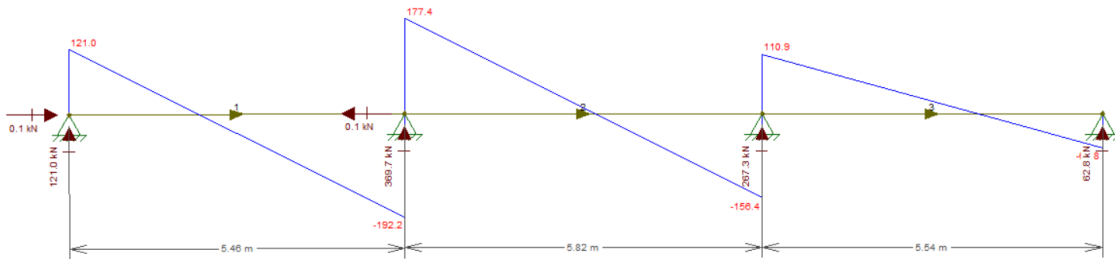


Figura 3.6 – 2ª Parte, viga segundo o eixo x - Esforço transversal, V [kN]

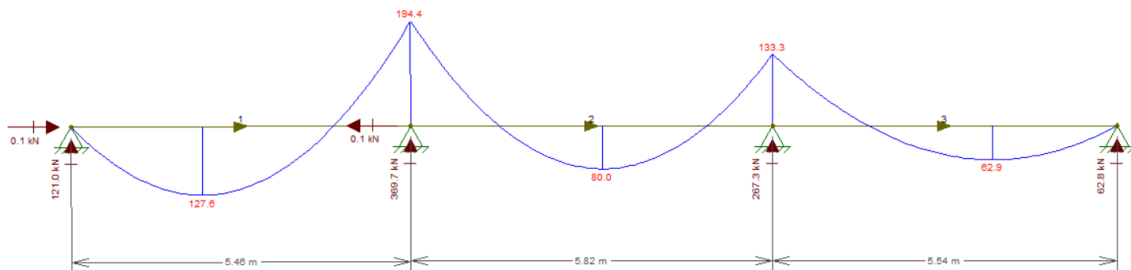


Figura 3.7 – 2ª Parte, viga segundo o eixo x - Momento fletor, M [kNm]

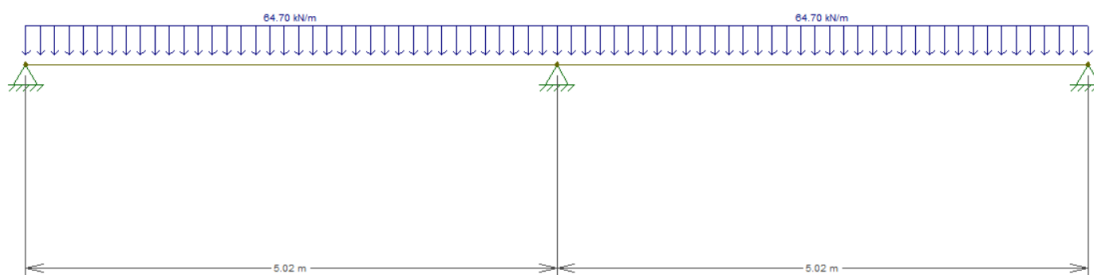


Figura 3.8 – 1ª Parte, viga segundo o eixo y – vãos e carregamento

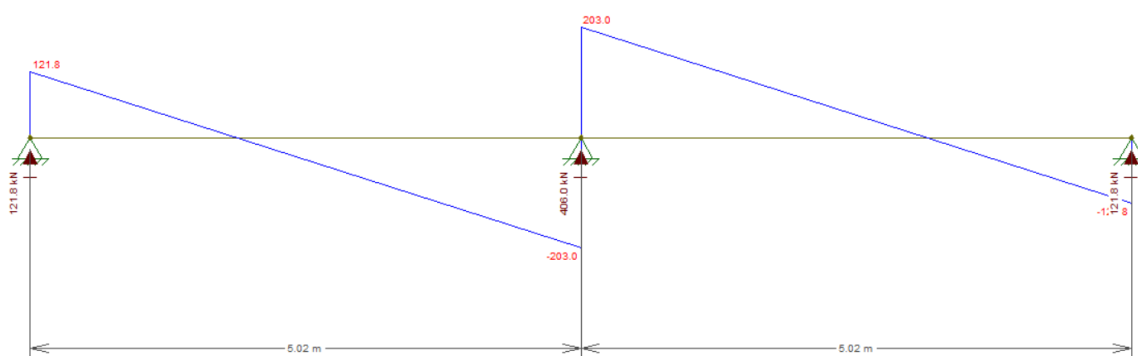


Figura 3.9 -1º Parte, viga segundo o eixo y (esforço transverso)

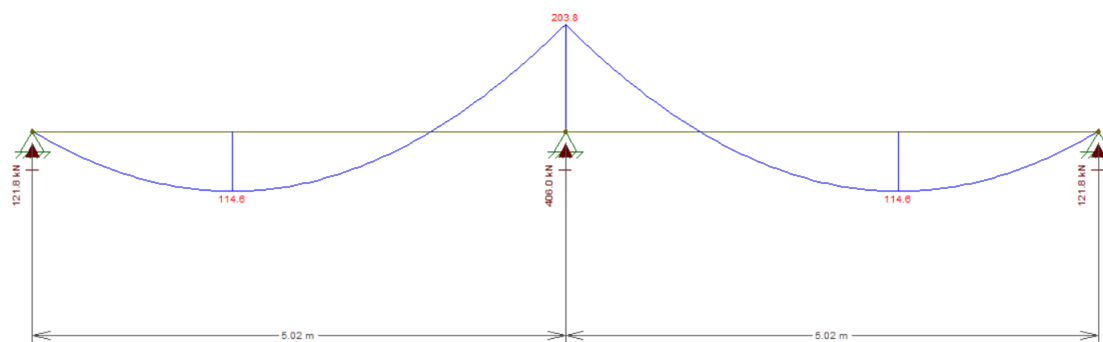


Figura 3.10 -1º Parte, viga segundo o eixo y (momento fletor)

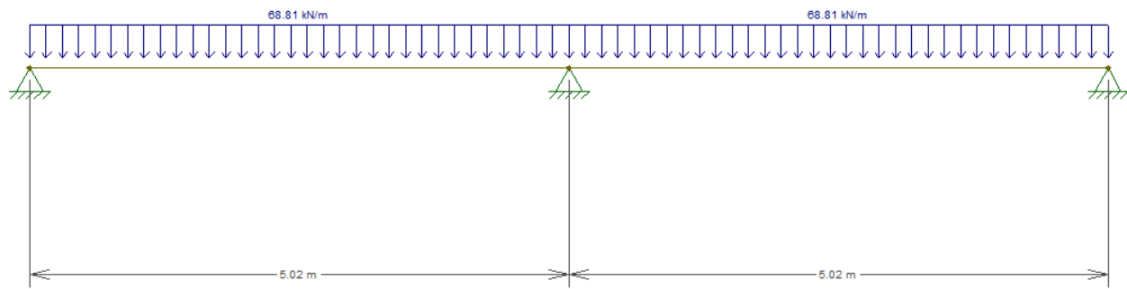


Figura 3.11 -2º Parte, viga segundo o eixo y

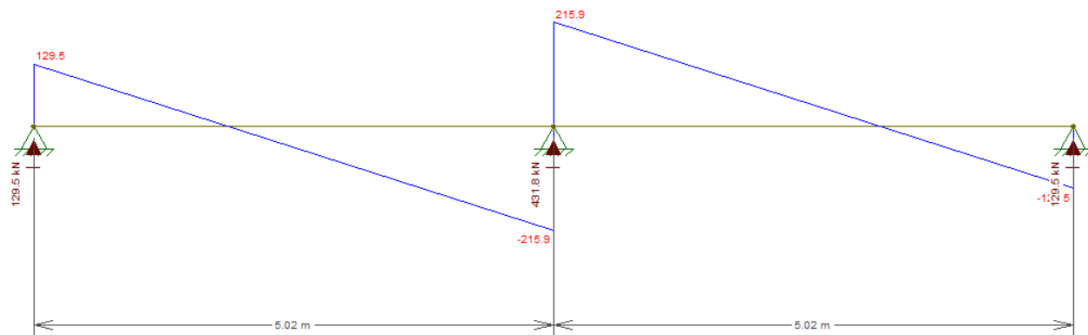


Figura 3.12 -2º Parte, viga segundo o eixo y (esforço transverso)

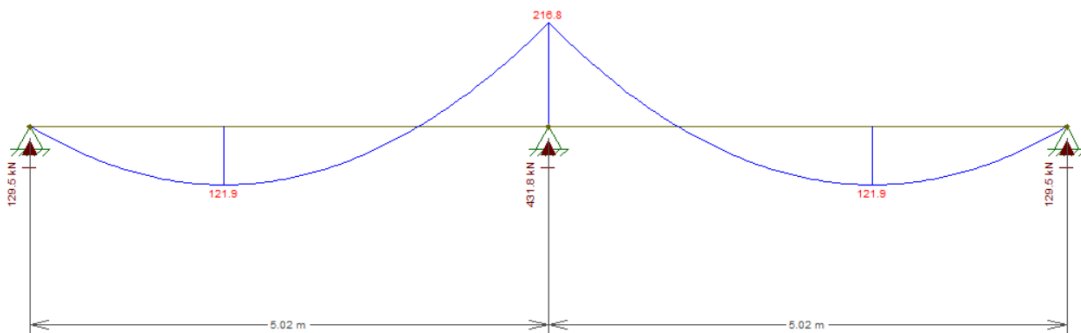


Figura 3.13 -2º Parte, viga segundo o eixo y (momento fletor)

Após a análise dos diagramas de esforços, obtiveram-se os seguintes resultados para as duas partes da estrutura:

- **Parte 1:** $392.2 + 406.0 = 798.2 \text{ kN}$
- **Parte 2:** $369.7 + 431.8 = 801.5 \text{ kN}$

$$Ac \geq \frac{Nsd}{0.6 * Fcd}$$

Para o dimensionamento dos pilares da primeira parte da estrutura, adotou-se o betão da classe C25/30, com uma resistência característica à compressão (f_{ck}) de 25 MPa.

$$Ac \geq \frac{798.2}{0.6 * 25 * 10^3} = 0,0532m^2$$

$$\sqrt{0.053} = 0,23m$$

$$Ac \cong 0,25m$$

Para a segunda parte:

$$Ac \geq \frac{801.5}{0.6 * 25 * 10^3} = 0,0534m^2$$

$$\sqrt{0.053} = 0,23m$$

$$Ac \cong 0,25m$$

3.3.5 Vigas de Fundação

Este tipo de vigas (lintéis de fundação) liga as sapatas de modo a absorver momentos superficiais e a garantir a colaboração entre os vários apoios.

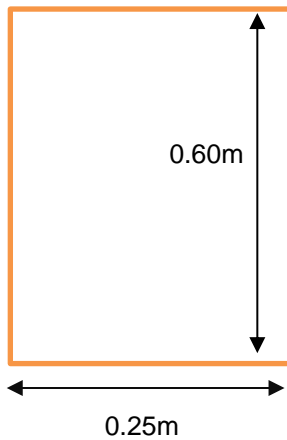
- Dimensões - Seguem uma lógica semelhante às vigas de elevação, embora sejam frequentemente mais robustas para lidar com a possibilidade de assentamentos diferenciais.
- Altura = Aproximadamente 1/8 a 1/10 da distância entre sapatas.
- Largura = Frequentemente igual à largura do pilar ou da sapata na zona de ligação.

$$Média = \frac{5.54 + 6.31 + 5.27 + 5.56 + 5.82 + 5.54}{6} = 5.17m$$

$$\frac{5.17}{8} \text{ ou } \frac{5.17}{10} = 0.64 \text{ ou } 0.52$$

$$\frac{0.64 + 0.52}{2} = 0.58 \cong 0.60m$$

Secção transversal da viga de fundação.



Secção transversal das vigas de fundação

3.1.5 Sapatas

O dimensionamento depende da capacidade de carga do terreno ($\sigma_{adm\ solo}$).

- Área da Base ($A \times B$) - No caso de uma secção quadrangular ($A = B$):
- $A = RAIZQ(N/sadm\ solo)$
- Altura da Sapata (h_{sap}) - Deve ser a suficiente para garantir uma rigidez adequada (admitindo-se a situação de sapata rígida) e resistir ao efeito de punçoamento. Assim, o $h_{sap} \geq (A - a)/4$
- Em que a é a dimensão referente ao lado do pilar (quadrangular)

Considerou-se uma tensão admissível do solo de 0.4 MPa, assumindo um terreno constituído por areias e siltes arenosos

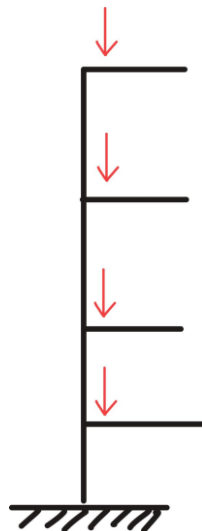


Figura 3.14 - Modelo cálculo para atrição da carga total absorvida pela sapata

No que respeita à carga total transmitida às sapatas, obtiveram-se os seguintes valores:

- **Parte 1:** $4 \times 798.2 = 3192.8 \text{ kN}$
- **Parte 2:** $4 \times 801.5 = 3206.0 \text{ kN}$

$$A = \sqrt{\left(\frac{N}{\sigma_{adm \text{ solo}}}\right)}$$

Sapatas parte 1:

$$A = \sqrt{\left(\frac{3192.8}{0.4 \times 10^3}\right)} = 2.82m \cong 2.80m$$

Sapatas parte 2:

$$A = \sqrt{\left(\frac{3206.0}{0.4 \times 10^3}\right)} = 2.83m \cong 2.80m$$

Ambas as sapatas possuem uma geometria quadrada com 2.80 m de lado. Relativamente à determinação da altura, adotou-se o seguinte cálculo:

$$\frac{2.80 - 0.25}{4} = 0.637 \approx 0.65 \text{ m}$$

CAPÍTULO 4

MEDIÇÕES

4. Medições

Neste capítulo, apresenta-se a quantificação detalhada dos materiais e serviços necessários para a execução de ambas as soluções estruturais. A medição baseia-se nos projetos definidos anteriormente, utilizando como unidade de comparação o custo por metro quadrado ou metro cúbico e a eficiência global de cada sistema.

4.1. Estrutura de Referência: Aço Estrutural

A solução em aço, adotada como base de referência, caracteriza-se pela sua natureza pré-fabricada e montagem a seco. O levantamento de quantidades focou-se nos seguintes componentes:

- Elementos Principais: Quantificação em massa (toneladas) dos perfis laminados (séries IPE e HEB), segregados por classes de aço.
- Elementos Secundários: Madres de cobertura e sistemas de Contraventamentos.
- Ligações e Acessórios: Estimativa de peso de chapas de nó, parafusos de alta resistência.
- Tratamentos de Superfície: Medição da área de pintura anticorrosiva e/ou galvanização, fator determinante no custo direto desta solução.

4.1.1 Medição da estrutura de aço

Com base nos dados apresentados na Figura 4.1 é possível constatar as quantidades de aço necessárias para a execução da estrutura original.

No mapa de quantidades apresentado observa-se que as unidades dos parâmetros relevantes surgem em [kg] para o caso do peso (massa) dos vários perfis utilizados no projeto. As chapas de aço e os parafusos para as ligações das juntas foram alvo de um processo de transformação das suas unidades características (m^2 e unidades) para a unidade típica do peso [kg], à semelhança do que se indica para perfis HEB e IPE.

O quadro referido na Figura 4.1 contempla as medições para pilares, vigas, ligações (parafusos e chapas), coberturas e escadas.

Uma das principais vantagens do sistema construtivo utilizando aquele material reside na sua sustentabilidade, destacando-se a redução significativa de resíduos, uma vez que o aço é um material totalmente reciclável, conforme referido anteriormente.

Em contraste, as estruturas de betão armado (BA) apresentam, habitualmente, uma pegada ecológica superior, resultante não só do processo de fabrico dos seus

componentes, mas também da maior dificuldade de reaproveitamento integral de materiais no final do ciclo de vida da estrutura.

Pilares				
Tipo	UNIDADES	Total	KG	Total em kg
Pilares				
HE220B	ml	298,02	71,5	21308,43
Vigas				
IPE270	ml	305,28	36,1	11020,608
IPE160	ml	215,32	15,8	3402,056
Parafusos/Ligações				
M24	uni.	256		
M27	uni.	36		
M24	uni.	504	760	
M20	uni.	32		
CHAPAS(0,5*0,5)	m2	13,24	207,79	
CHAPAS(0,47*0,22)	m2	6	94,20	
CHAPAS(0,44*0,25)	m2	0,88	13,82	
CHAPAS(0,20*0,20)	m2	0,24	3,77	
Cobertura				
IPE80	mL	269,18	6	1615,08
IPE100	mL	120,93	8,1	979,533
Escadas				
IPE100	mL	5,2	8,1	42,12
IPE160	mL	16,44	15,8	259,752
perfil retangular	mL	6,72	1,53	10,2816

Figura 4.1 – Mapa de quantidades para a estrutura de aço

4.2. Estrutura em betão armado como alternativa à original

Em contraste com a solução metálica, a estrutura de betão armado exige uma análise que engloba o fornecimento de materiais e a moldagem *in-situ* do material final. As medições foram divididas segundo três tópicos base:

- Volume de Betão: Quantificação do volume por elemento (lajes, vigas e pilares), diferenciando as classes de resistência (ex: C25/30).
- Armaduras de Aço: Cálculo da densidade de aço (armadura passiva A400/500) por metro cúbico de betão, essencial para refletir o custo direto variável deste sistema.
- Cofragens (Moldes): Medição das superfícies de contacto necessárias para a moldagem dos elementos, um item que frequentemente representa uma parcela elevada do custo de mão-de-obra.

4.2.1 Medição da estrutura de betão armado

Na Figura 4.2 apresenta-se o mapa de quantidades relativo à estrutura de betão armado, incluindo-se valores para sapatas, vigas de fundação, pilares, vigas e lajes.

Em relação às medições apresentadas, observa-se que as estruturas de betão armado apresentam uma decomposição de artigos mais extensa do que as estruturas metálicas, uma vez que contemplam a volumetria detalhada de diversos elementos construtivos, tais como vigas, pilares e lajes. No entanto, importa salientar que, apesar da maior complexidade durante a fase de medições e pormenorização, o sistema referente ao betão armado exige, genericamente, uma mão-de-obra menos especializada quando a mesma é comparada com a necessidade de maior rigor técnico e qualificação exigida para a execução e montagem dos elementos de aço nas respectivas estruturas.

Quantidade Total de BA (m ³)		
Pilares	18,38	m ³
Vigas	21,61	m ³
Sapatas	41,20	m ³
Vigas de fundação	18,38	m ³
Lajes	1238,53	m ³

Quantidade Total de cofragem (m ³)		
Sapatas	90,87	m ³
Vigas de fundação	177,71	m ³

Figura 4.2 – Mapa de quantidades da estrutura de betão armado

Alerta-se, todavia, para o facto dos preços finais que serão apresentados no capítulo 5 serem trabalhados com recurso à plataforma *Cype-Gerador de Preços* [9].

Relativamente aos preços para o caso do betão armado, considerando elementos estruturais como vigas, pilares e lajes, o preço apresentado virá em função do volume (metros cúbicos), englobando todos os trabalhos que são, efectivamente, necessários para se fazer a correta execução destes elementos. Adiciona-se ainda que para tal contabilização está inserida a influência da mão-de-obra bem como o custo de equipamentos, para além do preço do material.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS

5. Análise comparativa de custos

5.1 Custos diretos

Este capítulo tem como objetivos principais proceder à avaliação de custos diretos e indiretos bem como realizar uma análise comparativa entre os custos diretos associados à construção de estruturas que utilizem o betão armado e aquelas que sejam construídas em aço. Importa, assim, explorar quais as principais componentes de custo para cada um daqueles sistemas, fornecendo simultaneamente uma base para a avaliação orçamental de modo a auxiliar a seleção do material mais adequado, considerando-se, para o efeito, diferentes cenários e requisitos de projeto.

Em termos gerais, de acordo com Teresinho [1] e Mesquita [3], que cita igualmente Sousa [2008], os custos correspondem ao valor da soma dos trabalhos referentes a mão-de-obra, materiais e equipamentos, impostos, administração, depreciação, entre outros, e que decorrem no âmbito da realização de uma obra ou da prestação de um serviço, correspondendo efectivamente ao valor pago pelos trabalhos em questão.

Os custos diretos são assumidos como sendo os que resultam diretamente dos atribuídos à execução da construção física de um edifício. Tal inclui os custos de aquisição de materiais necessários à concretização do projecto (obra), de execução dos elementos construtivos e respetiva aplicação dos materiais (mão-de-obra), as despesas com o transporte de todo o tipo de material necessário, bem como a utilização dos equipamentos imprescindíveis à realização da referida obra. Em síntese, aceita-se que os custos diretos, englobam as quatro parcelas seguintes, isto é,

- a) os custos de mão-de-obra,
- b) os custos dos materiais,
- c) os custos dos equipamentos e
- d) os custos das subempreitadas.

O custo direto corresponde ao resultado de todos os custos unitários para a construção de um determinado empreendimento, sendo obtidos pela aplicação dos consumos dos recursos sobre os preços de mercado, multiplicados pelas respetivas quantidades, mais os custos da infraestrutura necessários para a realização da obra. os custos diretos em custo direto propriamente dito, composto pela soma de todos os gastos que fazem parte do objeto principal do contrato (a construção em si mesma), representada através de um mapa de custos, nos quais se incluem os preços unitários.

De acordo com Teresinho [1], citando Faria (2010), a definição de custos diretos a partir dos custos dos recursos diretamente imputáveis a uma obra, designadamente no que diz respeito às respetivas tarefas e trabalhos de construção (como betões, pedreiros, betoneira, entre outros exemplos), conduz à

necessidade de se identificarem os custos diretos (C_D) dessas mesmas atividades, podendo ser obtidos mediante a expressão (5.1) abaixo indicada. Nesta expressão, C_{MO} , C_{MAT} e C_{EQ} , correspondem, respetivamente, aos custos da mão-de-obra, do material e do equipamento, ou seja,

$$C_D = C_{MO} + C_{MAT} + C_{EQ} \quad [5.1]$$

Por sua vez, cada um dos custos acima identificados poderá ser determinado através das expressões

$$C_{MO} = \sum_i^n C_{MOi} \cdot R_{MOi} \quad [5.2]$$

$$C_{MAT} = \sum_k^m C_{MATk} \cdot R_{MATk} \quad [5.3]$$

$$C_{EQ} = \sum_j^s C_{EQj} \cdot R_{EQj} \quad [5.4]$$

onde $i = 1$ até n representa as situações de mão-de-obra, $k = 1$ até m corresponde aos exemplos de materiais utilizados e $j = 1$ até s traduz os tipos de equipamentos utilizados.

Através das fórmulas [5.2] a [5.4] anteriores, igualmente referenciadas por Almada [2], obtêm-se os valores das parcelas da expressão [5.1] relativa ao custo direto de um determinado tipo de trabalho, onde os fatores C_{MOi} , C_{MATk} e C_{EQj} das parcelas envolvidas correspondem precisamente aos custos unitários afetos a cada um dos itens anteriores, ou seja,

- i) à mão-de-obra “ i ”,
- ii) ao material “ k ” e
- iii) ao equipamento “ j ”.

Por outro lado, os coeficientes R_{MOi} , R_{MATk} e R_{EQj} que aparecem igualmente nas fórmulas [5.2] a [5.4], representam, respectivamente, os correspondentes rendimentos em relação à mão-de-obra “ i ”, ao material “ k ” e ao equipamento “ j ”.

5.1.1 Custo de Materiais

O custo de materiais é frequentemente uma das parcelas mais significativas no orçamento de qualquer estrutura, requerendo-se uma análise detalhada para se realizar uma comparação eficaz entre os custos associados a uma construção utilizando o betão armado e a uma construção análoga mas utilizando o aço estrutural.

No contexto da avaliação dos custos diretos antes referidos, diversas considerações são a seguir apresentadas tendo por base o alinhamento dos custos

efetivos para os diferentes materiais, seriados e compatibilizados com as correspondentes especificações técnicas habitualmente requeridas para uma utilização criteriosa e eficiente em termos estruturais e construtivos.

Os Quadros 5.1, 5.2, 5.3 e 5.5 servem de suporte aos respetivos Quadros 5.4 e 5.6 nos quais se reúnem as descrições dos correspondentes materiais com a função estrutural desejada.

5.1.1.1 Custo Betão/Aço de Armadura em Betão Armado versus Aço Estrutural

No caso do betão armado o custo direto refere-se aos materiais utilizados para a obtenção da mistura adequadamente combinada entre eles, que é composta pelos materiais/elementos inseridos no Quadro 5.1.

Com base na norma NP EN 206 e na prática de Engenharia em Portugal, a escolha do cimento deve articular a resistência mecânica pretendida com as exigências de durabilidade impostas perante a exposição ambiental. Apresenta-se abaixo um quadro resumo que ajuda a estabelecer uma correlação entre as classes de resistência e os tipos de cimento Portland mais adequados, considerando-se o desempenho padrão em condições normais de temperatura e salientando-se as classes C20/25, C25/30 e C30/37 (Quadro 5.1) para a maioria das aplicações.

Quadro 5.1 – Resumo da seleção do tipo de cimento por classe de resistência do betão

Classe de Resistência do betão	Tipo de Betão	Tipos de Cimento Recomendados (NP EN 197-1)	Observações Técnicas
C8/10 a C16/20	Betão Simples / Enchimentos	CEM II/B-L 32,5 N	Baixa exigência mecânica; foco na economia de ligante.
C20/25	Betão Simples ou Armado Ligeiro	CEM II/B-L 32,5 N ou 32,5 R	Classe de transição; o tipo 32,5 N é suficiente para elementos secundários.
C25/30	Betão Armado Corrente (Pilares, Vigas e Lajes)	CEM II/B-L 32,5 N ou CEM II/A-L 42,5 R	O 42,5 R utiliza-se quando se pretende desmoldagem em 24h - 48h.
C30/37	Betão Estrutural (Exposição XC3/XC4)	CEM II/A-L 42,5 R ou CEM I 42,5 R	Exige relações água/cimento (<i>a/c</i>) mais baixas (< 0,55) para se garantir a durabilidade.
C35/45	Estruturas de Elevada Responsabilidade	CEM I 42,5 R ou CEM I 52,5 N	Comum em obras de arte (pontes) ou

			elementos pré-esforçados.
C40/50 a C50/60	Betão de Alta Resistência	CEM I 52,5 R ou CEM I 52,5 N/SR	Frequentemente acompanhado de aditivos superplastificantes e adições (sílica de fumo).

Em Portugal, a seleção de armaduras de aço para utilização em elementos de betão armado é regida pelo Eurocódigo 2 (NP EN 1992-1-1) sendo complementada por especificações do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil). A terminologia habitual refere as siglas NR e SD como fundamentais, uma vez que definem a existência de nervuras e a capacidade do aço em se deformar sem romper, aproveitando a sua própria ductilidade, propriedade mecânica essencial. No Quadro 5.2, apresenta-se um resumo com as referências técnicas mais utilizadas a nível do mercado nacional.

Quadro 5.2 – Resumo dos Varões de Aço para elementos de Betão Armado

Designação do Aço	Tipo de Superfície no varão	Classe de Ductilidade (Eurocódigo 2)	Tensão de Cedência f_{yk}	Utilização Principal
A400 NR	Nervurado	Classe B (Alta)	400 MPa	Obras de pequena dimensão ou elementos com menor exigência sísmica.
A400 NR SD	Nervurado	Classe C (Especial)	400 MPa	Estruturas que requerem elevada capacidade de dissipação de energia (Zonas Sísmicas).
A500 NR	Nervurado	Classe B (Alta)	500 MPa	Utilizado na maioria das estruturas de edifícios (lajes, vigas, sapatas). A classe padrão atualmente em Portugal.
A500 NR SD	Nervurado	Classe C (Especial)	500 MPa	Pilares e núcleos de edifícios altos ou infraestruturas críticas em zonas de alto risco sísmico.
A500 ER / EL	Nervurado / Liso	Classe A (Normal)	500 MPa	Em redes eletrosoldadas (malha- sol) para pavimentos ou muros.

A sigla identificativa de um aço A400/A500 indica a tensão de cedência característica em MegaPascal, observando-se que um aço A500 é 25% mais resistente que um A400. Por outro lado, a sigla NR (de Nervurado) refere-se à presença de saliências (ou nervuras) que garantem uma aderência mecânica ao betão, impedindo o varão de escorregar dentro da peça estrutural. Por seu lado, a sigla SD (referente a Seismic Ductility - Ductilidade Especial) designa aços com uma capacidade superior de alongamento e deformação. Estes aços são obrigatórios em elementos estruturais onde se espera a formação de "rótulas plásticas" durante a ocorrência de um sismo, permitindo que a estrutura se possa deformar significativamente sem colapsar de um modo súbito.

Tendo por base a prática corrente em Portugal e as disposições da norma NP EN 12620 (Agregados para betão), a seleção dos inertes torna-se fundamental para se garantir a trabalhabilidade, a compacidade e a resistência final de um betão com finalidade estrutural.

Para elementos como sapatas, pilares, vigas e lajes, a granulometria deverá ser cuidadosamente escolhida e equilibrada através da mistura de diferentes frações para se minimizar o índice de vazios. Apresenta-se, de seguida, no Quadro 5.3 um resumo detalhando-se as características técnicas dos agregados habitualmente utilizados no contexto do mercado nacional. Assim, o Quadro 5.3

Em termos de notas técnicas adicionais relativas aos agregados, acresce referir o seguinte

1. Dimensão Máxima do Agregado (D_{max}) - Em Portugal, para a betonagem de sapatas, pilares, vigas e lajes em edifícios correntes utiliza-se habitualmente um D_{max} de 20 mm ou 22 mm. Esta escolha deve-se à necessidade do betão envolver completamente as armaduras, respeitando o recobrimento mínimo e o espaçamento entre varões definido no Eurocódigo 2.
2. Forma e Textura - Prefere-se o uso de agregados com forma cúbica em detrimento de formas lamelares ou alongadas, uma vez que estas últimas prejudicam a trabalhabilidade e podem contribuir para planos de fraqueza na matriz de betão.
3. Limpeza e Reatividade - Os agregados devem estar limpos de argilas ou finos em excesso, os quais poderiam aumentar a necessidade de água de amassadura, prejudicando, assim, relação a/c (água/cimento) e, conseqüentemente, a durabilidade.

Quadro 5.3 – Características Técnicas dos Agregados (Inertes) para Betão Estrutural

Inerte	Designação Comercial Comum	Dimensão Característica (d/D em mm)	Função e Características Técnicas	Aplicação em sapatas, Pilares, Vigas e Lajes
Areia Fina / Grossa	Areia de Rio ou de Britagem	0 / 4 mm	Preenchimento dos vazios entre os agregados graúdos. Garante a coesão e a trabalhabilidade da mistura fresca. Deve ser isenta de impurezas orgânicas.	Essencial em todos os elementos para garantir um acabamento superficial liso após a desmoldagem.
Brita 1	Pedrisco ou Brita miúda	6 / 12 mm	Agregado graúdo de pequena dimensão. Facilita a passagem do betão entre as armaduras densas (evitando "ninhos de abelha").	Fundamental em pilares e vigas com elevada densidade de aço (armaduras longitudinais e estribos).
Brita 2	Brita normal	12 / 22 mm	Confere a estrutura resistente (esqueleto) ao betão. É o inerte que mais contribui para a redução da retração e para a estabilidade volumétrica.	Utilizada em larga escala em lajes e núcleos de pilares/vigas onde o espaçamento entre varões o permite.
Mistura de Britas	Brita de Graduação Extensa	0 / 32 mm	Utilizada em betões de massa ou elementos de grande volume onde a exigência de bombagem é menor.	Menos comum em elementos estruturais delgados devido ao risco de segregação e encravamento.

No Quadro 5.4 apresenta-se uma listagem de materiais necessários para execução de uma estrutura de betão armado, tendo por base o conjunto de informações anteriormente inseridas nos Quadros 5.1, 5.2 e 5.3.

Quadro 5.4 – Materiais necessários para execução de uma estrutura de betão armado

Cimento

O cimento em conjunto com a água forma uma paste que liga os agregados. O custo varia consoante o tipo de cimento que se usa. Habitualmente pode ser considerado o CEM II/B-L 32,5 N ou CEM II/A-L 42,5 R (Quadro 5.1)

Agregados (inertes)

Inclui a areia e a brita (brita tipo 1 e brita tipo 2) que constituem a maior parte do volume do betão e lhe ajudam a dar resistência.

Água

Com custo unitário relativamente baixo, a água assume-se como um componente essencial no contexto da preparação da mistura de todos os constituintes do betão fresco (e daí a importância da relação água/cimento – a/c) bem como para contribuir para a cura do mesmo.

Aditivos

São substâncias adicionadas em pequenas quantidades para ajudar a modificar as propriedades do betão fresco tendo em vista aspectos como a plastificação, a retração e o endurecimento.

Material para a cofragem

Embora a cofragem seja muitas vezes considerada como um custo de equipamento ou mão-de-obra, os materiais consumíveis como a madeira, o contraplacado e outros acessórios de fixação representam efectivamente custos diretos de materiais.

Armaduras de aço

As armaduras de aço geralmente utilizadas materializam-se sob a forma de varão nervurados, sendo envolvidas pelo betão fresco de modo a dar-lhe uma distribuição e consistência tão homogénea quanto possível com vista ao posterior endurecimento e conseqüente ganho de resistência à tração tirando proveito da aderência entre os dois materiais fundamentais.

Aço estrutural (Perfis em aço laminado)

Para as estruturas em aço, os custos diretos quanto ao material incidem quase exclusivamente nas peças metálicas referentes aos perfis bem como aos elementos de ligação, para além de materiais de proteção anti-corrosão e antifogo. No Quadro 5.5 inserem-se as classes de resistência de aços para perfis, chapas e parafusos habitualmente seleccionados para a construção de pórticos e estruturas metálicas para edifícios.

O Quadro 5.5 inclui os materiais necessários para a execução de uma estrutura em aço, tendo por base as considerações acima estabelecidas.

Quadro 5.5 – Materiais necessários para uma estrutura em aço

Perfil e Chapas de aço

Correspondem às seções laminadas (perfis I, H, U, L, tubos, etc.) e às chapas de aço que formam a estrutura principal. O custo é determinado pelo tipo de perfil, dimensões, espessura, qualidade do aço, (S235, S355) e o seu preço por quilograma. A complexidade das formas e os processos de fabrico (corte, furação) também influenciam o preço final.

Elementos de ligação

Incluem parafusos de alta resistência (M16/M20/M24), porcas, anilhas e, no caso de ligações soldadas, os consumíveis de soldadura (elétrodos, arames, gases de proteção). A escolha do tipo de ligação e a quantidade necessária destes elementos impactam diretamente o custo.

Proteção da superfície

Fundamental para a durabilidade do aço, esta categoria inclui os materiais para tratamentos de superfície (jateamento abrasivo) e as tintas de primário, intermédias e de acabamento, ou o custo da galvanização.

Proteção Passiva contra Incêndios

Em muitos casos, o aço estrutural requer proteção adicional contra elevadas temperaturas em caso de incêndio. Os materiais para esta proteção podem incluir tintas intumescentes, placas de gesso cartonado, argamassas projetadas ou outros revestimentos, cujos custos variam significativamente.

5.1.2 Custo de Mão-de-Obra

5.1.2.1. Análise da Produtividade e Custo Total de Mão-de-Obra

Com base nos custos diretos é fundamental integrar a análise dos materiais e da mão-de-obra para ter uma perspectiva completa. A escolha entre betão armado e aço estrutural não se resume apenas ao preço inicial dos materiais, mas também à complexidade e intensidade da mão-de-obra necessária para cada sistema.

No que diz respeito aos custos de materiais, as estruturas em betão armado dependem de cimento, agregado e aço. A flutuação dos preços deste elemento no mercado global tem um impacto direto significativo. Adicionalmente, os materiais de cofragem, embora muitas vezes reutilizáveis, representam um custo inicial e de manutenção. Já a estrutura de aço tem os seus custos denominados pelos perfis, chapas de aço e pelos elementos de ligação, bem como pelos materiais para proteção anticorrosiva e passiva contra incêndios-

Passando para custos de mão-de-obra, as diferenças tornam-se ainda mais notáveis. Para o betão armado, a mão-de-obra é intensiva, com equipas especializadas em cofragem, armadura e betonagem. Todos estes processos

exigem tempo, precisão e coordenação no local da construção. A complexidade da estrutura e a geometria e a necessidade de cura do betão também contribuem para a duração e conseqüentemente para o custo de mão-de-obra. No aço concentra uma grande parte da sua mão-de-obra na fase de fabrico em oficina, aqui os serralheiros trabalham num ambiente controlado, o que pode por sua vez aumentar a eficiência de trabalho. A parte de montagem de obra é geralmente mais rápida e exigem menor número de trabalhadores no local, por sua vez obriga que o indivíduo tenha nuances base de montagem de estruturas metálicas

Contudo, podemos dizer que o método construtivo em betão armado tem uma procura maior de mão-de-obra e de uma maior dependência de matérias-primas, enquanto o aço distribui os custos de mão-de-obra entre trabalhos de oficina e de obra, trabalhando, por sua vez, com materiais mais manufaturados.

5.2 Custos indiretos

Este capítulo tem como objetivo principal realizar uma análise comparativa dos custos indiretos associados à construção de estruturas que utilizam betão armado e aqueles que empregam aço. Temos como objetivo explorar as principais componentes de custo de estaleiro como por exemplo, fornecendo uma base para avaliação económica para auxiliar na seleção do material mais adequado, considerando diferentes cenários e requisitos de projeto

Os custos indiretos são, os custos associados à vida da empresa e que não são diretamente imputáveis às obras, tais como, salários de pessoal do escritório, administração, custos vários referentes ao funcionamento da empresa, entre outros parâmetros.

O custo indireto situa-se geralmente entre os 5% e 30% do custo total da empreitada e oscila em função dos seguintes aspetos: localização geográfica, política da empresa, prazo e complexidade da obra (um elevado grau de dificuldade tende a uma maior supervisão de campo e suporte) (Mattos, 2006).

5.2.1 Custo de estaleiro

Define custos de estaleiro como sendo os custos imputáveis a uma dada obra, mas que não podem ser imputados às atividades do orçamento, tais como salários de pessoal de chefia, aluguer de contentores, vedações, vias de acesso provisórias e equipamentos não imputados aos custos diretos.

O cálculo é efetuado através da realização de um orçamento para a montagem, desmontagem e exploração do estaleiro. De acordo com o mesmo autor, a montagem do estaleiro deve, entre outros, contemplar as plataformas e acessos,

vedação, infraestruturas (redes de água, esgotos e eletricidade), montagem de instalações (alvenaria, pré-fabricados, etc.), montagem de equipamento (grua, central de betão, caminho de rolamento, etc.), aluguer de equipamento (grua, central de betão, betoneira, etc.), mão-de-obra de estaleiro (encarregado, apontador, ferramenteiro, manobrador de grua, central, betoneira, guarda, etc.), aluguer de instalações (pré-fabricadas, equipamento de instalações) e despesas gerais (água, energia, telecomunicações, material de escritório, etc.).

No que respeita à montagem do estaleiro, há que ter em consideração a desmontagem de instalações (alvenarias, pré-fabricadas), desmontagem do equipamento (grua, central de betão, caminho de rolamento, etc.) e tarefas diversas.

5.2.2 Custo de Equipamentos

Os custos associados aos equipamentos representam uma parcela significativa do orçamento global. Embora que por vezes haja uma tendência para os associar diretamente a tarefas específicas, é fundamental compreender que na maioria os custos de equipamentos são classificados como custos indiretos. Esta classificação deve-se ao facto de muitos equipamentos como guas, giratórias, retroescavadoras, veículos de transporte de pessoal, ferramentas gerais, entre outras servirem múltiplas atividades ao longo do período da obra, sem estarem intrinsecamente ligados à produção de uma unidade de trabalho específica.

Quadro 5.6 – Classificação de Custos de Equipamentos

Categoria de Custo	Exemplos de Equipamentos	Descrição da Relação com Custos Indiretos
Equipamentos de Elevação e Movimentação	Gruas de torre, guas móveis, empilhadores	O custo de aluguer, montagem, desmontagem e operação (combustível, manutenção) destes equipamentos é indireto, pois servem múltiplas tarefas (elevar materiais para diferentes pisos, movimentar equipamentos) e não são atribuídos a uma unidade específica de produto final.
Equipamentos de Terraplenagem e Escavação	Retroescavadoras, escavadoras, niveladoras, cilindros compactadores	Embora usados em fases específicas, o seu custo de aluguer/depreciação, combustível e manutenção é rateado pelo projeto, uma vez que não está diretamente ligado à produção de uma unidade de serviço (ex: m ³ de

		terra movimentada) de forma isolada, mas sim ao avanço geral da obra.
Equipamentos de Apoio Geral ao Estaleiro	Geradores de energia, compressores de ar, bombas de água, andaimes de fachada, contentores de escritório/armazenagem	Essenciais para o funcionamento do estaleiro, mas não diretamente envolvidos na criação do produto final. Os seus custos (aluguer, energia, manutenção) são de suporte à totalidade do projeto.
Ferramentas e Pequenos Equipamentos	Betoneiras, serras elétricas, berbequins, martelos demolidores, equipamentos de soldadura, ferramentas manuais	Usados por diversas equipas e em variadas atividades ao longo do projeto. Os seus custos de aquisição/aluguer.
Equipamentos de Transporte e Logística	Camiões de transporte de materiais, carrinhas de apoio, veículos de transporte de pessoal	Os custos de aquisição/aluguer, combustível, seguros e manutenção destes veículos são indiretos, pois servem para movimentar recursos (materiais, pessoal) por todo o estaleiro ou entre o estaleiro e fornecedores, sem estarem ligados a uma fase específica de produção.
Equipamentos de Segurança Coletiva	Redes de segurança, linhas de vida, sistemas de proteção de periferia	Os custos de instalação, manutenção e desmobilização são indiretos, pois beneficiam a segurança de todos os trabalhadores e não estão associados a uma tarefa produtiva específica, mas sim à conformidade e bem-estar geral da obra.

5.3 Quantificação de custos

5.3.1 Considerações iniciais

Apresentam-se seguidamente os quadros do programa Excel contendo os custos correspondentes à mão-de-obra, aos materiais e aos equipamentos utilizados para a execução dos vários trabalhos correspondentes às operações elementares de construção para todos os elementos da estrutura do edifício residencial, quer seja para o caso da estrutura em aço quer para a estrutura em betão armado. Deste modo, os custos apresentados são determinados recorrendo aos mapas de medições anteriormente apresentados no capítulo 4.

Refere-se que a determinação dos custos em causa foi realizada tendo por base a utilização do *software* de cálculo *Cype - Gerador de Preços* [9], conforme apresentado nas Referências e disponibilizado *on-line*.

5.3.2 Quantificação para a estrutura em aço

Relativamente à quantificação da estrutura metálica, tal como já referido, os preços atribuídos para contabilizar a mesma com valores numéricos foram obtidos com base no programa *Cype - Gerador de preços*. Pode ver-se a justificação da atribuição do preço unitário por quilograma de aço no quadro da Figura 5.1. A justificação de preços para a laje com estrutura mista aço-betão é apresentada no quadro da Figura 5.2.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt07ala010dac	kg	Aço laminado EN 10025 S275JR, em perfis laminados a quente, peças simples, para aplicações estruturais, das séries IPN, IPE, HEB, HEA, HEM ou UPN, acabamento com primário antioxidante. Trabalhado e montado em oficina, para colocar com ligações aparafusadas em obra.	1,000	1,69	1,69
mo047	h	Oficial de 1ª montador de estruturas metálicas.	0,013	25,68	0,33
mo094	h	Ajudante de montador de estruturas metálicas.	0,013	25,06	0,33
	%	Custos directos complementares	2,000	2,35	0,05
Custo de manutenção decenal: 0,07€ nos primeiros 10 anos.				Total:	2,40

Figura 5.1 – Justificação de preços para a estrutura metálica [*Cype- gerador de preços*] (euros/Kg)

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt07pcl010aacba	m ²	Perfil de chapa de aço galvanizado com forma trapezoidal, de 0,75 mm de espessura, 44 mm de altura do perfil e 172 mm de distância entre-eixos, 7 a 8 kg/m ² e um momento de inércia de 30 a 40 cm ⁴ .	1,050	28,94	30,39
mt07pcl020	m	Peça angular de chapa de aço galvanizado, para remates perimetrais e de consolas.	0,040	27,20	1,09
mt07pcl030	Ud	Parafuso autoperfurante rosca-chapa, para fixação de chapas.	6,000	0,35	2,10
mt07aco020i	Ud	Separador homologado para lajes.	3,000	0,09	0,27
mt07aco040b	kg	Armadura elaborada em fábrica com aço em varões nervurados, A400 NR, de vários diâmetros.	6,000	1,71	10,26
mt08var050	kg	Arame galvanizado para atar, de 1,30 mm de diâmetro.	0,087	1,50	0,13
mt07ame020ddc	m ²	Malha electrossoldada AR42 100x300 mm, com arames longitudinais de 4,2 mm	1,150	2,60	2,99

		de diâmetro e arames transversais de 4,2 mm de diâmetro, aço A500 EL.			
mt10haf020bgngc	m ³	Betão C25/30 (XC1(P); D12; S3; CI 0,4), fabricado em central, segundo NP EN 206.	0,065	83,08	5,40
mt08cur020a	l	Agente filmógeno, para a cura de betões e argamassas.	0,150	1,56	0,23
mo047	h	Oficial de 1 ^a montador de estruturas metálicas.	0,120	25,68	3,08
mo094	h	Ajudante de montador de estruturas metálicas.	0,240	25,06	6,01
mo043	h	Oficial de 1 ^a armador de ferro.	0,092	25,68	2,36
mo090	h	Ajudante de armador de ferro.	0,080	25,06	2,00
mo045	h	Oficial de 1 ^a estruturista, em trabalhos de betonagem.	0,014	25,68	0,36
mo092	h	Ajudante de estruturista, em trabalhos de betonagem.	0,056	25,06	1,40
	%	Custos directos complementares	2,000	68,07	1,36
Custo de manutenção decenal: 4,17€ nos primeiros 10 anos.				Total:	69,43

Figura 5.2 – Justificação de preços para a laje com estrutura mista aço-betão [Cype - gerador de preços] (euros/m²)

5.3.3 Quantificação para a estrutura em betão armado

No que diz respeito à quantificação da estrutura de betão armado, os preços atribuídos para quantificar a mesma com valores numéricos foram igualmente obtidos a partir do programa *Cype - Gerador de preços* [9]. A justificação da atribuição dos preços unitários faz-se por meio das unidades euros/metro cúbico (€/m³) e euros/metro quadrado (€/m²) para alguns elementos de cofragem.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt08eme040	m ²	Painéis metálicos de várias dimensões, para cofragem de elementos de betão.	0,005	52,00	0,26
mt50spa052b	m	Pranchão de madeira de pinho, de 20x7,2 cm.	0,020	6,32	0,13
mt50spa081a	Ud	Escora metálica telescópica, até 3 m de altura.	0,013	19,25	0,25
mt08eme051a	m	Fita de aço galvanizado, para cofragem metálica.	0,100	0,29	0,03
mt08var050	kg	Arame galvanizado para atar, de 1,30 mm de diâmetro.	0,050	1,50	0,08
mt08var060	kg	Pregos de aço de 20x100 mm.	0,100	8,75	0,88
mt08dba010b	l	Agente desmoldante, à base de óleos especiais, emulsionante em água, para cofragens metálicas, fenólicas ou de madeira.	0,030	1,80	0,05
mo044	h	Oficial de 1 ^o cofrador.	0,300	25,68	7,70
mo091	h	Ajudante de cofrador.	0,400	25,06	10,02
	%	Custos directos complementares	2,000	19,40	0,39
				Total:	19,79

Figura 5.3 – Justificação de preços para a cofragem de sapatas [Cype - gerador de preços] (€/m³)

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt07aco020a	Ud	Separador homologado para fundações.	8,000	0,15	1,20
mt07aco040b	kg	Armadura elaborada em fábrica com aço em varões nervurados, A400 NR, de vários diâmetros.	50,000	1,71	85,50
mt08var050	kg	Arame galvanizado para atar, de 1,30 mm de diâmetro.	0,200	1,50	0,30
mt10haf020bngnc	m³	Betão C25/30 (XC1(P); D12; S3; Cl 0,4), fabricado em central, segundo NP EN 206.	1,100	83,08	91,39
mo043	h	Oficial de 1º armador de ferro.	0,080	25,68	2,05
mo090	h	Ajudante de armador de ferro.	0,120	25,06	3,01
mo045	h	Oficial de 1º estruturista, em trabalhos de betonagem.	0,050	25,68	1,28
mo092	h	Ajudante de estruturista, em trabalhos de betonagem.	0,300	25,06	7,52
	%	Custos directos complementares	2,000	192,25	3,85
Custo de manutenção decenal: 5,88€ nos primeiros 10 anos.				Total:	196,10

Figura 5.4 – Justificação de preços para sapatas [Cype - gerador de preços] (euros/m³)

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt08eft030a	m³	Painel de madeira tratada, de 22 mm de espessura, reforçado com varões e perfis.	0,184	45,50	8,37
mt08eva030	m³	Estrutura suporte para cofragem recuperável, composta de: travessas metálicas e acessórios de montagem.	0,031	102,00	3,16
mt50spa081a	Ud	Escora metálica telescópica, até 3 m de altura.	0,107	19,25	2,06
mt08cim030b	m³	Madeira de pinho.	0,012	248,85	2,99
mt08var060	kg	Pregos de aço de 20x100 mm.	0,160	8,75	1,40
mt08dba010b	l	Agente desmoldante, à base de óleos especiais, emulsionante em água, para cofragens metálicas, fenólicas ou de madeira.	0,120	1,80	0,22
mt07aco020c	Ud	Separador homologado para vigas.	4,000	0,09	0,36
mt07aco040b	kg	Armadura elaborada em fábrica com aço em varões nervurados, A400 NR, de vários diâmetros.	150,000	1,71	256,50
mt08var050	kg	Arame galvanizado para atar, de 1,30 mm de diâmetro.	1,350	1,50	2,03
mt10haf020bngnc	m³	Betão C25/30 (XC1(P); D12; S3; Cl 0,4), fabricado em central, segundo NP EN 206.	1,050	83,08	87,23
mo044	h	Oficial de 1º cofrador.	2,000	25,68	51,36
mo091	h	Ajudante de cofrador.	2,000	25,06	50,12
mo043	h	Oficial de 1º armador de ferro.	1,200	25,68	30,82
mo090	h	Ajudante de armador de ferro.	1,200	25,06	30,07
mo045	h	Oficial de 1º estruturista, em trabalhos de betonagem.	0,340	25,68	8,73
mo092	h	Ajudante de estruturista, em trabalhos de betonagem.	1,370	25,06	34,33
	%	Custos directos complementares	2,000	569,75	11,40
Custo de manutenção decenal: 40,68€ nos primeiros 10 anos.				Total:	581,15

Figura 5.5 – Justificação de preços para vigas [Cype - gerador de preços] (euros/m³)

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt07sep010ac	Ud	Separador homologado de plástico, para armaduras de pilares de vários diâmetros.	12,000	0,08	0,96
mt07aco040b	kg	Armadura elaborada em fábrica com aço em varões nervurados, A400 NR, de vários diâmetros.	120,000	1,71	205,20
mt08var050	kg	Arame galvanizado para atar, de 1,30 mm de diâmetro.	0,600	1,50	0,90
mt08eup010c	m²	Chapa metálica de 50x50 cm, para cofragem de pilares de betão armado de secção rectangular ou quadrada, de entre 3 e 4 m de altura, inclusive acessórios de montagem.	0,384	50,40	19,35
mt50spa081c	Ud	Escora metálica telescópica, até 4 m de altura.	0,089	26,47	2,36
mt08var040a	Ud	Perfil quebra arestas de PVC, de várias dimensões e 2500 mm de comprimento.	25,600	0,55	14,08
mt08dba010b	l	Agente desmoldante, à base de óleos especiais, emulsionante em água, para cofragens metálicas, fenólicas ou de madeira.	0,480	1,80	0,86
mt10haf020bjnic	m³	Betão C30/37 (XC2(P) + XD2(P); D12; S3; Cl 0,4), fabricado em central, segundo NP EN 206.	1,050	90,76	95,30
mo044	h	Oficial de 1º cofrador.	6,202	25,68	159,27
mo091	h	Ajudante de cofrador.	7,344	25,06	184,04
mo043	h	Oficial de 1º armador de ferro.	0,672	25,68	17,26
mo090	h	Ajudante de armador de ferro.	0,672	25,06	16,84
mo045	h	Oficial de 1º estruturista, em trabalhos de betonagem.	0,360	25,68	9,24
mo092	h	Ajudante de estruturista, em trabalhos de betonagem.	1,450	25,06	36,34
	%	Custos directos complementares	2,000	762,00	15,24
				Total:	777,24

Figura 5.6 – Justificação de preços para pilares [Cype - gerador de preços] (euros/m³)

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt08eme040	m²	Painéis metálicos de várias dimensões, para cofragem de elementos de betão.	0,005	52,00	0,26
mt50spa052b	m	Pranchão de madeira de pinho, de 20x7,2 cm.	0,020	6,32	0,13
mt50spa081a	Ud	Escora metálica telescópica, até 3 m de altura.	0,013	19,25	0,25
mt08eme051a	m	Fita de aço galvanizado, para cofragem metálica.	0,100	0,29	0,03
mt08var050	kg	Arame galvanizado para atar, de 1,30 mm de diâmetro.	0,050	1,50	0,08
mt08var060	kg	Pregos de aço de 20x100 mm.	0,100	8,75	0,88
mt08dba010b	l	Agente desmoldante, à base de óleos especiais, emulsionante em água, para cofragens metálicas, fenólicas ou de madeira.	0,030	1,80	0,05
mo044	h	Oficial de 1º cofrador.	0,350	25,68	8,99
mo091	h	Ajudante de cofrador.	0,400	25,06	10,02
	%	Custos directos complementares	2,000	20,69	0,41
				Total:	21,10

Figura 5.7 – Justificação de preços para cofragem de vigas de fundação

[Cype - gerador de preços] (euros/m³)

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt08eft030a	m ²	Painel de madeira tratada, de 22 mm de espessura, reforçado com varões e perfis.	0,044	45,50	2,00
mt08eva030	m ²	Estrutura suporte para cofragem recuperável, composta de: travessas metálicas e acessórios de montagem.	0,007	102,00	0,71
mt50spa081a	Ud	Escora metálica telescópica, até 3 m de altura.	0,027	19,25	0,52
mt08cim030b	m ³	Madeira de pinho.	0,003	248,85	0,75
mt08var060	kg	Pregos de aço de 20x100 mm.	0,040	8,75	0,35
mt08dba010b	l	Agente desmoldante, à base de óleos especiais, emulsionante em água, para cofragens metálicas, fenólicas ou de madeira.	0,030	1,80	0,05
mt07aco020h	Ud	Separador homologado para lajes maciças.	3,000	0,09	0,27
mt07aco040b	kg	Armadura elaborada em fábrica com aço em varões nervurados, A400 NR, de vários diâmetros.	21,000	1,71	35,91
mt08var050	kg	Arame galvanizado para atar, de 1,30 mm de diâmetro.	0,252	1,50	0,38
mt10haf020bngnc	m ³	Betão C25/30 (XC1(P); D12; S3; CI 0,4), fabricado em central, segundo NP EN 206.	0,210	83,08	17,45
mt08cur020a	l	Agente filmógeno, para a cura de betões e argamassas.	0,150	1,56	0,23
mo044	h	Oficial de 1º cofrador.	0,500	25,68	12,84
mo091	h	Ajudante de cofrador.	0,500	25,06	12,53
mo043	h	Oficial de 1º armador de ferro.	0,252	25,68	6,47
mo090	h	Ajudante de armador de ferro.	0,210	25,06	5,26
mo045	h	Oficial de 1º estruturista, em trabalhos de betonagem.	0,044	25,68	1,13
mo092	h	Ajudante de estruturista, em trabalhos de betonagem.	0,180	25,06	4,51
	%	Custos directos complementares	2,000	101,36	2,03
Custo de manutenção decenal: 5,17€ nos primeiros 10 anos.				Total:	103,39

Figura 5.8 – Justificação de preços para laje maciça de betão
[Cype- gerador de preços] (euros/m²)

5.4 Comparação de resultados para os dois sistemas construtivos

i) Viabilidade Económica - Custos Diretos

Com base nos mapas de medições e orçamentos apresentados verificou-se que a estrutura de betão armado apresenta um custo de mão-de-obra superior quando comparado com a situação da estrutura de aço.

No caso dos materiais utilizados para construção dos elementos estruturais verificou-se que a solução em betão armado foi inferior quando comparada com a solução em aço estrutural.

ii) Impacto dos Custos Indiretos

A estrutura metálica, por ser uma solução “seca” e quase toda pré-fabricada, permite uma redução significativa no prazo de execução da obra. Tal redução traduz-se em menores custos de estaleiro (como seja o aluguer de equipamentos, consumos, equipas de fiscalização, entre outros casos) e numa rentabilização mais rápida do investimento para o cliente final.

A Figura 5.9 ilustra a comparação entre os custos afetos à estrutura de aço e à estrutura de betão armado, justificando a diferenciação entre custos diretos, que são obtidos para os elementos estruturais e para a mão-de-obra e montagem, e os custos indiretos.

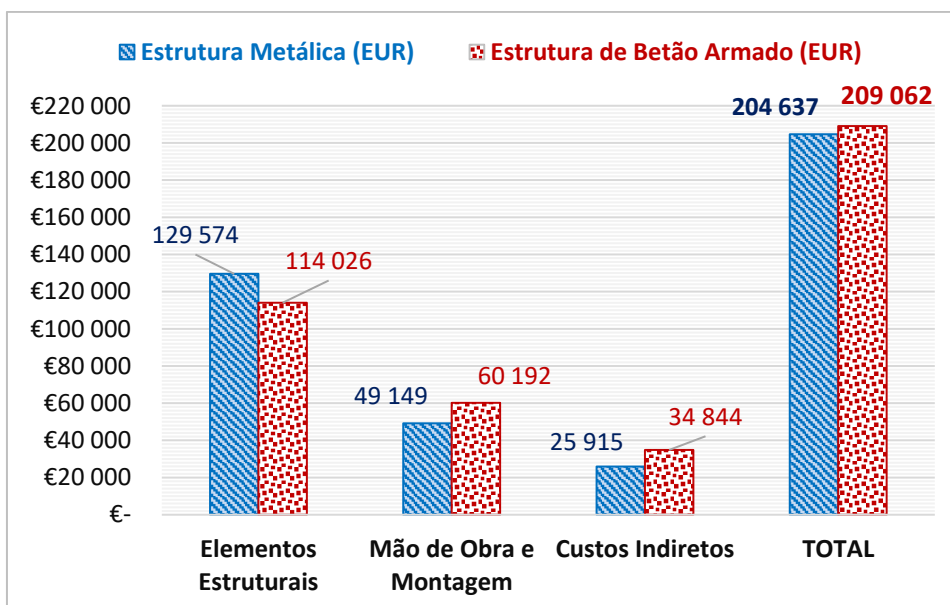


Figura 5.9 – Comparação de custos entre estrutura de aço e estrutura de betão armado

Na Figura 5.10 inclui-se o quadro do Excel elaborado para ajudar a traçar o gráfico anteriormente mencionado (Fig. 5.9).

Categoria de Custo	Estrutura Metálica (Euros)	Estrutura de Betão Armado (Euros)
Elementos Estruturais	129 573,67	114 025,93
Mão-de-obra e Montagem	49 148,63	60 192,45
Custos Indiretos	25 914,73	34 843,68
TOTAL	178 722,31	174 218,38

Figura 5.10 – Custos para diferentes elementos estruturais de cada solução estrutural

A Figura 5.11 apresenta o gráfico comparativo entre os custos diretos resultantes por tipologia de elemento estrutural (fundações - sapatas + lintéis, pilares, vigas e lajes).

Verifica-se neste caso que a maior ordem de grandeza dos custos apresentados naquela figura diz respeito às lajes (quer para a solução metálica quer para a solução em betão armado, embora tenha resultado um valor superior para as lajes da estrutura em betão armado. Em segundo lugar verificou-se que a maior ordem de grandeza dos custos diz respeito aos pilares metálicos. Situação análoga se passa em relação às vigas metálicas. Daqui se conclui que os custos referentes as

construções dos elementos lineares dos pórticos são mais baratos para o caso da solução em betão armado do que na solução em aço estrutural.

No caso das fundações a ordem de grandeza dos custos referentes a ambas as soluções é relativamente semelhante, não sendo de registar diferença relevante, ao contrário dos outros elementos estruturais de cada solução resistente.

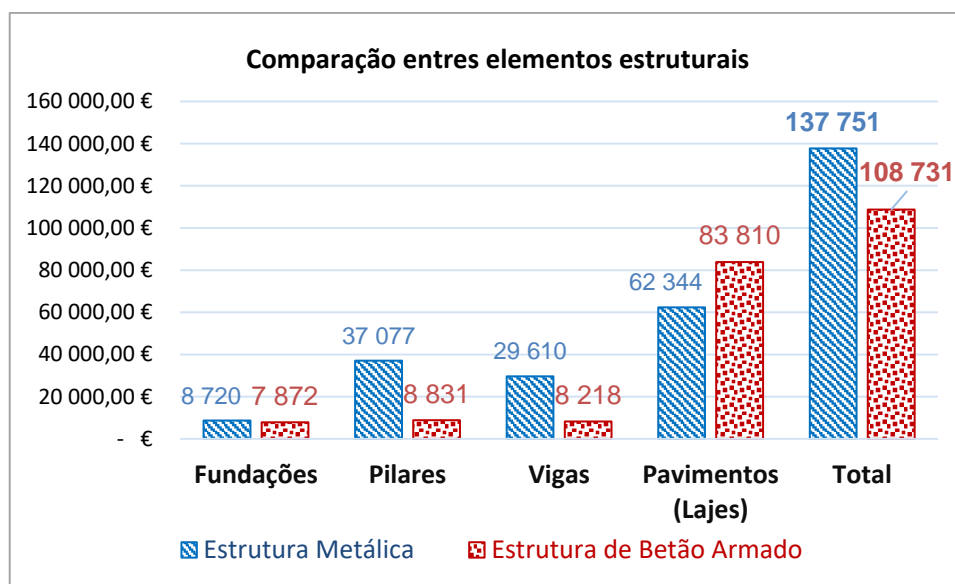


Figura 5.11 – Custos diretos diferenciados por elemento estrutural

A Figura 5.12 inclui o quadro do Excel elaborado para justificar o gráfico apresentado na Fig. 5.11.

Elemento estruturais	Estrutura Metálica	Estrutura de Betão Armado
Fundações	8 720,14 €	7 872,18 €
Pilares	37 076,67 €	8 831,01 €
Vigas	29 610,06 €	8 217,74 €
Pavimentos (Lajes)	62 343,80 €	83 810,08 €
Total	137 750,66 €	108 731,01 €

Figura 5.12 – Comparação entre custos diretos para elementos estruturais

Na Figura 5.13 apresenta-se um gráfico no qual se procede à comparação entre custos diretos e custos indiretos para ambas as soluções estruturais através do respetivo rácio percentual referente aos tópicos de custos anteriormente considerados, conforme categorias indicadas na Fig. 5.10.

Dito de outro modo, a figura seguinte refere-se ao quociente entre o valor dos elementos estruturais e o total alcançado para cada uma das categorias de custos.

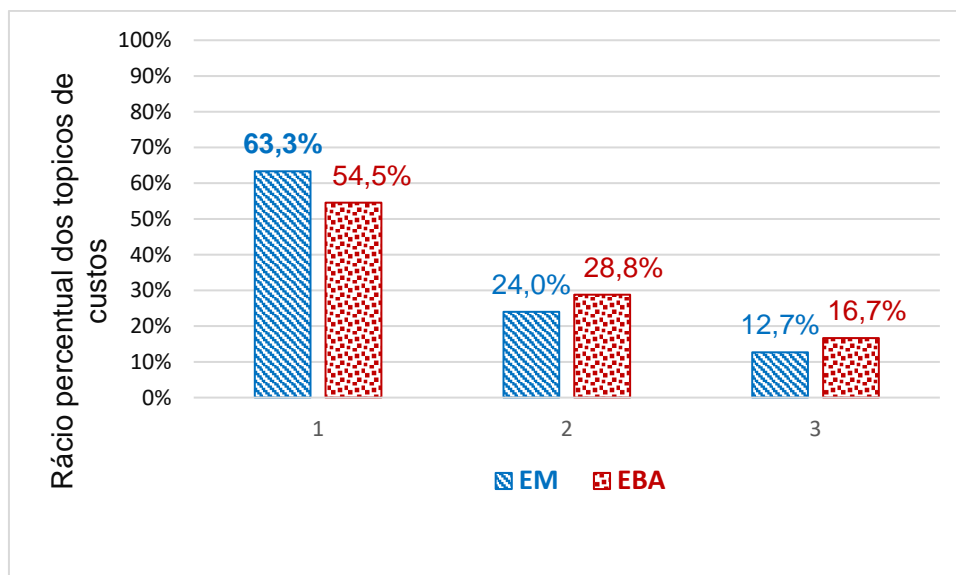


Figura 5.13 – Comparação entre custos diretos e indiretos em ambas as soluções estruturais

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1 CONCLUSÕES

A análise comparativa entre os dois sistemas estruturais permite concluir que a escolha da solução ideal não se deve basear exclusivamente no custo direto dos materiais, mas também numa visão global relativa ao ciclo de construção.

No que respeita à viabilidade económica, embora o betão armado apresente um custo de material elevado devido à volumetria dos elementos, é a sua elevada dependência de mão-de-obra (cerca de 28.8% do custo total), conforme analisado e a complexidade das fases de cofragem que tornam o seu orçamento mais pesado. Em contrapartida, a estrutura metálica, apesar da volatilidade do preço do aço em termos de mercado (para o caso do material), demonstra ser um sistema mais industrializado e controlado devido à pré-fabricação, apresentando uma incidência de mão-de-obra inferior comparativamente ao caso do betão, uma vez que grande parte do valor acrescentado é realizado em oficina, tendo-se obtido 24% de peso de mão-de-obra no total verificado para a construção da estrutura metálica.

No que diz respeito aos custos de material verifica-se uma percentagem relativa de 63,3% para o caso da estrutura metálica contra os 54,5% referentes aos materiais utilizados na solução em betão armado, verificando-se, pois, que a opção pelo betão armado representa uma despesa de cerca de 86% em relação à opção do aço estrutural.

Todavia, o fator determinante nesta comparação reside precisamente nos custos indiretos. A estrutura metálica, enquanto solução de construção “seca”, reduz o cronograma da obra, com exceção do betão utilizado nas sapatas e nas lajes mistas aço-betão. Esta celeridade não só ajuda a minimizar os custos fixos de estaleiro, como o aluguer de equipamentos e a manutenção de infraestruturas técnico-sociais, mas também antecipa a rentabilização do investimento para o cliente final. Assim, verificou-se que os custos indiretos representaram 12,7% do total despendido com a solução de estrutura metálica e 16,7% com a solução em betão armado.

Em síntese, se o critério for o custo imediato realizado com materiais, a opção pela utilização do betão armado corresponde a uma situação de custo total aproximadamente superior em cerca de 2% comparativamente à solução com estrutura metálica.

Quando avaliada a eficiência logística, a redução da pegada ecológica e ainda o prazo de execução, a estrutura metálica apresenta-se como uma solução igualmente mais vantajosa e sustentável relativamente ao projeto analisado.

6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A análise de ciclo de vida apresenta-se como uma proposta para estudos futuros, tendo em consideração uma comparação da pegada de carbono para ambas as soluções, avaliando o impacto ambiental desde a extração das matérias-primas até à demolição ou reciclagem (especialmente relevante para o caso do aço atendendo à sua taxa de reciclagem).

No caso da análise de segurança ao fogo, poderá igualmente realizar-se um estudo detalhado sobre os custos de proteção passiva, como por exemplo, a aplicação de pinturas intumescentes *versus* recobrimentos de betão. Tal seria uma mais-valia para refinar a comparação de custos.

Por outro lado, a possibilidade de evoluir para a digitalização através da metodologia BIM constitui igualmente uma possibilidade muito atualizada de pesquisa. A utilização de metodologias BIM (*Building Information Modelling*) para a extração automática de quantidades e simulação a 4D (tempo) e 5D (custo) permitiria uma precisão ainda maior em termos de qualquer análise comparativa.

Avaliar os custos de conservação ao longo da vida útil de uma estrutura, como por exemplo, custos de repintura do aço *versus* manutenção de patologias no betão, abre portas para estudos de investigação no domínio da manutenção

REFERÊNCIAS

[BIBLIOGRAFIA E WEBGRAFIA]

Referências

- [1] Teresinho, C. S. F. *Formulação de Preços na Construção*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil apresentada à Universidade de Coimbra. FCTUC. 2014.
- [2] Almada, S. D. *Composição de Custos Diretos – Caso de Estudo: Reabilitação de Estradas*. Relatório de Estágio para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil – Ramo de Gestão da Construção. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2016.
- [3] Mesquita, A.B., *Gestão de Obras e Projecto [Projecção visual]*, Diapositivos de apoio à Unidade Curricular 6589 – IPCB-PU_EST_UTCEC-LEC. Anos lectivos 2024-2025 e 2025-2026 – Plataforma Moodle.
- [4] <https://www.marcodepisapia.com/tipologie-strutturali-cemento-armato/>
- [5] https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-a-Portico-e-respectivo-modelo-para-analise-b-diagrama-de-momentos_fig1_332298902
- [6] Nardino, C.; Souza, V.; Arndt, M. e Machado, R.D. “Influência das ligações semirrígidas na análise inelástica de segunda ordem de estruturas metálicas”. *Revista da Estrutura de Aço (REA)*. Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA). Vol. 7, Nº 3. 2018. (Revista indexada no Latindex e Diadorim/IBICT).
- [7] Autodesk. (2024). *AutoCAD (Versão 2024)* [Software de computador]. <https://www.autodesk.com>
Microsoft. (2024). *Microsoft Excel (Versão Microsoft 365)* [Software de computador]. <https://www.microsoft.com>
- [8] Amorim, R. “Projecto de Estruturas Metálicas”. Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Beja. 2005. (Projecto que foi objecto de avaliação em concurso promovido pela CMM - Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista em 2005).
- [9] CYPE Ingenieros, S.A. (2024). *CSZ020: Cofragem de vigas. Gerador de preços para a construção. Portugal*.
[https://geradordeprecos.info/remote.asp?Command=0,browse,idioma:3\[apartado:CSZ020\[n:145037\]](https://geradordeprecos.info/remote.asp?Command=0,browse,idioma:3[apartado:CSZ020[n:145037])
- [10] Pro-Metal. (s.d.). *Tabela de perfis metálicos: UPN, IPN, IPE, HEB, HEA*. Obtido em 31 de dezembro de 2024, de <https://pro-metal.pt/tabela-de-perfis-metalicos-upn-ipn-ipe-heb-hea/#ipe>
- [11] Acail Ferro. (s.d.). *Produtos: Chapa*. Obtido em 31 de dezembro de 2024, de <https://www.acailferro.pt/produtos/chapa>
- [12] DeepL SE. (s.d.). *DeepL Translator*. <https://www.deepl.com/pt-PT/translator>

[13] Highlight AI. (2026). *Highlight Chat* [Modelo de linguagem de grande escala].
<https://highlightai.com>