U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

AVALIAÇÃO DA IRREGULARIDADE ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS DE BA À LUZ DOS CRITÉRIOS DO EUROCÓDIGO 8: CASOS DE ESTUDO

VICTOR PAINÇAL RODRIGUES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ESTRUTURAS DE ENGENHARIA CIVIL

Orientador: Professor Dr. Humberto Salazar Amorim Varum

Coorientador: Professor Dr. José Filipe Miranda Melo

JULHO DE 2023

MESTRADO EM ESTRUTURAS DE ENGENHARIA CIVIL 2022/2023

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

mestec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

feup@fe.up.pt

http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil - 2022/2023 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2022*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus pais e minha namorada

Todo o conhecimento humano começou com intuições, passou daí aos conceitos e terminou com ideias.

Immanuel Kant

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus por ter chegado até aqui, pois sem ele, nada disso seria possível. Agradeço a minha família, meus pais e meu irmão que sempre me apoiaram e torceram por mim. Agradeço especialmente a minha namorada, que me deu todo suporte nessa jornada, me apoiando, incentivando e me ajudando a superar todos os obstáculos encontrados nessa trajetória.

Agradeço também aos meus colegas e aos meus professores que dividiram essa caminhada comigo. Agradeço muito ao meu orientador, o Professor Humberto Salazar Amorim Varum que dedicou parte do seu tempo a me ajudar, me dando suporte e partilhando seus conhecimentos para que eu pudesse desenvolver este trabalho. Agradeço a disponibilização de projetos reais pela empresa de projetos estruturais parceira desta tese possibilitando o estudo muito mais rico.

Por fim, agradeço a confiança que foi em mim depositada, por todos que me apoiaram, mostrando que eu estava no caminho certo e que com isso, a vitória seria apenas uma consequência.

RESUMO

Para que uma estrutura seja classificada como regular em planta ou altura, seguindo as normas do Eurocódigo 8, precisa-se fazer a análise dos diversos critérios pré-estabelecidos na norma. Entre esses critérios, está a determinação de alguns parâmetros como, por exemplo, a posição do centro de rigidez da planta em cada piso e a variação de rigidez em altura, o que permite a verificação do processo em questão. Porém, quando temos um edifício construído com vários pisos, ou seja, um edifício de complexa geometria, apresentando muitas variações de elementos estruturais, essa verificação se torna mais complicada e de difícil precisão, convertendo-se numa análise bem trabalhosa e incerta. Isso faz com que os projetistas, evitando ter tanto trabalho, atuem prontamente, classificando a estrutura como irregular nesses tipos de análise.

Classificar uma estrutura como irregular traz algumas implicações, como o agravamento do coeficiente de comportamento na hora de adaptá-la a um projeto. Realizar uma análise mais detalhada dos critérios de classificação de regularidade, levando em consideração as características de massa e rigidez das estruturas, ajuda a trazer indicações de quanto e como essas irregularidades podem afetar o comportamento dessa estrutura diante da ocorrência de sismos. Além disso, ajuda também a mostrar onde estão localizadas as variações geométricas em planta e altura, que podem fazer com que a estrutura responda de forma menos adequada em seu desempenho sísmico. Nos dias de hoje, essas análises se mostram uma prioridade, haja visto são cada vez mais uma necessidade para que os projetistas elaborem seus projetos.

Diante desse contexto, este estudo surgiu com o objetivo de explorar mais a norma EC8, na classificação dessas regularidades, tanto em planta quanto em altura, mostrando como se comportam as estruturas de betão armado diante dos sismos. Para enriquecer o conteúdo do trabalho, foram utilizados casos de estudo, nos quais podem ser encontradas características geométricas distintas para realização das análises e avaliações. Essas avaliações trabalham critérios de regularidade em planta e altura, onde é apresentada uma comparação percentual do rácio de irregularidade em cada caso. Mesmo sendo observado que todos os edifícios estão classificados como irregulares em planta e a maioria como irregular em altura, pode-se perceber que todos apresentam um diferente grau de regularidade, sendo alguns, inclusive, mais regulares que outros. Entretanto, o EC8 não diferencia estas divergências na classificação estrutural, fazendo com que haja, muitas vezes, a necessidade de se obter uma abordagem mais precisa e abrangente, para que se possa avaliar e classificar a regularidade das estruturas em casos reais. Sendo assim, pretende-se criar uma base de dados sólida que ajude e auxilie os projetistas no cálculo e dimensionamento das estruturas que possuem características próximas às estudadas nessa tese.

PALAVRAS-CHAVE: Eurocódigo 8, Regularidade em planta, Regularidade em altura, Edifícios de betão armado e Coeficiente de comportamento.

ABSTRACT

For a structure to be classified as regular in plan or elevation, following the Eurocode 8 standards, it is necessary to analyze the various criteria pre-established in the standard. Among these criteria is the determination of some parameters such as, for example, the position of the plant stiffness center in each floor and the stiffness variation in elevation, which allows the verification of the process in question. However, when we have a building constructed with several floors, i.e., a building of complex geometry, presenting many variations of structural elements, this verification becomes more complicated and difficult to precise, becoming a very laborious and uncertain analysis. This makes designers, avoiding having so much work, act promptly, classifying the structure as irregular in these types of analysis.

Classifying a structure as irregular brings some implications, such as the lowering the behavior factor when it comes time to adapt it to a project. Performing a more detailed analysis of the regularity classification criteria, taking into account the mass and stiffness characteristics of the structures, helps to bring indications of how much and how these irregularities can affect the behavior of this structure when earthquakes occur. In addition, it also helps to show where the geometric variations in plan and elevation are located, which can make the structure respond less adequately in its seismic performance. Nowadays, these analyses are a priority, as they are increasingly a necessity for designers to prepare their projects.

Given this context, this study arose with the objective of further exploring the EC8 standard, in the classification of these regularities, both in plan and in elevation, showing how reinforced concrete structures behave when facing earthquakes. To enrich the content of the work, case studies were used, in which distinct geometric characteristics can be found to perform the analyses and evaluations. These evaluations work with criteria of regularity in plan and elevation, where a percentage comparison of the irregularity ratio in each case is presented. Even though it is observed that all the buildings are classified as irregular in plan and most of them as irregular in elevation, it can be seen that all of them present a different degree of regularity, with some even being more regular than others. However, the EC8 does not differentiate these divergences in structural classification, making it sometimes necessary to obtain a more accurate and comprehensive approach to evaluate and classify the regularity of structures in real cases. Thus, it is intended to create a solid database to help designers in the calculation and design of structures that have characteristics close to those studied in this thesis.

KEYWORDS: Eurocode 8, Regularity in plan, Regularity in elevation, Reinforced concrete buildings and Behavior Factor.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS i

RESUMO iii

ABSTRACT v

1 INTRODUÇÃO 1

1.1. ENQUADRAMENTO GERAL 1

1.2. QUESTÃO DE INVESTIGAÇÃO 1

1.3. OBJETIVO 2

1.4. ORGANIZAÇÃO DA TESE 2

2 ENQUADRAMENTO GERAL 4

2.1. ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR 4

2.2. AS AÇÕES SÍSMICAS 4

2.2.1. Classes de Importância 6

2.2.2. Classificação do tipo de terreno 7

2.3. ELEMENTOS ESTRUTURAIS SISMO-RESISTENTES 8

2.4. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO 9

2.5. ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO 10

2.6. CLASSES DE DUCTILIDADE 11

2.7. COEFICIENTE DE COMPORTAMENTO 12

3 REVISÃO DA LITERATURA 14

3.1. Regularidade estrutural 14

3.1.1. Critérios de regularidade em planta 16

3.1.2. Critérios de regularidade em altura 19

4 CASOS DE ESTUDO 23

4.1. Descrição de critérios avaliados 23

4.1.1. Regularidade em planta 23

4.1.2. Regularidade em Altura 23

4.2. Descrição Estrutural Do Edifício 1 24

4.2.1. Geometria Do edifício 1 24

4.2.2. Materiais Do Edifício 1 29
4.2.3. Informações Gerais Do Projeto Do Edifício 1 30
4.2.4. Regularidade Em Planta Do Edifício 1 32
4.2.5. Regularidade em Altura Do Edifício 1 37
4.3. DESCRIÇÃO ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO 2 40
4.3.1. Geometria Do Edifício 2 40
4.3.2. Materiais Do Edifício 2 47
4.3.3. Informações Gerais Do Projeto Do Edifício 2 48
4.3.4. Regularidade Em Planta Do Edifício 2 50
4.4. DESCRIÇÃO ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO 3 57
4.4.1. Geometria Do Edifício 3 57
4.4.2. Materiais Do Edifício 3 61
4.4.3. Informações Gerais Do Projeto Do Edifício 3 62
4.4.4. Regularidade Em Planta Do Edifício 3 64
4.4.5. Regularidade Em Altura Do Edifício 3 70
4.5. DESCRIÇÃO ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO 4 72
4.6. DESCRIÇÃO ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO 5 86

5 ANÁLISE DE RESULTADOS 101
5.1. COMPARAÇÕES DE CASOS DE ESTUDO 101

6 CONCLUSÃO 105
6.1. CONCLUSÕES 105

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Zoneamento sísmico em Portugal (EC8, 2010) 5
Fig. 2 - Irregularidades estruturais (Arnold, 1984) 15
Fig. 3 - Irregularidades em planta (Elnashai, 2008) 16
Fig. 4 - Relação entre a área do contorno do piso (EC8, 2010) 17
Fig. 5 - Dimensões máximas e mínimas em planta do edifício (EC8, 2010) 17
Fig. 6 - Critério de recuos do Eurocódigo 8 (EC8, 2010) 20
Fig. 7 - Pórticos flexíveis associados a paredes (EC8) 21
Fig. 8 - Modelo 3D da estrutura (Revit) 24
Fig. 9 - Planta estrutural Pisos Pares (Revit) 25
Fig. 10 - Planta estrutural Pisos Ímpares (Revit) 25
Fig. 11 - Planta de arquitetura 26
Fig. 12 - Cortes (Revit) 27
Fig. 13 - Cortes (Revit) 28
Fig. 14 - Rigidez lateral em X 32
Fig. 15 - Rigidez lateral em Y 32
Fig. 16 - Massa em X 33
Fig. 17 - Massa em Y 33
Fig. 18 - Posição CM e CR em altura - direção x 34
Fig. 19 - Posição CM e CR em altura - direção y 34
Fig. 20 - Modelo 3D Da Estrutura (Revit) 40
Fig. 21 - Planta estrutural piso 1 ao 3 (Revit) 41
Fig. 22 - Planta estrutural piso 4 (Revit) 42
Fig. 23 - Planta estrutural piso 5 ao 7 (Revit) 43
Fig. 24 - Planta de arquitetura – Piso 1 ao 3 (Revit) 44
Fig. 25 - Cortes (Revit) 46
Fig. 26 - Rigidez lateral em X 50
Fig. 27 - Rigidez lateral em Y 50
Fig. 28 - Massa em X 51
Fig. 29 - Massa em Y 51
Fig. 30 - Posição CM e CR em Altura – Direção X 52
Fig. 31 - Posição CM e CR em Altura – Direção Y 52
Fig. 32 - Modelo 3D Da Estrutura (Revit) 58
Fig. 33 - Planta estrutural - Primeiro Piso (Revit) 58
Fig. 34 - Planta estrutural Piso Tipo (Revit) 59
Fig. 35 - Planta arquitetura (Revit) 59
Fig. 36 - Cortes (Revit) 60

Fig. 37 - Rigidez lateral em X 64
Fig. 38 - Rigidez lateral em Y 65
Fig. 39 - Massa em X 65
Fig. 40 - Massa em Y 66
Fig. 41 - Posição CM e CR em Altura – Direção X 66
Fig. 42 - Posição CM e CR em Altura – Direção Y 67
Fig. 43 - Modelo 3D Da Estrutura (Revit) 72
Fig. 44 - Planta estrutural Piso Tipo 1 (Revit) 73
Fig. 45 - Planta estrutural Piso Tipo 2 (Revit) 74
Fig. 46 - Planta de arquitetura (Revit) 75
Fig. 47 - Rigidez lateral em X 79
Fig. 48 - Rigidez lateral em Y 80
Fig. 49 - Massa em X 80
Fig. 50 - Massa em Y 81
Fig. 51 - Posição CM e CR em altura – direção x 81
Fig. 52 - Posição CM e CR em altura – direção y 82
Fig. 53 - Modelo 3D Da Estrutura (Revit) 87
Fig. 54 - Planta estrutural Piso Tipo (Revit) 88
Fig. 55 - Rigidez lateral em X 92
Fig. 56 - Rigidez lateral em Y 93
Fig. 57 - Massa em X 93
Fig. 58 - Massa em Y 94
Fig. 59 - Posição CM e CR em altura – direção x 94
Fig. 60 - Posição CM e CR em altura – direção y 95
Fig. 61 - Critérios edifício planta 103
Fig. 62 - Critérios edifícios altura 104

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Aceleração máx. de referência $a_{,gr}$ (m/s²) em diferentes zonas, com ações sísmicas do tipo 1 e 2 (EC8, 2010). 5

Tabela 2 - Valor do coeficiente de importância em função da classe de importância do edifício para os níveis de ação sísmica (EC8, 2010) 6

Tabela 3 - Valor básico de coeficiente de comportamento q0, para sistemas regulares em altura (EC8,2010) 12

Tabela 4 - Valores para o fator de majoração (EC8,2010) 13

Tabela 5 - Informações Gerais por Piso 31

Tabela 6 - Classificação do Sistema Estrutural 31

Tabela 7 - Critério de configuração compacta 35

Tabela 8 - Critério de Esbelteza 35

Tabela 9 - Critério de Excentricidade estrutural e raio de torção 35

Tabela 10 - Diferença percentual em cada critério 37

Tabela 11 - Critério de rigidez lateral e massa 37

Tabela 12 - Critério de Recuos 38

Tabela 13 - Diferença percentual em cada critério 39

Tabela 14 - Informações Gerais Por Piso 49

Tabela 15 - Classificação Do Sistema Estrutural 49

Tabela 16 - Critério de Configuração Compacta 53

Tabela 17 - Critério De Esbelteza 53

Tabela 18 - Critério De Excentricidade Estrutural e Raio de Torção 54

Tabela 19 - Diferenças percentuais dos valores calculado e valor limite do critério 55

Tabela 20 - Critério De Rigidez Lateral e Massa 55

Tabela 21 - Critério De Recuos 56

Tabela 22 - Diferença percentual em cada critério 57

Tabela 23 - Informações Gerais Por Piso 63

Tabela 24 - Classificação Do Sistema Estrutural 64

Tabela 25 - Critério de Configuração Compacta 67

Tabela 26 - Critério De Esbelteza 68

Tabela 27 - Critério De Excentricidade Estrutural e Raio de Torção 68

Tabela 28 - Diferenças percentuais dos valores calculado e valor limite do critério 69

Tabela 29 - Critério De Rigidez Lateral e Massa 70

Tabela 30 - Critério De Recuos 70

Tabela 31 - Diferenças percentuais dos valores calculado e valor limite do critério 71

Tabela 32 - Informações Gerais Por Piso 78

Tabela 33 - Classificação Do Sistema Estrutural 79

Tabela 34 - Critério de Configuração Compacta 82
Tabela 35 - Critério De Esbelteza 83
Tabela 36 - Critério De Excentricidade Estrutural e Raio de Torção 83
Tabela 37 - Diferenças percentuais dos valores calculado e valor limite do critério 84
Tabela 38 - Critério De Rigidez Lateral e Massa 85
Tabela 39 - Critério De Recuos 85
Tabela 40 - Diferenças percentuais dos valores calculado e valor limite do critério 86
Tabela 41 - Informações Gerais Por Piso 91
Tabela 42 - Classificação Do Sistema Estrutural 92
Tabela 43 - Critério de Configuração Compacta 95
Tabela 44 - Critério De Esbelteza 96
Tabela 45 - Critério De Excentricidade Estrutural e Raio de Torção 96
Tabela 46 - Diferenças percentuais dos valores calculado e valor limite do critério 98
Tabela 47 - Critério De Rigidez Lateral e Massa 98
Tabela 48 - Critério De Recuos 99
Tabela 49 - Diferenças percentuais dos valores calculado e valor limite do critério 100

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Classe de importância dos edifícios de acordo com a EC8 6
Quadro 2 - Classificação do terreno (EC8, 2010) 8
Quadro 3 - Condições de regularidade estrutural (EC8, 2010) 17
Quadro 4 - Informações Gerais do Edifício (Revit) 29
Quadro 5 - Materiais..... 30
Quadro 6 - Características dos Materiais..... 30
Quadro 7 - Regularidade em planta avaliada pelo EC8 36
Quadro 8 - Resumo de regularidade em altura..... 38
Quadro 9 - Informações Gerais do Edifício (Revit) 47
Quadro 10 - Materiais..... 47
Quadro 11 - Características dos Materiais..... 48
Quadro 12 - Regularidade em Planta Avaliada Pelo EC8 54
Quadro 13 - Resumo De Regularidade Em Altura..... 56
Quadro 14 - Informações Gerais do Edifício (Revit) 61
Quadro 15 - Materiais..... 62
Quadro 16 - Características dos Materiais..... 62
Quadro 17 - Regularidade em Planta Avaliada Pelo EC8 69
Quadro 18 - Resumo De Regularidade Em Altura..... 71
Quadro 19 - Informações Gerais do Edifício (Revit) 76
Quadro 20 - Materiais..... 77
Quadro 21 - Características dos Materiais..... 77
Quadro 22 - Regularidade em Planta Avaliada Pelo EC8 83
Quadro 23 - Resumo De Regularidade Em Altura..... 86
Quadro 24 - Informações Gerais do Edifício (Revit) 89
Quadro 25 - Materiais..... 90
Quadro 26 - Características dos Materiais..... 90
Quadro 27 - Regularidade em Planta Avaliada Pelo EC8 97
Quadro 28 - Resumo De Regularidade Em Altura..... 99
Quadro 29 - Regularidade em planta avaliada pelo EC8 102
Quadro 30 - Regularidade em Altura avaliada pelo EC8..... 103

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

EC8 – Eurocódigo 8

ELU – Estado Limite Último.

ELS - Estado Limite de Serviço.

a_g – Valor de cálculo da aceleração à superfície para um terreno do tipo A.

a_{gR} – Valor de referência da aceleração máxima à superfície para o terreno do tipo A.

γ_1 – Coeficiente de importância de edifícios.

DCL – "Ductility Class Low" (Classe de Ductilidade Baixa).

DCM – "Ductility Class Medium" (Classe de Ductilidade Média).

DCH – "Ductility Class High" (Classe de Ductilidade Alta).

e0x – Distância entre o centro de massa (CM) e o CR, medida segundo a direção x, perpendicular à direção de cálculo y.

rx – Raio de torção.

$K\theta\theta$ – Rigidez de torção.

Kyy – Rigidez lateral segundo a direção y.

ls – Raio de giração da massa do piso em planta.

I0 – Momento polar de inércia da massa do piso em planta, em relação ao CM do mesmo.

m – Massa do piso.

1
INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO GERAL

Portugal acumula algumas experiências catastróficas quando falamos de atividades sísmicas. Em 1755, por exemplo, o sismo de Lisboa ficou marcado por ter mudado a história do país, causando um grande impacto para a sociedade portuguesa do século XVIII, tanto no aspeto político, quanto no aspeto socioeconómico. Este fato deu origem ao início dos estudos científicos relacionados as consequências de um sismo numa área alargada, caracterizando assim, o surgimento da sismologia moderna. Por se tratar de um evento natural de difícil previsão e intensidade, os fenómenos sísmicos devem ser tratados com elevada importância para que a integridade das estruturas não seja prejudicada. São elas que vão garantir a segurança da vida humana e limitar possíveis danos que possam ser sofridos, possibilitando sua reparação. Isto posto, mostra que um projetista não deve descuidar com a probabilidade da ocorrência destes fenômenos, estando atento a desenvolver estruturas capazes, durante sua vida útil, de serem submetidas a diferentes tipos de ação e se comportarem de maneira adequada a cada situação. Portanto é importante buscar soluções compatíveis com os episódios de sismos, fazendo com que a segurança da estrutura e a sua viabilidade económica se mantenham em equilíbrio. A EN 1998-1 (CEN, 2010a), designada pelo EC8 é responsável pela regulação dos princípios e normas determinados para que se obtenha um dimensionamento mais preciso das estruturas em relação aos sismos.

A adoção do EC8 como referência para o dimensionamento de estruturas resistentes aos sismos representa um avanço significativo na busca pela segurança e integridade das construções. Esse conjunto de normas estabelece critérios rigorosos que consideram, não apenas a resistência das estruturas ao movimento sísmico, mas também sua capacidade de dissipar energia e reduzir os efeitos causados pelas consequentes vibrações. Ao seguir as diretrizes do EC8, os projetistas podem levar em conta os diferentes tipos de ação sísmica esperados em determinada região, bem como as características geotécnicas do solo, a fim de projetar edificações que possam resistir de maneira adequada aos sismos e minimizar os danos causados por eles. Assim, a aplicação dessas normas contribui para a prevenção de perdas humanas e materiais, garantindo uma maior resiliência das estruturas e promovendo a segurança da sociedade como um todo.

1.2. QUESTÃO DE INVESTIGAÇÃO

Assumindo a importância de se levar em consideração a ocorrência de abalos sísmicos no projeto das estruturas de betão armado, esta pesquisa tem como objetivo central apresentar resultados práticos da conceção de estruturas no que se refere a regularidade estrutural com o objetivo de discutir classificações regulamentares atualmente em vigor visando seu melhor entendimento e aplicação.

1.3. OBJETIVO

O objetivo desta dissertação consiste em trazer uma análise crítica e exploratória sobre as prescrições da parte 1 da EN 1998-1 (CEN, 2010a) que são aplicadas nas estruturas dos edifícios de betão armado O estudo mostra a criação e organização de um conjunto de dados e informações, com os principais parâmetros e requisitos verificados durante o dimensionamento sísmico de estruturas irregulares baseando-se em projetos reais. Ressalta-se a importância de se buscar uma correta classificação na projeção das estruturas de betão armado, e suas consequências na análise estrutural. Para a concretização deste objetivo será utilizado uma base de dados disponibilizada por uma empresa de projetos estruturais, avaliando alguns edifícios quanto a sua regularidade estrutural e discutindo opções de projeto. Será feito também uma referência e sintetização dos conceitos teóricos subjacentes ao EC8, ajudando a mostrar a importância de se aplicar a metodologia aprendida. Com este estudo e através de seus resultados, pretende-se ampliar os conhecimentos sobre o assunto proposto, a fim de embasar futuras aplicações e servir de base para desenvolver uma visão mais clara e objetiva.

1.4. ORGANIZAÇÃO DA TESE

A estrutura trabalhada nessa dissertação está dividida em 5 tópicos principais. Inicia-se com uma pequena introdução, onde são apresentados os objetivos e a estrutura, seguida de uma “Revisão da Literatura”, onde são descritos alguns conceitos chaves, como a regulamentação do EC8, que descreve a ação sísmica em Portugal através de cláusulas específicas, utilizadas no dimensionamento das estruturas em betão armado, utilizado como base para o desenvolvimento desta dissertação. Em seguida, no tópico 3, é apresentada a avaliação de regularidade estrutural de edifícios escolhidos com aplicação da primeira parte do EC8, suas regras e exigências específicas para edifícios de betão armado. Logo depois, no capítulo 4 são realizadas análises e comparações dos estudos de caso e no capítulo 5 são explicitadas as conclusões evidenciadas, através da análise dos estudos feitos por amostragem, obtidos nos capítulos anteriores. Por fim vem as “Referências Bibliográficas” com a descrição das fontes de informações utilizadas como base a esta dissertação.

2
ENQUADRAMENTO GERAL

2.1. ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR

Em Portugal, estudar a ação sísmica com mais profundidade tornou-se uma necessidade quando se trata de projeto estrutural. A fim de garantir maior segurança às estruturas e limitar os possíveis danos que possam ser causados por abalos sísmicos, evitando o colapso das estruturas, é essencial que seja feito um estudo minucioso das normas de segurança. O EC8 estabelece um conjunto de normas e regras para execução de estruturas levando em consideração a resistência a possíveis sismos. A aplicação da EC8 visa, prioritariamente, garantir a vida humana, limitando os danos causados a estas estruturas, garantindo assim a sua operacionalidade, no âmbito dos projetos na construção civil. Com isso, faz-se necessário projetar cuidadosamente essas estruturas para que não ocorra nenhum tipo de colapso, seja local ou global, bem como a projeção correta para o controle de determinados níveis de danos que possam ocorrer diante de ações sísmicas de menor intensidade. Esses danos nunca devem comprometer a segurança nem resultar em custos desproporcionados ou elevados. No código atual, o grau de desempenho em uma determinada estrutura é inserido diretamente por meio da aplicação de diferentes coeficientes empíricos e requisitos de pormenor estrutural, abordados pelo EC8.

2.2. AS AÇÕES SÍSMICAS

Diante das diferenças existentes na casualidade sísmica, que ocorre nos diversos países da Europa, e em suas referentes fontes sismo-genéticas, o código europeu EC8 define a existência de dois tipos de sismo, uma vez que as respostas podem variar, não só pelo tipo de ação, mas também pelo tipo de solo de cada região, como mostra a Figura 1 abaixo.

Sendo assim, as ações sísmicas se dividem em ações sísmicas do tipo I e ações sísmicas do tipo II (CEN, 2010a).

- **Ação sísmica do tipo 1:** cenário que apresenta uma atividade gerada por interplacas continentais, caracterizadas por sismos afastados ou longínquos, com frequências baixas, de longa duração e elevada magnitude, acima de 5,5 graus de magnitude na escala Richter.
- **Ação sísmica do tipo 2:** cenário que apresenta uma atividade gerada por intraplacas continentais, caracterizada por sismos próximos, com alta frequência, de magnitude média ou moderada, inferior a 5,5 graus na escala Richter, e de curta duração.

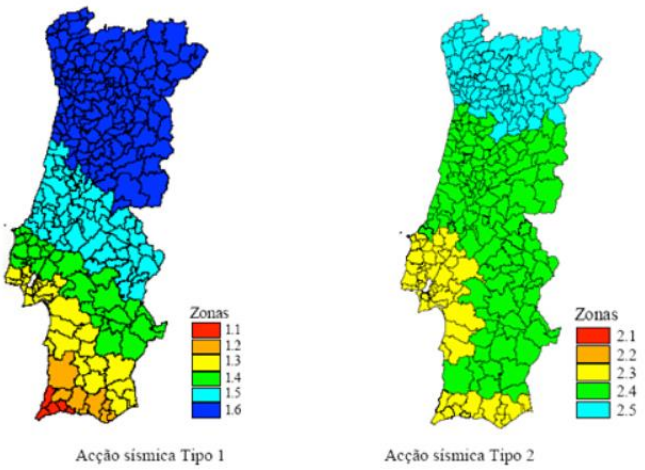


Fig. 1 - Zoneamento sísmico em Portugal (EC8, 2010)

Para um melhor entendimento, o Tabela 1 a seguir, mostra os valores de referência nas zonas sísmicas dentro do território de Portugal, onde pode-se constatar as ações sísmicas do tipo 1 e as ações sísmicas do tipo 2, ambas em relação ao dimensionamento da estrutura e a ação a considerar.

Tabela 1 - Aceleração máx. de referência a_{gr} (m/s²) em diferentes zonas, com ações sísmicas do tipo 1 e 2 (EC8, 2010).

Ação sísmica Tipo 1		Ação sísmica Tipo 2	
Zona sísmica	**a_{gR} [m/s²]**	**Zona sísmica**	**a_{gR} [m/s²]**
1.1	2,5	2.1	2,5
1.2	2,0	2.2	2,0
1.3	1,5	2.3	1,7
1.4	1,0	2.4	1,1
1.5	0,6	2.5	0,8
1.6	0,35	-	-

Essas diferenças são quantificadas através de um conjunto de Parâmetros de Determinação Nacional (PND), presentes nos Anexos do EC8, onde os valores podem ser adaptados de acordo com as regras vigentes em cada país, de acordo com as características distintas de cada território em cada projeto.

A aplicação da EC8 em projetos com estruturas sujeitas a ações sísmicas, visa atingir basicamente três finalidades: proteger as vidas humanas, pôr limites a eventuais danos que possam ser causados aos edifícios e garantir o bom desempenho das estruturas. A EC8 define ainda um ELU (Estado Limite Último), que deve verificar as ações relacionadas ao equilíbrio, à ductilidade, à resistência, à estabilidade de todas as fundações e das juntas sísmicas.

2.2.1. Classes de Importância

Por definição, diante da ação sísmica em um projeto, a própria estrutura assume um grande peso de acordo com sua relevância. Para tal, são determinadas algumas classes de importância para diferenciar os tipos de edifícios. Essas classes estão associadas aos seus coeficientes de importância, que são utilizados para multiplicar a ação sísmica de referência.

As classes de importância dos edifícios estão divididas em quatro tipos distintos, em relação a sua finalidade, como perdas de vidas humanas, danos à segurança pública, proteção civil após o sismo, bem como, as consequências sociais e económicas relacionadas ao seu colapso, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 - Classe de importância dos edifícios de acordo com a EC8

Classe de Importância	Edifícios
I	Edifício de importância menor para a segurança pública.
II	Edifícios correntes e não pertencentes a outras categorias.
III	Edifícios cuja resistência sísmica é importante diante das consequências associadas ao colapso.
IV	Edifícios cuja integridade em caso de sismo é vital para proteção civil.

Cada uma destas classes de importância, definidas na EC8, também corresponde a um coeficiente de importância γ_1 , como mostra o Tabela 3. Assim, a aceleração será determinada para as diferentes classes.

Tabela 2 - Valor do coeficiente de importância em função da classe de importância do edifício para os níveis de ação sísmica (EC8, 2010)

Classe de Importância	Ação Sísmica tipo 1	Ação Sísmica tipo 2	
		Continente	Açores
I	0,65	0,75	0,85
II	1,00	1,00	1,00
III	1,45	1,25	1,15
IV	1,95	1,50	1,35

Para que se possa dimensionar uma estrutura diante da ação sísmica a se considerar, deve-se trabalhar em cima da equação 1, que mostra que a ação sísmica de cálculo (a_g), resultante do produto da aceleração de referência ($a_g R$) pelo seu coeficiente de importância (Y_1).

$$a_g = a_g R \, . \, Y_1 \qquad \text{(Eq.1)}$$

Onde:

a_g é o valor de cálculo da aceleração à superfície para um terreno do tipo A;

a_{gR} é o valor de referência da aceleração máxima à superfície para o terreno do tipo A;

γ_1 é o coeficiente de importância de edifícios.

2.2.2. CLASSIFICAÇÃO DO TIPO DE TERRENO

As estruturas respondem a ocorrência de sismos conforme o tipo de terreno e suas características estratigráficas. Com isso, antes da implantação de uma obra é necessário que se faça a identificação do tipo de terreno onde a obra será instalada. Para isso, devem ser realizados estudos de caracterização geotécnica indicados em EN 1998-1, secção 3.1.2, onde são identificados os perfis dos terrenos, segundo a EC8. Os terrenos são divididos estrategicamente em A, B, C, D e E, como mostra o Quadro 2, cujas definições ajudam a indicar o tipo de influência que as ações sísmicas podem exercer sobre esses terrenos, as condições locais e a influência da formação geológica a que se refere, numa possível ação sísmica.

Quadro 2 - Classificação do terreno (EC8, 2010)

Tipo de terreno	Descrição do perfil estratigráfico	Parâmetros		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (pancadas/30 cm)	Cu (kPa)
A	Rocha ou outra formação geológica de tipo rochoso, que inclua, no máximo, 5 m de material mais fraco à superfície	> 800	-	-
B	Depósitos de areia muito compacta, de seixo (cascalho) ou de argila muito rija, com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros, caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas com a profundidade	360 – 800	> 50	> 250
C	Depósitos profundos de areia compacta ou medianamente compacta, de seixo (cascalho) ou de argila rija com uma espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Depósitos de solos não coesivos de compacidade baixa a média (com ou sem alguns estratos de solos coesivos moles), ou de solos predominantemente coesivos de consistência mole a dura	< 180	< 15	< 70
E	Perfil de solo com um estrato aluvionar superficial com valores de v_s do tipo C ou D e uma espessura entre cerca de 5 m e 20 m, situado sobre um estrato mais rígido com v_s > 800 m/s			
S_1	Depósitos constituídos ou contendo um estrato com pelo menos 10 m de espessura de argilas ou siltes moles com um elevado índice de plasticidade (PI > 40) e um elevado teor de água	< 100 (indicativo)	–	10 - 20
S_2	Depósitos de solos com potencial de liquefação, de argilas sensíveis ou qualquer outro perfil de terreno não incluído nos tipos A – E ou S1			

Os solos são divididos em grupos, conforme os resultados encontrados diante dos ensaios técnicos, mostrando a que tipos de propriedades os solos se encaixam.

2.3. ELEMENTOS ESTRUTURAIS SISMO-RESISTENTES

Os elementos estruturais sismo-resistentes, de acordo com o EC8, estão classificados em primários e secundários. Os elementos primários são tidos como resistentes à ação sísmica, moldados e

calculados de acordo com as determinações presentes no código. Eles integram o sistema resistente às ações sísmicas e estão suscetíveis as regras de detalhamento e dimensionamento citadas no EC8. Em contrapartida, os elementos secundários são considerados como aqueles que não pertencem ao sistema resistente às ações sísmicas, tendo sua rigidez e resistência às ações, desprezadas na composição dos cálculos. Esses elementos devem constar na amostra estrutural, porém em seu detalhe de projeto são calculados para resistir aos deslocamentos resultantes das ações sísmicas. O contributo de rigidez estrutural atribuída aos elementos sísmicos resistentes primários, não devem ultrapassar 15%. Para efeito de ação sísmica, esta distinção tem por objetivo facilitar os procedimentos de análise estrutural, definindo como desprezável sua rigidez e resistência, permitindo que não seja incluído nas amostras de cálculo. Mesmo assim, a falta de entendimento sobre alguns aspetos, ainda traz complicações particulares aos procedimentos utilizados no dimensionamento de elementos secundários. Embora existam regras para escolha desses elementos, o EC8 permite que certos elementos estruturais, como vigas e pilares por exemplo, sejam lançados como elementos secundários, diante de certas condições. Via de regra, todos os elementos que não se enquadram nos elementos escolhidos como secundários, deverão ser classificados como elementos primários.

São estabelecidas duas limitações para a escolha dos elementos secundários (EC8, 2010):

- "A contribuição para a rigidez lateral de todos os elementos sísmicos secundários não deverá ser superior a 15% da de todos os elementos sísmicos primários."
- "Não é permitido escolher certos elementos estruturais como elementos sísmicos secundários com o fim de alterar a classificação da estrutura de não regular para regular."

Essa limitação diante do contributo de rigidez lateral nos elementos secundários, em comparação aos primários, pode se fazer compreender pelo fato da contribuição dos elementos sísmicos secundários poder ser descartada na realização das análises sísmicas. Quando entendemos que essa limitação faz parte da resposta real de uma estrutura diante dos sismos, mostrando que seu comportamento real não é diferente do propósito para o qual a estrutura foi traçada e dimensionada, devido ao seu aumento de rigidez lateral, podendo ser desprezado. Um suposto aumento excessivo na rigidez lateral total entre os elementos secundários, poderia causar uma redução dos períodos considerados fundamentais de uma estrutura, resultando num subdimensionamento da mesma.

O EC8 não possui disposições complementares relacionadas aos critérios de utilização para o cálculo de contributo de rigidez lateral, no caso dos elementos secundários, mostrando que certos critérios que podem ser possivelmente usados nesta quantificação são: corte basal, forças de corte por piso e deslocamento do último piso.

2.4. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO

A EC8 define que uma estrutura projetada deva suportar a ação sísmica, cuja possibilidade de ocorrer seja menor que de uma determinada percentagem, em um determinado período, dependendo dos objetivos de cada uma das exigências de desempenho. A estrutura deve ser projetada e construída de modo a cumprir com os requisitos estabelecidos, obedecendo o grau adequado de rigor e fiabilidade:

(1) Requisito de não ocorrência de colapso: Este requisito está associado ao ELU, que tem como foco principal a proteção de vidas humanas. Esse requisito estabelece que as estruturas devem conservar sua integridade estrutural e a sua condição de resistência residual, após a ocorrência de sismo, sem colapsar (global e localmente). Para tal, exige-se equilíbrio entre ductilidade,

resistência e capacidade de dissipação de energia após a ocorrência do sismo, com possibilidade de retirada dos indivíduos antecipadamente e com segurança, assim como nos casos de réplicas.

(2) Requisito de limitação de danos: afirma que as estruturas devem ser projetadas e confecionadas de modo a resistir às ações sísmicas, onde a probabilidade de ocorrência de sismo, seja maior que a ação sísmica de cálculo. Este requisito visa a não intervenção de reabilitação ou reforço estrutural após a ocorrência do sismo, especialmente quando os custos são desproporcionais e altamente elevados em relação à própria construção. A estrutura deve ser suficientemente rígida para limitar a deformação dos elementos sismo-resistentes, mantendo a sua integridade estrutural (resistência e rigidez) e consequentemente, mantendo a segurança e os serviços vitais neles instalados. Este requisito está atrelado ao Estado Limite de Serviço (ELS).

Alterações ou deformação significativas e permanentes em uma estrutura não são aceitáveis, uma vez que os elementos estruturais devem possuir sempre sua resistência e rigidez bem próximas ao seu original. O requisito de limitação de danos não está atrelado a nível de ação sísmica tão intenso quanto o requisito de não ocorrência de colapso, sendo aceito um período de amortização mais curto, de 95 anos, o que significa uma expectativa de 10% em 10 anos.

Estes dois requisitos precisam ser cumpridos nos dois tipos de ação sísmica determinados no EC8 e indicados na secção seguinte, onde é permitido sua simplificação, tendo em conta os diferentes intervalos de retorno: uma composição espectral igual para cada modelo de ação, em que é aplicado esse coeficiente de redução à ação de projeto, cujos valores recomendados constam no Anexo Nacional.

Na verificação do EC8 exige-se que a estrutura suporte ações sísmicas pré-definidas, traduzidas diante da possibilidade de superação no período de referência (50 anos). Este padrão alterna de país para país, onde são projetadas as estruturas. Em Portugal, em particular, a ação sísmica utilizada como base de cálculo deve ter a possibilidade de ultrapassar 10% nos 50 anos, prazo de vida útil estimado para um edifício, correspondendo a um intervalo de retorno de 475 anos.

Esse requisito de limitação de danos, também enfatiza o estudo económico relacionado aos desastres naturais, onde os prejuízos causados aos edifícios, resultantes dos sismos, não podem impedir a sua reparação. Em caso de haver necessidade de realização de reparos, estes, não podem ser muito demorados, uma vez que podem estar associados aos custos indiretos da limitação de uso do imóvel. (Lopes & Carvalho, 2008)

2.5. ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO

O comportamento estrutural de um edifício de betão armado diante de ações sísmicas, é classificado pelo EC8 da seguinte forma:

- **Sistema porticado** – Sistema estrutural no qual a resistência tanto às ações verticais como às laterais, é principalmente assegurada por pórticos espaciais cuja resistência à força de corte na base do edifício é superior a 65% da resistência total à força de corte de todo o sistema estrutural.
- **Sistema misto** – Sistema estrutural no qual a resistência às ações verticais é principalmente garantida por pórticos espaciais e em que a resistência às ações laterais é assegurada em parte pelo sistema porticado e em parte por paredes estruturais, acopladas ou não.
- **Sistema misto equivalente a sistema porticado** – Sistema misto, no qual a resistência do sistema porticado à força de corte na base do edifício é superior a 50% da resistência total à força de corte de todo sistema estrutural.

- **Sistema misto equivalente a paredes** – Sistema misto no qual a resistência das paredes à força de corte na base do edifício é superior a 50% da resistência sísmica total de todo o sistema estrutural.
- **Sistema torsionalmente flexível –** Sistema misto ou sistema de paredes que não tem uma grande rigidez à torção mínima.
- **Sistema de pêndulo invertido** – Sistema no qual 50%, ou mais da massa se localiza no terço superior da altura da estrutura, ou no qual a principal dissipação de energia tem lugar na base de um único elemento do edifício.

As estruturas analisadas podem ser classificadas em sistemas estruturais diferentes em cada direção (direção X e direção Y), dependendo do tipo de projeto estrutural global que é escolhido para cada estrutura.

2.6. CLASSES DE DUCTILIDADE

A ductilidade é definida como a propriedade que caracteriza o grau de deformidade que um material suporta quando está submetido a tensões ou forças constantes, até alcançar o limite de sua elasticidade, sem que isso abale a sua capacidade de carga. Este conceito está relacionado à capacidade que a estrutura possui em dispersar a energia, sem que ela perca sua resistência global, garantindo assim, a segurança da estrutura (Lopes 2008).

O EC8 define três classes de ductilidade que o projetista deve atribuir às estruturas:

- DCL – "Ductility Class Low" (Classe de Ductilidade Baixa);
- DCM – "Ductility Class Medium" (Classe de Ductilidade Média);
- DCH – "Ductility Class High" (Classe de Ductilidade Alta).

A DCL, é trabalhada somente em zonas que possuem grau de sismicidade baixo, sendo mais apropriadas para estruturas que possuam baixa capacidade de dissipar energia, cuja resposta esperada neste tipo de estruturas seja apenas em regime linear. Neste caso, o coeficiente de comportamento utilizado é de 1,5, sem ter em conta, o tipo de estrutura e a regularidade em altura.

A DCM, tem sua utilização habitual em projetos sismo-resistentes e é empregada para estruturas que possuem certa capacidade de dissipar energia, conforme o coeficiente de adaptação de comportamento.

A DCH deve ser apenas utilizada em casos especiais, onde haja requisitos adicionais de dimensionamento das estruturas, pois exige uma maior capacidade de dissipar energia, estando relacionada a probabilidade de aplicação de coeficientes de comportamento bem mais elevados.

Nota-se que os requisitos variam diante da classe de ductilidade considerada em cada projeto. Para se obter uma capacidade de dissipação de energia e ductilidade baixas, com a exceção de restrições relativas aos materiais, não são definidas outras exigências para além das que o EC8 determina.

Um projeto estrutural em relação aos sismos, deve garantir uma capacidade de dispersão de energia adequada, sem que haja redução de sua resistência global às ações horizontais e verticais. Com isso, todos os elementos sismo-resistentes devem atingir determinados requisitos a nível de ductilidade local e global e de resistência.

2.7. COEFICIENTE DE COMPORTAMENTO

Quando falamos em coeficiente de comportamento, estamos falando de um método de análise criado pelo EC8, que trabalha a razão entre duas forças sísmicas diferentes, uma força com 5% de amortecimento viscoso, caso a resposta da estrutura fosse completamente elástica, e outra força de resposta satisfatória, podendo ser adotada no projeto.

Determinado por modelos lineares/ideais, com valores próximos aos reais, esse coeficiente permite ao projetista utilizá-lo como parâmetro, utilizando como base, os resultados de uma análise de modelos lineares, para que se tenha os valores a serem considerados no projeto, tendo à estrutura a ductilidade superior à exigida no comportamento não linear.

Este coeficiente de comportamento está diretamente ligado a capacidade de dispersão de energia, ou seja, atrelado à classe dúctil do edifício. Caracteriza indiretamente, a capacidade de dispersão de energia da estrutura, visando uma melhor aceitação de um método mais fácil para o dimensionamento e avaliação do comportamento sísmico obtido pela estrutura.

Não é aconselhável considerarmos a análise linear como forma de calcular os esforços, quando temos de dimensionar uma estrutura que tenha a probabilidade de encarar uma ação sísmica. Diante de ações sísmicas profundas, a estrutura pode expor grandes valores de deslocamentos, indicando com isso, um que a estrutura tenha um comportamento não linear. Neste caso, esses esforços devem ser divididos pelo coeficiente de comportamento. Portanto, permite-se que o cálculo de seu dimensionamento seja feito baseado em esforços bem menores que os registados por meio de análises elásticas lineares.

O coeficiente de comportamento ainda ajuda na exploração da capacidade de ductilidade dos materiais em situações não linear, diminuindo a ação pela qual a estrutura está propensa, mas exigindo grande capacidade de deformação da mesma, empregando análises linear elásticas.

Para quantificar os mecanismos de dispersão de energia, de forma correta, o EC8 delimita o máximo valor que o coeficiente de comportamento (q) deve ter, levando em consideração, a capacidade da estrutura de dispersar a energia, o que é avaliado pelo fator de majoração αu /α1, para DCM, conforme demonstrado na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Valor básico de coeficiente de comportamento q0, para sistemas regulares em altura (EC8,2010)

Tipo estrutural	DCM
Sistema porticado, sistema misto, sistema de paredes acopladas	3,0 ▪ α_u/α_1
Sistema de paredes não acopladas	3,0
Sistema torsionalmente flexível	2,0
Sistema de pêndulo invertido	1,5

Caso o fator de majoração não esteja quantificado, podemos utilizar valores aproximados, conforme apresentados na Tabela 4, abaixo.

Tabela 4 - Valores para o fator de majoração (EC8,2010)

Tipo estrutural		α_u/α_1
Sistema porticado ou sistemas mistos equivalentes a pórticos	Edifícios de 1 só piso	1,1
	Edifícios de vários pisos, pórticos com 1 só tramo	1,2
	Edifícios de vários pisos, pórticos ou sistemas mistos equivalentes a pórticos com vários tramos	1,3
Sistema de paredes ou sistemas mistos equivalentes a paredes	Sistemas de paredes unicamente com duas paredes não acopladas em cada direção horizontal	1,0
	Outros sistemas de paredes não acopladas	1,1
	Sistemas mistos equivalentes a paredes ou sistemas de paredes acopladas	1,2

De acordo com o EC8, quando a estrutura é considerada irregular, existe uma diminuição do coeficiente de comportamento (q) a adotar no espetro de resposta de dimensionamento e consequentemente a estrutura vai ser dimensionada para uma ação sísmica maior e com isso haverá necessidade de secções transversais maiores ou maior quantidade de armadura (EC8, 2010).

3
REVISÃO DA LITERATURA

3.1. REGULARIDADE ESTRUTURAL

A estabilidade ou regularidade estrutural de um edifício restringe os métodos de análises, e altera o valor do coeficiente de comportamento a ser utilizado no projeto. É extremamente necessário que os projetos sismo-resistentes tenham uma análise de regularidade do sistema estrutural, em planta e em altura, analisados em separado.

Busca-se que as estruturas possuam características, como as mencionadas a seguir, não sendo estas obrigatórias (EC8, 2010):

- Simplicidade estrutural, através da existência de trajetórias diretas e claras em relação a transmissão das forças sísmicas. Redução da incerteza na modelação, análise e dimensionamento;
- Simetria, uniformidade e redundância da estrutura, traduzida através de uma regularidade em planta e em altura, minimizando os efeitos de torção ao evitar configurações complexas em planta. Subdivisão de estruturas complexas em unidades dinamicamente independentes. Diminuição da excentricidade entre o centro de massa e o centro de rigidez. Evitar ocorrência de zonas sensíveis de tensões ou elevadas exigências de ductilidade para evitar o dano localizado na estrutura. Os sistemas resistentes às cargas laterais necessitam ser contínuos da fundação ao topo. A rigidez lateral e a massa de pisos individuais devem ser contínuos ou reduzir gradualmente em altura. Nas estruturas porticadas, o rácio entre a resistência real de um piso e a resistência requerida na análise não deve variar de forma desproporcional, diante de pisos consecutivos. Situações de pilares curtos devem ser evitadas.
- Resistência e rigidez nas duas direções, uma vez que o movimento sísmico é bidirecional, fazendo com que a estrutura tenha que ser capaz de resistir nas duas direções. Cuidado na escolha no tipo de sistema estrutural.
- Resistência e rigidez à torção, para que a estrutura possa estar adequada à limitar os movimentos diante de uma torção, que tendem a solicitar de forma não uniforme os diferentes elementos estruturais.
- Efeito de diafragma ao nível dos pisos, onde os pavimentos, inclusive a cobertura, possuem um importante papel no comportamento sísmico global de uma estrutura, pois agem como

diafragmas horizontais, transmitindo as forças de inércia aos sistemas estruturais verticais (pilares);

- Fundação adequada ao projeto, onde a sua ligação à superestrutura deve garantir um comportamento sísmico uniforme em todo o edifício. Para estruturas em sistema estrutural tipo pórtico, deve-se optar pela escolha de uma fundação rígida, tipo caixão ou celular, incluindo uma laje de fundação e uma superior. Em edifícios que possuem elementos de fundação isolados (sapatas ou estacas), a solução mais comum é utilizar sapatas isoladas com capitel, ou vigas de fundação que liguem os elementos nas duas direções principais, obedecendo aos critérios e normas da EN 1998-5.

Os princípios ainda comprovam a idealização de equilíbrio estrutural, pois possuem um comportamento já esperado, atrelado a uma distribuição proporcional dos esforços, diante dos diversos elementos estruturais, evitando assim, a concentrações das tensões provocadas.

Já as forças resultantes de inércia, na ação sísmica, podem surgir em qualquer direção no plano horizontal, induzindo à movimentos de rotação ou translação. Assim sendo, as excentricidades do modelo devem ser eliminadas, uma vez que estas resultam em rotações nos pisos, o que é se torna bem problemático para os elementos estruturais. É importante que se obtenha compatibilidade e limitação em relação aos deslocamentos, para que não sejam formadas as chamadas rótulas plásticas, principalmente nas zonas onde não seja aceitável esse tipo de comportamento. Essas estruturas devem apresentar ductilidade, rigidez e resistência adequadas a nível global.

A constatação de irregularidades e suas considerações na modelização estrutural servem para garantir que haja um comportamento estrutural adequado. Irregularidades estruturais podem surgir das mais diversas fontes como mostra a Figura 2 abaixo.

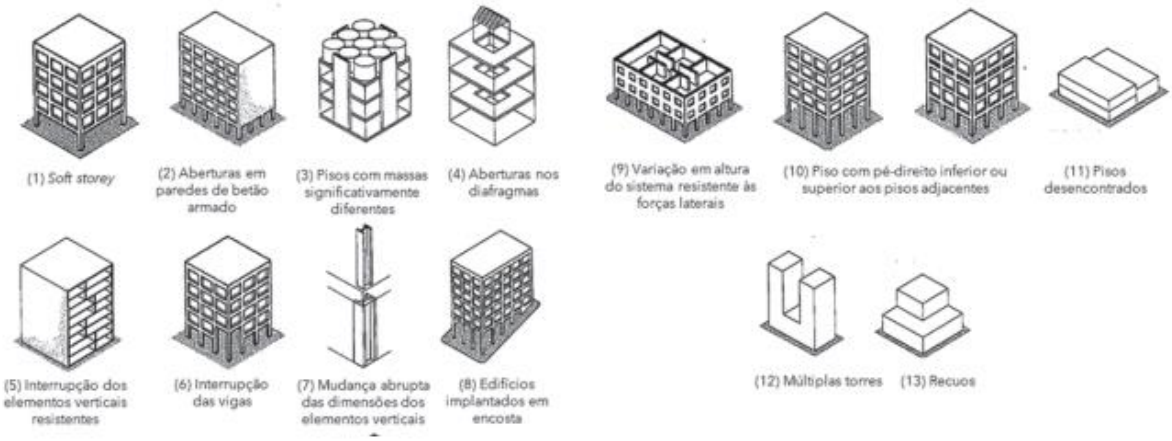


Fig. 2 - Irregularidades estruturais (Arnold, 1984)

A conceção pode ajudar a evitar algumas irregularidades os benefícios e de acordo com aspetos positivos de conceção estrutural elaborada com esse viés podem ser: (Arnold C, 1984)

- Redução dos efeitos de torção
- Redução dos problemas de *weak* / *soft-storeys*
- Limitação dos esforços e deformações nos elementos estruturais
- Redução de concentração de tensões

- Aumento da capacidade de dissipação de energia
- Aumento da capacidade de redistribuição plástica

As estruturas podem ser classificadas de acordo com os diferentes critérios de regularidade estrutural, seja em planta, ou seja, em altura, dividindo-se em "regulares" e "não regulares". O modelo estrutural depende da análise da regularidade em planta, podendo ser plano ou espacial. No caso das estruturas não regulares em altura, o coeficiente de comportamento deverá ser diminuído em 20%, uma vez que nesses casos existe grande exigência local de ductilidade. (EC8, 2010).

3.1.1. CRITÉRIOS DE REGULARIDADE EM PLANTA

De acordo com o EC8, a classificação de um sistema estrutural depende da regularidade em planta, influenciando nos valores recomendados a serem adotados para utilização dos coeficientes de comportamento, o que requer que seja determinada a posição CR em planta de cada piso. A simplificação do processo de classificação pode parecer irrelevante, porém a possibilidade de adoção de um coeficiente de comportamento mais elevado associado a um edifício regular em planta traz vantagens indiscutíveis. (Cosenza, Manfredi & Realfonzo, 2000)

Para o correto dimensionamento sísmico de uma estrutura, primeiro temos de classificar os edifícios como regulares ou não-regulares. Um edifício, uma vez caracterizado como regular no plano, deve preencher uma série de condições como mostra o Quadro 3 abaixo.

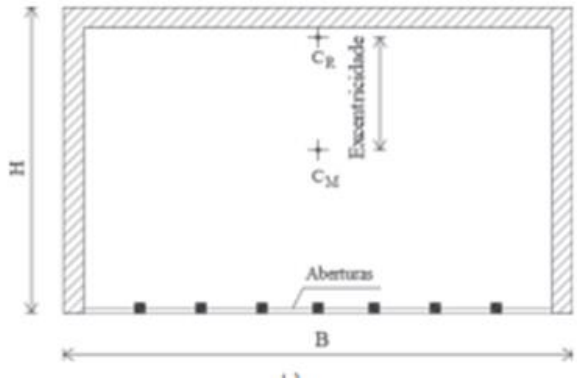


Fig. 3 - Irregularidades em planta (Elnashai, 2008)

Quadro 3 - Condições de regularidade estrutural (EC8, 2010)

Condições de Regularidade Estrutural
A rigidez em planta dos pisos deve ser suficientemente grande em relação à rigidez lateral dos elementos estruturais verticais. De forma a satisfazer a condição de diafragma rígido, formas L, C, H, I e X devem ser examinadas cuidadosamente;
A configuração em planta deve ser compacta, ou seja, cada piso deve ser limitado por uma linha poligonal convexa. Se existirem recuos em relação a essa linha, a regularidade em planta pode ainda ser considerada, desde que os recuos não afetem a rigidez do piso no plano e se a área entre o contorno do piso e a linha poligonal convexa que o envolve, esquematicamente representado na Figura 4 abaixo, não sendo superior a 5% da área do piso, dada pela Equação 2 indicada a seguir.
O piso deve ser suficientemente rígido no seu plano quando comparado com a rigidez dos elementos verticais resistentes, de modo que a deformação do pavimento não influencie significativamente a distribuição de forças entre os elementos estruturais verticais;
A esbelteza do edifício em planta não deve ser superior a 4, expresso na Equação 3, sendo respetivamente, L_{max} e L_{min} a maior e a menor dimensão em planta do edifício, ilustrado na Figura 5.

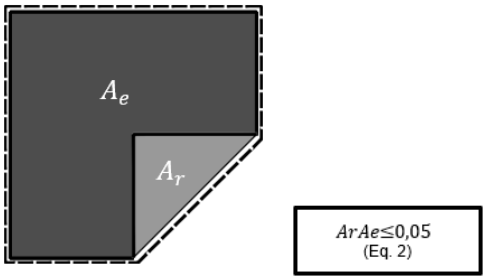


Fig. 4 - Relação entre a área do contorno do piso (EC8, 2010)

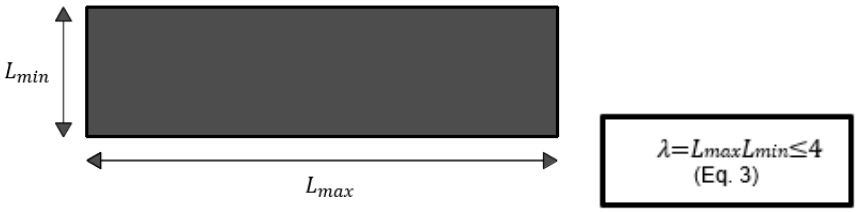


Fig. 5 - Dimensões máximas e mínimas em planta do edifício (EC8, 2010)

Outra condição de regularidade é dada para cada piso e em cada direção de cálculo x e y, a excentricidade estrutural e0, e o raio de torção r, deve verificar as duas condições seguintes:

$e0x \leq 0{,}30 \cdot rx$

$rx \geq ls$ em que

$$r_x = \sqrt{\frac{K_{\theta\theta}}{K_{yy}}}$$

$$l_s = \sqrt{\frac{I_0}{m}}$$

Onde:

e_{0x} – Distância entre o centro de massa (CM) e o CR medida segundo a direção x, perpendicular à direção de cálculo y;
r_x – Raio de torção;
$K_{\theta\theta}$ – Rigidez de torção;
K_{yy} – Rigidez lateral segundo a direção y;
ls – Raio de giração da massa do piso em planta;
I_0 – Momento polar de inércia da massa do piso em planta em relação ao CM do mesmo;
m – Massa do piso.

A classificação de uma estrutura como irregular em planta é originada normalmente pela presença de irregularidade que se destacam em:

• Irregularidades de torção: verificada quando o centro de rigidez de um piso possuir uma excentricidade em relação ao centro de massa desse mesmo piso;
• Irregularidades por descontinuidade: verificada quando houver descontinuidades ao nível dos pisos, devido à ocorrência de aberturas, ou por uma grande mudança de rigidez;
• Irregularidades de forma: verificada quando há existência de reentrâncias em planta, resultando em concentrações de esforços de corte nesses cantos.

Nas últimas décadas vários autores dedicaram-se ao estudo de edifícios com irregularidades, autores como Peruš and Fajfar (2002, 2005), Dutta and Das (2002a, b), De Stefano and Pintucchi (2002), (Tso and Myslimaj 2003; Myslimaj and Tso 2005) estudaram diversas estruturas assimétricas em planta de somente um piso e tiveram conclusões significativas dos efeitos das irregularidades em aspectos como resposta rotacional, excentricidade bidirecional e distribuições de força otimizadas, sendo estas estruturas mais vulnerais quanto mais irregulares.;

Outros autores estudaram estruturas assimétricas em planta de vários andares dos quais podem ser citados: Penelis and Kappos (2005), Sommer and Bachmann (2005) e De-la-Colina (2003) onde são mostradas uma série de avaliações de estruturas irregulares em planta projetados por de acordo com EC8 também mostraram que as especificações subscritas pôr os principais códigos sísmicos atuais precisam ser reexaminados para lidar adequadamente com comportamento não linear.

Jereen et al (2016) demonstrou seus resultados do efeito da configuração em planta agravando fatores como corte da basal, deslocamento e inter-drift. Mais recentemente, grandes esforços de pesquisa têm sido dedicados ao desenvolvimento de procedimentos pushover para planejar sistemas irregulares, alcançando soluções eficazes.

3.1.2. CRITÉRIOS DE REGULARIDADE EM ALTURA

Referente aos critérios de regularidade em altura, estes, são verificados e tem suas condições satisfeitas diante dos critérios abaixo descritos de acordo com o EC8:

1) Todos os sistemas resistentes a ações laterais, sendo paredes estruturais, núcleos ou pórticos, são contínuos da fundação ao topo do edifício, se existirem andares recuados a diferentes alturas ou até o topo da zona considerada no edifício.
2) A rigidez lateral e a massa de cada piso ficam constantes ou possuem redução gradual, sem grandes alterações da base ao topo do edifício.
3) Em edifícios com estrutura porticada, a relação da resistência real do piso e da resistência requerida pelo cálculo, não deve variar desproporcionalmente entre pisos adjacentes.
4) Em casos em que a construção apresenta recuos, aplica-se algumas condições adicionais (Fig.6):
   a) No caso de sucessivos recuos que mantêm uma simetria axial, o recuo em qualquer piso não deve ser superior a 20 % da dimensão em planta do nível inferior na direção do recuo.
   b) No caso de um único recuo localizado nos 15 % inferiores da altura total do sistema estrutural principal, o recuo não deve ser superior a 50 % da dimensão em planta do nível inferior. Neste caso, a estrutura da zona inferior situada no interior da projeção vertical dos pisos superiores deverá ser calculada para resistir a, pelo menos, 75 % da força horizontal que atuaria a esse nível num edifício semelhante sem alargamento da base.
   c) No caso de recuos não simétricos, a soma, em cada lado, dos recuos de todos os pisos não deve ser superior a 30 % da dimensão em planta ao nível do piso acima da fundação ou acima do nível superior de uma cave rígida, e cada recuo não deve ser superior a 10 % da dimensão em planta do nível inferior.

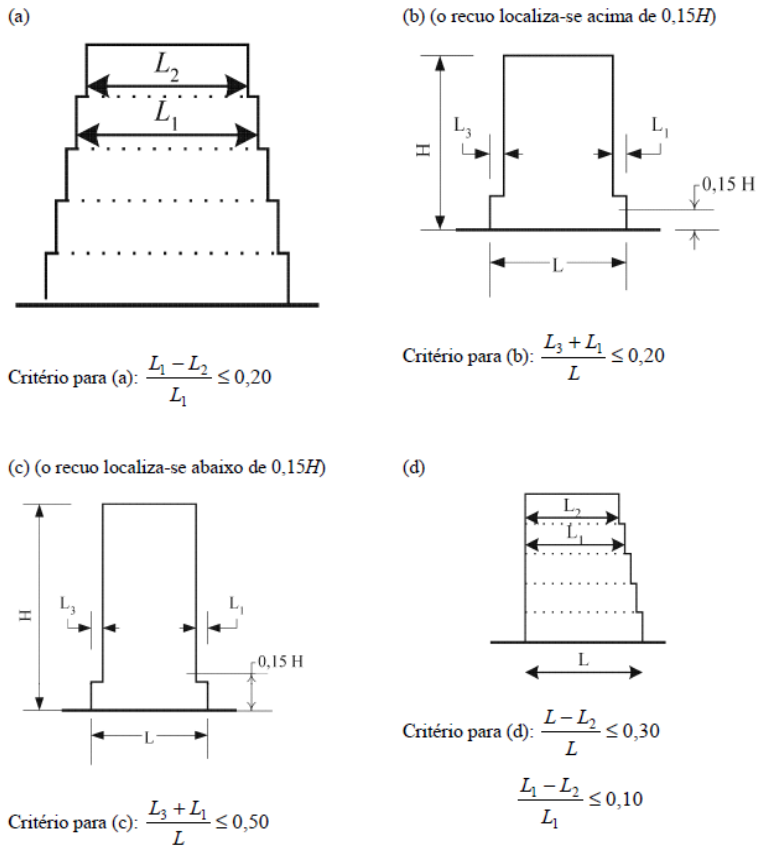


Fig. 6 - Critério de recuos do Eurocódigo 8 (EC8, 2010)

As maiores situações de perigo se tratando de irregularidade em altura, são constatadas onde se verifica a diminuição de rigidez e de resistência, de cima para baixo, resultando no aumento da contribuição dos modos superiores em relação a resposta da estrutura, indo ao contrário dos objetivos da EC8.

A EC8 também descreve em que situações a estrutura deve ser verificada para ser classificada como regular em altura, junto às imposições anteriores, correlacionando-as exclusivamente com a regularidade na planta. A norma ainda impõe que todos os sistemas de resistência lateral, sejam pórticos e paredes, devam progredir em altura, sem interrupções, desde a fundação até o topo.

As irregularidades em altura podem abalar as diferentes características do sistema estrutural, como massa, rigidez e capacidade resistente, podendo se destacar em diversos casos como:

• Irregularidades de rigidez: estas irregularidades são constatadas quando existem variações de rigidez de um piso para o outro, resultando em um piso fraco, originando mecanismos chamados *soft storey*.
• Irregularidades de massa: estas irregularidades são constatadas quando a massa de um piso é bem superior ou bem inferior à massa dos pisos restantes. Como exemplo prático podemos citar situações em que há necessidade de existência de pisos técnicos com maquinaria pesada.
• Irregularidades diante da existência de diferentes alturas das partes que constituem o edifício e as diferentes alturas entre edifícios: estas irregularidades são constatadas quando os edifícios contíguos apresentam alturas diferentes, o que dá origem à restrições dos movimentos dos pisos inferiores.
• Irregularidades na capacidade resistente de um piso: estas irregularidades são constatadas quando há diferentes resistências dos elementos que suportam a ação sísmica, em uma determinada direção, em um determinado piso, em consideração o piso seguinte.

• Irregularidades devido a descontinuidade nos caminhos de carga: estas irregularidades são constatadas quando verifica-se a ausência de continuidade nos elementos resistentes, de um piso para o piso seguinte.

Também é necessário aos edifícios, rigidez e resistência à torção, para reduzir os movimentos de torção que tendem a forçar os elementos estruturais de maneira não uniforme. Como exemplo, podemos citar sistemas estruturais constituídos por pórticos flexíveis relacionados a paredes localizadas no centro do edifício em planta como mostra a Figura 7.

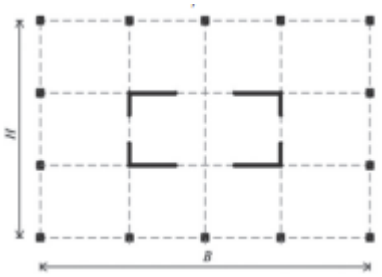


Fig. 7 - Pórticos flexíveis associados a paredes (EC8)

A concentração de paredes muito rígidas ao centro de massa faz com que a rigidez de torção perca peso em relação à rigidez de flexão. Desta forma os modos de vibração junto à torção ganham um peso significativo devido à condição de uma excentricidade acidental das massas na análise dinâmica.

Com relação as irregularidades em altura, alguns pesquisadores também se dedicaram ao tema: Kappos (1998), realizou um estudo de caso que avalia a resistência sísmica de um edifício com recuos através de análises dinâmicas e estáticas não lineares. O estudo utilizou o software SAP2000 para modelagem e análise e comparou os resultados com as exigências do EC8. Os resultados mostraram que as análises dinâmicas não lineares são mais precisas na determinação da resistência sísmica de estruturas com recuos do que as análises estáticas não lineares. Além disso, o estudo concluiu que o EC8 é adequado para avaliar a resistência sísmica de estruturas com recuos, desde que as propriedades dos materiais e os parâmetros de modelagem sejam precisamente determinados.

O artigo de Das (2000), aborda a análise sísmica de edifícios irregulares em altura. O autor destaca que edifícios com essa característica apresentam um comportamento mais complexo em relação aos edifícios regulares, exigindo técnicas e métodos de análise mais avançados. O estudo se concentra em estruturas de concreto armado, e apresenta uma metodologia de análise que leva em consideração as diferentes irregularidades em altura que podem ser encontradas em edifícios, como desníveis nas lajes ou variação na altura dos pilares. O trabalho conclui que a análise sísmica de edifícios irregulares em altura é um tema relevante e desafiador, e que é necessário desenvolver e aprimorar as técnicas de análise para garantir a segurança dessas estruturas durante eventos sísmicos.

O trabalho de Valmundsson e Nau, de 1997, que estudaram o comportamento sísmico de edifícios com irregularidades verticais e concluíram que a redução de 30% na rigidez aumentou o deslocamento do pavimento na faixa de 20-40%. Wood (1992) investigou o efeito da resposta sísmica em estruturas com recuos e concluiu que a presença de recuos não afetou o comportamento sísmico. O comportamento foi encontrado semelhante ao de uma estrutura regular sem recuos. Tremblay e Poncethave (2005) estudaram o comportamento dinâmico de quadros de edifícios com distribuição irregular de massa e concluíram que os métodos de análise estática e dinâmica são ineficazes na previsão da resposta dos quadros com irregularidade de massa. Gokdemi et al. (2013) estudaram o efeito da irregularidade de torção em estruturas. De acordo com os autores, a torção é causada pela excentricidade entre o centro

de massa e o centro de rigidez. A intensidade do momento devido à torção foi encontrada como uma função da razão de excentricidade. Ozmen et al. (2014) realizaram estudos paramétricos em seis edifícios com posições de paredes variáveis. Com base nas rotações dos pavimentos, foi proposto um coeficiente de irregularidade de torção. De acordo com suas descobertas, à medida que o número de andares diminui, o coeficiente de irregularidade de torção aumenta e as rotações máximas do pavimento ocorrem nos andares superiores.

Em outros estudos como Athanassiadou and Bervanakis (2005), Khoury et al. (2005) e Fragiadakis et al. (2005) esclareceram que as descontinuidades de rigidez, massa ou resistência, ao longo da altura, trabalhadas pelos códigos sísmicos atuais como irregularidades em altitude, não resultam precisamente, em aumentos reais das demandas plásticas, mas geralmente caracterizam um mau comportamento sísmico. Assim, os critérios dos principais códigos internacionais que visam identificar irregularidades verticais parecem penalizar excessivamente tais descontinuidades e que códigos precisam ser melhorados para definir indicadores que realmente prevejam comportamento.

Ressalta-se também M. A. Kömür (2019) que mostrou em estudos que paredes de alvenaria podem modificar o comportamento da estrutura carregando forças a partes da estrutura que não são supostas de suportá-las.

4
CASOS DE ESTUDO

4.1. DESCRIÇÃO DE CRITÉRIOS AVALIADOS

Foram avaliados 5 edifícios localizados em Lisboa em critérios existentes no EC8 para avaliação de regularidade em altura e planta. Para isso utilizou-se de uma folha de cálculo preparada para o cálculo quantitativo e qualitativa dos parâmetros utilizados em cada critério a ser avaliado. Os critérios avaliados e seus respetivos limites foram:

4.1.1. REGULARIDADE EM PLANTA

1ºCritério: **Centro de Rigidez**: em cada direção, a distância entre o CR e o centro da fachada do piso 0 não varia em mais do que 5% da dimensão do edifício nessa direção.

2. Critério: Configuração Compacta: a relação entre as áreas de contorno do edifício e aquela envolta pela poligonal convexa deve ser < 5%.

3.Critério: Condição de Diafragma Rígido: quando a altura da laje de betão é maior que 7cm considera-se que o sistema é um diafragma rígido.

4. Critério: Esbelteza: a esbelteza ($\lambda = L_{max}/L_{min}$) deve ser < 4.

5. Critério: Excentricidade estrutural e raio de torção: $e_{ox} \leq 0{,}30 * r_x$ e $e_{oy} \leq 0{,}30 * r_y$; $r_x > ls$ e $r_y > ls$

6. Critério: Sistemas resistentes: os sistemas resistentes a ações laterais (núcleos, paredes, pórticos) são continuo até ao topo.

7. Critério: Deformações: Deformações de cada sistema devidas a cargas horizontais não são muito diferentes.

8. Critério: Irregularidades devidas aos enchimentos de alvenaria

4.1.2. REGULARIDADE EM ALTURA

1. Critério: Sistemas resistentes: os sistemas resistentes a ações laterais (núcleos, paredes, pórticos) são continuo até ao topo.

2. Critério: Rigidez Lateral e Massa: a versão atual do EC8 não quantifica esse critério, portanto, será adotado o critério da versão *draft* do EC8. A avaliação se dará por meio da análise do percentual de redução dos parâmetros, permitindo um acréscimo de 20% em relação ao piso inferior. Se o percentual for negativo o critério não será cumprido, pois representa acréscimo em altura.

3. Critério: Recuos: o recuo em qualquer piso não deve ser superior a 20 % da dimensão em planta do nível inferior na direção do recuo.

4. Critério: Irregularidades devidas aos enchimentos de alvenaria: avaliação qualitativa da distribuição das paredes de enchimento.

4.2. DESCRIÇÃO ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO 1

4.2.1. GEOMETRIA DO EDIFÍCIO 1

O edifício em estudo apresenta uma forma retangular, constituído por 14 pisos, acima do nível do solo, mais cobertura com pé-direito de 3.15 metros.

No Quadro 4 são apresentadas as informações gerais do edifício e na Figuras 8 é apresentado o modelo Revit 3D da estrutura e nas Figuras 8 a Figura 13 as plantas e vistas em corte da estrutura.

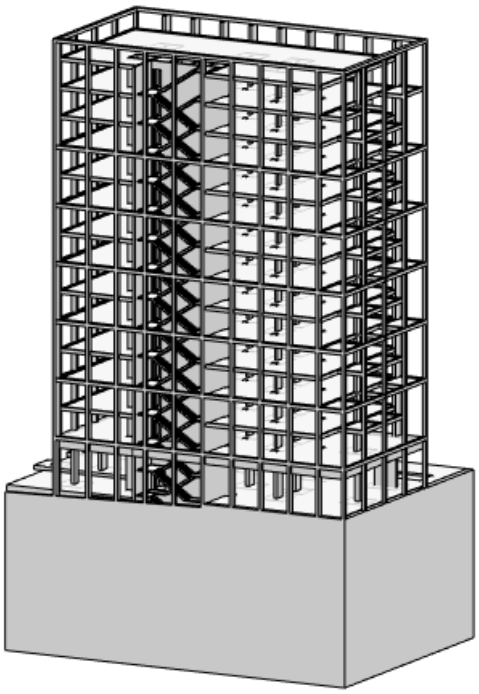


Fig. 8 - Modelo 3D da estrutura (Revit)

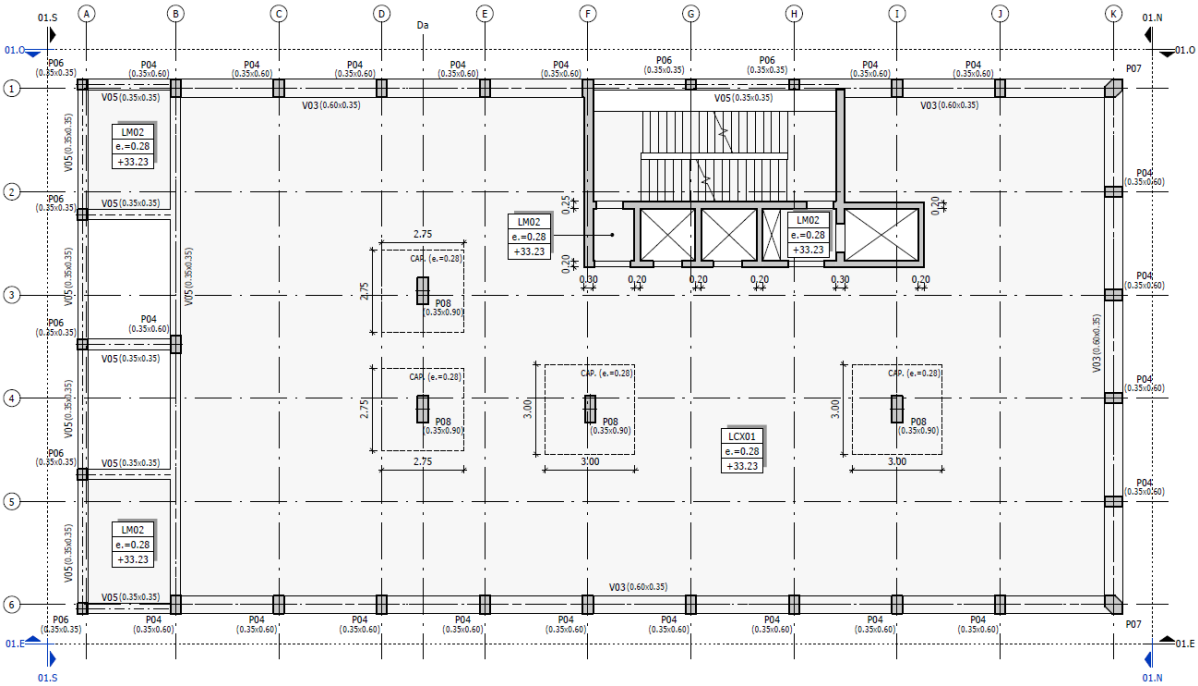


Fig. 9 - Planta estrutural Pisos Pares (Revit)

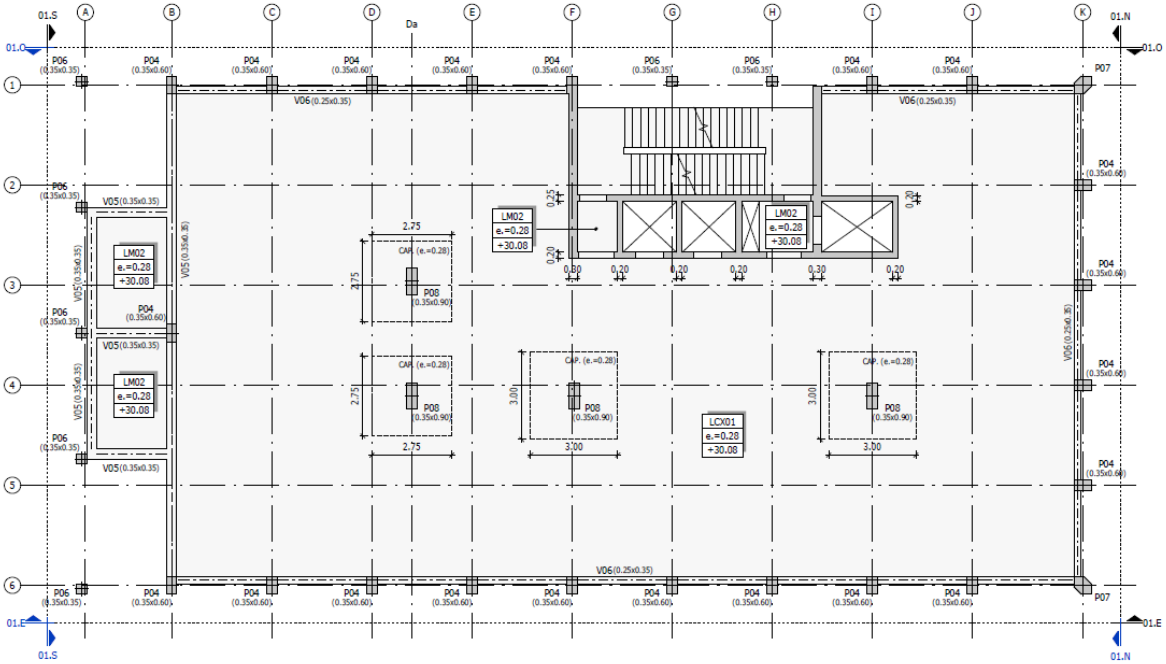


Fig. 10 - Planta estrutural Pisos Ímpares (Revit)

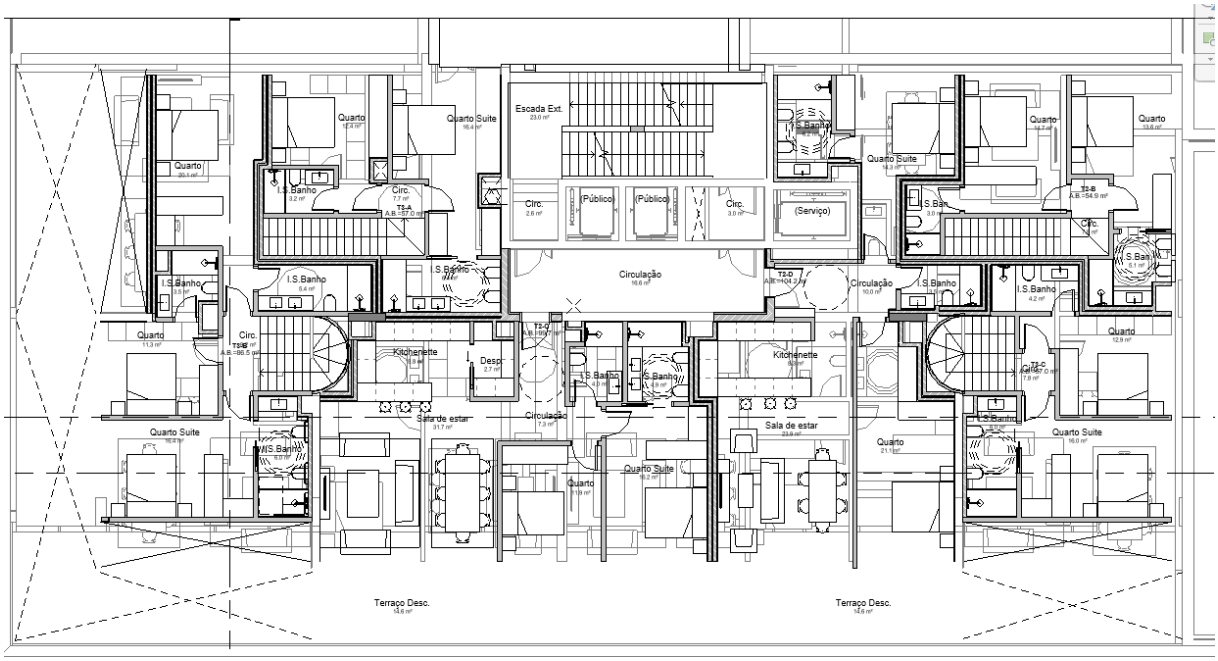


Fig. 11 - Planta de arquitetura

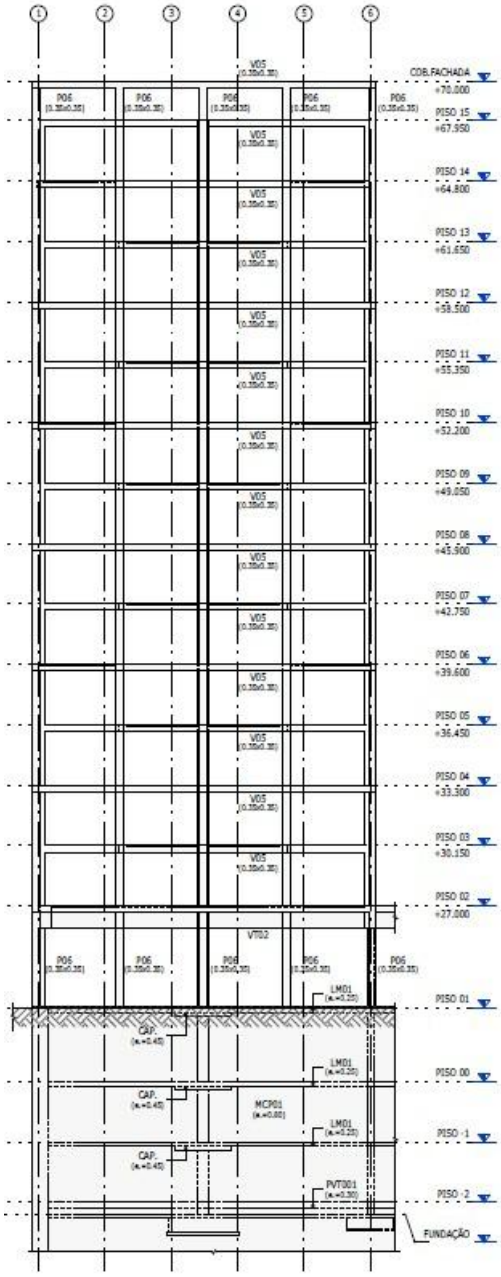


Fig. 12 - Cortes (Revit)

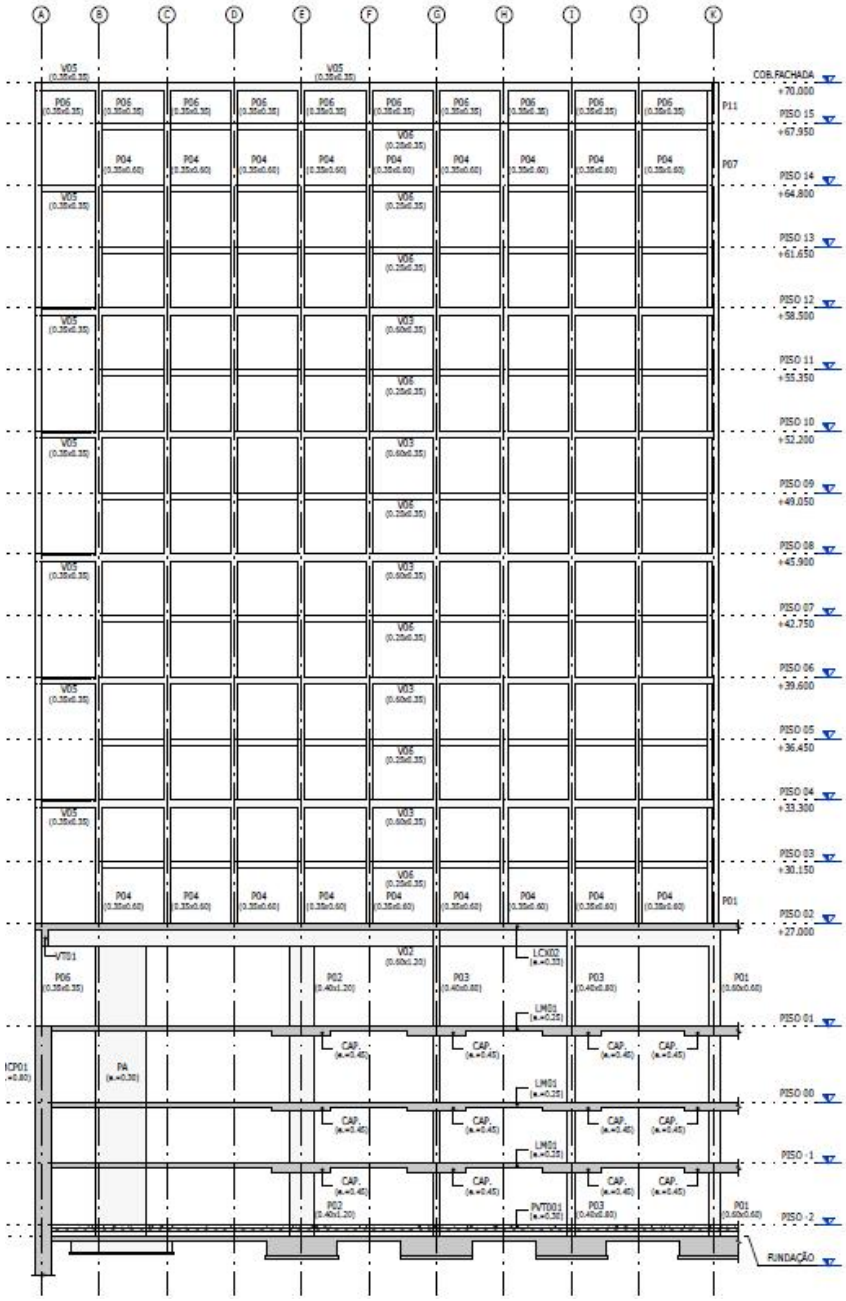


Fig. 13 - Cortes (Revit)

Quadro 4 - Informações Gerais do Edifício (Revit)

Empreendimento	
Identificação:	E01
Nome do empreendimento:	Kronos Districkt
Localização:	Lisboa
Tipo de uso:	Habitacional
Ano de Projeto:	2022
Ano de Construção:	-
Características Gerais	
Altura acima do solo (m):	29.59
Nº de pisos acima do solo:	9
Nº de pisos enterrados:	2
Pé-direito do 1º piso rés chão (m):	3.35
Pé-direito do piso tipo (m):	3.15
Características de Projeto Sísmico	
Norma de Projeto:	EC8
Zona sísmica:	1.3 e 2.3
Tipo de Terreno	C
Terreno Envolvente:	Plano
Classe de Ductilidade:	DCM (média)
Classe de Importância:	II
Coef. de comportamento, *q*:	3.15

4.2.2. MATERIAIS DO EDIFÍCIO 1

A classe de betão e aço usados, assim como os seus parâmetros, estão materializados no Quadro 5. E as características dos mesmos no Quadro 6.

Quadro 5 - Materiais

QUADRO DE MATERIAIS

BETÃO

1 - Especificação conforme NP EN 206-1:2007 / E464-2007

Período de Vida Util do Projecto **50 Anos** - Classe Estrutural **S4** - Classe de Inspecção: **2**

	[CR]	[EA]	[TC]	[DA]	[CA]
Betão de Regularização e Limpeza:	**C12/15**	**X0 (P)**	**Cl 1,0**	**Dmax 22**	**S3**
Fundações e Elementos em Contacto com o Terreno:	**C25/30**	**XC3 (P)**	**Cl 0,4**	**Dmax 22**	**S3**
Restantes Elementos Interiores:	**C30/37**	**XC3 (P)**	**Cl 0,4**	**Dmax 22**	**S3**

[CR] - Classe de Resistência; [EA] - Classe de Exposição Ambiental; [TC] - Classe Teor de Cloretos
[DI] - Máxima Dimensão do Agregado de acordo com a NP EN 12620; [CA] - Classe de Abaixamento

Os enchimentos a executar sobre a laje de betão serão com Betão leve ou Betão Celular com peso específico inferior a 600kg/m³

ARMADURAS

1 - Materiais:
Aço em varão para armaduras ordinárias: A500NR SD fyk = 500MPa
Malha soldada: A500EL fyk = 500MPa

2 - Recobrimentos (Cnom.):
Fundações e elementos em contacto com o terreno..... 50 mm
Vigas, Pilares e Paredes..... 30 mm
Lajes e Escadas..... 30 mm

Quadro 6 - Características dos Materiais

Características dos Materiais	
PP do concreto (KN/m³):	25.00
Módulo de Elasticidade, *E*(Gpa):	
Pilares	15.00
Vigas	15.00
Lajes	15.00
Paredes	15.00
Alvenaria 1 (tijolo 11cm)	1.141
Alvenaria 2 (tijolo 15cm)	0.996
Alvenaria 3 (tijolo 20cm)	0.815
Alvenaria 4 (tijolo 25cm)	0.634
Alvenaria 5 (tijolo 30cm)	0.452

4.2.3. Informações Gerais Do Projeto Do Edifício 1

As informações gerais do projeto bem como algumas características geométricas calculadas são apresentadas no Tabela 5 e Tabela 6 apresenta a classificação do sistema estrutural.

Tabela 5 - Informações Gerais por Piso

		Pisos Pares	**Pisos Ímpares**
Pé direito	(m)	3.15	3.15
Sistema Estrutural_lajes	-	Fungiforme maciça	Fungiforme maciça
Área da laje	(m^2)	545.34	545.34
Altura da laje, *h*	(m)	0.33	0.33
CP $_{PP}$	(KN/m2)	5.56	5.56
RCP	(KN/m2)	3.50	3.50
Sobrecargas	(KN/m2)	2.00	2.00
Massa da laje	(KN)	6.033.64	6.033.64
Tipo de Geometria	-	aprox. Retangular	aprox. Retangular
Dimensão MÍN em X	(m)	34.85	34.85
Dimensão MÁX em X	(m)	37.83	37.83
Dimensão MÍN em Y	(m)	15.27	15.27
Dimensão MÁX em Y	(m)	17.86	17.86
Centro de Gravidade, X_{CG}	(m)	18.92	18.92
Centro de Gravidade, Y_{CG}	(m)	8.93	8.93
Inércia da laje, I_X	(m^4)	17.929.13	17.929.13
Inércia da laje, I_Y	(m^4)	80.529.57	80.529.57
[1] Centro de Massa, X_{CM}	(m)	19.63	19.63
[1] Centro de Massa, Y_{CM}	(m)	9.53	9.53

Tabela 6 - Classificação do Sistema Estrutural

	Relação Inércias		**Class Estrutural do Sistema**	
Piso	**$I_{X,pilares}$ / I_X**	**$I_{Y,pilares}$ / I_Y**	**Direção X**	**Direção Y**
ÍMPAR	1.33%	0.19%	sist_paredes	sist_paredes
PARES	1.33%	0.19%	sist_paredes	sist_paredes

4.2.4. Regularidade Em Planta Do Edifício 1

Na apresentação e classificação dos aspetos do edifício 1 são descritos os critérios presentes no EC8 usados para classificação de regularidade em planta e altura.

1ºCritério: **Centro de Rigidez**

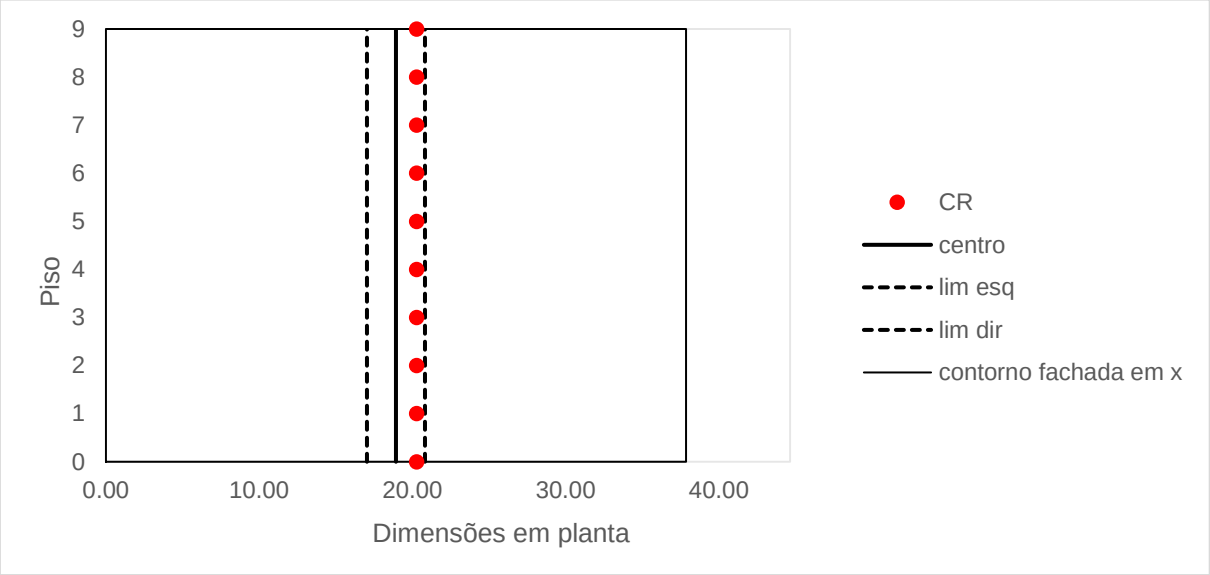


Fig. 14 - Rigidez lateral em X

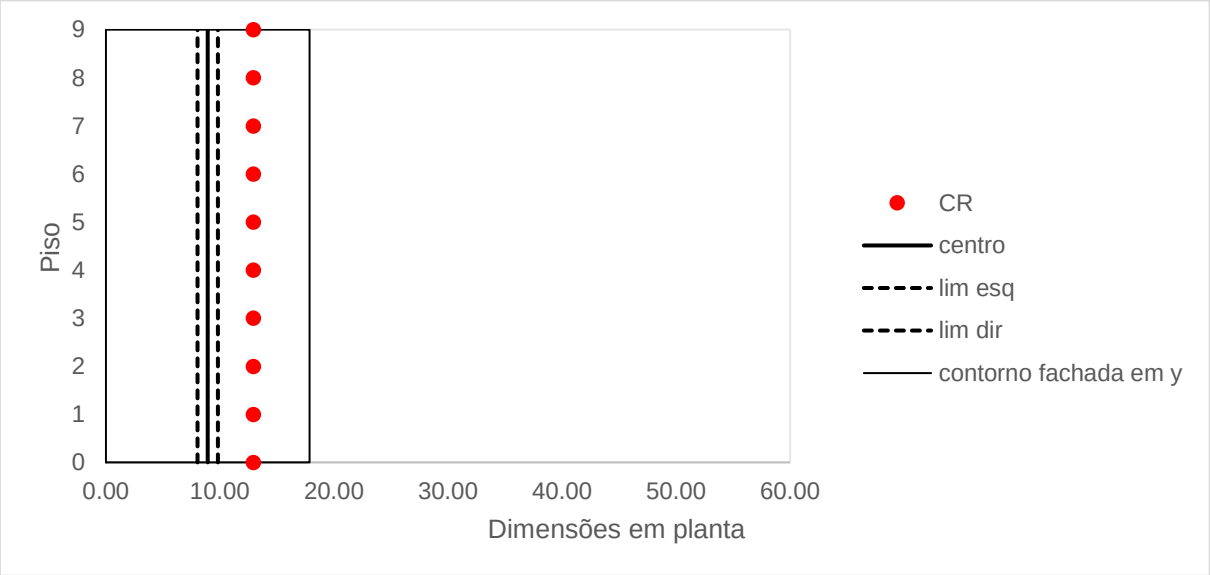


Fig. 15 - Rigidez lateral em Y

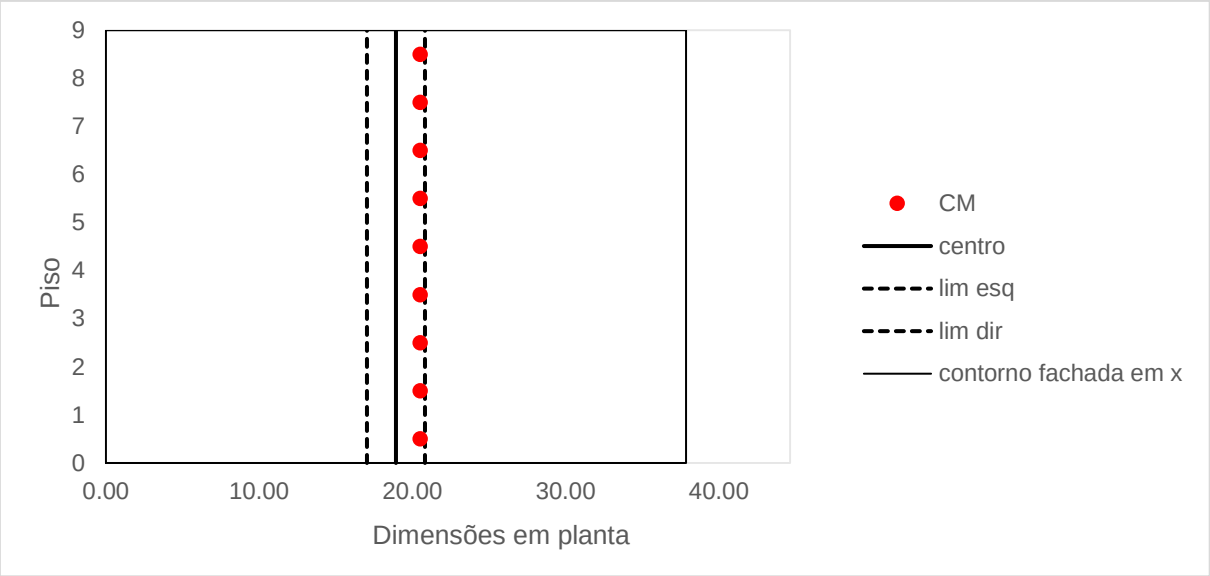


Fig. 16 - Massa em X

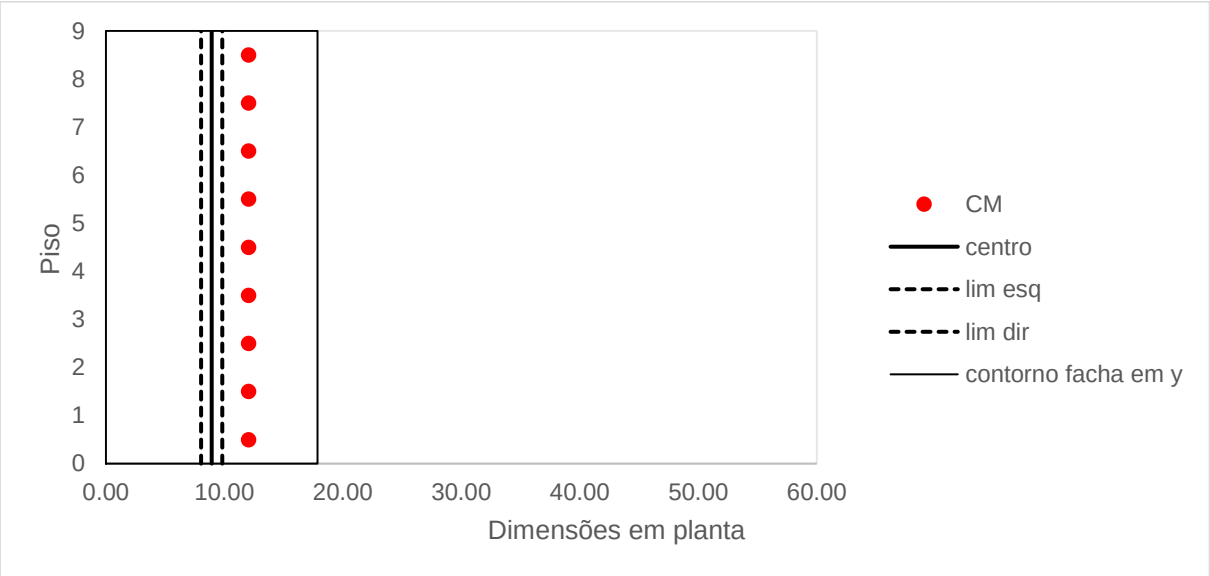


Fig. 17 - Massa em Y

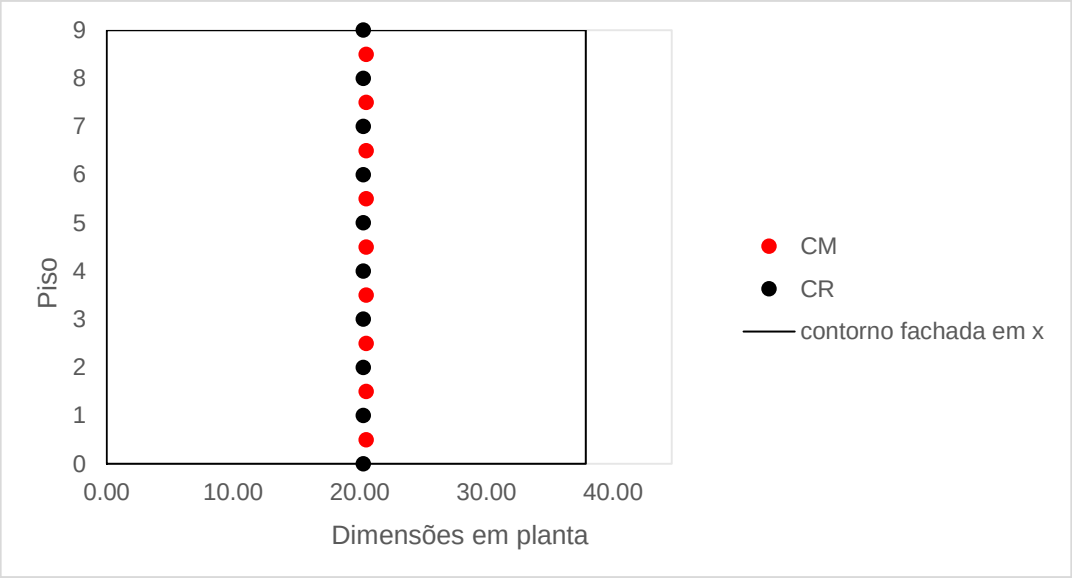


Fig. 18 - Posição CM e CR em altura - direção x

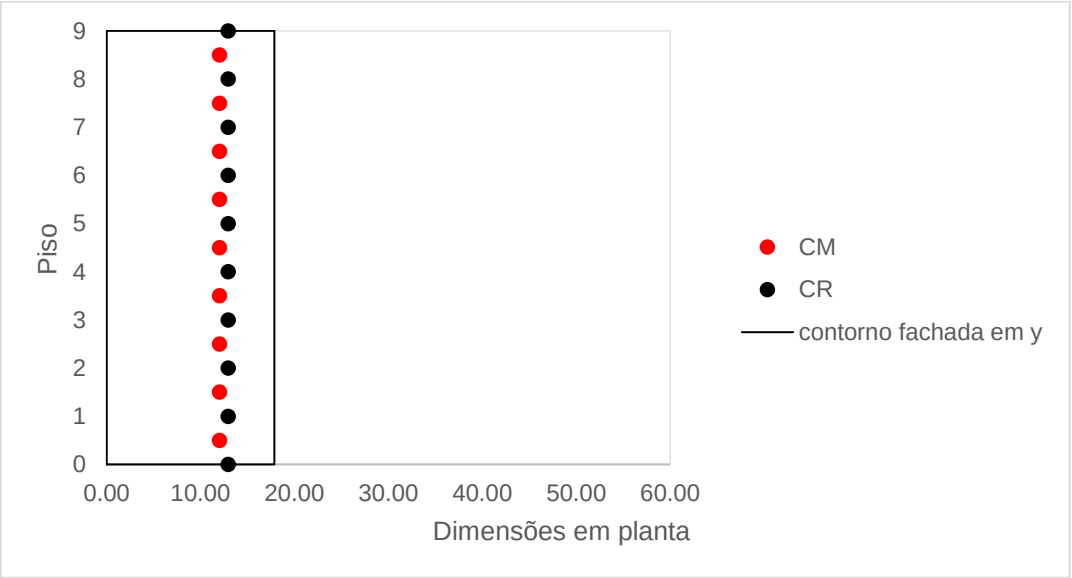


Fig. 19 - Posição CM e CR em altura - direção y

Este critério demonstra que o edifício se enquadra como irregular, pois o centro de rigidez varia em mais do que 5% da dimensão do edifício na direção y, conforme observa-se nas linhas de limite direito e esquerdo nas Figuras 15 (rigidez) e Figura 17 (massa).

2. Critério: Configuração Compacta

Na Tabela 13 mostra que o edifício se enquadra como de configuração compacta por esse critério.

Tabela 7 - Critério de configuração compacta

Piso	Área piso m²	Área entre o contorno do piso e a linha poligonal convexa m²	% da área do piso	Verificação pelo EC8
				Compacta?
1	545.34	0.00	0.00%	Sim
2	545.34	0.00	0.00%	Sim

3.Critério: Condição de Diafragma Rígido

As Lajes do edifício são classificadas como de diafragma rígido.

4. Critério: Esbelteza

De acordo com a Tabela 14 o critério de esbelteza é cumprido.

Tabela 8 - Critério de Esbelteza

Piso	**$\lambda = L_{máx}/L_{mín}$**	**Verificação**
0	**2.12**	**Sim**
1	**2.12**	**Sim**

5. Critério: Excentricidade estrutural e raio de torção:

De acordo com a Tabela 15 o critério raio de torção para x e excentricidade estrutural e raio de torção para y não são cumpridos.

Tabela 9 - Critério de Excentricidade estrutural e raio de torção

Piso	ls	$e_{ox} \leq 0,30 * r_X$			$r_x > ls$		$e_{oy} \leq 0,30 * r_Y$			$r_Y > ls$	
		e_{ox}	$0,30 * r_x$	Sim/Não	r_x	Sim/Não	e_{oy}	$0,30 * r_y$	Sim/Não	r_y	Sim/Não
0	13.44	0.65	1.50	Sim	4.99	Não	3.42	0.66	Não	2.19	Não
1	13.44	0.65	1.50	Sim	4.99	Não	3.42	0.66	Não	2.19	Não

6. Critério: Sistemas resistentes:

Foi constatado que o sistema resistente é continuo até o topo.

7. Critério: Deformações:

Não foi constatada tal irregularidade na estrutura de sistema de paredes.

8. Critério: Irregularidades devidas aos enchimentos de alvenaria

Devida a presença aproximadamente simétrica em planta das paredes de enchimento o edifício foi considerado como sem irregularidade em planta de enchimentos em alvenaria.

A Quadro 7 apresenta um resumo dos resultados da verificação dos critérios de regularidade do edifício analisado, pelo EC8.

Quadro 7 - Regularidade em planta avaliada pelo EC8

REGULARIDADE EM PLANTA AVALIADA PELO EC8		
Critérios		**S/N**
1	a) Rigidez Lateral aproximadamente simétrica?	**Não**
	b) Massa aproximadamente simétrica?	**Não**
2	Configuração em planta é compacta?	Sim
3	Condição de diafragma rígido?	Sim
4	Esbelteza $\lambda = L_{max}/L_{min}$?	Sim
5	a) $e_{ox} \leq 0{,}30 * r_X$?	Sim
	b) $r_X > ls$?	**Não**
	c) $e_{oy} \leq 0{,}30 * r_Y$?	**Não**
	d) $r_Y > ls$?	**Não**
6	Sistemas resistentes a ações laterais (núcleos, paredes, pórticos) continuo até ao topo?	Sim
7	Deformações de cada sistema devidas a cargas horizontais não são muito diferentes?	Sim
8	Ausência de irregularidades devido as paredes de enchimento?	Sim
RESULTADO:		**IRREGULAR**

A Tabela 10 é mostrado a diferença percentual do valor limite do critério para o valor encontrado para o edifício. Sendo positivo quando o critério é ultrapassado e negativo quando não.

Tabela 10 - Diferença percentual em cada critério

Critérios	*Direção*	*(%)*
Rigidez lateral aproximadamente simétrica	XX	0%
	YY	31.8%
Massa aproximadamente simétrica	XX	0%
	YY	22.7%
Configuração em planta compacta		0%
Condição de diafragma rígido	XX	0%
	YY	0%
Esbelteza		-57%
Critério de excentricidade estrutural e raio de torção	XX	170%
	YY	513%
Paredes de enchimento de alvenaria	XX	0%
	YY	0%

4.2.5. Regularidade em Altura Do Edifício 1

1. Critério: Sistemas resistentes:

Foi constatado que o sistema resistente é continuo até o topo.

2. Critério: Rigidez Lateral e Massa

De acordo com a Tabela 18 o critério de rigidez lateral e massa é cumprido não sendo constatada essa irregularidade.

Tabela 11 - Critério de rigidez lateral e massa

Piso	**Peso correspondente à Massa (KN)**	**Variação da massa (%)**	**Verif.**	**Rigidez lateral X ($x10^6$ KN/m)**	**Redução rigidez X (%)**	**Verif.**	**Rigidez lateral Y ($x10^6$ KN/m)**	**Redução rigidez Y (%)**	**Verif.**
I	6.033.64	0.00%	OK	331.23	0.00%	OK	63.65	0.00%	OK
P	6.033.64			331.23		OK	63.65		

3. Critério: Recuos

De acordo com a Tabela 19 o critério de recuos é cumprido não sendo constatada essa irregularidade.

Uma vez que a dimensão do recuo não ultrapassa 20% da dimensão em planta.

Tabela 12 - Critério de Recuos

Piso	Sucessivos recuos com simetria axial			Um único recuo					
				15 % superiores da altura total			15 % inferiores da altura total		
	(L1-L2)/L1		Verif.	(L3+L1)/L		Verif.	(L3+L1)/L		Verif.
	X	Y		X	Y		X	Y	
P	11.5%		OK			OK			OK
I			OK			OK			OK

4. Critério: Irregularidades devidas aos enchimentos de alvenaria

Critério: avaliação qualitativa da distribuição das paredes de enchimento

Devida a presença aproximadamente igual em altura das paredes de enchimento o edifício foi considerado como sem irregularidade em altura de enchimentos em alvenaria.

A Quadro 8 apresenta os resultados da verificação dos critérios de regularidade em altura do edifício analisado.

Quadro 8 - Resumo de regularidade em altura

REGULARIDADE EM ALTURA AVALIADA PELO EC8		
Critérios		**S/N**
1	Sistemas resistentes a ações laterais (núcleos, paredes, pórticos) continuo até ao topo?	Sim
2	a) Rigidez lateral constante ou redução gradual?	Sim
	b) Massa constante ou redução gradual?	Sim
3	a) No caso de sucessivos recuos	-
	b) No caso de um único recuo	-
	c) No caso de recuos não simétricos	Sim
4	Ausência de irregularidades devido as paredes de enchimento?	Sim
RESULTADO:		**REGULAR**

A Tabela 21 é mostrado a diferença percentual do valor limite do critério para o valor encontrado para o edifício. Sendo positivo quando o critério é ultrapassado e negativo quando não.

Tabela 13 - Diferença percentual em cada critério

Critérios	*Direção*	*(%)*
Sistemas resistentes a ações laterais continuo até ao topo		0%
Rigidez lateral constante ou redução gradual	XX	0%
	YY	0%
Massa constante ou redução gradual		0%
Critério dos recuos e avanços		-42%
Paredes de enchimento de alvenaria	XX	0%
	YY	0%

Assim, analisou-se o edifício em betão armado, onde se fez a caracterização estrutural e verificação dos critérios de regularidade estrutural segundo a aplicação do EC8.

Em relação a classificação do sistema estrutural, o edifício analisado é classificado pela sua tipologia estrutural como Sistema de Paredes em ambas as direções de análise. Efetivamente, esta classificação atualmente tende a ser recorrente em edifícios altos, onde surgem caixas de elevadores. Por questões arquitetónicas e funcionais, em muitas situações estas localizam-se numa zona central do edifício, surgindo, por vezes, a necessidade de incorporar outras paredes próximas das fachadas do edifício para contraventamento e melhoria do comportamento torsional.

A estrutura do edifício analisado conduziu a uma classificação como edifício irregular em planta. O critério de excentricidade estrutural e raio de torção é o mais exigente para o edifício analisado. Este critério e composto por 2 condições, sendo uma delas a mesma que se aplica para a verificação mínima de torção, logo, todos os edifícios que sejam torsionalmente flexíveis vão ser classificados como irregulares em planta.

Embora se tenha estudado a influência das paredes de alvenaria de enchimento, apesar de que no caso de estudo analisado essa redução e pouco significativa, uma vez que se trata de edifícios com poucas paredes.

Conclui-se também que o edifício analisado possui sistemas resistentes as ações laterais contínuas desde a base até ao topo do edifício. Tratando-se de edifícios moderadamente altos, em muitas situações e difícil garantir esta continuidade por questões arquitetónicas. Relativamente ao critério que avalia os eventuais recuos e avanços nota-se que este classifica a estrutura como regular devido a existência de somente pequenos recuos.

4.3. DESCRIÇÃO ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO 2

4.3.1. Geometria Do Edifício 2

O edifício em estudo apresenta uma forma retangular, constituído por 9 pisos, acima do nível do solo, mais cobertura com pé-direito de 3,80 metros.

No Quadro 9 são apresentadas as informações gerais do edifício e nas Figuras 20 a 26 o modelo 3D, plantas e vistas em corte da estrutura

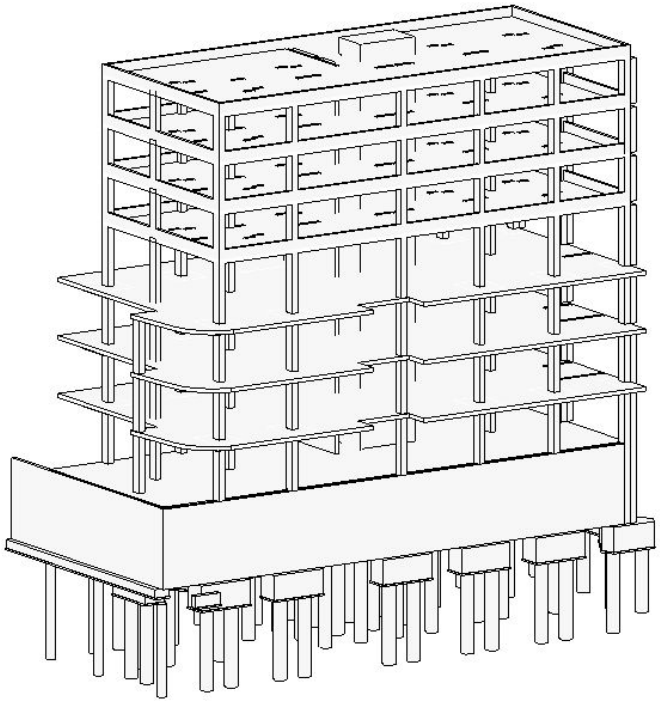


Fig. 20 - Modelo 3D Da Estrutura (Revit)

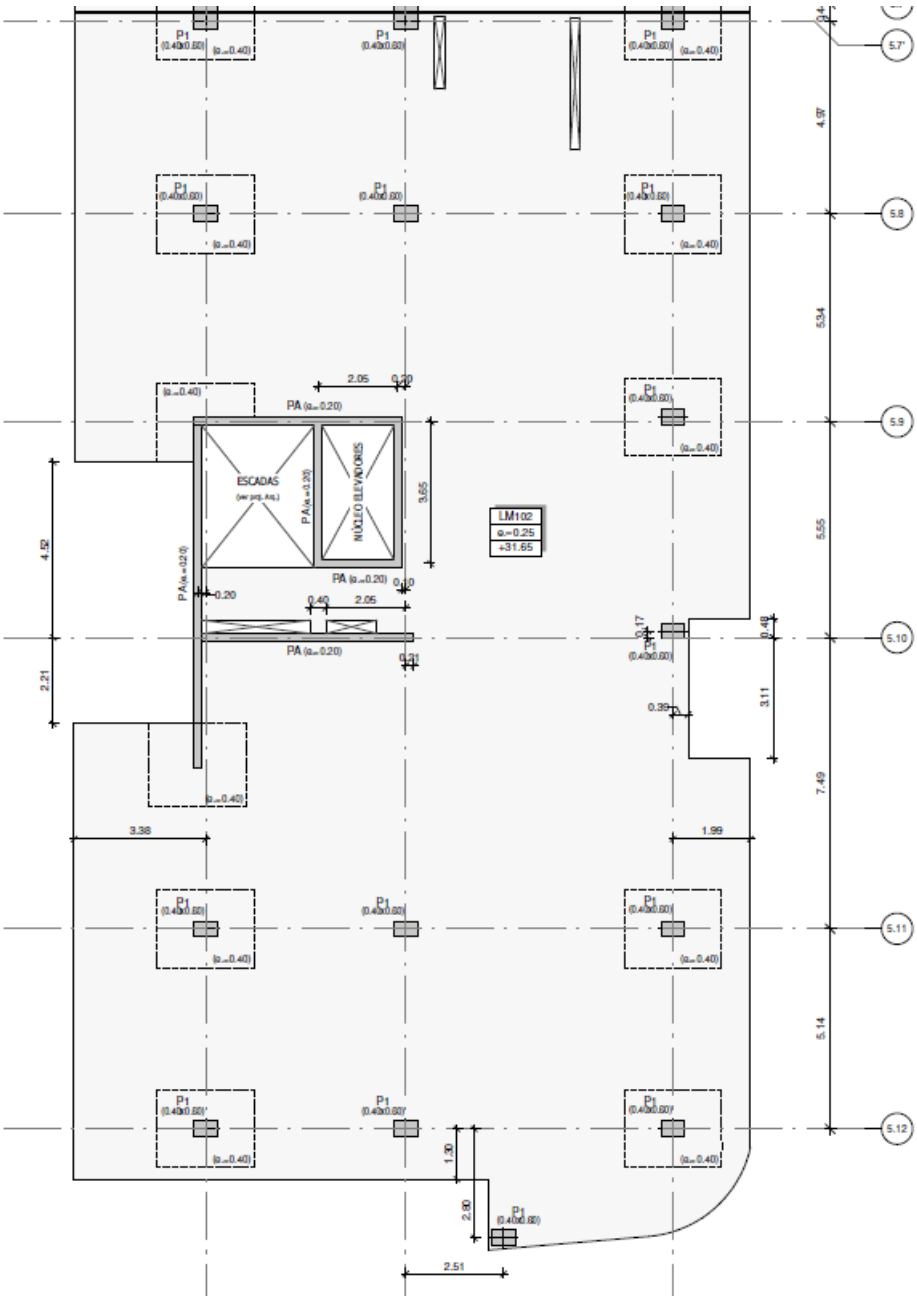


Fig. 21 - Planta estrutural piso 1 ao 3 (Revit)

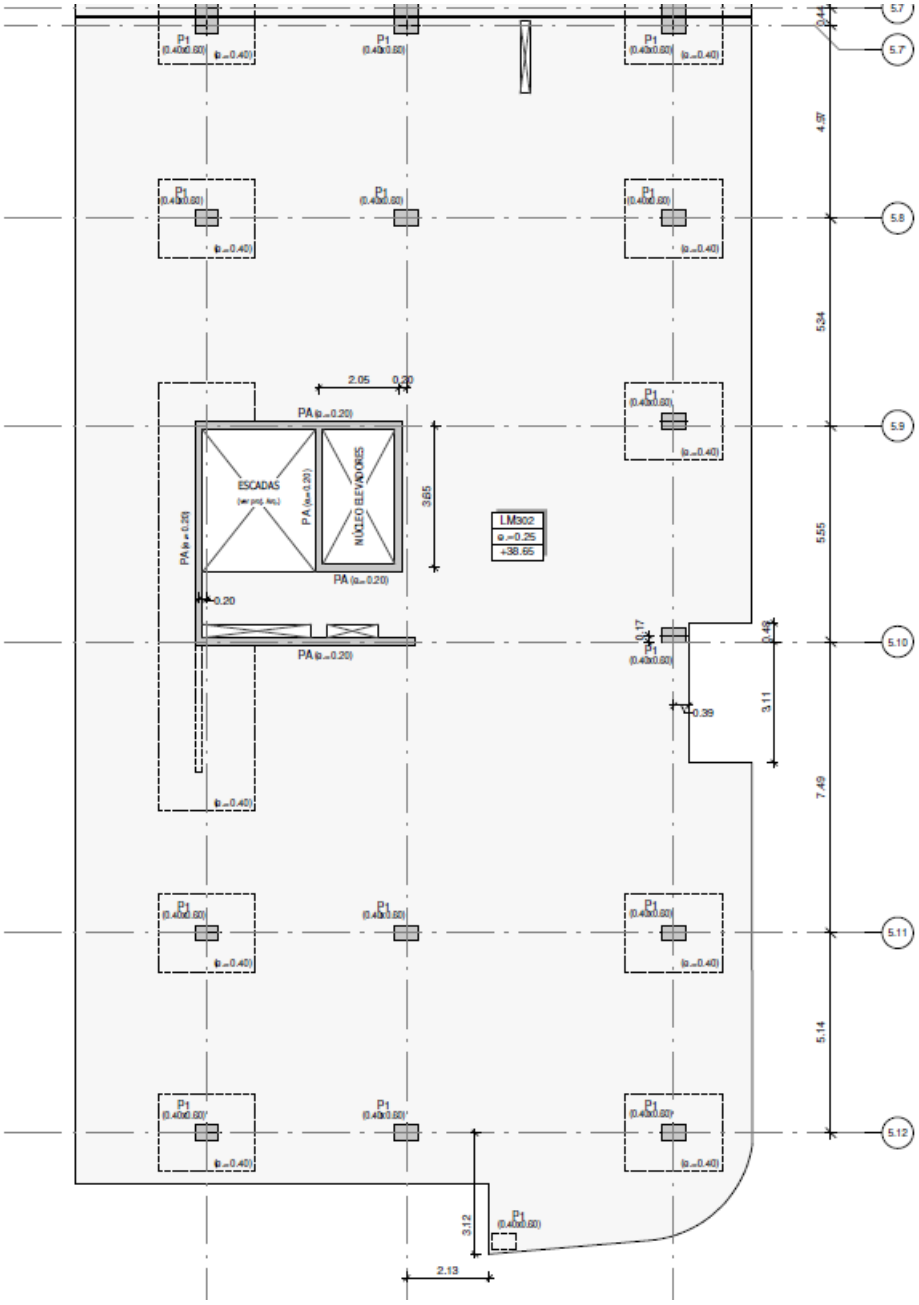


Fig. 22 - Planta estrutural piso 4 (Revit)

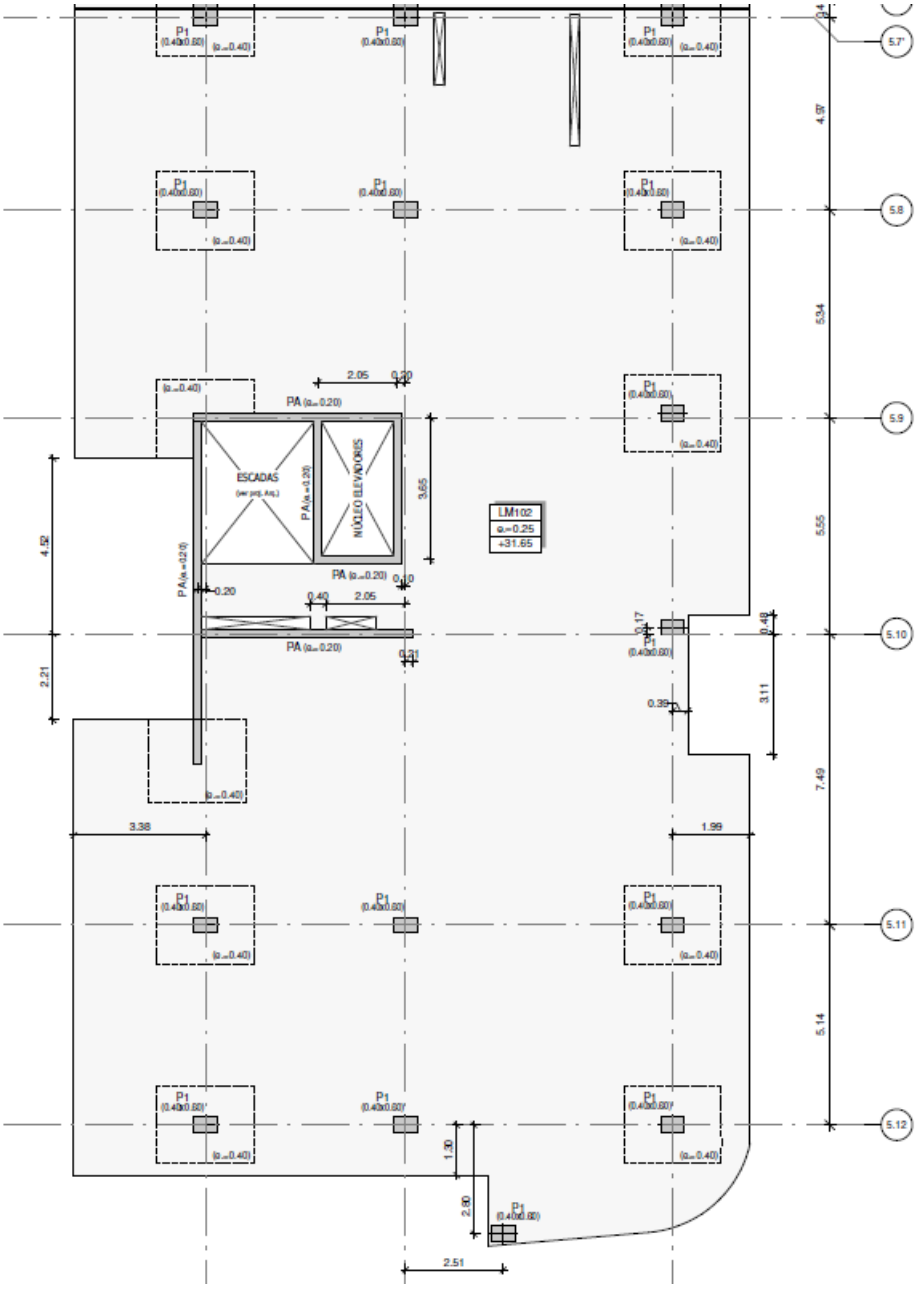


Fig. 23 - Planta estrutural piso 5 ao 7 (Revit)

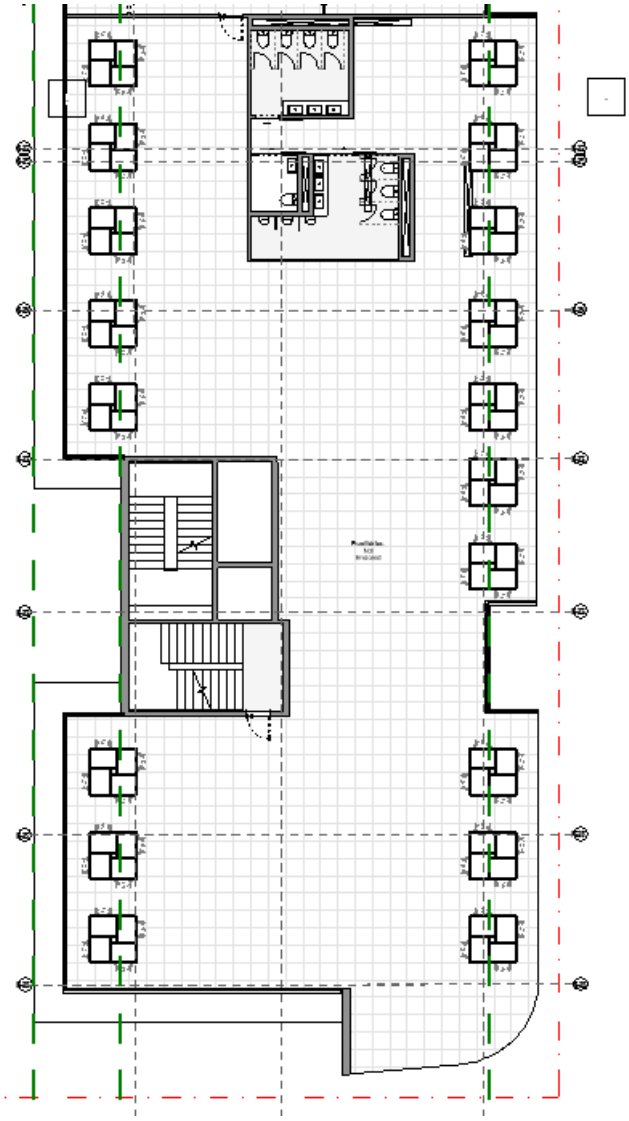


Fig. 24 - Planta de arquitetura – Piso 1 ao 3 (Revit)

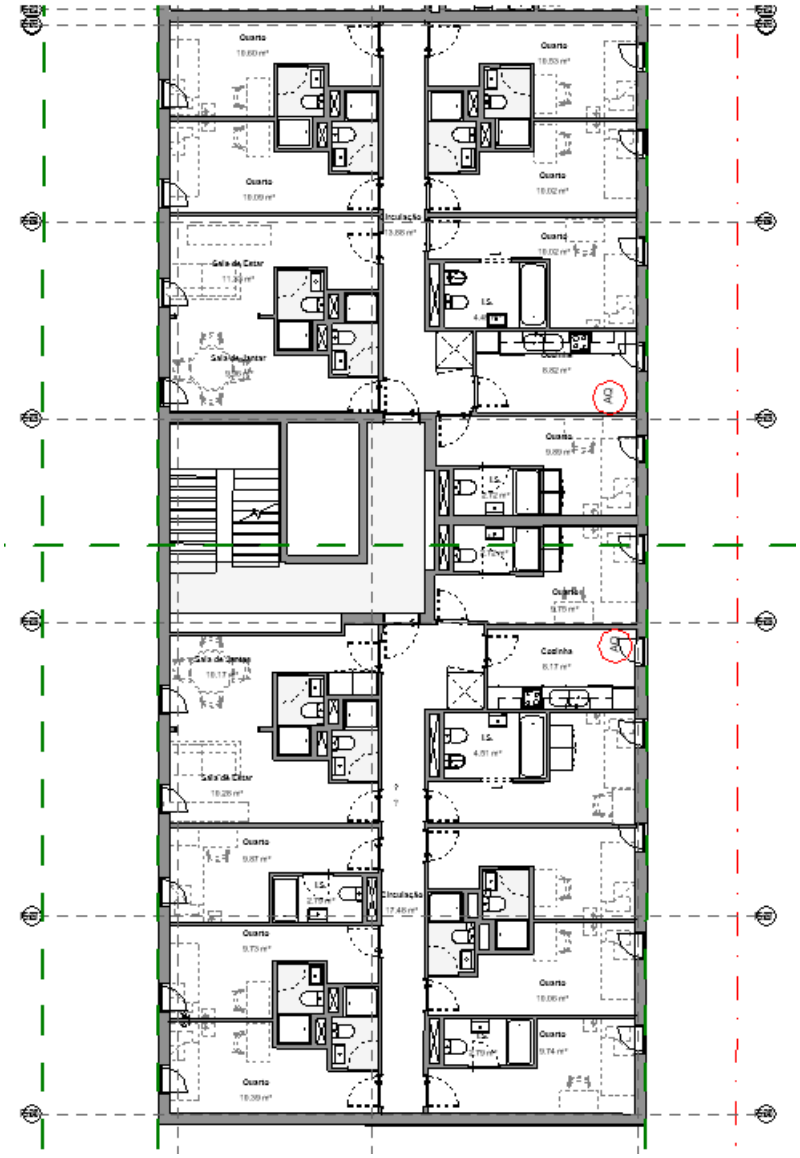


Fig. 25 - Planta de arquitetura – Piso 4 ao 7 (Revit)

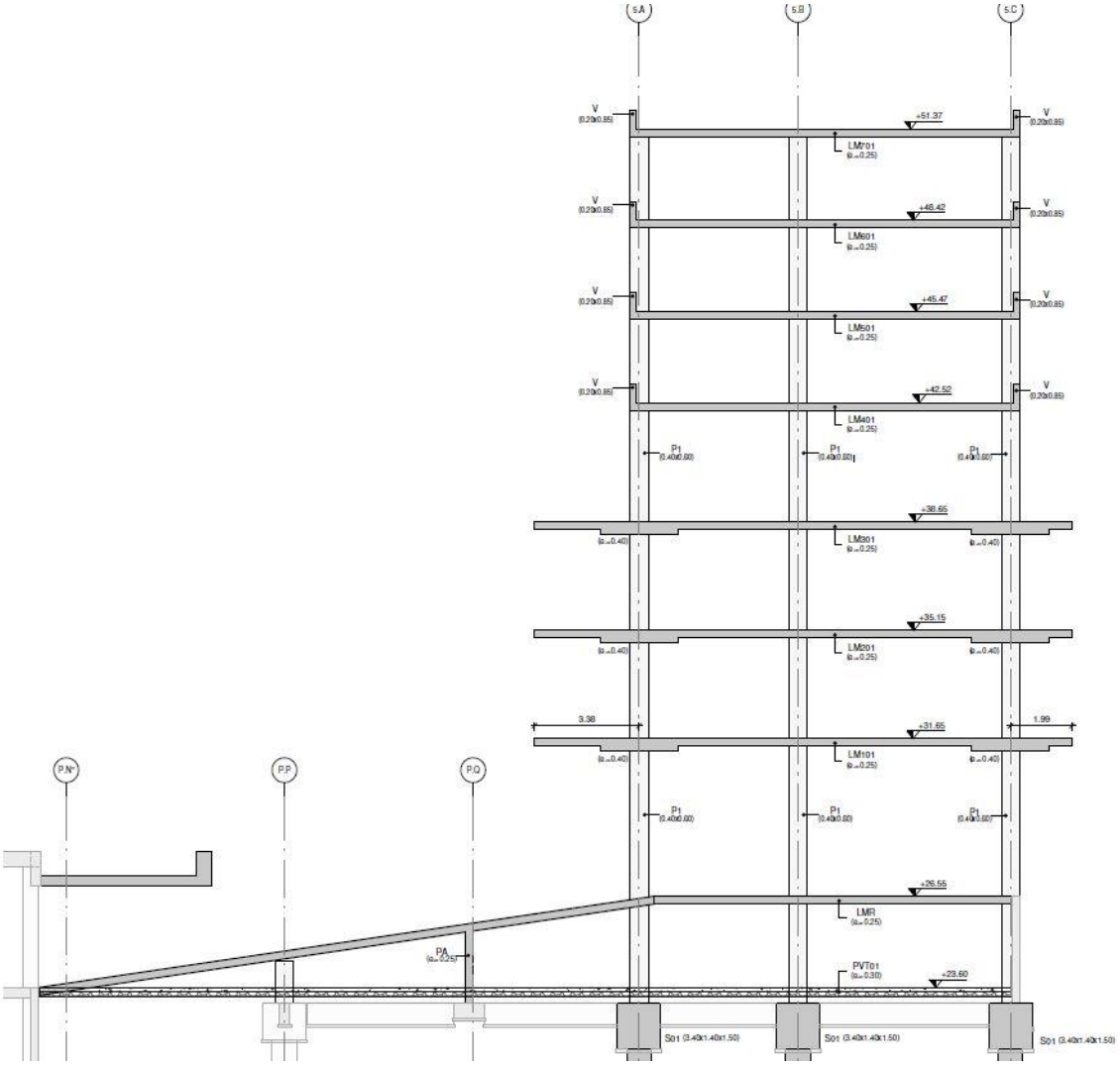


Fig. 26 - Cortes (Revit)

Quadro 9 - Informações Gerais do Edifício (Revit)

Empreendimento	
Identificação:	E02
Nome do empreendimento:	PO2
Localização:	Lisboa
Tipo de uso:	Habitacional
Ano de Projeto:	2019
Ano de Construção:	-
Características Gerais	
Altura acima do solo (m):	28.52
Nº de pisos acima do solo:	9
Nº de pisos enterrados:	2
Pé-direito do 1º piso rés chão (m):	3.70
Pé-direito do piso tipo (m):	3.80
Características de Projeto Sísmico	
Norma de Projeto:	EC8
Zona sísmica:	1.4 e 2.3
Tipo de Terreno	C
Terreno Envolvente:	Plano
Classe de Ductilidade:	DCM (média)
Classe de Importância:	II
Coef. de comportamento, *q*:	2,5

4.3.2. Materiais Do Edifício 2

A classe de betão e aço utilizados, bem como seus parâmetros, estão materializados no Quadro 10 enquanto as características dos mesmos encontram-se no Quadro 11.

Quadro 10 - Materiais

QUADRO DE MATERIAIS

BETÃO

1 - Especificação conforme NP EN 206-1:2007 / E464-2007

Período de Vida Util do Projecto **50 Anos** - Classe Estrutural **S4** - Classe de Inspecção: **2**

	[CR]	[EA]	[TC]	[DA]	[CA]
Betão de Regularização e Limpeza:	**C12/15**	**X0 (P)**	**Cl 1,0**	**Dmax 22**	**S3**
Fundações e Elementos em Contacto com o Terreno:	**C25/30**	**XC3 (P)**	**Cl 0,4**	**Dmax 22**	**S3**
Restantes Elementos Interiores:	**C30/37**	**XC3 (P)**	**Cl 0,4**	**Dmax 22**	**S3**

[CR] - Classe de Resistência; [EA] - Classe de Exposição Ambiental; [TC] - Classe Teor de Cloretos
[DI] - Máxima Dimensão do Agregado de acordo com a NP EN 12620; [CA] - Classe de Abaixamento

Os enchimentos a executar sobre a laje de betão serão com Betão leve ou Betão Celular com peso específico inferior a 600kg/m³

ARMADURAS

1 - Materiais:
Aço em varão para armaduras ordinárias: A500NR SD fyk = 500MPa
Malha soldada: A500EL fyk = 500MPa

2 - Recobrimentos (Cnom.):
Fundações e elementos em contacto com o terreno..... 50 mm
Vigas, Pilares e Paredes..... 30 mm
Lajes e Escadas..... 30 mm

Quadro 11 - Características dos Materiais

Características dos Materiais	
PP do concreto (KN/m³):	25.00
Módulo de Elasticidade, *E*(Gpa):	
Pilares	15.00
Vigas	15.00
Lajes	15.00
Paredes	15.00
Alvenaria 1 (tijolo 11cm)	1.141
Alvenaria 2 (tijolo 15cm)	0.996
Alvenaria 3 (tijolo 20cm)	0.815
Alvenaria 4 (tijolo 25cm)	0.634
Alvenaria 5 (tijolo 30cm)	0.452

4.3.3. Informações Gerais Do Projeto Do Edifício 2

As informações gerais do projeto são apresentadas na Tabela 14, enquanto a Tabela 15 apresenta a classificação do sistema estrutural.

Tabela 14 - Informações Gerais Por Piso

		PISOS		
		1 ao 3	**4**	**5 ao 7**
Pé direito	(m)	3.50	3.87	2.95
Sistema Estrutural_lajes	-	Fungiforme maciça	Fungiforme maciça	Fungiforme maciça
Área da laje	(m^2)	454.27	347.80	347.80
Altura da laje, *h*	(m)	0.25	0.25	0.25
CP $_{PP}$	(KN/m2)	6.25	6.25	6.25
RCP	(KN/m2)	3.00	3.00	3.00
Sobrecargas	(KN/m2)	3.00	3.00	3.00
Massa da laje	(KN)	6.014.86	4.260.55	4.260.55
Tipo de Geometria	-	aprox. Retagular	aprox. Retangular	aprox. Retangular
Dimensão MÍN em X	(m)	28.96	28.96	28.96
Dimensão MÁX em X	(m)	28.96	28.96	28.96
Dimensão MÍN em Y	(m)	14.00	12.01	12.01
Dimensão MÁX em Y	(m)	17.38	12.01	12.01
Centro de Gravidade, X_{CG}	(m)	14.75	14.48	14.48
Centro de Gravidade, Y_{CG}	(m)	9.31	6.01	6.01
Inércia da laje, I_X	(m^4)	9.618.39	4.180.33	4.180.33
Inércia da laje, I_Y	(m^4)	31.561.56	24.306.45	24.306.45
[1] Centro de Massa, X_{CM}	(m)	15.53	15.53	14.63
[1] Centro de Massa, Y_{CM}	(m)	6.46	6.46	6.08

Tabela 15 - Classificação Do Sistema Estrutural

	Classificação Estrutural do Sistema			
Piso	**$I_{X,pilares}$ / I_X**	**$I_{Y,pilares}$ / I_Y**	**Direção X**	**Direção Y**
1 ao 3	1.44%	0.25%	sist. paredes	sist. paredes
4	1.44%	0.25%	sist. paredes	sist. paredes
5 ao 7	2.53%	1.20%	sist. paredes	sist. paredes

4.3.4. Regularidade Em Planta Do Edifício 2

1ºCritério: Centro de Rigidez

Fig. 27 - Rigidez lateral em X

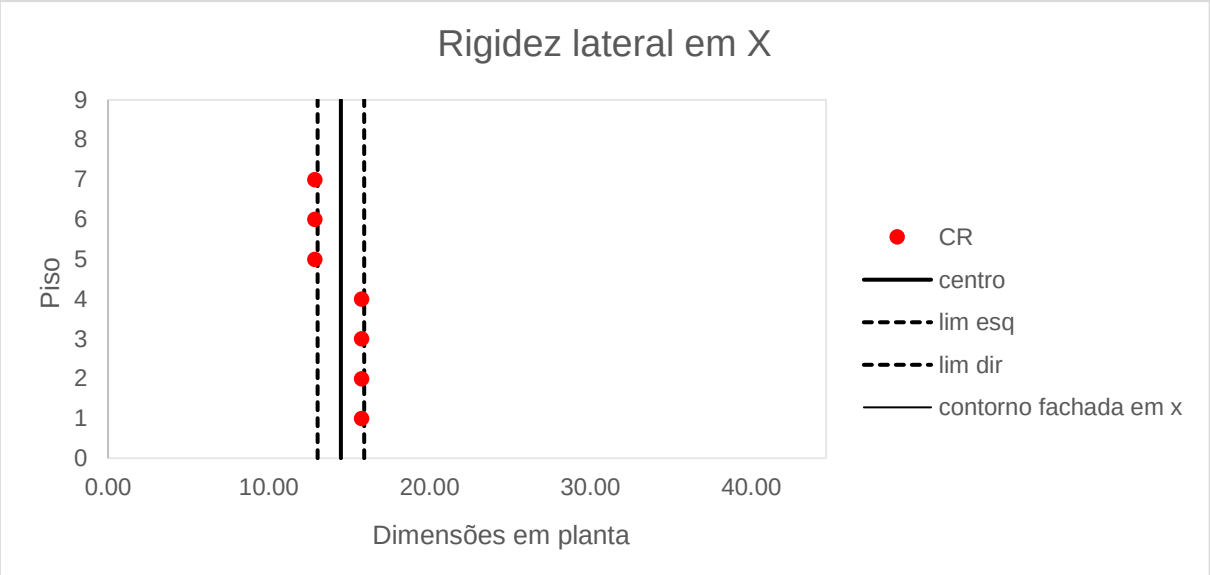


Fig. 28 - Rigidez lateral em Y

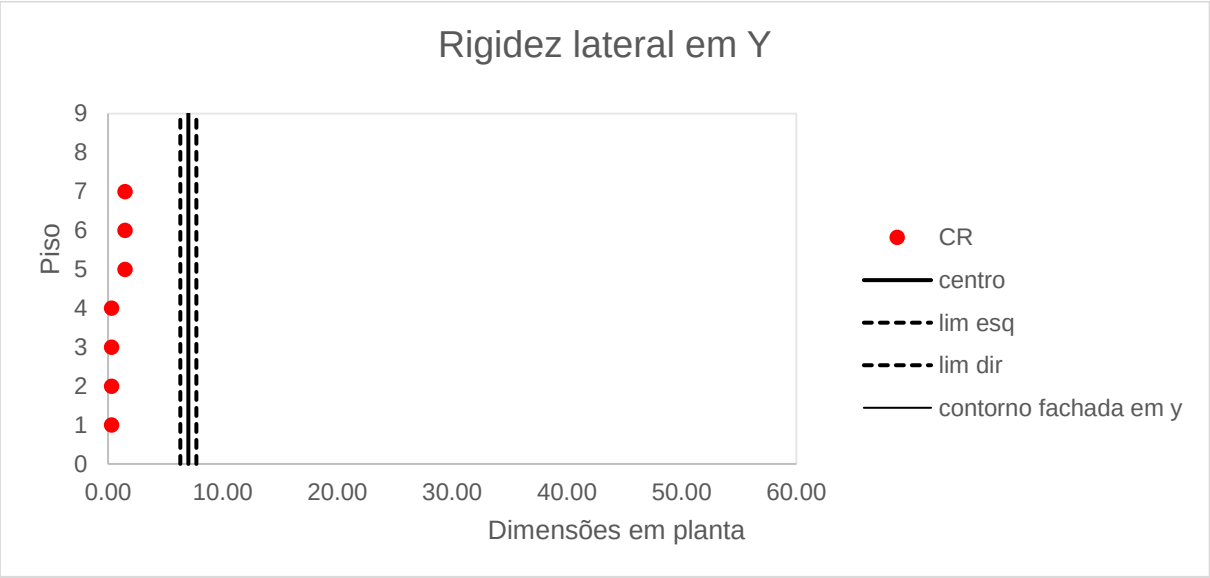


Fig. 29 - Massa em X

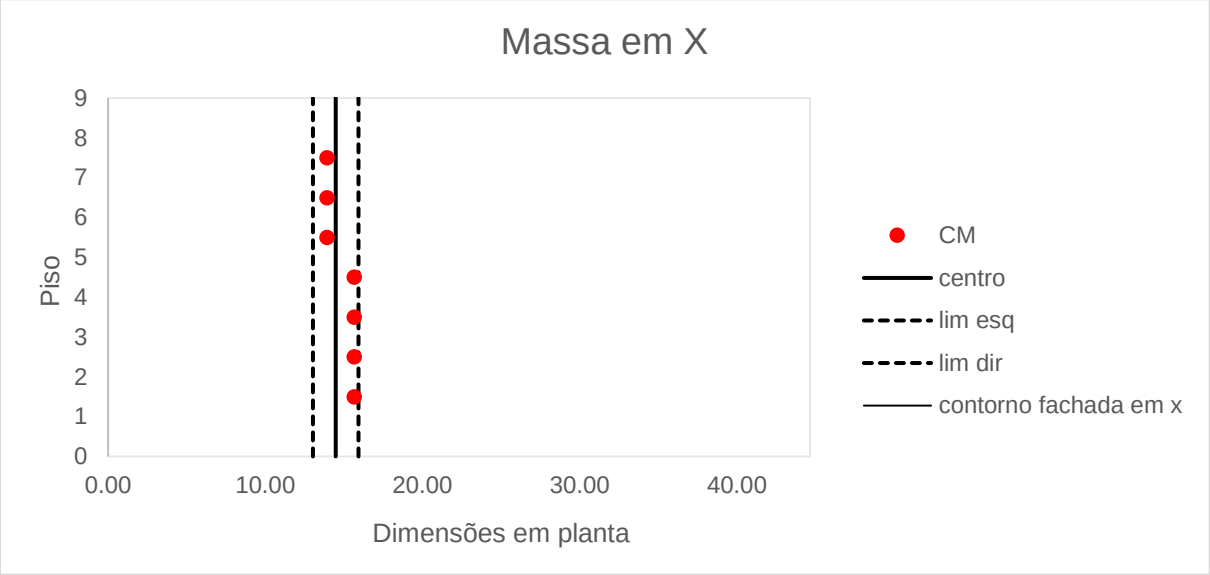


Fig. 30 - Massa em Y

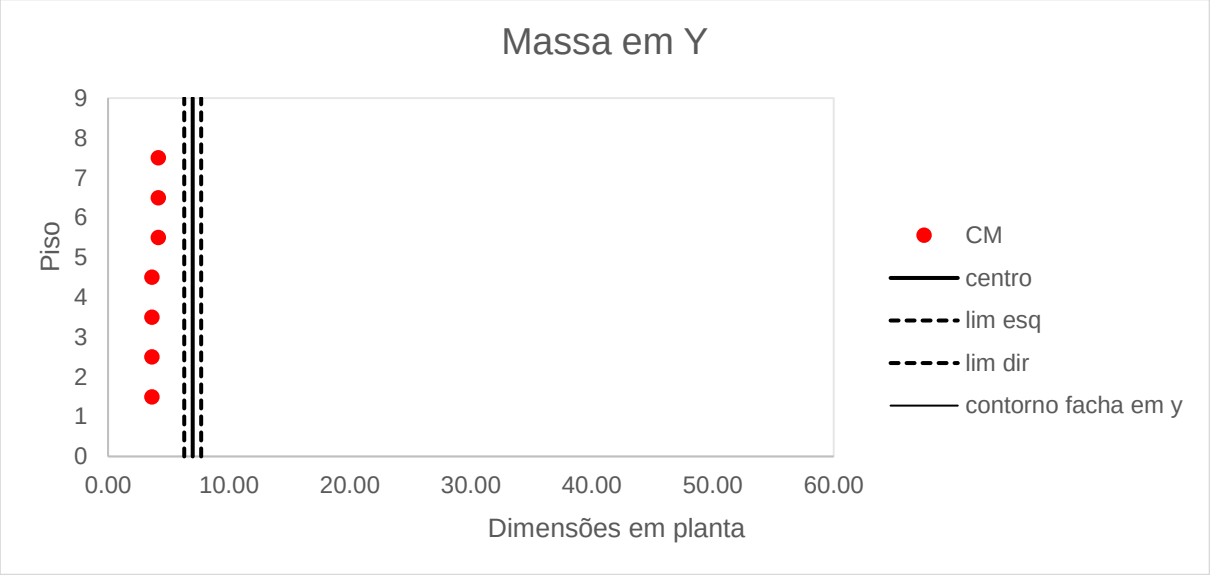


Fig. 31 - Posição CM e CR em Altura – Direção X

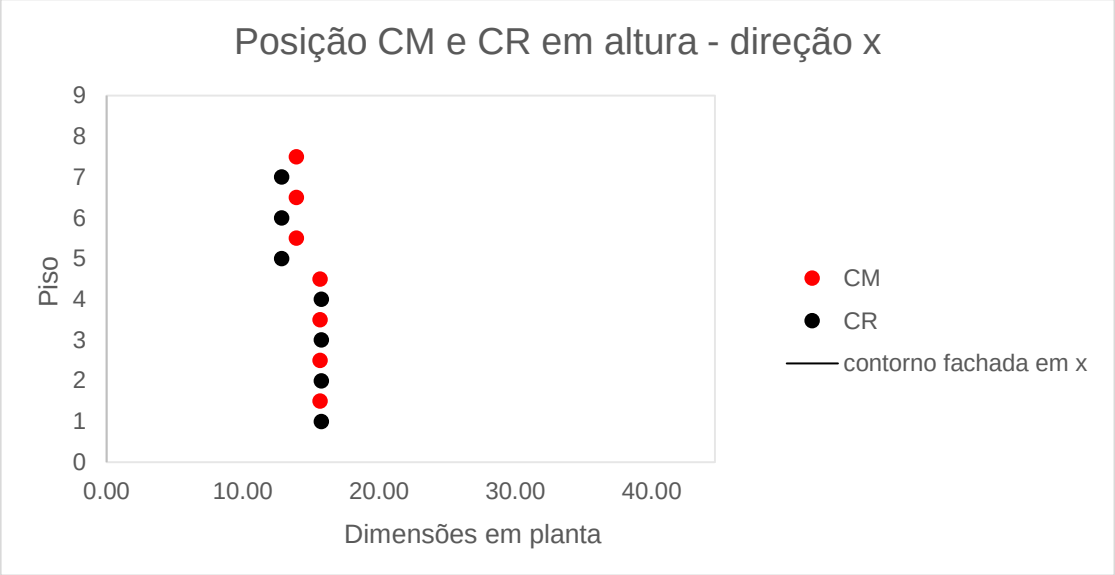
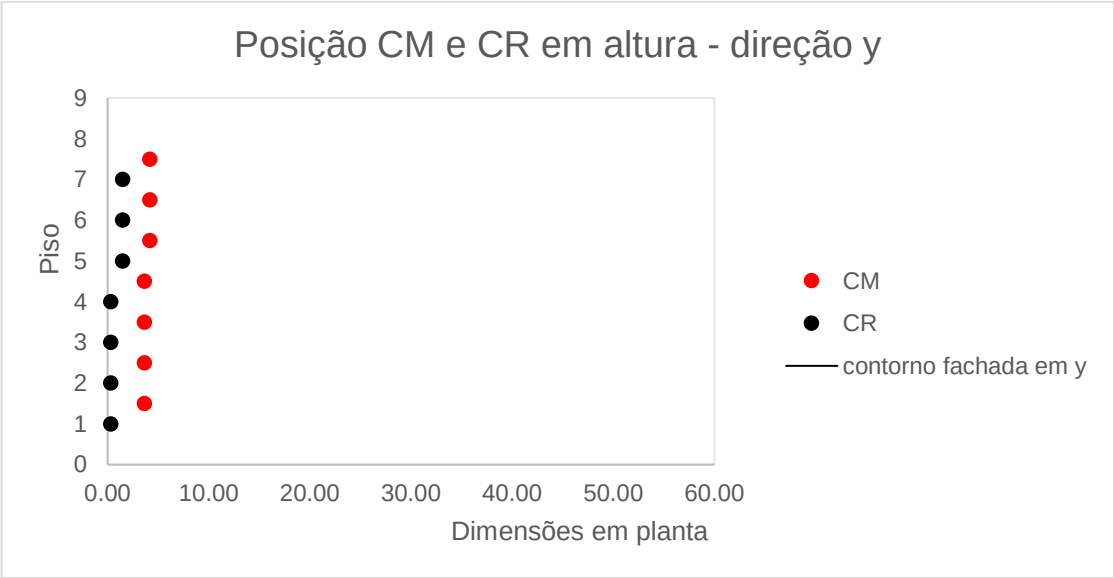


Fig. 32 - Posição CM e CR em Altura – Direção Y



Este critério demonstra que o edifício se enquadra como irregular, pois o centro de rigidez varia em mais do que 5% da dimensão do edifício na direção y, conforme observa-se nas linhas de limite direito e esquerdo nas Figuras 28 (rigidez) e Figura 30 (massa).

2. Critério: Configuração Compacta

Na Tabela 27 mostra que o edifício se enquadra como de configuração compacta por esse critério.

Tabela 16 - Critério de Configuração Compacta

Piso	**Área piso m²**	**Área entre o contorno do piso e a linha poligonal convexa m²**	**% da área do piso**	**Verificação pelo EC8**
				Compacta?
1	454.27	0	0%	Sim
2	347.80	0	0%	Sim
3 ao 5	347.80	0	0%	Sim

3.Critério: Condição de Diafragma Rígido

As Lajes do edifício são classificadas como de diafragma rígido.

4. Critério: Esbelteza

De acordo com a Tabela 28 o critério de esbelteza é cumprido.

Tabela 17 - Critério De Esbelteza

Piso	**$\lambda = L_{máx}/L_{mín}$**	**Verificação pelo EC8**
0	1.67	Sim
1	2.41	Sim
2 a 6	2.41	Sim

Dmax ↑

Dmin ↓

0	2.07	Sim
1	2.41	Sim
2 a 6	2.41	Sim

5. Critério: Excentricidade estrutural e raio de torção:

De acordo com a Tabela 29 o critério de excentricidade estrutural e raio de torção não são cumpridos.

Tabela 18 - Critério De Excentricidade Estrutural e Raio de Torção

Piso	ls	$e_{ox} \leq 0,30 * r_X$			$r_x > ls$		$e_{oy} \leq 0,30 * r_Y$			$r_Y > ls$	
		e_{ox}	$0,30 * r_x$	Sim/Não	r_x	Sim/Não	e_{oy}	$0,30 * r_y$	Sim/Não	r_y	Sim/Não
1 ao 3	9.52	0.24	1.27	**Sim**	4.23	**Não**	6.13	0.79	**Não**	2.62	**Não**
4	9.05	0.24	1.36	**Sim**	4.54	**Não**	6.13	0.84	**Não**	2.81	**Não**
5 a 7	9.05	1.77	1.14	**Não**	3.80	**Não**	4.60	1.18	**Não**	3.92	**Não**

6. Critério: Sistemas resistentes:

Foi constatado que o sistema resistente é continuo até o topo.

7. Critério: Deformações:

Não foi constatada tal irregularidade na estrutura de sistema de paredes.

8. Critério: Irregularidades devidas aos enchimentos de alvenaria

Devida a presença aproximadamente simétrica em planta das paredes de enchimento o edifício foi considerado como sem irregularidade em planta de enchimentos em alvenaria.

O Quadro 12 apresenta um resumo dos resultados da verificação dos critérios de regularidade do edifício analisado, pelo EC8.

Quadro 12 - Regularidade em Planta Avaliada Pelo EC8

REGULARIDADE EM PLANTA AVALIADA PELO EC8		
	Critérios	**S/N**
1	a) Rigidez Lateral aproximadamente simétrica?	**Não**
	b) Massa aproximadamente simétrica?	**Não**
2	Configuração em planta é compacta?	Sim
3	Condição de diafragma rígido?	Sim
4	Esbelteza $\lambda = L_{max}/L_{min}$?	Sim
5	a) $e_{ox} \leq 0,30 * r_X$?	**Não**
	b) $r_X > ls$?	**Não**
	c) $e_{oy} \leq 0,30 * r_Y$?	**Não**
	d) $r_Y > ls$?	**Não**
6	Sistemas resistentes a ações laterais (núcleos, paredes, pórticos) contínuo até ao topo?	Sim
7	Deformações de cada sistema devidas a cargas horizontais não são muito diferentes?	Sim
8	Ausência de irregularidades devido as paredes de enchimento?	Sim
	RESULTADO:	**IRREGULAR**

Na Tabela 19 é mostrado a diferença percentual do valor limite do critério para o valor encontrado para o edifício. Sendo positivo quando o critério é ultrapassado e negativo quando não.

Tabela 19 - Diferenças percentuais dos valores calculado e valor limite do critério

Critérios	*Direção*	*(%)*
Rigidez lateral aproximadamente simétrica	XX	0%
	YY	78%
Massa aproximadamente simétrica	XX	0%
	YY	43%
Configuração em planta compacta		0%
Condição de diafragma rígido	XX	0%
	YY	0%
Esbelteza		-39%
Critério de excentricidade estrutural e raio de torção	XX	58%
	YY	87%
Paredes de enchimento de alvenaria	XX	0%
	YY	0%

Regularidade Em Altura Do Edifício 2

1. Critério: Sistemas resistentes:

Foi constatado que o sistema resistente é continuo até o topo.

2. Critério: Rigidez Lateral e Massa

De acordo com a Tabela 20, o critério de rigidez lateral e massa é cumprido não sendo constatada essa irregularidade.

Tabela 20 - Critério De Rigidez Lateral e Massa

Piso	Peso correspondente à Massa (KN)	Variação da massa (%)	Verif.	Rigidez lateral X ($x10^6$ KN/m)	Redução rigidez X (%)	Verif.	Rigidez lateral Y ($x10^6$ KN/m)	Redução rigidez Y (%)	Verif.
7	4.260.55	0.00%	OK	31.78	0.00%	OK	33.91	0.00%	OK
6	4.260.55	0.00%	OK	31.78	0.00%	OK	33.91	0.00%	OK
5	4.260.55	0.00%	OK	31.78	53.89%	FALSO	33.91	-28.24%	FALSO
4	4.260.55	29.17%	FALSO	68.92	26.03%	FALSO	26.44	26.03%	FALSO
3	6.014.86	0.00%	OK	93.17	0.00%	OK	35.74	0.00%	OK
2	6.014.86	0.00%	OK	93.17	0.00%	OK	35.74	0.00%	OK
1	6.014.86			93.17		OK	35.74		

3. Critério: Recuos

De acordo com a Tabela 21 o critério de recuos não é cumprido sendo constatada essa irregularidade.

Uma vez que a dimensão do recuo ultrapassa 20% da dimensão em planta.

Tabela 21 - Critério De Recuos

Piso	A soma dos recuos não simétricos em cada direção				
	(L-L2)/L		(L1-L2)/L1		Verif.
	X	Y	X	Y	
8					OK
7				0%	OK
6				0%	OK
5				0%	OK
4				30.9%	FALSO
3				0.0%	OK
2				0.0%	OK
1				0.0%	OK
0					OK

4. Critério: Irregularidades devidas aos enchimentos de alvenaria

Critério: avaliação qualitativa da distribuição das paredes de enchimento (CEN, 2010)

Devida a presença aproximadamente igual em altura das paredes de enchimento o edifício foi considerado como sem irregularidade em altura de enchimentos em alvenaria.

O Quadro 13 apresenta os resultados da verificação dos critérios de regularidade em altura do edifício analisado.

Quadro 13 - Resumo De Regularidade Em Altura

REGULARIDADE EM ALTURA AVALIADA PELO EC8		
	Critérios	**S/N**
1	Sistemas resistentes a ações laterais (núcleos, paredes, pórticos) continuo até ao topo?	Sim
2	a) Rigidez lateral constante ou redução gradual?	**Não**
	b) Massa constante ou redução gradual?	**Não**
3	a) No caso de sucessivos recuos	-
	b) No caso de um único recuo	-
	c) No caso de recuos não simétricos	**Não**
4	Ausência de irregularidades devido as paredes de enchimento?	Sim
	RESULTADO:	**IRREGULAR**

Na Tabela 22 é mostrado a diferença percentual do valor limite do critério para o valor encontrado para o edifício. Sendo positivo quando o critério é ultrapassado e negativo quando não.

Tabela 22 - Diferença percentual em cada critério

Critérios	*Direção*	*(%)*
Sistemas resistentes a ações laterais continuo até ao topo		0%
Rigidez lateral constante ou redução gradual	XX	165%
	YY	40%
Massa constante ou redução gradual		0%
Critério dos recuos e avanços		50%
Paredes de enchimento de alvenaria	XX	0%
	YY	0%

Em relação a classificação do sistema estrutural, o edifício analisado é classificado pela sua tipologia estrutural como Sistema de Paredes em ambas as direções de análise.

A estrutura do edifício analisado conduziu a uma classificação como edifício irregular em planta. Relativamente ao critério que avalia os eventuais recuos e avanços nota-se que este classifica a estrutura como irregular devido a existência de consideráveis recuos. E também se percebe a variação de rigidez em altura um fator considerável.

4.4. DESCRIÇÃO ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO 3

4.4.1. Geometria Do Edifício 3

O edifício em estudo apresenta uma forma retangular, constituído por 8 pisos, acima do nível do solo, mais cobertura com pé-direito de 2,95 metros.

No Quadro 14 são apresentadas as informações gerais do edifício e nas Figuras 33 a 37 o modelo 3D, plantas e vistas em corte da estrutura.

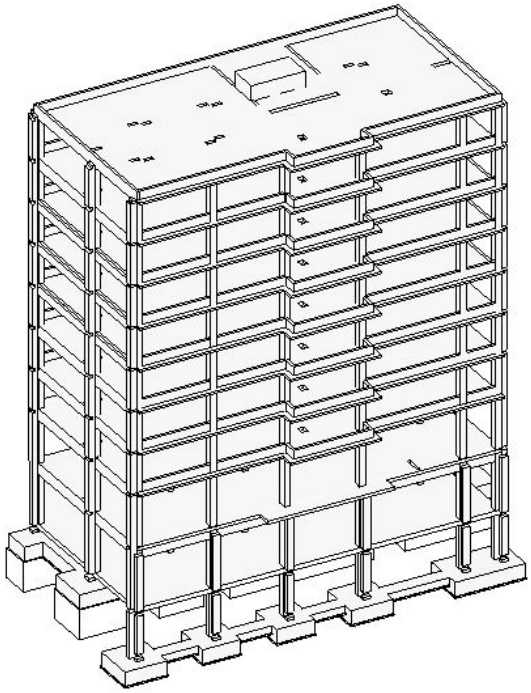


Fig. 33 - Modelo 3D Da Estrutura (Revit)

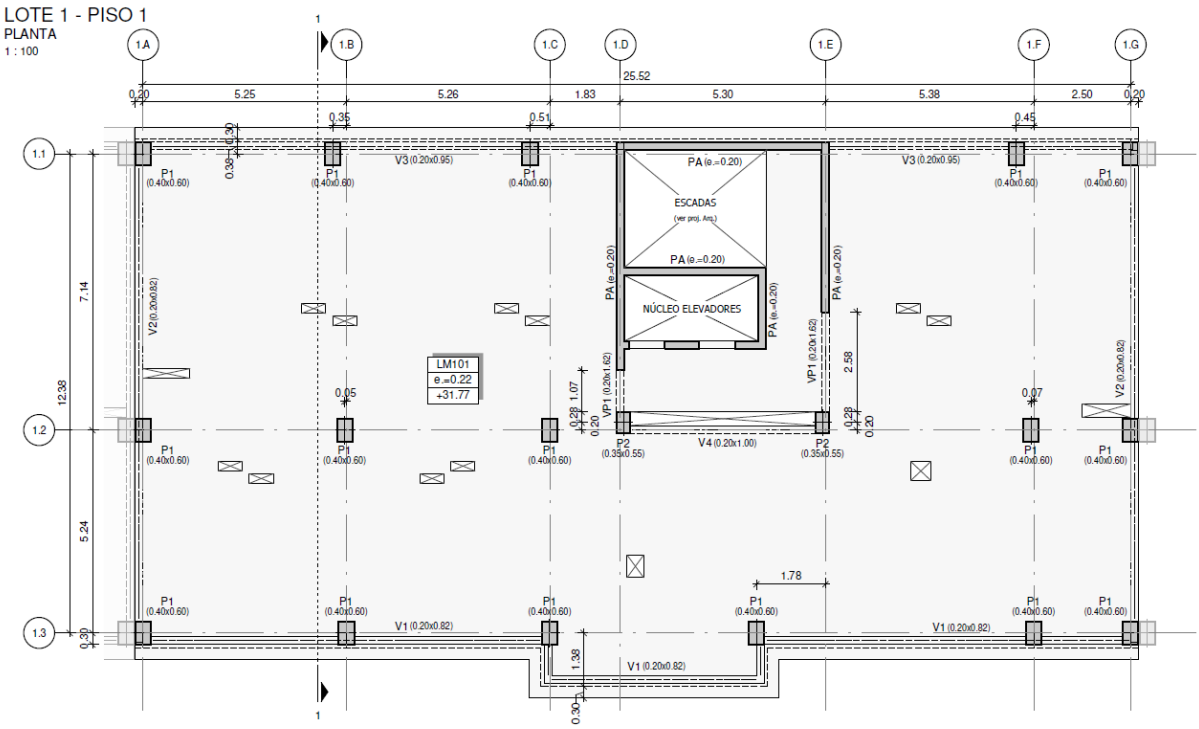


Fig. 34 - Planta estrutural - Primeiro Piso (Revit)

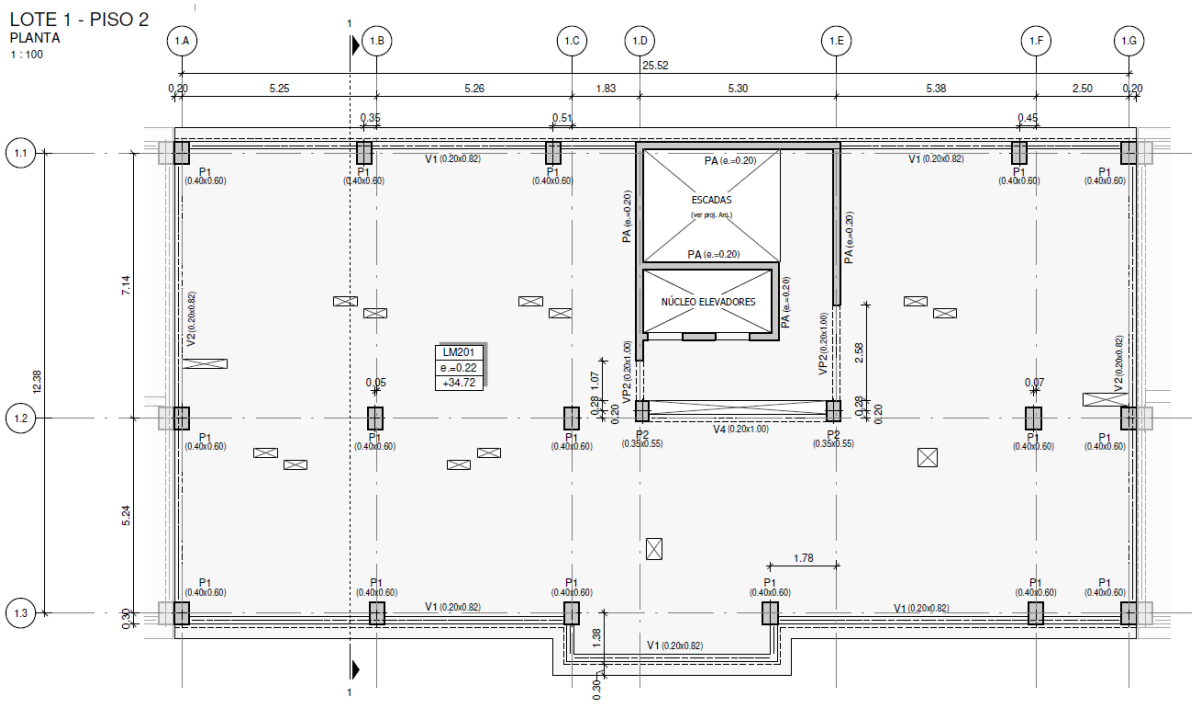


Fig. 35 - Planta estrutural Piso Tipo (Revit)

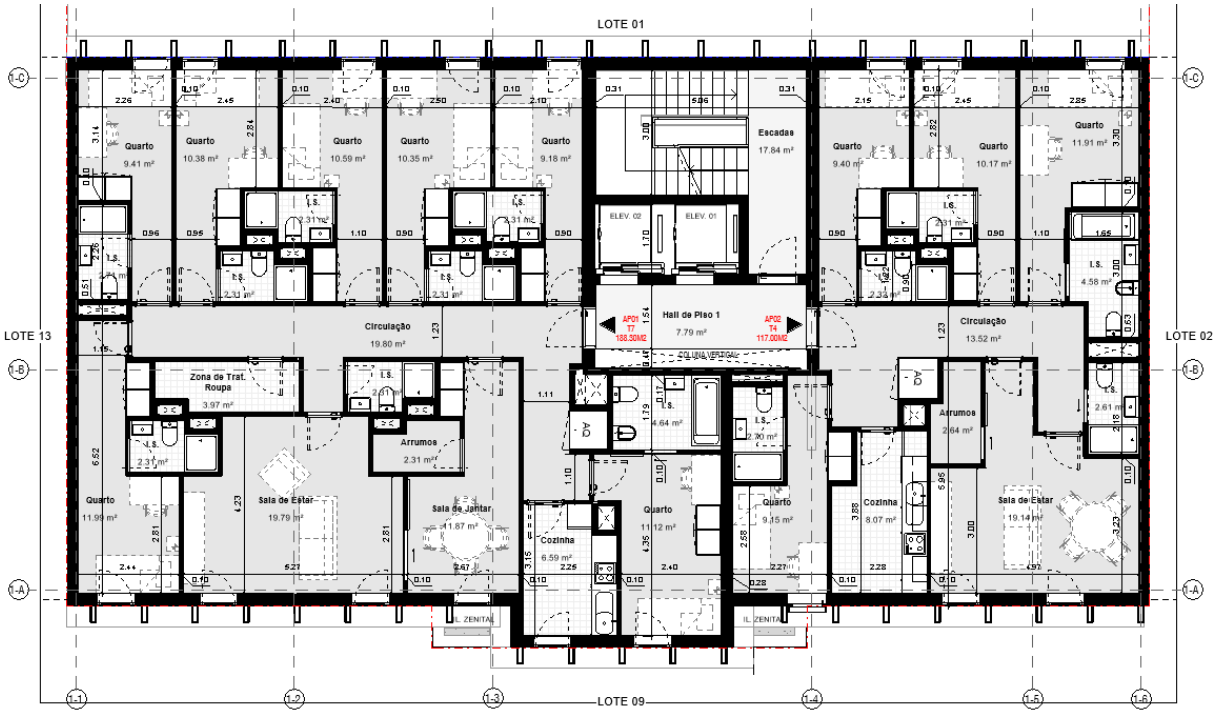


Fig. 36 - Planta arquitetura (Revit)

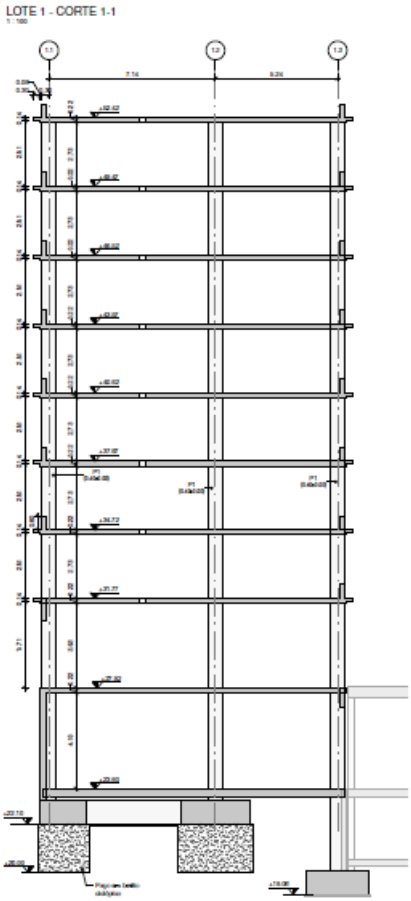


Fig. 37 - Cortes (Revit)

Quadro 14 - Informações Gerais do Edifício (Revit)

Empreendimento	
Identificação:	E03
Nome do empreendimento:	Residencial Parque Oriente
Localização:	Lisboa
Tipo de uso:	Habitacional
Ano de Projeto:	2019
Ano de Construção:	-
Características Gerais	
Altura acima do solo (m):	29.46
Nº de pisos acima do solo:	8
Nº de pisos enterrados:	1
Pé-direito do 1º piso rés chão (m):	4.96
Pé-direito do piso tipo (m):	2.95
Características de Projeto Sísmico	
Norma de Projeto:	EC8
Zona sísmica:	1,3 e 2,3
Tipo de Terreno	C
Terreno Envolvente:	Plano
Classe de Ductilidade:	DCM (média)
Classe de Importância:	II
Coef. de comportamento, *q*:	2.50

4.4.2. Materiais Do Edifício 3

A classe de betão e aço utilizados, bem como seus parâmetros, estão materializados no Quadro 15, enquanto as características dos mesmos encontram-se no Quadro 16.

Quadro 15 - Materiais

QUADRO DE MATERIAIS

BETÃO

1 - Especificação conforme NP EN 206-1:2007 / E464-2007

Período de Vida Util do Projecto **50 Anos** - Classe Estrutural **S4** - Classe de Inspecção: **2**

	[CR]	[EA]	[TC]	[DA]	[CA]
Betão de Regularização e Limpeza:	**C12/15**	**X0 (P)**	**Cl 1,0**	**Dmax 22**	**S3**
Fundações e Elementos em Contacto com o Terreno:	**C25/30**	**XC3 (P)**	**Cl 0,4**	**Dmax 22**	**S3**
Restantes Elementos Interiores:	**C30/37**	**XC3 (P)**	**Cl 0,4**	**Dmax 22**	**S3**

[CR] - Classe de Resistência; [EA] - Classe de Exposição Ambiental; [TC] - Classe Teor de Cloretos
[DI] - Máxima Dimensão do Agregado de acordo com a NP EN 12620; [CA] - Classe de Abaixamento

Os enchimentos a executar sobre a laje de betão serão com Betão leve ou Betão Celular com peso específico inferior a 600kg/m³

ARMADURAS

1 - Materiais:
Aço em varão para armaduras ordinárias: A500NR SD fyk = 500MPa
Malha soldada: A500EL fyk = 500MPa

2 - Recobrimentos (Cnom.):
Fundações e elementos em contacto com o terreno..... 50 mm
Vigas, Pilares e Paredes..... 30 mm
Lajes e Escadas..... 30 mm

Quadro 16 - Características dos Materiais

Características dos Materiais	
PP do concreto (KN/m³):	25.00
Módulo de Elasticidade, *E*(Gpa):	
Pilares	15.00
Vigas	15.00
Lajes	15.00
Paredes	15.00
Alvenaria 1 (tijolo 11cm)	1.141
Alvenaria 2 (tijolo 15cm)	0.996
Alvenaria 3 (tijolo 20cm)	0.815
Alvenaria 4 (tijolo 25cm)	0.634
Alvenaria 5 (tijolo 30cm)	0.452

4.4.3. Informações Gerais Do Projeto Do Edifício 3

As informações gerais do projeto são apresentadas na Tabela 23, enquanto a Tabela 24 apresenta a classificação do sistema estrutural.

Tabela 23 - Informações Gerais Por Piso

	PISOS		
		Primeiro Piso	**Piso Tipo**
Pé direito	(m)	3.85	2.95
Sistema Estrutural_lajes	-	Maciça	Maciça
Área da laje	(m^2)	317.11	321.85
Altura da laje, *h*	(m)	0.22	0.22
CP $_{PP}$	(KN/m2)	5.50	5.50
RCP	(KN/m2)	3.50	3.50
Sobrecargas	(KN/m2)	4.00	2.00
Massa da laje	(KN)	4.122.43	3.540.32
Tipo de Geometria	-	Aprox. Retangular	Aprox. Retangular
Dimensão MÍN em X	(m)	25.52	25.52
Dimensão MÁX em X	(m)	25.52	25.52
Dimensão MÍN em Y	(m)	12.38	12.38
Dimensão MÁX em Y	(m)	13.75	14.74
Centro de Gravidade, X_{CG}	(m)	14.37	14.16
Centro de Gravidade, Y_{CG}	(m)	8.71	8.58
Inércia da laje, I_X	(m^4)	3.167.55	3.521.71
Inércia da laje, I_Y	(m^4)	11.731.47	12.695.70
[1] Centro de Massa, X_{CM}	(m)	13.15	13.15
[1] Centro de Massa, Y_{CM}	(m)	7.16	7.16

Tabela 24 - Classificação Do Sistema Estrutural

	Relação Inércias		Class Estrutural do Sistema	
Piso	$I_{X,pilares}$ / I_X	$I_{Y,pilares}$ / I_Y	**Direção X**	**Direção Y**
1 PISO	2.90%	1.63%	sist. paredes	sist. paredes
PISO TIPO	2.90%	1.63%	sist. paredes	sist. paredes

4.4.4. Regularidade Em Planta Do Edifício 3

1ºCritério: Centro de Rigidez.

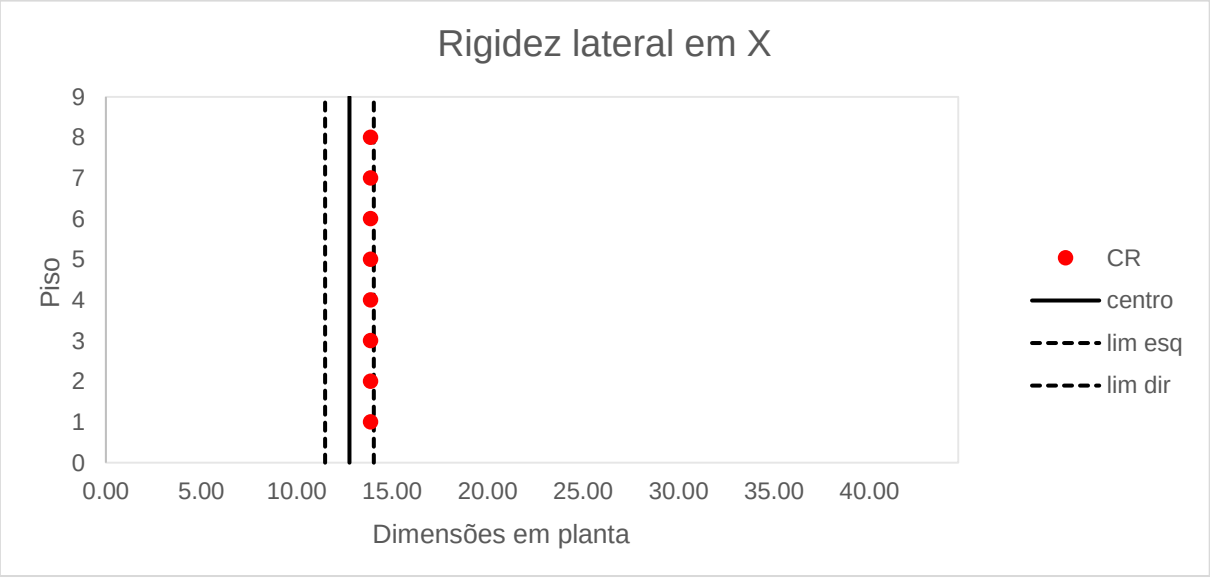


Fig. 38 - Rigidez lateral em X

Fig. 39 - Rigidez lateral em Y

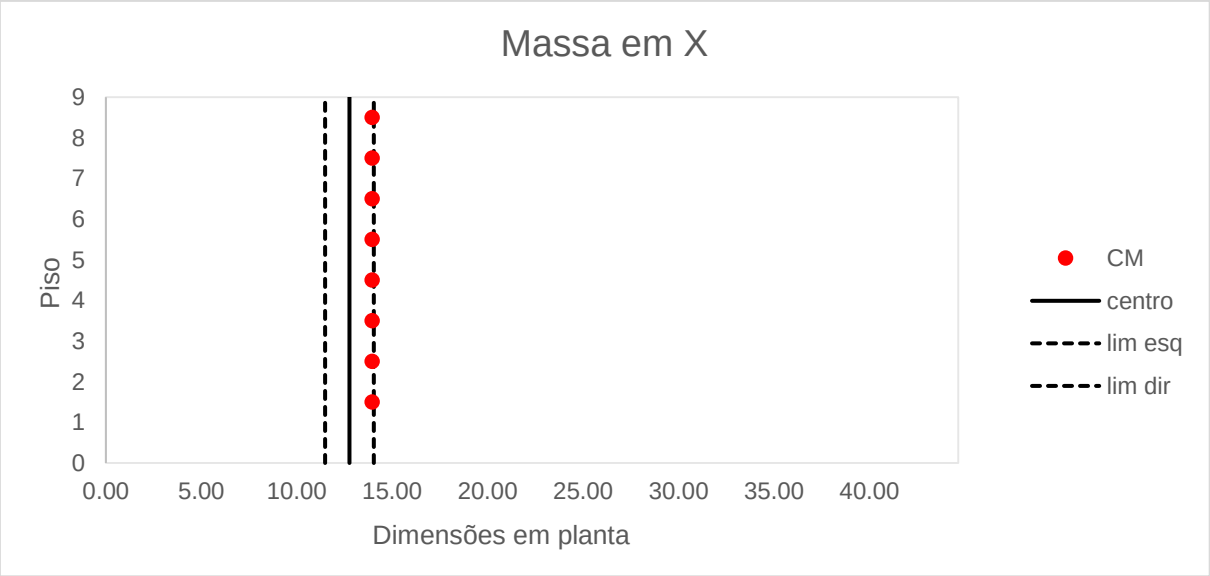


Fig. 40 - Massa em X

Fig. 41 - Massa em Y

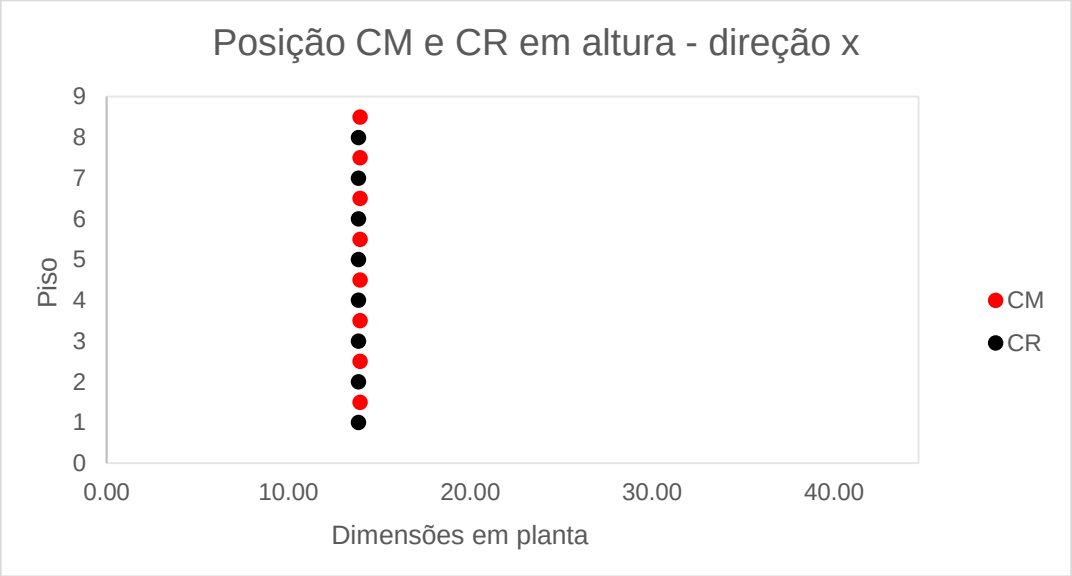


Fig. 42 - Posição CM e CR em Altura – Direção X

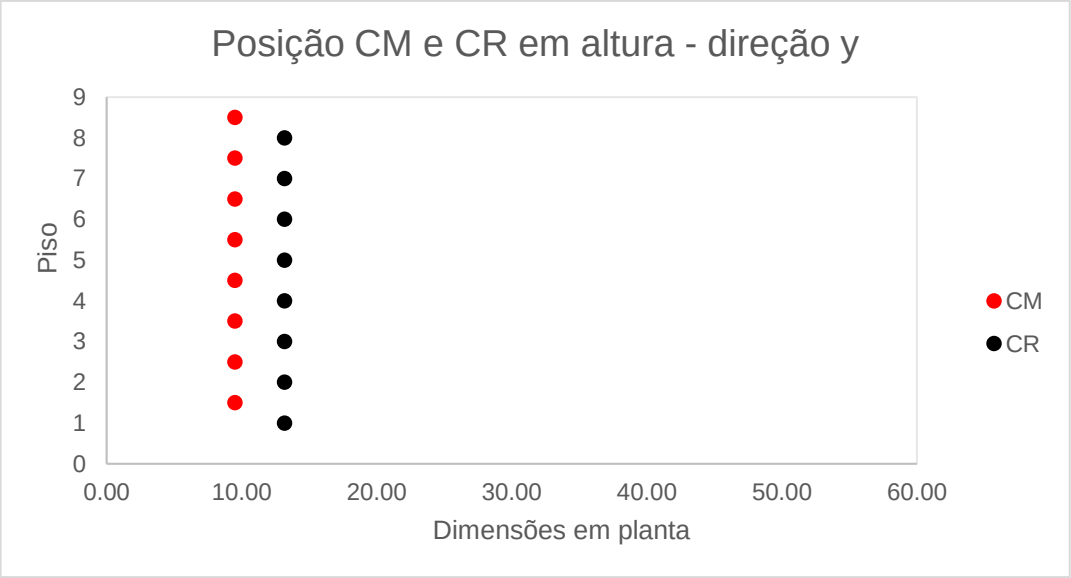


Fig. 43 - Posição CM e CR em Altura – Direção Y

Este critério demonstra que o edifício se enquadra como irregular, pois o centro de rigidez varia em mais do que 5% da dimensão do edifício nessa direção (y).

2. Critério: Configuração Compacta

Na Tabela 25 mostra que o edifício se enquadra como de configuração não compacta por esse critério.

Tabela 25 - Critério de Configuração Compacta

Piso	Área piso m²	Área entre o contorno do piso e a linha poligonal convexa m²	% da área do piso	Verificação pelo EC8
				Compacta?
1	317.11	21.95	6.92%	Não
Tipo	321.85	18.00	5.59%	Não

3.Critério: Condição de Diafragma Rígido

As Lajes do edifício são classificadas como de diafragma rígido.

4. Critério: Esbelteza

De acordo com a Tabela 26 o critério de esbelteza é cumprido.

Tabela 26 - Critério De Esbelteza

Piso	$\lambda = L_{máx}/L_{mín}$	Verificação pelo EC8
1	1.86	Sim
Tipo	1.73	Sim
	Dmáx ↑	
	Dmin ↓	
1	2.06	Sim
Tipo	2.06	Sim

5. Critério: Excentricidade estrutural e raio de torção:

De acordo com a Tabela 27 o critério de excentricidade estrutural e raio de torção não são cumpridos.

Tabela 27 - Critério De Excentricidade Estrutural e Raio de Torção

Piso	ls	$e_{ox} \leq 0{,}30 * r_X$			$r_x > ls$		$e_{oy} \leq 0{,}30 * r_Y$			$r_Y > ls$	
		e_{ox}	$0{,}30 * r_x$	Sim/Não	r_x	Sim/Não	e_{oy}	$0{,}30 * r_y$	Sim/Não	r_y	Sim/Não
1	6.85	0.72	0.96	**Sim**	3.19	**Não**	6.02	1.08	**Não**	3.60	**Não**
Tipo	7.10	0.72	0.96	**Sim**	3.19	**Não**	6.02	1.08	**Não**	3.60	**Não**

6. Critério: Sistemas resistentes:

Foi constatado que o sistema resistente é continuo até o topo.

7. Critério: Deformações:

Não foi constatada tal irregularidade na estrutura de sistema de paredes.

8. Critério: Irregularidades devidas aos enchimentos de alvenaria

Devida a presença aproximadamente simétrica em planta das paredes de enchimento o edifício foi considerado como sem irregularidade em planta de enchimentos em alvenaria.

O Quadro 17 apresenta um resumo dos resultados da verificação dos critérios de regularidade do edifício analisado, pelo EC8.

Quadro 17 - Regularidade em Planta Avaliada Pelo EC8

REGULARIDADE EM PLANTA AVALIADA PELO EC8		
Critérios		**S/N**
1	a) Rigidez Lateral aproximadamente simétrica?	**Não**
	b) Massa aproximadamente simétrica?	**Não**
2	Configuração em planta é compacta?	**Não**
3	Condição de diafragma rígido?	Sim
4	Esbelteza $\lambda = L_{max}/L_{min}$?	Sim
5	a) $e_{ox} \leq 0{,}30 * r_X$?	Sim
	b) $r_X > ls$?	**Não**
	c) $e_{oy} \leq 0{,}30 * r_Y$?	**Não**
	d) $r_Y > ls$?	**Não**
6	Sistemas resistentes a ações laterais (núcleos, paredes, pórticos) continuo até ao topo?	Sim
7	Deformações de cada sistema devidas a cargas horizontais não são muito diferentes?	Sim
8	Ausência de irregularidades devido as paredes de enchimento?	Sim
	RESULTADO:	**IRREGULAR**

Na Tabela 28 é mostrado a diferença percentual do valor limite do critério para o valor encontrado para o edifício. Sendo positivo quando o critério é ultrapassado e negativo quando não.

Tabela 28 - Diferenças percentuais dos valores calculado e valor limite do critério

Critérios	*Direção*	*(%)*
Rigidez lateral aproximadamente simétrica	XX	0%
	YY	62%
Massa aproximadamente simétrica	XX	0%
	YY	17%
Configuração em planta compacta		38%
Condição de diafragma rígido	XX	0%
	YY	0%
Esbelteza		-49%
Critério de excentricidade estrutural e raio de torção	XX	55%
	YY	82%
Paredes de enchimento de alvenaria	XX	0%
	YY	0%

4.4.5. Regularidade Em Altura Do Edifício 3

1. Critério: Sistemas resistentes:

Foi constatado que o sistema resistente é continuo até o topo.

2. Critério: Rigidez Lateral e Massa

De acordo com a Tabela 29, o critério de rigidez lateral e massa é cumprido não sendo constatada essa irregularidade.

Tabela 29 - Critério De Rigidez Lateral e Massa

Piso	Peso correspondente à Massa (KN)	Variação da massa (%)	Verif.	Rigidez lateral X ($x10^6$ KN/m)	Redução rigidez X (%)	Verif.	Rigidez lateral Y ($x10^6$ KN/m)	Redução rigidez Y (%)	Verif.
9									
8	3.540.32	0.00%	OK	23.69	0.00%	OK	30.22	0.00%	OK
7	3.540.32	0.00%	OK	23.69	0.00%	OK	30.22	0.00%	OK
6	3.540.32	0.00%	OK	23.69	0.00%	OK	30.22	0.00%	OK
5	3.540.32	0.00%	OK	23.69	0.00%	OK	30.22	0.00%	OK
4	3.540.32	0.00%	OK	23.69	0.00%	OK	30.22	0.00%	OK
3	3.540.32	0.00%	OK	23.69	0.00%	OK	30.22	0.00%	OK
2	3.540.32	0.00%	OK	23.69	0.00%	OK	30.22	0.00%	OK
1	3.540.32	14.12%	OK	23.69	-122.29%	FALSO	30.22	-122.29%	FALSO
0	4.122.43			10.66		OK	13.59		

3. Critério: Recuos

De acordo com a Tabela 30, o critério de recuos é cumprido não sendo constatada essa irregularidade.

Tabela 30 - Critério De Recuos

Piso	Sucessivos recuos com simetria axial			Um único recuo						A soma dos recuos não simétricos em cada direção				
				15 % superiores da altura total			15 % inferiores da altura total							
	(L1-L2)/L1		Verif.	(L3+L1)/L		Verif.	(L3+L1)/L		Verif.	(L-L2)/L		(L1-L2)/L1		Verif.
	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y	X	Y	
8			OK			OK			OK					OK
7			OK			OK			OK					OK
6			OK			OK			OK					OK
5			OK			OK			OK					OK
4			OK			OK			OK					OK
3			OK			OK			OK					OK
2			OK			OK			OK					OK
1			OK			OK			OK					OK
0			OK			OK			OK					OK

4. Critério: Irregularidades devidas aos enchimentos de alvenaria

Devida a presença aproximadamente igual em altura das paredes de enchimento o edifício foi considerado como sem irregularidade em altura de enchimentos em alvenaria.

O Quadro 18 apresenta os resultados da verificação dos critérios de regularidade em altura do edifício analisado.

Quadro 18 - Resumo De Regularidade Em Altura

REGULARIDADE EM ALTURA AVALIADA PELO EC8		
	Critérios	**S/N**
1	Sistemas resistentes a ações laterais (núcleos, paredes, pórticos) continuo até ao topo?	Sim
2	a) Rigidez lateral constante ou redução gradual?	**Não**
	b) Massa constante ou redução gradual?	Sim
3	a) No caso de sucessivos recuos	-
	b) No caso de um único recuo	-
	c) No caso de recuos não simétricos	Sim
4	Ausência de irregularidades devido as paredes de enchimento?	Sim
	RESULTADO:	**IRREGULAR**

Na Tabela 31 é mostrado a diferença percentual do valor limite do critério para o valor encontrado para o edifício. Sendo positivo quando o critério é ultrapassado e negativo quando não.

Tabela 31 - Diferenças percentuais dos valores calculado e valor limite do critério

Critérios	*Direção*	*(%)*
Sistemas resistentes a ações laterais continuo até ao topo		0%
Rigidez lateral constante ou redução gradual	xx	501%
	yy	501%
Massa constante ou redução gradual		0%
Critério dos recuos e avanços		0%
Paredes de enchimento de alvenaria	xx	0%
	yy	0%

Em relação a classificação do sistema estrutural, o edifício analisado é classificado pela sua tipologia estrutural como Sistema de Paredes em ambas as direções de análise.

A estrutura do edifício analisado conduziu a uma classificação como edifício irregular em planta. Relativamente ao critério que avalia a variação de rigidez em altura nota-se que este classifica a estrutura como irregular devido a existência desta diferença.

4.5. DESCRIÇÃO ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO 4

4.5.1. Geometria Do Edifício 4

O edifício em estudo apresenta uma forma retangular, constituído por 7 pisos, acima do nível do solo, mais cobertura com pé-direito de 3,50 metros.

No Quadro 19 são apresentadas as informações gerais do edifício e nas Figuras 44 a 47 o modelo 3D e plantas.

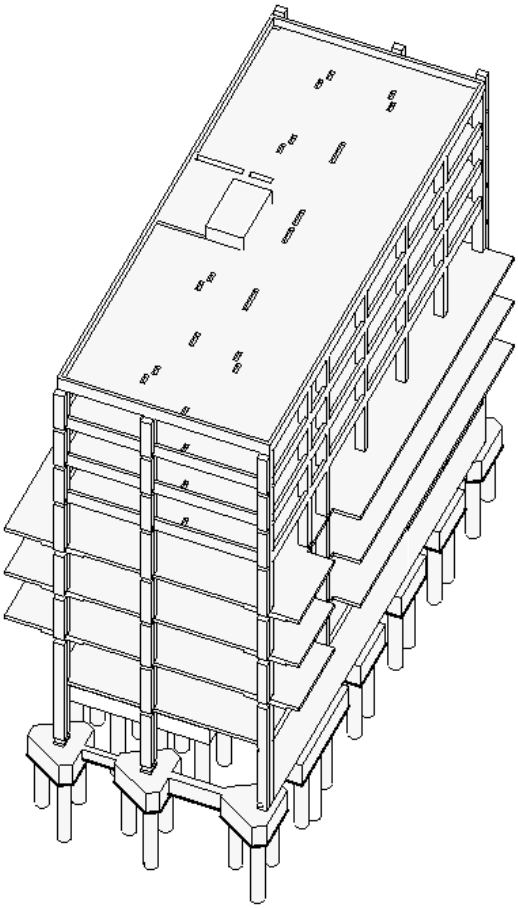


Fig. 44 - Modelo 3D Da Estrutura (Revit)

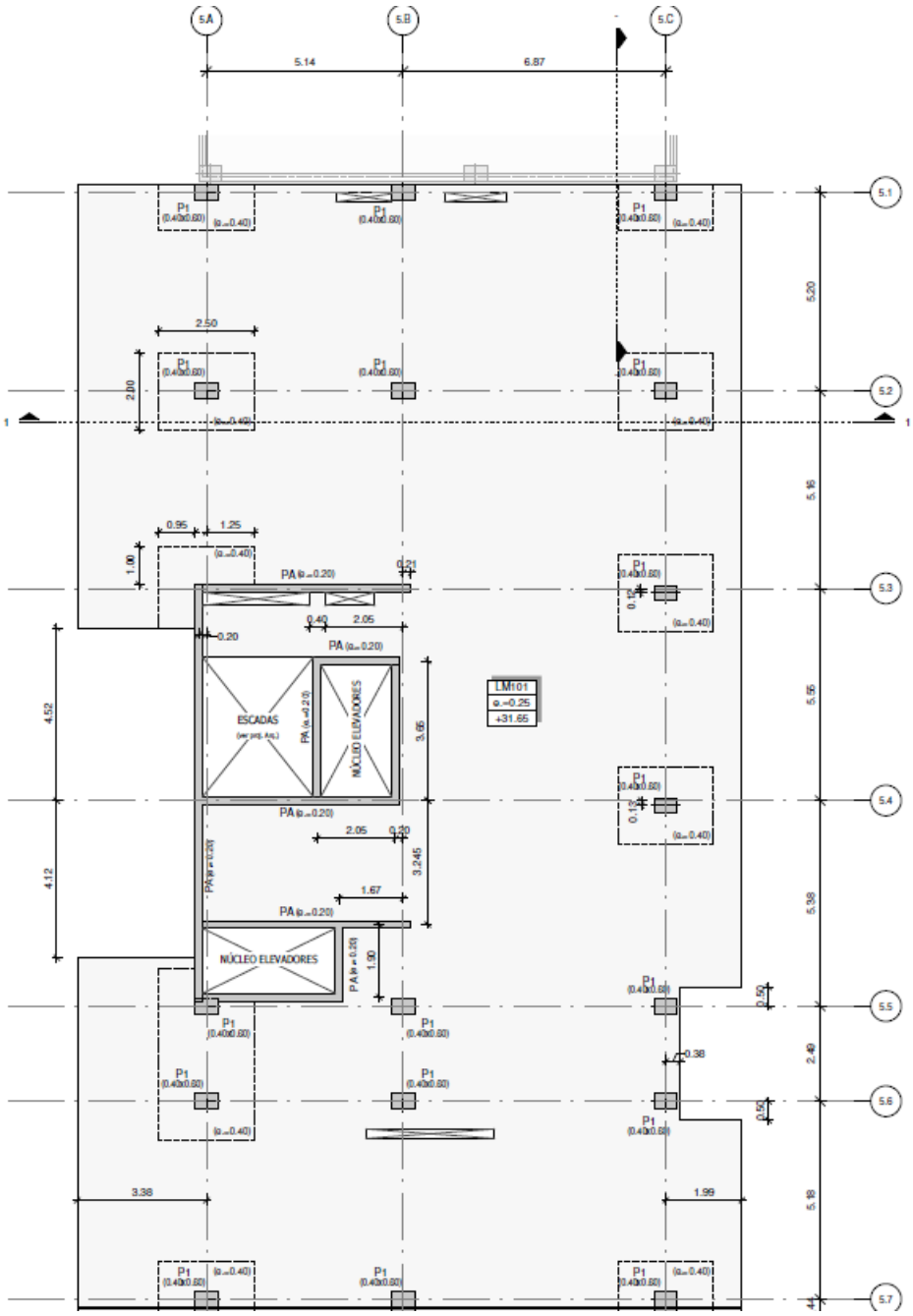


Fig. 45 - Planta estrutural Piso Tipo 1 (Revit)

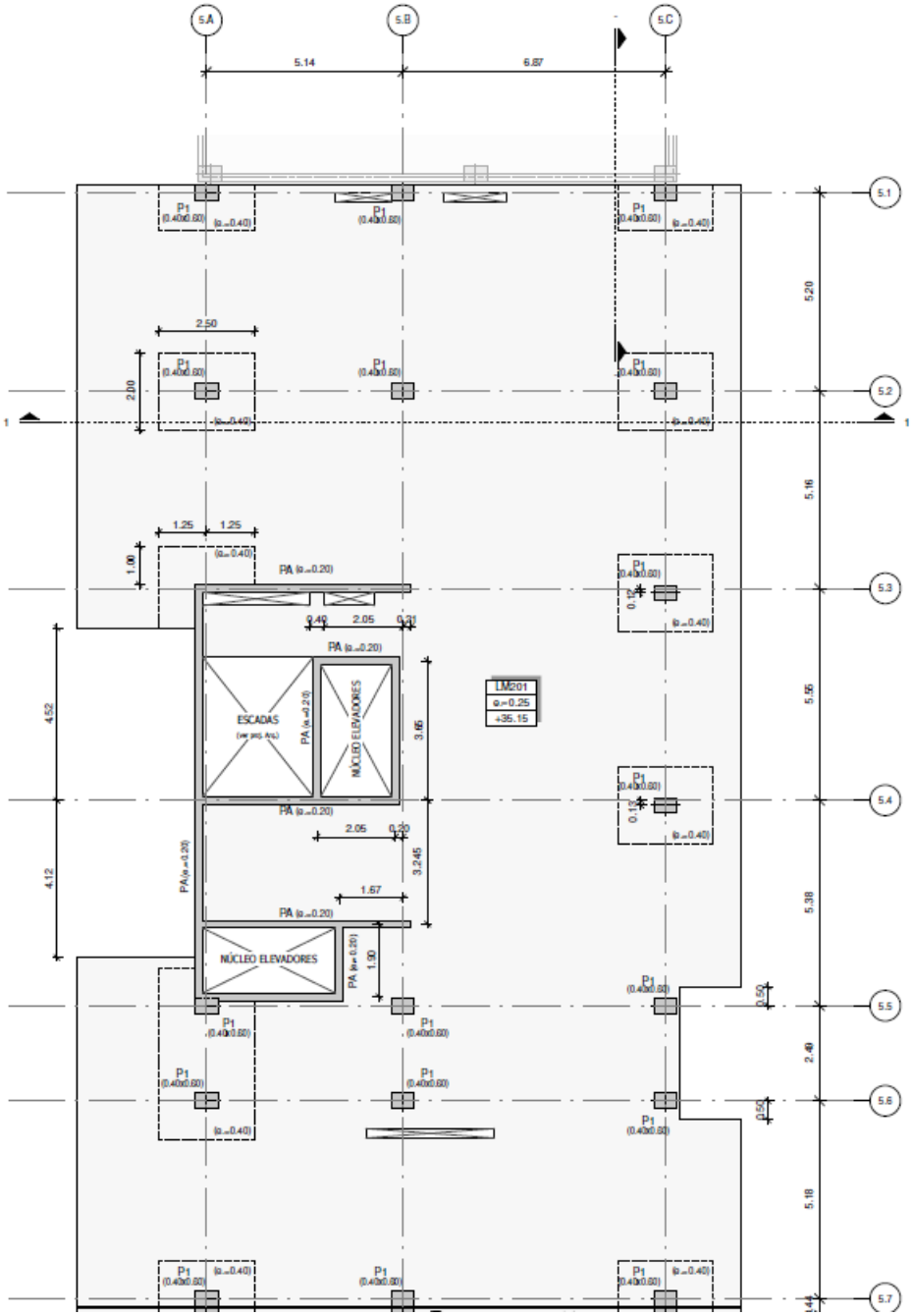


Fig. 46 - Planta estrutural Piso Tipo 2 (Revit)

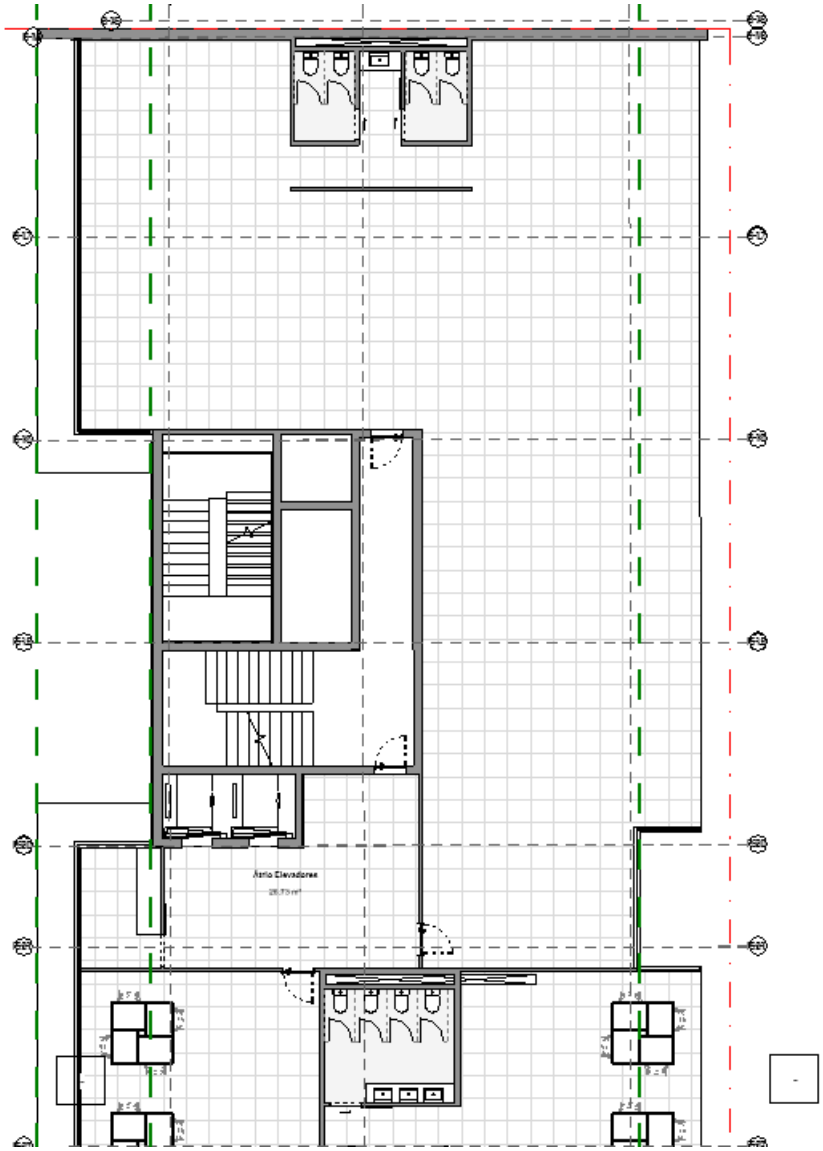


Fig. 47 - Planta de arquitetura (Revit)

Quadro 19 - Informações Gerais do Edifício (Revit)

Empreendimento	
Identificação:	E04
Nome do empreendimento:	Residencial Parque Oriente2
Localização:	Porto
Tipo de uso:	Habitacional
Ano de Projeto:	2019
Ano de Construção:	-
Características Gerais	
Altura acima do solo (m):	29.59
Nº de pisos acima do solo:	7
Nº de pisos enterrados:	1
Pé-direito do 1º piso rés chão (m):	3.70
Pé-direito do piso tipo (m):	3.50
Características de Projeto Sísmico	
Norma de Projeto:	EC8
Zona sísmica:	1,3 e 2,3
Tipo de Terreno	C
Terreno Envolvente:	Plano
Classe de Ductilidade:	DCM (média)
Classe de Importância:	II
Coef. de comportamento, *q*:	2.50

4.5.2. Materiais Do Edifício 4

A classe de betão e aço utilizados, bem como seus parâmetros, estão materializados no Quadro 20, enquanto as características dos mesmos encontram-se no Quadro 21.

Quadro 20 - Materiais

QUADRO DE MATERIAIS

BETÃO

1 - Especificação conforme NP EN 206-1:2007 / E464-2007

Período de Vida Util do Projecto **50 Anos** - Classe Estrutural **S4** - Classe de Inspecção: **2**

	[CR]	[EA]	[TC]	[DA]	[CA]
Betão de Regularização e Limpeza:	**C12/15**	**X0 (P)**	**Cl 1,0**	**Dmax 22**	**S3**
Fundações e Elementos em Contacto com o Terreno:	**C25/30**	**XC3 (P)**	**Cl 0,4**	**Dmax 22**	**S3**
Restantes Elementos Interiores:	**C30/37**	**XC3 (P)**	**Cl 0,4**	**Dmax 22**	**S3**

[CR] - Classe de Resistência; [EA] - Classe de Exposição Ambiental; [TC] - Classe Teor de Cloretos
[DI] - Máxima Dimensão do Agregado de acordo com a NP EN 12620; [CA] - Classe de Abaixamento

Os enchimentos a executar sobre a laje de betão serão com Betão leve ou Betão Celular com peso específico inferior a 600kg/m³

ARMADURAS

1 - Materiais:
Aço em varão para armaduras ordinárias: A500NR SD fyk = 500MPa
Malha soldada: A500EL fyk = 500MPa

2 - Recobrimentos (Cnom.):
Fundações e elementos em contacto com o terreno..... 50 mm
Vigas, Pilares e Paredes..... 30 mm
Lajes e Escadas..... 30 mm

Quadro 21 - Características dos Materiais

Características dos Materiais	
PP do concreto (KN/m³):	25.00
Módulo de Elasticidade, *E*(Gpa):	
Pilares	15.00
Vigas	15.00
Lajes	15.00
Paredes	15.00
Alvenaria 1 (tijolo 11cm)	1.141
Alvenaria 2 (tijolo 15cm)	0.996
Alvenaria 3 (tijolo 20cm)	0.815
Alvenaria 4 (tijolo 25cm)	0.634
Alvenaria 5 (tijolo 30cm)	0.452

4.5.3. Informações Gerais Do Projeto Do Edifício 4

As informações gerais do projeto são apresentadas na Tabela 32, enquanto a Tabela 33 apresenta a classificação do sistema estrutural.

Tabela 32 - Informações Gerais Por Piso

	PISOS		
		Piso Tipo 1	**Piso Tipo 2**
Pé direito	(m)	3.70	3.50
Sistema Estrutural_lajes	-	Fungiforme maciça	Fungiforme maciça
Área da laje	(m^2)	435.59	342.09
Altura da laje, *h*	(m)	0.25	0.25
CP $_{PP}$	(KN/m2)	4.28	4.28
RCP	(KN/m2)	3.00	3.00
Sobrecargas	(KN/m2)	3.00	3.00
Massa da laje	(KN)	4.477.87	3.516.69
Tipo de Geometria	-	aprox. Retangular	aprox. Retangular
Dimensão MÍN em X	(m)	29.79	28.49
Dimensão MÁX em X	(m)	31.61	28.49
Dimensão MÍN em Y	(m)	6.73	12.01
Dimensão MÁX em Y	(m)	17.38	12.01
Centro de Gravidade, X_{CG}	(m)	20.81	18.27
Centro de Gravidade, Y_{CG}	(m)	10.53	9.39
Inércia da laje, I_X	(m^4)	4.879.76	4.101.66
Inércia da laje, I_Y	(m^4)	9.137.03	23.111.20
[1] Centro de Massa, X_{CM}	(m)	17.29	18.46
[1] Centro de Massa, Y_{CM}	(m)	10.04	10.00

Tabela 33 - Classificação Do Sistema Estrutural

	Relação Inércias		Classe Estrutural do Sistema	
Piso	IX,pilares / IX	IY,pilares / IY	Direção X	Direção Y
ÍMPAR	1.68%	0.41%	sist. paredes	sist. paredes
PARES	1.57%	0.38%	sist. paredes	sist. paredes

4.5.4. Regularidade Em Planta Do Edifício 4

1.Critério: Centro de rigidez

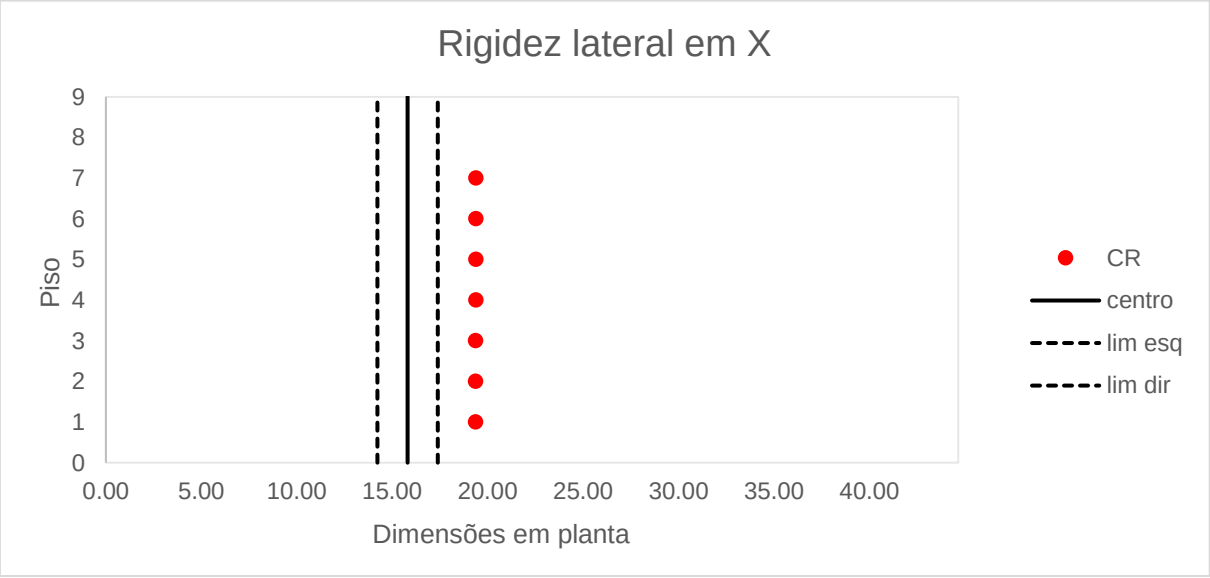


Fig. 48 - Rigidez lateral em X

Fig. 49 - Rigidez lateral em Y

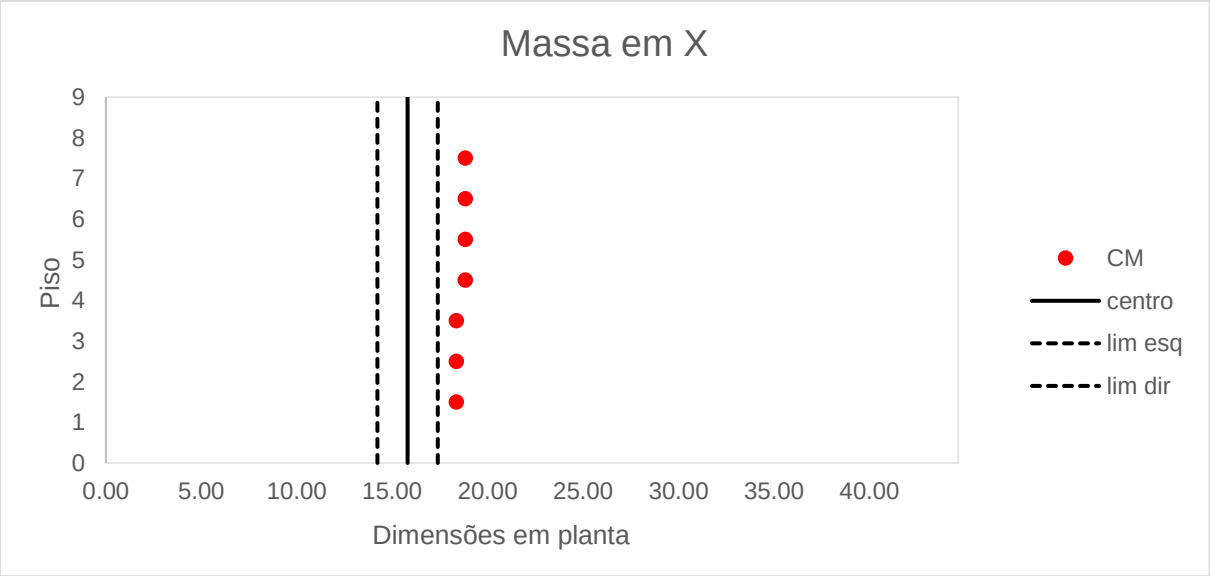


Fig. 50 - Massa em X

Fig. 51 - Massa em Y

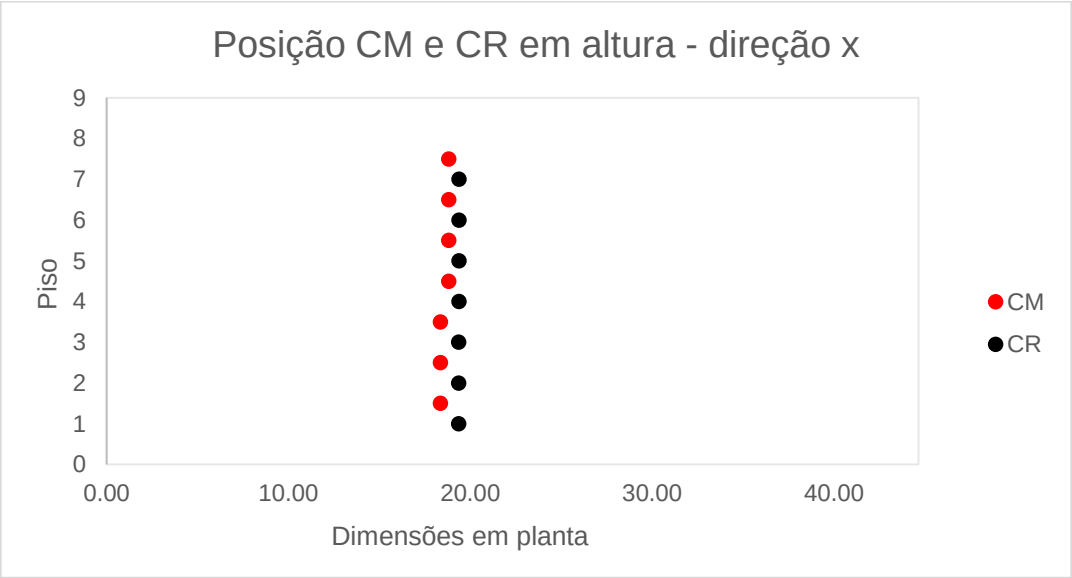


Fig. 52 - Posição CM e CR em altura – direção x

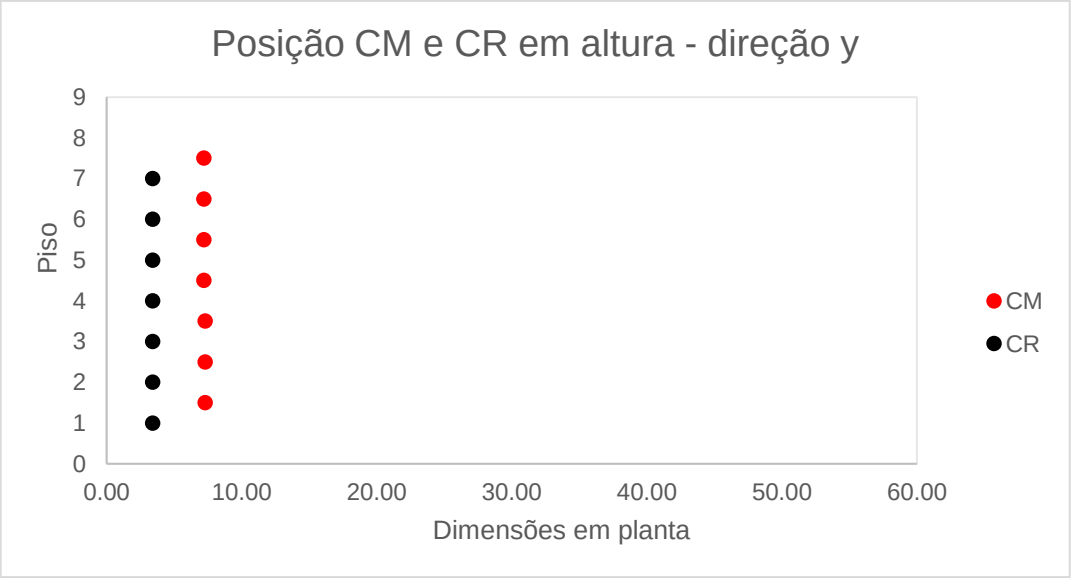


Fig. 53 - Posição CM e CR em altura – direção y

Este critério demonstra que o edifício se enquadra como irregular, pois o centro de rigidez varia em mais do que 5% da dimensão do edifício nessa direção (x e y).

2. Critério: Configuração Compacta

Na Tabela 34 mostra que o edifício se enquadra como de configuração compacta por esse critério.

Tabela 34 - Critério de Configuração Compacta

Piso	Área piso m²	Área entre o contorno do piso e a linha poligonal convexa m²	% da área do piso	Verificação pelo EC8
				Compacta?
Tipo 1	435.59	0.00	0.00%	Sim
Tipo 2	342.09	0.00	0.00%	Sim

3.Critério: Condição de Diafragma Rígido

As Lajes do edifício são classificadas como de diafragma rígido.

4. Critério: Esbelteza

De acordo com a Tabela 35 o critério de esbelteza não é cumprido.

Tabela 35 - Critério De Esbelteza

Piso	$\lambda = L_{máx}/L_{mín}$	Verificação pelo EC8
Tipo 1	1.82	Sim
Tipo 2	2.37	Sim
	Dmáx ↑	
	Dmin ↓	
Tipo 1	4.43	Não
Tipo 2	2.37	Sim

5. Critério: Excentricidade estrutural e raio de torção:

De acordo com a Tabela 36 o critério raio de torção para x e excentricidade estrutural e raio de torção para y não são cumpridos.

Tabela 36 - Critério De Excentricidade Estrutural e Raio de Torção

Piso	ls	$e_{ox} \leq 0,30 * r_X$			$r_x > ls$		$e_{oy} \leq 0,30 * r_Y$			$r_Y > ls$	
		e_{ox}	$0,30 * r_x$	Sim/Não	r_x	Sim/Não	e_{oy}	$0,30 * r_y$	Sim/Não	r_y	Sim/Não
Tipo 1	5.67	2.08	0.88	**Não**	2.93	**Não**	6.63	0.65	**Não**	2.16	**Não**
Tipo 2	8.92	0.93	0.86	**Não**	2.86	**Não**	6.59	0.63	**Não**	2.11	**Não**

6. Critério: Sistemas resistentes:

Foi constatado que o sistema resistente é continuo até o topo.

7. Critério: Deformações:

Não foi constatada tal irregularidade na estrutura de sistema de paredes.

8. Critério: Irregularidades devidas aos enchimentos de alvenaria

Devida a presença aproximadamente simétrica em planta das paredes de enchimento o edifício foi considerado como sem irregularidade em planta de enchimentos em alvenaria.

O Quadro 22 apresenta um resumo dos resultados da verificação dos critérios de regularidade do edifício analisado, pelo EC8.

Quadro 22 - Regularidade em Planta Avaliada Pelo EC8

REGULARIDADE EM PLANTA AVALIADA PELO EC8		
	Critérios	**S/N**
1	a) Rigidez Lateral aproximadamente simétrica?	**Não**
	b) Massa aproximadamente simétrica?	**Não**
2	Configuração em planta é compacta?	Sim
3	Condição de diafragma rígido?	Sim
4	Esbelteza $\lambda = L_{max}/L_{min}$?	Sim
5	a) $e_{ox} \leq 0{,}30 * r_X$?	Sim
	b) $r_X > ls$?	**Não**
	c) $e_{oy} \leq 0{,}30 * r_Y$?	**Não**
	d) $r_Y > ls$?	**Não**
6	Sistemas resistentes a ações laterais (núcleos, paredes, pórticos) continuo até ao topo?	Sim
7	Deformações de cada sistema devidas a cargas horizontais não são muito diferentes?	Sim
8	Ausência de irregularidades devido as paredes de enchimento?	Sim
	RESULTADO:	**IRREGULAR**

Na Tabela 37 é mostrado a diferença percentual do valor limite do critério para o valor encontrado para o edifício. Sendo positivo quando o critério é ultrapassado e negativo quando não.

Tabela 37 - Diferenças percentuais dos valores calculado e valor limite do critério

Critérios	*Direção*	*(%)*
Rigidez lateral aproximadamente simétrica	XX	12%
	YY	56%
Massa aproximadamente simétrica	XX	8%
	YY	8%
Configuração em planta compacta		0%
Condição de diafragma rígido	XX	0%
	YY	0%
Esbelteza		10%
Critério de excentricidade estrutural e raio de torção	XX	67%
	YY	90%
Paredes de enchimento de alvenaria	XX	0%
	YY	0%

4.5.5. Regularidade Em Altura Do Edifício 4

1. Critério: Sistemas resistentes:

Foi constatado que o sistema resistente é continuo até o topo.

2. Critério: Rigidez Lateral e Massa

De acordo com a Tabela 38, o critério de rigidez lateral e massa não é cumprido sendo constatada essa irregularidade.

Tabela 38 - Critério De Rigidez Lateral e Massa

Piso	Peso correspondente à Massa (KN)	Variação da massa (%)	Verif.	Rigidez lateral X ($x10^6$ KN/m)	Redução rigidez X (%)	Verif.	Rigidez lateral Y ($x10^6$ KN/m)	Redução rigidez Y (%)	Verif.
7	4.260.55	0.00%	OK	31.78	0.00%	OK	33.91	0.00%	OK
6	4.260.55	0.00%	OK	31.78	0.00%	OK	33.91	0.00%	OK
5	4.260.55	0.00%	OK	31.78	53.89%	FALSO	33.91	-28.24%	FALSO
4	4.260.55	29.17%	FALSO	68.92	26.03%	FALSO	26.44	26.03%	FALSO
3	6.014.86	0.00%	OK	93.17	0.00%	OK	35.74	0.00%	OK
2	6.014.86	0.00%	OK	93.17	0.00%	OK	35.74	0.00%	OK
1	6.014.86			93.17		OK	35.74		

3. Critério: Recuos

De acordo com a Tabela 39, o critério de recuos não é cumprido sendo constatada essa irregularidade.

Uma vez que a dimensão do recuo ultrapassa 20% da dimensão em planta.

Tabela 39 - Critério De Recuos

Piso	A soma dos recuos não simétricos em cada direção				
	(L-L2)/L		(L1-L2)/L1		Verif.
	X	Y	X	Y	
8					OK
7				0%	OK
6				0%	OK
5				0%	OK
4				30.9%	FALSO
3				0.0%	OK
2				0.0%	OK
1				0.0%	OK
0					OK

4. Critério: Irregularidades devidas aos enchimentos de alvenaria

Devida a presença aproximadamente igual em altura das paredes de enchimento o edifício foi considerado como sem irregularidade em altura de enchimentos em alvenaria.

O Quadro 23 apresenta os resultados da verificação dos critérios de regularidade em altura do edifício analisado.

Quadro 23 - Resumo De Regularidade Em Altura

REGULARIDADE EM ALTURA AVALIADA PELO EC8		
	Critérios	**S/N**
1	Sistemas resistentes a ações laterais (núcleos, paredes, pórticos) continuo até ao topo?	Sim
2	a) Rigidez lateral constante ou redução gradual?	**Não**
	b) Massa constante ou redução gradual?	**Não**
3	a) No caso de sucessivos recuos	-
	b) No caso de um único recuo	-
	c) No caso de recuos não simétricos	Sim
4	Ausência de irregularidades devido as paredes de enchimento?	Sim
	RESULTADO:	**IRREGULAR**

Na Tabela 40 é mostrado a diferença percentual do valor limite do critério para o valor encontrado para o edifício. Sendo positivo quando o critério é ultrapassado e negativo quando não.

Tabela 40 - Diferenças percentuais dos valores calculado e valor limite do critério

Critérios	*Direção*	*(%)*
Sistemas resistentes a ações laterais continuo até ao topo		0%
Rigidez lateral constante ou redução gradual	XX	165%
	YY	40%
Massa constante ou redução gradual		0%
Critério dos recuos e avanços		50%
Paredes de enchimento de alvenaria	XX	0%
	YY	0%

Em relação a classificação do sistema estrutural, o edifício analisado é classificado pela sua tipologia estrutural como Sistema de Paredes em ambas as direções de análise.

A estrutura do edifício analisado conduziu a uma classificação como edifício irregular em planta. Relativamente ao critério que avalia a variação de rigidez em altura nota-se que este classifica a estrutura como irregular devido a existência desta diferença.

4.6. DESCRIÇÃO ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO 5

4.6.1. Geometria Do Edifício 5

O edifício em estudo apresenta uma forma retangular, constituído por 13 pisos, acima do nível do solo, mais cobertura com pé-direito de 3,15 metros.

No Quadro 24 são apresentadas as informações gerais do edifício e nas Figuras 54 a 56 o modelo 3D, plantas e vistas em corte da estrutura

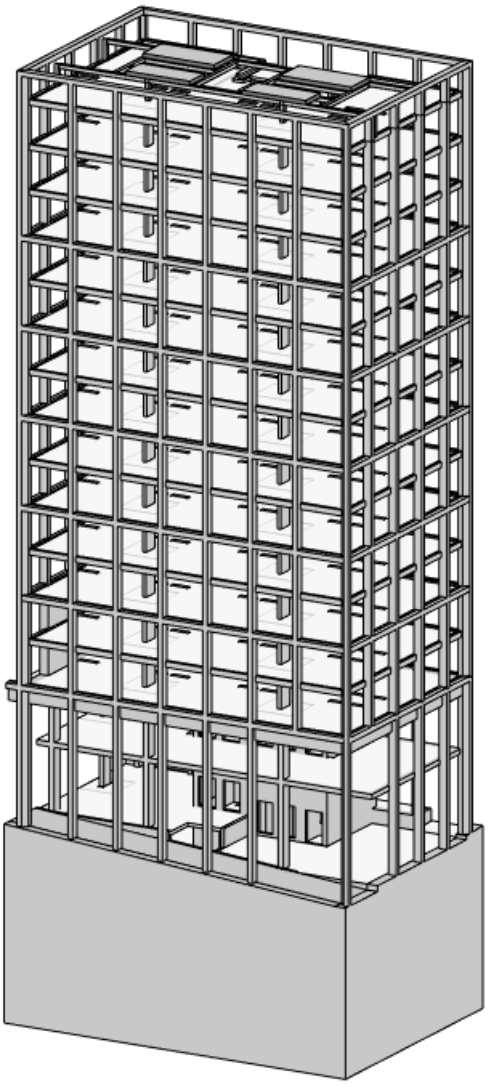


Fig. 54 - Modelo 3D Da Estrutura (Revit)

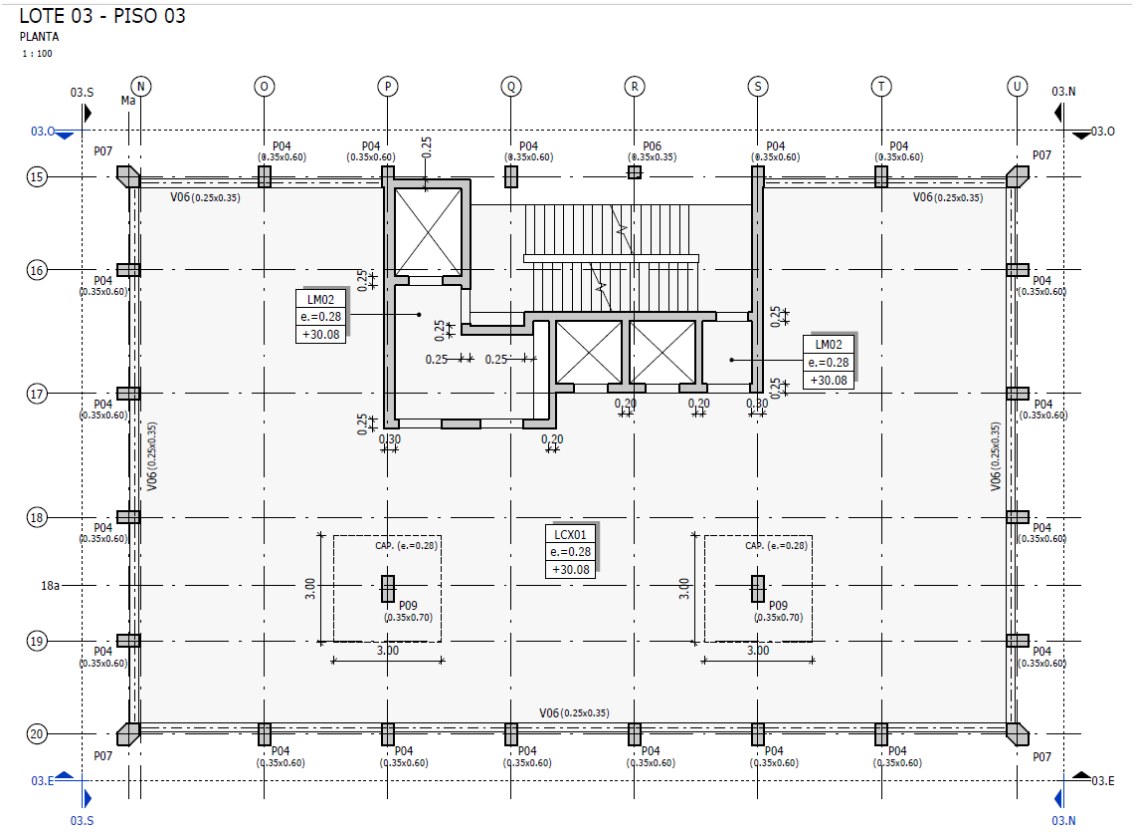


Fig. 55 - Planta estrutural Piso Tipo (Revit)

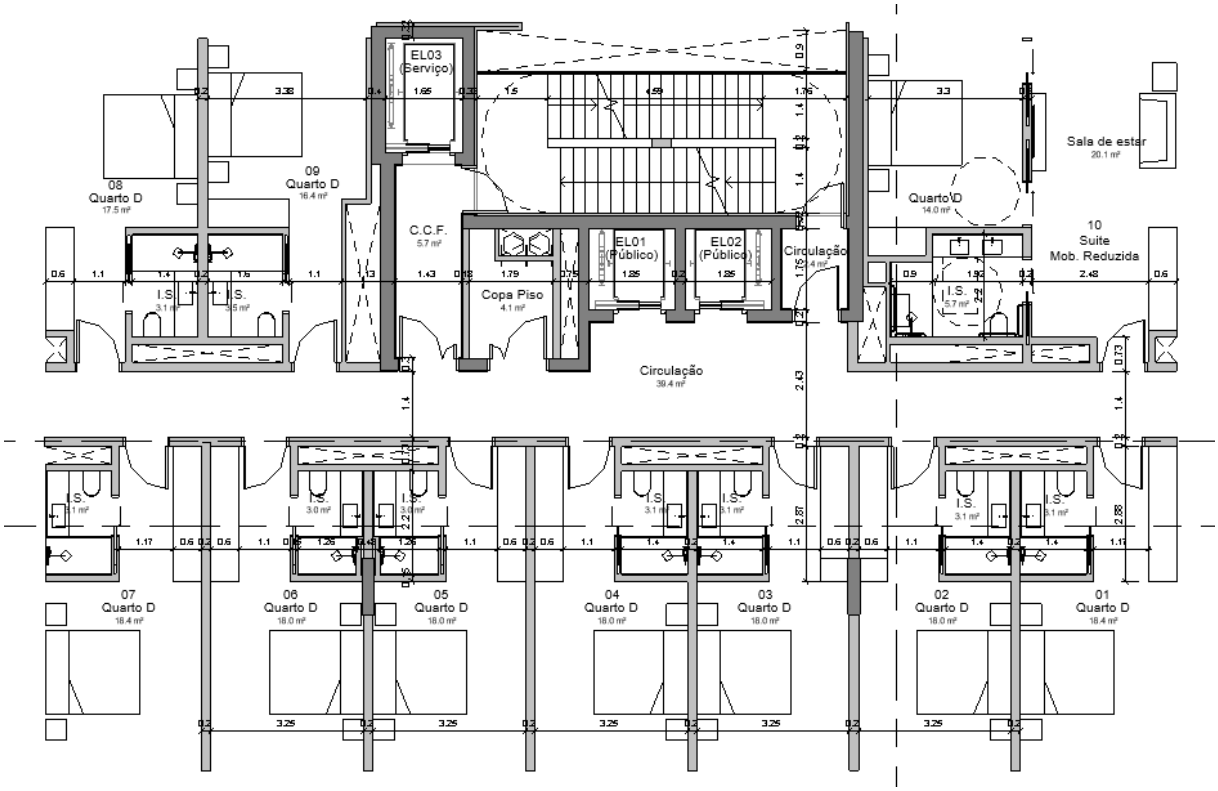


Fig. 56 - Planta de arquitetura (Revit)

Quadro 24 - Informações Gerais do Edifício (Revit)

Empreendimento	
Identificação:	E05
Nome do empreendimento:	Distrikt2
Localização:	Lisboa
Tipo de uso:	Habitacional
Ano de Projeto:	2019
Ano de Construção:	-
Características Gerais	
Altura acima do solo (m):	40.95
Nº de pisos acima do solo:	13
Nº de pisos enterrados:	3
Pé-direito do 1º piso rés chão (m):	3.15
Pé-direito do piso tipo (m):	3.15
Características de Projeto Sísmico	
Norma de Projeto:	EC8
Zona sísmica:	1.3 e 2.3
Tipo de Terreno	C
Terreno Envolvente:	Plano
Classe de Ductilidade:	DCM (média)
Classe de Importância:	II
Coef. de comportamento, *q*:	3.0

4.6.2. Materiais Do Edifício 5

A classe de betão e aço utilizados, bem como seus parâmetros, estão materializados no Quadro 25, enquanto as características dos mesmos encontram-se no Quadro 26.

Quadro 25 - Materiais

QUADRO DE MATERIAIS

BETÃO

1 - Especificação conforme NP EN 206-1:2007 / E464-2007

Período de Vida Util do Projecto **50 Anos** - Classe Estrutural **S4** - Classe de Inspecção: **2**

	[CR]	[EA]	[TC]	[DA]	[CA]
Betão de Regularização e Limpeza:	**C12/15**	**X0 (P)**	**Cl 1,0**	**Dmax 22**	**S3**
Fundações e Elementos em Contacto com o Terreno:	**C25/30**	**XC3 (P)**	**Cl 0,4**	**Dmax 22**	**S3**
Restantes Elementos Interiores:	**C30/37**	**XC3 (P)**	**Cl 0,4**	**Dmax 22**	**S3**

[CR] - Classe de Resistência; [EA] - Classe de Exposição Ambiental; [TC] - Classe Teor de Cloretos
[DI] - Máxima Dimensão do Agregado de acordo com a NP EN 12620; [CA] - Classe de Abaixamento

Os enchimentos a executar sobre a laje de betão serão com Betão leve ou Betão Celular com peso específico inferior a 600kg/m³

ARMADURAS

1 - Materiais:
Aço em varão para armaduras ordinárias: A500NR SD fyk = 500MPa
Malha soldada: A500EL fyk = 500MPa

2 - Recobrimentos (Cnom.):
Fundações e elementos em contacto com o terreno..... 50 mm
Vigas, Pilares e Paredes..... 30 mm
Lajes e Escadas..... 30 mm

Quadro 26 - Características dos Materiais

Características dos Materiais	
PP do concreto (KN/m³):	25.00
Módulo de Elasticidade, *E*(Gpa):	
Pilares	15.00
Vigas	15.00
Lajes	15.00
Paredes	15.00
Alvenaria 1 (tijolo 11cm)	1.141
Alvenaria 2 (tijolo 15cm)	0.996
Alvenaria 3 (tijolo 20cm)	0.815
Alvenaria 4 (tijolo 25cm)	0.634
Alvenaria 5 (tijolo 30cm)	0.452

4.6.3. Informações Gerais Do Projeto Do Edifício 5

As informações gerais do projeto são apresentadas na Tabela 41, enquanto a Tabela 42 apresenta a classificação do sistema estrutural.

Tabela 41 - Informações Gerais Por Piso

		PISOS				
		Pisos 1	**Piso 2**	**3 ao 6**	**7 ao 10**	**11 ao 13**
Pé direito	(m)	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
Sistema Estrutural_lajes	-	Fungiforme maciça	Fungiforme maciça	Fungiforme maciça	Fungiforme maciça	Fungiforme maciça
Área da laje	(m^2)	285.00	285.00	285.00	285.00	285.00
Altura da laje, *h*	(m)	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
CP $_{PP}$	(KN/m2)	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79
RCP	(KN/m2)	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
Sobrecargas	(KN/m2)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Massa da laje	(KN)	3.234.68	3.234.68	3.234.68	3.234.68	3.234.68
Tipo de Geometria	-	aprox. Retangular	aprox. Retangular	aprox. Retangular	aprox. Retangular	aprox. Retangular
Dimensão MÍN em X	(m)	24.67	24.67	24.67	24.67	24.67
Dimensão MÁX em X	(m)	24.67	24.67	24.67	24.67	24.67
Dimensão MÍN em Y	(m)	15.38	15.38	15.38	15.38	15.38
Dimensão MÁX em Y	(m)	15.38	15.38	15.38	15.38	15.38
Centro de Gravidade, X_{CG}	(m)	16.42	16.42	16.42	16.42	0.00
Centro de Gravidade, Y_{CG}	(m)	10.24	10.24	10.24	10.24	0.00
Inércia da laje, I_X	(m^4)	45.30	45.30	45.30	45.30	0.00
Inércia da laje, I_Y	(m^4)	116.55	116.55	116.55	116.55	0.00
[1] Centro de Massa, X_{CM}	(m)	12.52	12.52	12.03	12.53	12.53
[1] Centro de Massa, Y_{CM}	(m)	6.65	6.65	6.43	6.75	6.75

Tabela 42 - Classificação Do Sistema Estrutural

	Relação Inércias		Class Estrutural do Sistema	
Piso	$I_{X,pilares} / I_X$	$I_{Y,pilares} / I_Y$	**Direção X**	**Direção Y**
1	1.36%	2.49%	sist. paredes	sist. paredes
2	1.36%	2.49%	sist. paredes	sist. paredes
3 ao 6	1.27%	2.45%	sist. paredes	sist. paredes
7 ao 10	1.08%	2.44%	sist. paredes	sist. paredes
11 ao 13	1.08%	2.44%	sist. paredes	sist. paredes

3.5.4 Regularidade Em Planta Do Edifício 5

1ºCritério: Centro de rigidez

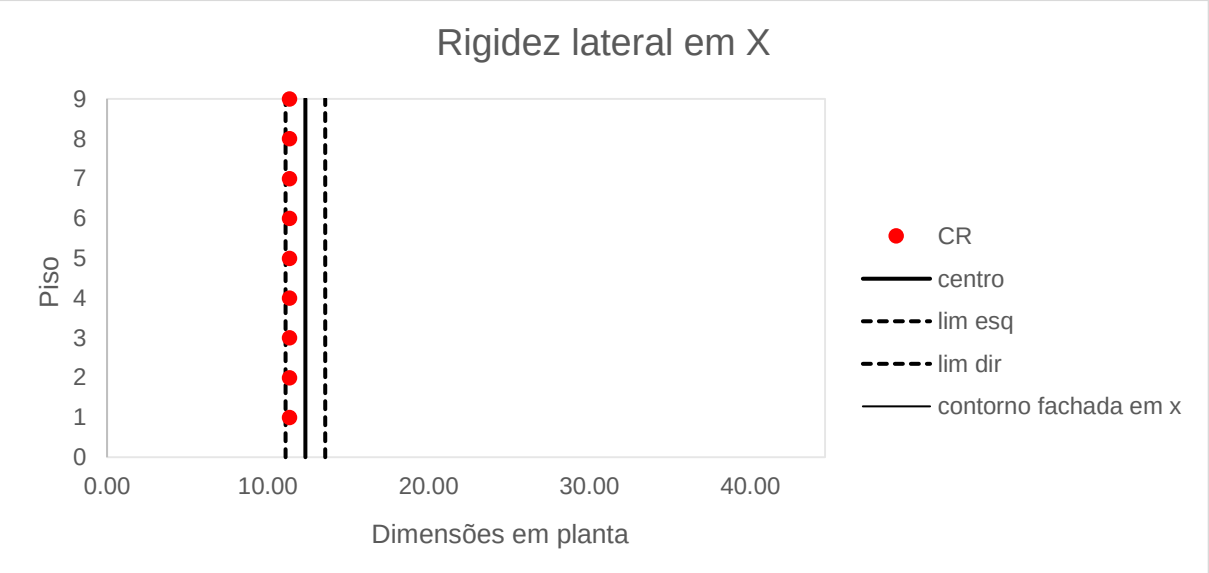


Fig. 57 - Rigidez lateral em X

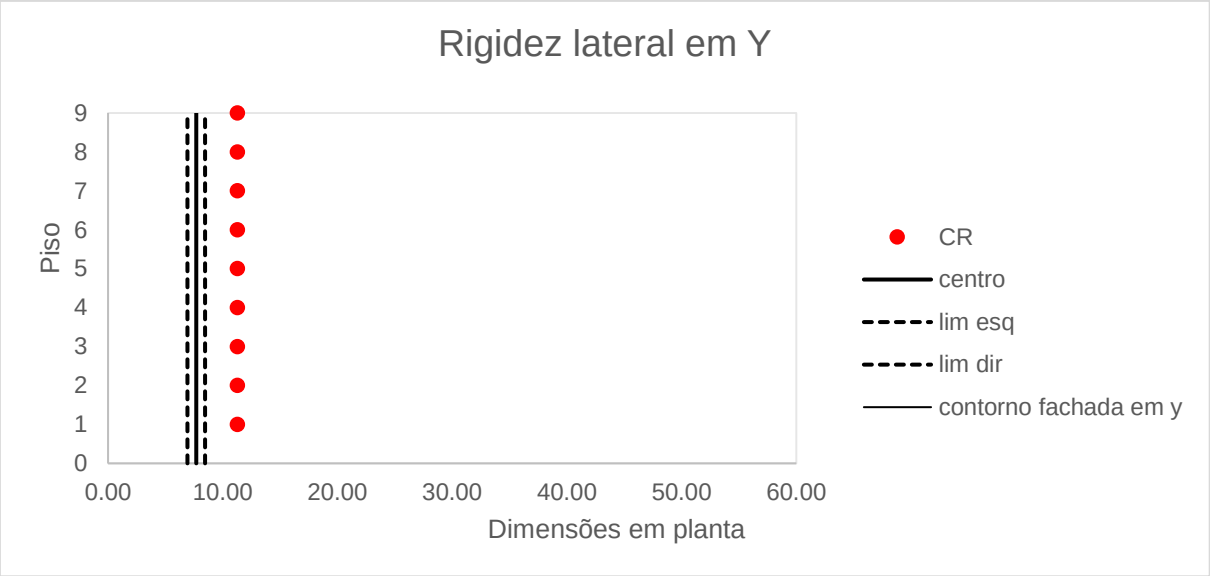


Fig. 58 - Rigidez lateral em Y

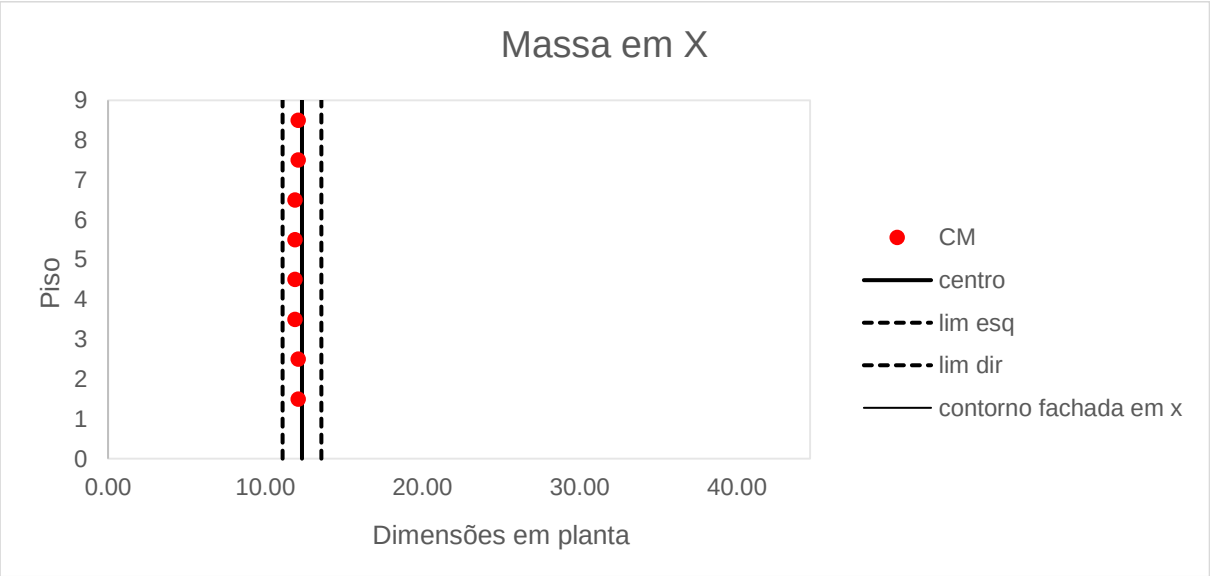


Fig. 59 - Massa em X

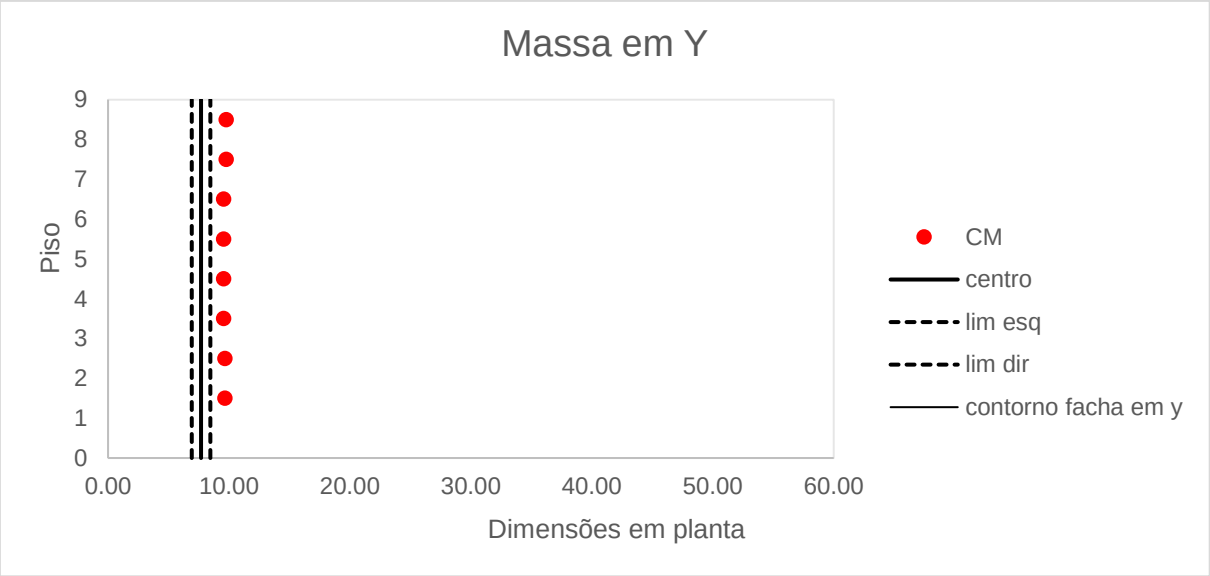


Fig. 60 - Massa em Y

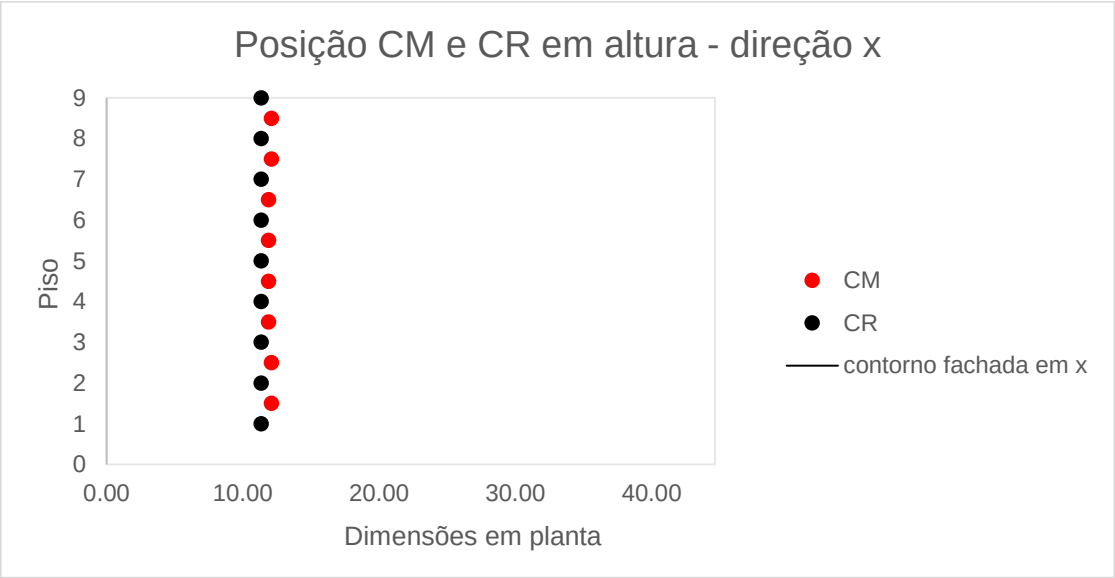


Fig. 61 - Posição CM e CR em altura – direção x

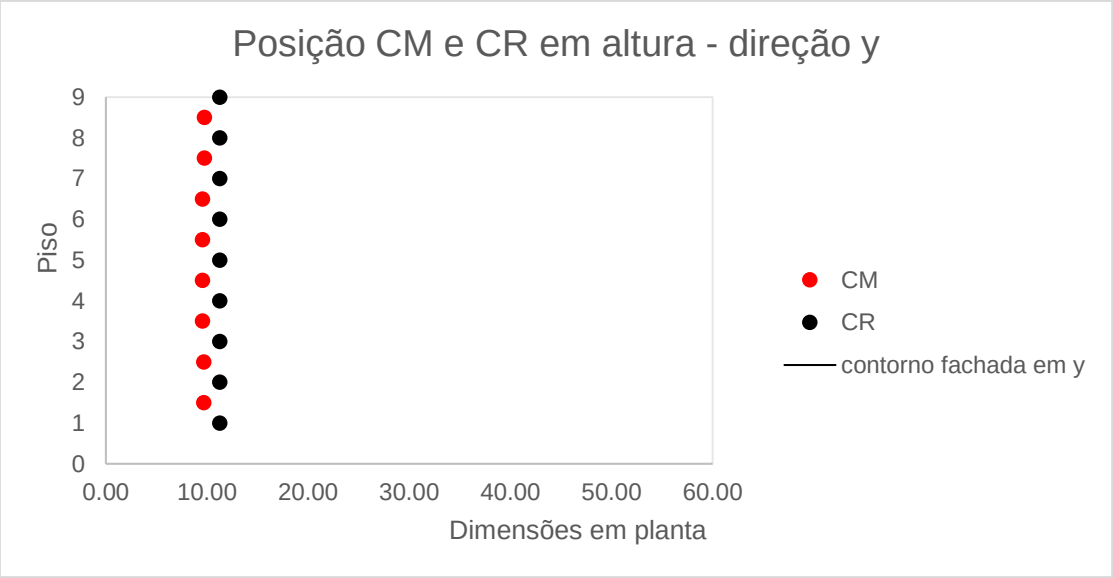


Fig. 62 - Posição CM e CR em altura – direção y

Este critério demonstra que o edifício se enquadra como irregular, pois o centro de rigidez varia em mais do que 5% da dimensão do edifício nessa direção (y).

2. Critério: Configuração Compacta

Na Tabela 43 mostra que o edifício se enquadra como de configuração compacta por esse critério.

Tabela 43 - Critério de Configuração Compacta

Piso	Área piso m²	Área entre o contorno do piso e a linha poligonal convexa m²	% da área do piso	Verificação pelo EC8
				Compacta?
1	285.00	0.00	0.00%	Sim
2	285.00	0.00	0.00%	Sim
3 ao 6	285.00	0.00	0.00%	Sim
7 ao 10	285.00	0.00	0.00%	Sim
11 ao 13	285.00	0.00	0.00%	Sim

3.Critério: Condição de Diafragma Rígido

As Lajes do edifício são classificadas como de diafragma rígido.

4. Critério: Esbelteza

De acordo com a Tabela 44 o critério de esbelteza é cumprido.

Tabela 44 - Critério De Esbelteza

Piso	$\lambda = L_{máx}/L_{mín}$	Verificação pelo EC8
1	1.60	Sim
2	1.60	Sim
3 ao 6	1.60	Sim
7 ao 10	1.60	Sim
11 ao 13	1.60	Sim

Dmáx ↑

Dmin ↓

1	1.60	Sim
2	1.60	Sim
3 ao 6	1.60	Sim
7 ao 10	1.60	Sim
11 ao 13	1.60	Sim

5. Critério: Excentricidade estrutural e raio de torção:

De acordo com a Tabela 45 o critério de excentricidade estrutural e raio de torção não são cumpridos.

Tabela 45 - Critério De Excentricidade Estrutural e Raio de Torção

Piso	ls	$e_{ox} \leq 0{,}30 * r_X$			$r_x > ls$		$e_{oy} \leq 0{,}30 * r_Y$			$r_Y > ls$	
		e_{ox}	$0{,}30 * r_x$	Sim/Não	r_x	Sim/Não	e_{oy}	$0{,}30 * r_y$	Sim/Não	r_y	Sim/Não
1	0.75	1.16	0.87	**Não**	2.89	**Sim**	4.63	1.52	**Não**	5.07	**Sim**
2	0.75	1.16	1.36	**Sim**	4.52	**Sim**	4.63	2.38	**Não**	7.92	**Sim**
3 ao 6	0.75	0.67	0.87	**Sim**	2.90	**Sim**	4.85	1.52	**Não**	5.08	**Sim**
7 ao 10	0.75	1.17	0.86	**Não**	2.87	**Sim**	4.54	1.51	**Não**	5.02	**Sim**
11 ao 13	0.00	1.17	0.64	**Não**	2.14	**Sim**	4.54	1.12	**Não**	3.75	**Sim**

6. Critério: Sistemas resistentes:

Foi constatado que o sistema resistente é continuo até o topo.

7. Critério: Deformações:

Não foi constatada tal irregularidade na estrutura de sistema de paredes.

8. Critério: Irregularidades devidas aos enchimentos de alvenaria

Devida a presença aproximadamente simétrica em planta das paredes de enchimento o edifício foi considerado como sem irregularidade em planta de enchimentos em alvenaria.

O Quadro 27 apresenta um resumo dos resultados da verificação dos critérios de regularidade do edifício analisado, pelo EC8.

Quadro 27 - Regularidade em Planta Avaliada Pelo EC8

REGULARIDADE EM PLANTA AVALIADA PELO EC8		
	Critérios	**S/N**
1	a) Rigidez Lateral aproximadamente simétrica?	**Não**
	b) Massa aproximadamente simétrica?	**Não**
2	Configuração em planta é compacta?	Sim
3	Condição de diafragma rígido?	Sim
4	Esbelteza $\lambda = L_{max}/L_{min}$?	Sim
5	a) $e_{ox} \leq 0{,}30 * r_X$?	**Não**
	b) $r_X > ls$?	**Não**
	c) $e_{oy} \leq 0{,}30 * r_Y$?	**Não**
	d) $r_Y > ls$?	**Não**
6	Sistemas resistentes a ações laterais (núcleos, paredes, pórticos) continuo até ao topo?	Sim
7	Deformações de cada sistema devidas a cargas horizontais não são muito diferentes?	Sim
8	Ausência de irregularidades devido as paredes de enchimento?	Sim
	RESULTADO:	**IRREGULAR**

Na Tabela 46 é mostrado a diferença percentual do valor limite do critério para o valor encontrado para o edifício. Sendo positivo quando o critério é ultrapassado e negativo quando não.

Tabela 46 - Diferenças percentuais dos valores calculado e valor limite do critério

Critérios	*Direção*	*(%)*
Rigidez lateral aproximadamente simétrica	XX	0%
	YY	33%
Massa aproximadamente simétrica	XX	0%
	YY	12%
Configuração em planta compacta		0%
Condição de diafragma rígido	XX	0%
	YY	0%
Esbelteza		10%
Critério de excentricidade estrutural e raio de torção	XX	45%
	YY	66%
Paredes de enchimento de alvenaria	XX	0%
	YY	0%

4.6.4. Regularidade Em Altura Do Edifício 5

1. Critério: Sistemas resistentes:

Foi constatado que o sistema resistente é continuo até o topo.

2. Critério: Rigidez Lateral e Massa

De acordo com a Tabela 47, o critério de rigidez lateral e massa é cumprido não sendo constatada essa irregularidade.

Tabela 47 - Critério De Rigidez Lateral e Massa

Piso	Peso correspondente à Massa (KN)	Variação da massa (%)	Verif.	Rigidez lateral X ($x10^6$ KN/m)	Redução rigidez X (%)	Verif.	Rigidez lateral Y ($x10^6$ KN/m)	Redução rigidez Y (%)	Verif.
11	3.234.68	0.00%	OK						
9	3.234.68	0.00%	OK	30.36	0.00%	OK	92.97	0.00%	OK
8	3.234.68	0.00%	OK	30.36	0.00%	OK	92.97	0.00%	OK
7	3.234.68	0.00%	OK	30.36	0.00%	OK	92.97	0.00%	OK
6	3.234.68	0.00%	OK	30.36	0.01%	OK	92.97	0.19%	OK
5	3.234.68	0.00%	OK	30.36	0.00%	OK	93.14	0.00%	OK
4	3.234.68	0.00%	OK	30.36	0.00%	OK	93.14	0.00%	OK
3	3.234.68	0.00%	OK	30.36	0.04%	OK	93.14	0.09%	OK
2	3.234.68	0.00%	OK	30.37	0.00%	OK	93.22	0.00%	OK
1	3.234.68			30.37		OK	93.22		

3. Critério: Recuos

De acordo com a Tabela 48, o critério de recuos é cumprido não sendo constatada essa irregularidade.

Tabela 48 - Critério De Recuos

Piso	Sucessivos recuos com simetria axial			Um único recuo						A soma dos recuos não simétricos em cada direção				
				15 % superiores da altura total			15 % inferiores da altura total							
	(L1-L2)/L1		Verif.	(L3+L1)/L		Verif.	(L3+L1)/L		Verif.	(L-L2)/L		(L1-L2)/L1		Verif.
	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y	X	Y	
8			OK			OK			OK					OK
7			OK			OK			OK					OK
6			OK			OK			OK					OK
5			OK			OK			OK					OK
4			OK			OK			OK					OK
3			OK			OK			OK					OK
2			OK			OK			OK					OK
1			OK			OK			OK					OK
0			OK			OK			OK					OK

4. Critério: Irregularidades devidas aos enchimentos de alvenaria

Devida a presença aproximadamente igual em altura das paredes de enchimento o edifício foi considerado como sem irregularidade em altura de enchimentos em alvenaria.

O Quadro 28 apresenta os resultados da verificação dos critérios de regularidade em altura do edifício analisado.

Quadro 28 - Resumo De Regularidade Em Altura

REGULARIDADE EM ALTURA AVALIADA PELO EC8		
	Critérios	**S/N**
1	Sistemas resistentes a ações laterais (núcleos, paredes, pórticos) continuo até ao topo?	Sim
2	a) Rigidez lateral constante ou redução gradual?	Sim
	b) Massa constante ou redução gradual?	Sim
3	a) No caso de sucessivos recuos	-
	b) No caso de um único recuo	-
	c) No caso de recuos não simétricos	Sim
4	Ausência de irregularidades devido as paredes de enchimento?	Sim
	RESULTADO:	**REGULAR**

Na Tabela 49 é mostrado a diferença percentual do valor limite do critério para o valor encontrado para o edifício. Sendo positivo quando o critério é ultrapassado e negativo quando não.

Tabela 49 - Diferenças percentuais dos valores calculado e valor limite do critério

Critérios	*Direção*	*(%)*
Sistemas resistentes a ações laterais continuo até ao topo		0%
Rigidez lateral constante ou redução gradual	XX	-95%
	YY	-95%
Massa constante ou redução gradual		0%
Critério dos recuos e avanços		0%
Paredes de enchimento de alvenaria	XX	0%
	YY	0%

Em relação a classificação do sistema estrutural, o edifício analisado é classificado pela sua tipologia estrutural como Sistema de Paredes em ambas as direções de análise.

A estrutura do edifício analisado conduziu a uma classificação como edifício irregular em planta. Relativamente ao critério que avalia a variação de rigidez em altura nota-se que este classifica a estrutura como regular devido a variação não passar do valor limite.

5
ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1. COMPARAÇÕES DE CASOS DE ESTUDO

O Quadro 29 mostra um resumo das classificações de cada critério para regularidade em planta. Onde nota-se que os critérios 1 e 5 são os mais restritivos para os edifícios analisado, pois todos são classificados como não regulares por estes critérios, nota-se que um fator comum nos edifícios analisados foi as paredes dos núcleos de caixa de escadas e elevadores são afastadas do centro na direção de maior comprimento dos edifícios. Resultando em menor simetria e maior excentricidade em planta.

O Quadro 30 mostra um resumo das classificações de cada critério para regularidade em altura. Onde nota-se que os critérios 2 e 3 são os mais restritivos para os edifícios analisado, pois alguns destes são classificados como não regulares por estes critérios, nota-se que um pé-direito maior mudando a rigidez do piso ou recuos são os fatores que causaram tais classificações possíveis. Os edifícios que tinham pé direito aproximadamente igual ao longo da altura ou a não presença de recuos tiveram a classificação como regular.

Os gráficos da Figura 63 e Figura 64 representam a diferença percentual do valor calculado no critério e o valor limite do critério da norma. Valores positivos representam que o valor limite foi ultrapassado, quanto maior o rácio mais o limite foi ultrapassado e valores negativos representam que não foi ultrapassado o valor do critério, quanto maiores os rácios mais se afastam do valor limite. Observa-se que para os diferentes edifícios temos gamas de valores diferentes com a mesma classificação como irregulares. Fator que não é citado em norma, porém da uma indicação do quanto a estrutura é irregular e é uma indicação de como a estrutura pode se comportar.

Nota-se que a maior parte das estruturas foram classificadas como irregulares em planta e altura mesmo sendo estruturas relativamente regulares em comparação a outras realizadas nos dias atuais, mostrando que a norma apresenta limites estreitos para a consideração de uma estrutura como regular.

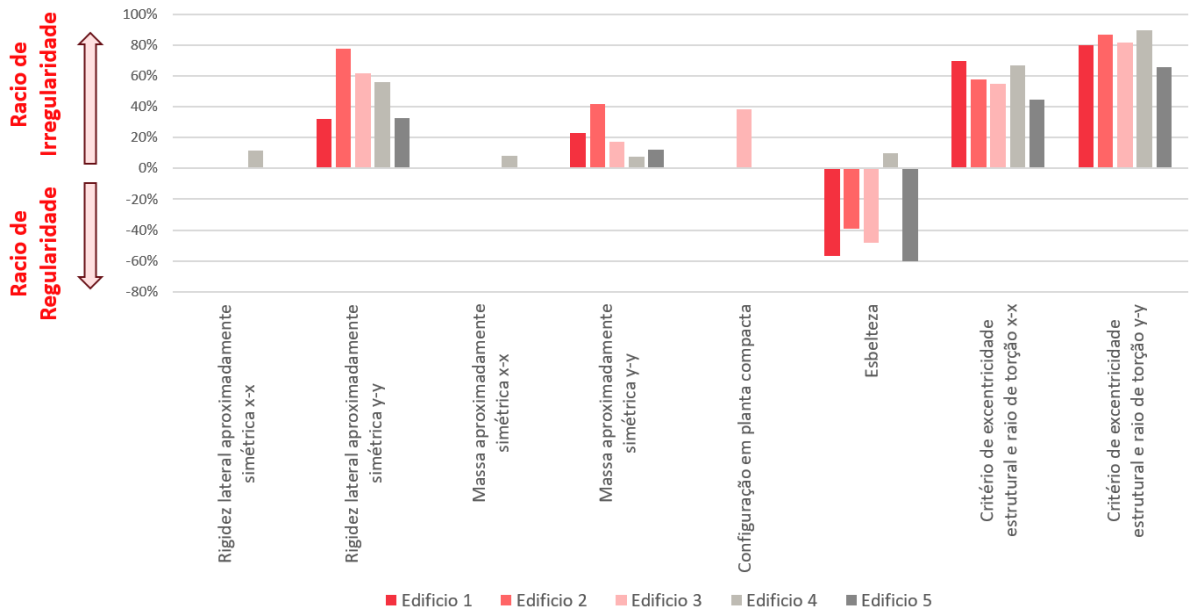
Quadro 29 - Regularidade em planta avaliada pelo EC8

REGULARIDADE EM PLANTA AVALIADA PELO EC8						
Critérios		**Edifício 1**	**Edifício 2**	**Edifício 3**	**Edifício 4**	**Edifício 5**
1	a) Rigidez Lateral aproximadamente simétrica?	Não	Não	Não	Não	Não
	b) Massa aproximadamente simétrica?	Não	Não	Não	Não	Não
2	Configuração em planta é compacta?	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
3	Condição de diafragma rígido?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
4	Esbelteza $\lambda = L_{max}/L_{min}$?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
5	a) $e_{ox} \leq 0{,}30 * r_X$?	Sim	Não	Sim	Sim	Não
	b) $r_X > ls$?	Não	Não	Não	Não	Não
	c) $e_{oy} \leq 0{,}30 * r_Y$?	Não	Não	Não	Não	Não
	d) $r_Y > ls$?	Não	Não	Não	Não	Não
6	Sistemas resistentes a ações laterais (núcleos, paredes, pórticos) contínuo até ao topo?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
7	Deformações de cada sistema devidas a cargas horizontais não são muito diferentes?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
8	Ausência de irregularidades devido as paredes de enchimento?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
RESULTADO:		**IRREGULAR**	**IRREGULAR**	**IRREGULAR**	**IRREGULAR**	**IRREGULAR**

Quadro 30 - Regularidade em Altura avaliada pelo EC8

REGULARIDADE EM ALTURA AVALIADA PELO EC8						
Critérios		**Edifício 1**	**Edifício 2**	**Edifício 3**	**Edifício 4**	**Edifício 5**
1	Sistemas resistentes a ações laterais (núcleos, paredes, pórticos) contínuo até ao topo?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
2	a) Rigidez lateral constante ou redução gradual?	Sim	**Não**	**Não**	**Não**	Sim
	b) Massa constante ou redução gradual?	Sim	**Não**	Sim	**Não**	Sim
3	a) No caso de sucessivos recuos	-	-	-	-	-
	b) No caso de um único recuo	-	-	-	-	-
	c) No caso de recuos não simétricos	Sim	**Não**	Sim	Sim	Sim
4	Ausência de irregularidades devido as paredes de enchimento?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
RESULTADO:		**REGULAR**	**IRREGULAR**	**IRREGULAR**	**IRREGULAR**	**REGULAR**

Fig. 63 - Critérios edifício planta

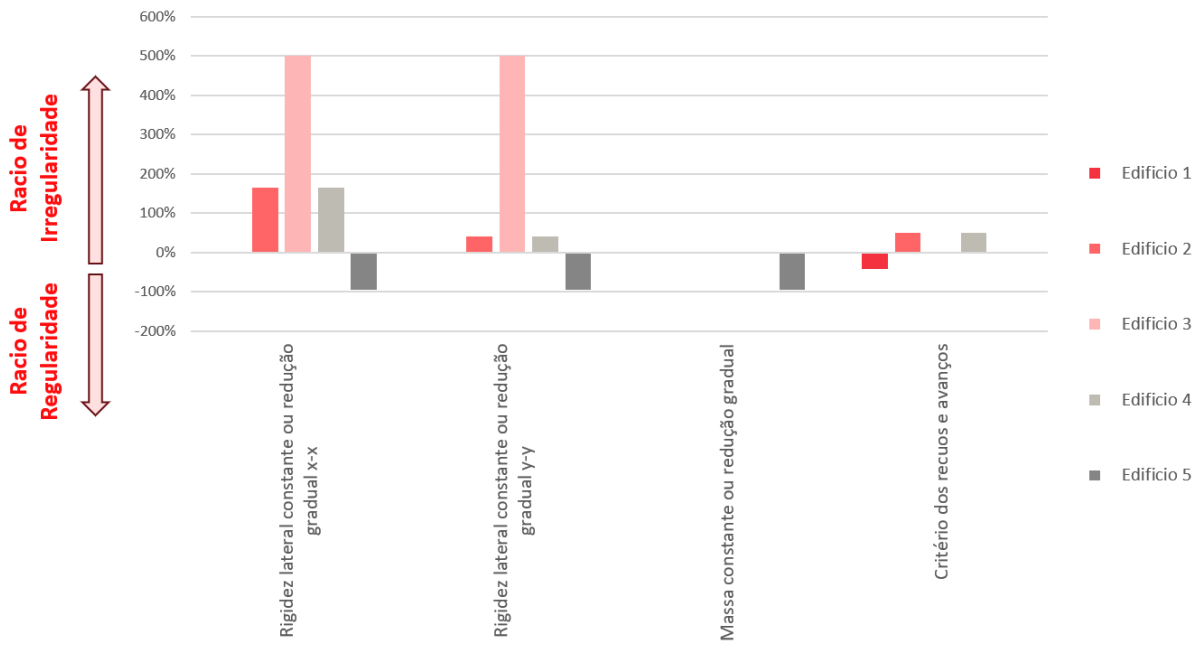


- **Critérios Qualitativos:**

Condição diafragma rígido

Paredes de alvenaria

Fig. 64 - Critérios edifícios altura



- **Critérios Qualitativos:**

Sistemas resistentes até o topo

Paredes de enchimento de alvenaria

6
CONCLUSÃO

6.1. CONCLUSÕES

O principal objetivo deste estudo foi a classificação da regularidade em planta e altura de acordo com os critérios estipulados no EC8, a partir dos geométricos da estrutura, criando e organizando um conjunto de dados e informações, com os principais parâmetros e requisitos verificados durante o dimensionamento sísmico de estruturas irregulares baseando-se em projetos reais. De forma a através dos resultados, ampliar os conhecimentos sobre o assunto proposto, a fim de embasar futuras aplicações e servir de base para desenvolver uma visão mais clara e objetiva.

Com base na análise crítica e exploratória realizada por meios de casos de estudo nessa dissertação, onde foram trabalhadas análises de rácio de regularidade, por meio de diferenças percentuais dos valores limites dos critérios de norma, com os valores obtidos da análise de regularidade de cada edifício, foi possível perceber que as normas estabelecidas no EC8, não levam em conta na classificação de regularidade a diferença de estruturas com pouca irregularidade de estruturas muito irregulares, somente as classificando de forma mais abrangente como irregulares. Com isso, apresentam-se algumas dificuldades e controvérsias encontradas no meio do percurso, verificando algumas questões em relação as implicações que o código EC8 impõem, para o dimensionamento deste tipo de estruturas de betão armado. Uma vez que uma correta classificação de um edifício em planta e altura traz grande vantagem aos projetistas, que passam a estabelecer com isso, o correto dimensionamento a ser utilizado, garantindo assim, maior segurança às construções, e a possibilidade de adotar um coeficiente de comportamento mais alto, conduzindo a estrutura a produzir menores forças de inércia.

Este trabalho apresenta casos de estudo acrescentando uma base de dados para análises de regularidades de edifício em que isso pode ser continuado visando contribuir com o entendimento e melhor aplicação da norma, facilitando a tomada de decisões e o dimensionamento correto das estruturas que exige um entendimento profundo das normas presentes no EC8.

Essa questão da classificação das estruturas, deve ser avaliada com muita cautela e bom senso, pois em muitos casos ela se mostra bem complexa e altamente necessária. A utilização do EC8 não deve ser vista como uma imposição para ser realizadas mais análises, pois não se pode desprezar a experiência adquirida por um Engenheiro ao longo de sua vida profissional.

Referências Bibliográficas

Arnold, C. – Building configuration: The architecture of seismic design.1984. 17(2).

Athanassiadou C, Bervanakis S (2005) Seismic behaviour of R/C buildings with setbacks designed to EC8. In: Proceedings of the 4th European workshop on the seismic behaviour of irregular and complex structures, CD ROM. Thessaloniki, August

Azevedo, J. (2008). *Caracterização da acção sísmica*. In M. Lopes (2008). Sismos e Edifícios (pp. 141-187). Lisboa: Edições Orion

Bento, R. (2008). *Análise sísmica de estruturas*. In M. Lopes (2008). Sismos e Edifícios (pp. 269-339). Lisboa: Edições Orion

CEN (2010). NP EN 1998-1 *Eurocódigo 8: Projectos de estruturas para resistência aos sismos – arte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios*. Caparica: Instituto Português da Qualidade.

Cosenza, E., Manfredi, G., & Realfonzo, R. (2000). *Torsional effects and regulatory conditions in RC buildings*. Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 1-8

Das, S. (2000). *Seismic design of vertically irregular reinforced concrete structures, in Department of Civil Engineering*. 2000: North Carolina State University: Raleigh.

De-la-Colina J (2003) Assessment of design recommendations for torsionally unbalanced multistorey buildings. Earthq Spectra 19:47–66

De Luca, F., et al. The structural role played by masonry infills on RC building performances after the 2011 Lorca, Spain, earthquake. Bulletin of Earthquake Engineering, 2014. 12(5): p. 1999-2026.

Dutta SC, Das PK (2002a) Inelastic seismic response of code-designed reinforced concrete asymmetric buildings with strength degradation. Eng Struct 24:1295–1314

Dutta SC, Das PK (2002b) Validity and applicability of two simple hysteresis models to assess progressive seismic damage in R/C asymmetric buildings. J Sound Vibrat 257:753–777

Elnashai, A.S.; Di Sarno, L. – *Fundamentals of earthquake engineering*.2008: Wiley New York.

Fragiadakis M, Vamvatsikos D, Papadrakakis M (2005) Evaluation of the influence of vertical stiffness irregularities on the seismic response of a 9-story steel frame. In: Proceedings of the 4th European workshop on the seismic behaviour of irregular and complex structures.

Gokdemi, H., Ozbasaran, H., Dogan, M., Unluoglu, E., Albayrak, U., (2013). Effects of Torsional Irregularity to Structures during Earthquakes. Engineering Failure Analysis 35, 713-717.

Kappos, A.; Scott, S. (1998) – Seismic assessment of an R/C building with setbacks using nonlinear static and dynamic analysis procedures. 6th SECED Conference, Seismic Design Practice into the Next Century,Oxford, UK.

Khoury W, Rutenberg A, Levy R (2005) On the seismic response of asymmetric setback perimeter-frame structures. In: Proceedings of the 4th European workshop on the seismic behaviour of irregular and complex structures, CD ROM. Thessaloniki

Lopes, M. (2008). Concepção de estruturas. In M. Lopes (2008). Sismos e Edifícios (pp. 189-268). Lisboa: Edições Orion.

Lopes, M. & Carvalho, E. C. (2008). Dimensionamento sísmico de estruturas de acordo com o Eurocódigo 8. In M. Lopes (2008). Sismos e Edifícios (pp. 531-604). Lisboa: Edições Orion.

Myslimaj B, Tso WK (2005) A design-oriented approach to strength distribution in single story asymmetric systems with elements having strength-dependent stiffness. Earthq Spectra 21:197–212

Ozmen., Konuralp Girgin and Yavuz Durgun., (2014). Torsional Irregularity in Multi-story Structures, International Journal of Advanced Structural Engineering 6, 121-131.

Penelis GrG, Kappos AJ (2005) Inelastic torsion effects in 3D pushover analysis of buildings. In: Proceedings of the 4th European workshop on the seismic behaviour of irregular and complex structures, CD ROM. Thessaloniki, August 2005

Peruš I, Fajfar P (2002) *On inelastic seismic response of asymmetric single-storey structures under bi-axial excitation. In: Proceedings of the third European workshop on the seismic behaviour of irregular and complex structures*, CD ROM. Florence, September 2002

Pintucchi B, De Stefano M, Gasparini G, Silvestri S, Trombetti T (2005). *Numerical verification of the effectiveness of the "alpha method" for the estimation of the maximum rotational response of eccentric systems. In Proceedings of the 4th Europeanworkshop on the seismic behaviour of irregular and complex structures*, CD ROM. Thessaloniki, August 2005

Sommer A, Bachmann H (2005) Seismic behaviour of asymmetric RC wall buildings: principles and new deformation-based design methods. Earthq Eng Struct Dyn 34:101–124

Tremblay, R., Poncet, L., (2005). Seismic Performance of Concentrically Braced Steel Frames in Multistorey Buildings with Mass Irregularity. Journal of Structural Engineering 131, 1363–1375.

Tso WK, Myslimaj B (2003) A yield displacement distribution-based approach for strength assignment to lateral force-resisting elements having strength dependent stiffness. Earthq Eng Struct Dyn 32:2319–2351

Valmundsson, EV., Nau JM., (1997). Seismic Response of Building Frames with Vertical Structural Irregularities. Journal of Structural Engineering 123(1), 30-41.

Wood, L., 1992. Seismic Response-of R/C Frames with Irregular Profiles. Journal of Structural Engineering 118,545-566.