

# **DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE ESTRUTURA DE UM EDÍFICIO COM RECURSO AO BIM**

**Flávio Alexandre Pereira Lopes**

**Mestrado em Engenharia Civil  
Área de Especialização: Estruturas  
Projeto**

**ORIENTADOR:** Doutor Miguel Filipe Passos Sérió Lourenço

**Novembro de 2018**

**Dissertação submetida no Instituto Politécnico de Setúbal**



# DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE ESTRUTURA DE UM EDÍFICO COM RECURSO AO BIM

Mestrado em Engenharia Civil

## DECLARAÇÃO DE AUTORIA DO TRABALHO

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Flávio Alexandre Pereira Lopes

---

(assinatura)

## DIREITOS DE CÓPIA OU COPYRIGHT

© **Copyright:** Flávio Alexandre Pereira Lopes

O Instituto Politécnico de Setúbal tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho de mestrado põe termo a mais uma etapa, que seria impossível sem o acompanhamento, incentivo e ajuda de algumas pessoas a quem quero agradecer.

Ao meu Pai e Mãe, por todo o apoio incondicional, carinho, e confiança que depositaram em mim ao investirem na minha formação.

Ao Professor Doutor Miguel Lourenço, meu Orientador, por toda a confiança, ajuda, disponibilidade e generosidade com que partilhou os seus conhecimentos.

A todos os meus colegas da JSJ Structural Engineering, nomeadamente ao prof. João Almeida e prof. José Camara, pela confiança que depositaram em mim e prontidão com que encararam alguns pedidos de esclarecimento.

À minha irmã e avó, que estiveram sempre ao meu lado e que, de uma forma ou de outra, sempre me ajudaram a superar as dificuldades.

Aos meus amigos e colegas, que estiveram presentes durante todo o percurso académico, pela companhia e ajuda ao longo do mesmo – especialmente ao Jorge Anacleto, Diogo Felicíssimo, Nelson Rebelo, Bruno Ferreira e ao Ivalino Garcia, pelas muitas horas de trabalho partilhadas.

Os meus mais sinceros e humildes agradecimentos.



## RESUMO

A elaboração de um projeto de engenharia exige a intervenção de várias especialidades, onde cada uma realiza o seu projeto de forma um pouco desligada das restantes, originando incoerências ao longo do projeto devido à inexistência de uma plataforma de trabalho comum. Neste sentido, a presente dissertação apresenta como principal objetivo o desenvolvimento de um projeto de estrutura de um edifício recorrendo à metodologia *Building Information Modeling* (BIM).

Sendo a área do BIM, uma área atualmente em pleno desenvolvimento, a criação de uma metodologia de trabalho e o desenvolvimento das potencialidades práticas por parte do utilizador é indispensável para o sucesso do produto final. Assim sendo, a utilização do software “Revit” como principal protagonista do desenvolvimento do modelo BIM estrutural, revela-se de extrema importância para atingir os fins pretendidos.

Com a utilização do software “Revit”, pretendeu-se criar metodologias de trabalho eficazes no apoio a todo o desenvolvimento do projeto de estrutura em estudo, desde a conceção, compatibilização, algumas peças desenhadas, às quantidades/medições do projeto, facilitando também os processos no desenvolvimento do modelo de cálculo estrutural através da interoperabilidade entre modelo analítico criado pelo Revit e o software de cálculo “ETABS”.

Em complemento ao trabalho desenvolvido em BIM, será também feita uma avaliação sísmica ao edifício em estudo, como também uma análise da laje dos pisos elevados e enterrados através do software “ETABS”, verificando assim a segurança destes elementos estruturais.



## **ABSTRACT**

The elaboration of an engineering project demands the intervention of several specialties, where each creates its own smaller project in a slightly disconnected way from the remaining ones, resulting in inconsistencies throughout the project due to the lack of a common working platform. Considering this, the dissertation here presented, has the development of a structure project using the methodology Building Information Modeling (BIM), as its major goal.

The BIM methodology is an area currently in full development, and because of it, the creation of a working methodology and the development of practical abilities on the part of the user is indispensable to the success of the final product. Thus, the utilization of the software "Revit" as the main protagonist of the structural development of the BIM model proves to be extremely important to achieve the intended purposes.

With the use of the software "Revit", the intent was to create effective working methodologies to support all the development of the design structure project in question. From the design, to the compatibilities, some drawn parts and quantities/calculations of the project. Not forgetting the developing processes of the structural calculation model through interoperability from the "Revit" analytical model and the "ETABS" software.

Complementary to the work developed with BIM, it will also be done a seismic evaluation to the building under study, as well as an analysis of the slab of the elevated and underground floors using the "ETABS" software, verifying the safety of these structural elements.

**KEYWORDS:** Project, BIM, Safety, Interoperability, Methodology.



## ÍNDICE GERAL

<b>Agradecimentos</b> .....	i
<b>Resumo</b> .....	iii
<b>Abstract</b> .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. ENQUADRAMENTO.....	1
1.2. OBJETIVOS DO PROJETO .....	2
1.3. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DO PROJETO .....	3
<b>2. BIM - BUILDING INFORMATION MODELING</b> .....	<b>5</b>
2.1. CONCEITO BIM.....	5
2.2. IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA BIM.....	5
2.3. BENEFÍCIOS E INCONVENIENTES .....	6
2.4. SOFTWARES BIM .....	8
2.5. INTEROPERABILIDADE.....	10
2.6. LOD.....	10
<b>3. APLICABILIDADE DO BIM A UM CASO PRÁTICO</b> .....	<b>13</b>
3.1. INTRODUÇÃO .....	13
3.2. BASES ARQUITÉTICAS.....	13
3.3. SOLUÇÃO ESTRUTURAL.....	15
3.3.1. INTRODUÇÃO.....	15
3.3.2. LAJES DO PISOS.....	16
3.3.3. VIGAS .....	17
3.3.4. PILARES E NÚCLEOS.....	17
3.3.5. FUNDAÇÕES .....	18
3.4. CRITÉRIOS GERAIS DE DIMENSIONAMENTO .....	19
3.4.1. REGULAMENTAÇÃO .....	19
3.4.2. AÇÕES .....	19
3.4.2.1. PESO PRÓPRIO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	19
3.4.2.2. AÇÃO SÍSMICA.....	20
3.4.2.3. AÇÃO DO VENTO.....	21
3.4.3. COMBINAÇÕES DE AÇÕES.....	21
3.4.4. MATERIAIS E RECOBRIMENTOS.....	22
3.4.4.1. BETÕES .....	22
3.4.4.2. AÇO .....	23
3.5. MODELO BIM DA ESTRUTURA .....	23
3.5.1. DEFINIÇÕES INICIAIS.....	24
3.5.1.1. UNIDADE DE TRABALHO.....	24

3.5.1.2.	NÍVEIS E GRELHAS .....	24
3.5.1.3.	MATERIAIS .....	25
3.5.2.	COMPATIBILIZAÇÃO COM A ARQUITETURA EXISTENTE .....	26
3.5.3.	ORGANIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS OBJETOS .....	28
3.5.4.	ORGANIZAÇÃO DO BROWSER .....	31
3.5.5.	TEMPLATES DE VISTAS .....	32
3.5.6.	CRIAÇÃO DE FAMÍLIAS .....	33
3.5.7.	CRIAÇÃO DE TAGS.....	34
3.5.7.1.	TAG FLOOR .....	34
3.5.7.2.	TAG COLUMN .....	35
3.5.7.3.	TAG WALL .....	36
3.5.7.4.	TAG BEAM.....	37
3.5.8.	DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS E RESPECTIVOS CRITÉRIOS DE MODELAÇÃO.....	37
3.5.8.1.	PILARES.....	38
3.5.8.2.	VIGAS.....	39
3.5.8.3.	LAJES/CAPITEIS/BANDAS.....	40
3.5.8.4.	PAREDES .....	42
3.5.8.5.	FUNDAÇÕES/PISO TÉRREO .....	43
3.5.8.6.	ESCADAS .....	43
3.5.8.7.	ABERTURAS .....	44
3.5.8.8.	APLICAÇÃO DE ARMADURAS .....	45
3.5.9.	VALIDAÇÃO DO MODELO .....	47
3.5.10.	EXTRAÇÃO DE QUANTIDADES .....	50
3.5.10.1.	GERAÇÃO DE TABELAS.....	51
<b>4.</b>	<b>MODELAÇÃO E DIMENSIONAMENTO.....</b>	<b>54</b>
4.1.	INTEROPERABILIDADE ENTRE O MODELO REVIT E ETABS.....	54
4.2.	MODELAÇÃO DA ESTRUTURA NO ETABS .....	56
4.2.2.	PILARES E VIGAS.....	57
4.2.3.	NÚCLEOS. PAREDES E MUROS DE CONTENÇÃO .....	57
4.2.4.	CABOS DE PRÉ-ESFORÇO .....	58
4.3.	ANÁLISE SÍSMICA.....	58
4.3.1.	TIPO DE SISTEMA ESTRUTURAL .....	58
4.3.2.	REGULARIDADE EM ALTURA .....	59
4.3.3.	COEFICIENTE DE COMPORTAMENTO .....	60
4.4.	VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS .....	61
4.4.1.	LAJE DOS PISOS ELEVADOS .....	61
4.4.1.1.	ESTIMATIVA E TRAÇADO DOS CABOS DE PRÉ-ESFORÇO .....	62
4.4.1.2.	ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO - DEFORMAÇÃO.....	64
4.4.1.3.	ESTADO LIMITE ÚLTIMO .....	66
4.4.2.	LAJE DOS PISOS ENTERRADOS.....	70
4.4.2.1.	ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO – DEFORMAÇÃO .....	71
4.4.2.2.	ESTADO LIMITE ÚLTIMO .....	72
4.4.3.	PILARES .....	73
4.4.3.1.	ARMADURAS LONGITUDINAIS .....	73
4.4.3.2.	ESFORÇO TRANSVERSO E CONFINAMENTO.....	76
4.4.4.	PAREDES E NÚCLEOS .....	78
4.4.4.1.	ARMADURAS LONGITUDINAIS .....	78
4.4.4.2.	ESFORÇO TRANSVERSO E DUCTILIDADE .....	82

<b>5. SÍNTESE E CONCLUSÕES .....</b>	<b>85</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>92</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – BIM, Future Lab .....	5
Figura 2 - Benefícios BIM mencionados pelas empresas (McGraw Hill) .....	7
Figura 3 – Plataforma “Autodesk Collaboration for Revit” (Autodesk).....	9
Figura 4 – Níveis de desenvolvimento de um edifício BIM (SRINSOFT) .....	11
Figura 5 - Localização geográfica do caso de estudo .....	13
Figura 6-Render do modelo BIM da arquitetura .....	14
Figura 7 - Modelo BIM da arquitetura.....	14
Figura 8 - Planta piso tipo elevado (Arquitetura) .....	15
Figura 9 - Corte transversal (Arquitetura).....	15
Figura 10 - Modelo BIM da estrutural.....	15
Figura 11 - Corte transversal da estrutura.....	15
Figura 12 - Laje tipo estrutural dos pisos elevados .....	16
Figura 13 - Solução tipo dos pisos enterrados .....	17
Figura 14 - Solução fundações (Piso -4).....	18
Figura 15 - Corte transversal (Piso -4) .....	18
Figura 16 -Espetro de resposta de cálculo - NP EN1998-1-1 .....	21
Figura 17 - Geração do modelo BIM .....	23
Figura 18 - Configuração das unidades de projeto.....	24
Figura 19 - Formato das unidades de projeto.....	24
Figura 20 – Definição dos níveis estruturais.....	25
Figura 21 - Criação do material.....	26
Figura 22 - Compatibilização entre o modelo estrutura e arquitetura (vista em corte) .....	26
Figura 23 - Compatibilização entre o modelo estrutura e arquitetura (vista em planta) .....	27
Figura 24 - Organização do Browser .....	31
Figura 25 – Propriedades da organização do browser .....	32
Figura 26 - Criação do “template” .....	32
Figura 27 - Definição das características dos elementos do “template”.....	32
Figura 28 - Criação de família “Structural Column” .....	33
Figura 29 – Criação do elemento de anotação “Floor” .....	34
Figura 30 - Adição de parâmetro partilhado ao elemento “tag” Structural Column.....	35

Figura 31 - Criação do elemento "tag" <i>Structural Column</i> .....	36
Figura 32 - Criação do elemento "tag" <i>Wall</i> .....	36
Figura 33 - Criação do elemento "tag" <i>beam</i> .....	37
Figura 34 -Criação do elemento "Structural Column".....	38
Figura 35 - Modelação do elemento "Structural Column".....	39
Figura 36 – Criação do elemento " <i>Structural Framing</i> ".....	39
Figura 37 - Criação dos elementos " <i>Floor</i> ".....	40
Figura 38 - Definição da espessura e limites dos elementos " <i>Floor</i> ".....	41
Figura 39 – Critério de modelação dos capiteis/bandas (corte).....	41
Figura 40 - Critério de modelação dos capiteis/bandas (3D).....	42
Figura 41 - Modelação dos elementos "Wall" (3D).....	42
Figura 42 - Criação do elemento " <i>Slab</i> ".....	43
Figura 43 - Modelação dos elementos " <i>Stair</i> ".....	44
Figura 44 - Aberturas nos elementos "Estruturais".....	44
Figura 45 - Colocação de armaduras através da extensão " <i>Reinforcement</i> ".....	46
Figura 46 - Armaduras em P2 (3D).....	47
Figura 47 - Menu " <i>Collaborate</i> ".....	47
Figura 48 - Verificação de conflitos entre modelos.....	48
Figura 49 - Conflito entre o elemento " <i>Structural Column</i> " e o elemento " <i>Wall</i> ".....	48
Figura 50 - Deteção de "warnings".....	49
Figura 51 - Medição de cofragem de escadas.....	51
Figura 52 - Criação dos elementos " <i>Schedules</i> ".....	51
Figura 53 - Seleção da categoria desejada para medição.....	52
Figura 54 - Criação de filtros em medições.....	53
Figura 55 - Tabelas de medições.....	53
Figura 56 - Interoperabilidade entre o modelo Revit e ETABS.....	54
Figura 57 - Ajustes na interoperabilidade.....	55
Figura 58 - Modelo global do edifício em estudo em ETABS.....	56
Figura 59 - Elementos finitos de casca.....	57
Figura 60 - Elementos de sheel " <i>Walls</i> ".....	57
Figura 61 - Perfil vertical dos elementos " <i>tendon</i> ".....	58
Figura 62 - Modos de vibração do edifício.....	61
Figura 63 - Modelo local da laje do piso tipo elevado.....	62
Figura 64 - Cabos de pré-esforço em laje do piso tipo.....	62

Figura 65 – Deformações devido às cargas permanentes .....	63
Figura 66 - Deformações devido ao pré-esforço .....	64
Figura 67 – Deslocamentos elásticos finais .....	65
Figura 68 - Diagrama retangular, <i>Júlio Appleton e Carla Marchão</i> .....	66
Figura 69 - Esforços atuantes M11 para a combinação fundamental ELU (kN.m).....	68
Figura 70 - Esforços atuantes M22 para a combinação fundamental ELU (kN.m).....	68
Figura 71 - Esforços atuantes M11 ELU+PE (kN.m) .....	69
Figura 72 - Esforços atuantes M22 ELU+PE (kN.m) .....	69
Figura 73 - Laje do piso -3 em ETABS.....	70
Figura 74 - Deslocamentos elásticos (Piso -3).....	71
Figura 75 - Verificação do punçoamento, EC2.....	72
Figura 76 – Diagrama de interação M-N obtido através do GALA.....	74
Figura 77 - Verificação dos diagramas de interação M-N (Pilar P1A).....	75
Figura 78 - Verificação dos diagramas de interação M-N (Pilar P1B).....	75
Figura 79 – Verificação dos diagramas de interação M-N (Pilar P2) .....	75
Figura 80 - Verificação dos diagramas de interação M-N (Pilar P3) .....	76
Figura 81 - Verificação dos diagramas de interação M-N (Pilar P4 e P4A) .....	76
Figura 82 - Paredes do edifício em ETABS.....	78
Figura 83 - Pilares fictícios.....	79
Figura 84 – Envolve de esforços em ambas as direções dos núcleos.....	80
Figura 85 - Introdução das armaduras N1 no "Section Designer" .....	81
Figura 86 - Envolve de esforços resistentes extraída do ETABS (N1).....	82
Figura 87 - Verificação do diagrama de interação My-N.....	82



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Plataformas mais relevantes BIM .....	8
Tabela 2 – Níveis de desenvolvimento (LOD “ <i>Level of Development</i> ”).....	10
Tabela 3 - Restantes cargas permanentes (rcp) e Sobrecargas de Utilização ( $q_k$ , $Q_k$ ) .....	20
Tabela 4 – Zonamento sísmico .....	20
Tabela 5 - Especificação dos betões e recobrimento .....	22
Tabela 6 - Especificação do aço .....	23
Tabela 7 - Nomenclaturas/Descrição dos elementos .....	28
Tabela 8 - Nomenclatura associadas aos parâmetros partilhados .....	28
Tabela 9 - Parâmetros partilhados .....	29
Tabela 10 – Classificação de elementos.....	30
Tabela 11 – Força de corte ao nível do piso 0 .....	59
Tabela 12– Frequências e fatores de participação modal .....	60
Tabela 13 – Deslocamento elástico para CP e PE.....	64
Tabela 14 - Deslocamentos elásticos máximos a longo prazo .....	66
Tabela 15 - Armadura mínima e máxima na laje .....	67
Tabela 16 - Cálculo do momento resistente .....	67
Tabela 17 - Cálculo dos momento resistente .....	70
Tabela 18 – Deformação elástica a longo prazo .....	71
Tabela 19 - Verificação do punçoamento (Piso -3).....	72
Tabela 20 - Armaduras de pilares .....	73
Tabela 21 - Armadura transversal e de confinamento.....	77
Tabela 22 - Cintagem na zona crítica: garantia de ductilidade para o Pilar P1A (0.90x0.60).....	77
Tabela 23 - Esforços resultantes do núcleo N1 .....	80
Tabela 24 - Estimativa da dimensão dos pilares fictícios .....	80
Tabela 25 - Armadura de alma adotada.....	81
Tabela 26 - Esforço transversal N1.A .....	82
Tabela 27 - Esforço transversal N1.E .....	83
Tabela 28 - Espaçamentos adotados N1 .....	84
Tabela 29 - Cintagem na zona crítica e garantia de ductilidade N1.....	84



## SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

BIM – Building Informating Modeling

CAD – Computer Aided Design

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

CURT - Construction Users Roundtable

IFC - Industry Foundation Classes

AVAC – Aquecimento, ventilação e ar condicionado

CSI - Computers and Structures, Inc

LOD - Level of Development

EC – Eurocódigo

ELU – Estado Limite Último

CP – Cargas Permanentes

PE – Pré-Esforço

$M$  – Momento fletor

$N$  – Esforço normal

$M_{Rd}$  - Valor de cálculo do momento fletor resistente

$M_{ed}$  - Valor de cálculo do momento fletor atuante

$N_{Rd}$  - Valor de cálculo do esforço normal resistente

$N_{Rd}$  - Valor de cálculo do esforço normal atuante

$V_{Ed}$  – Esforço transverso atuante

$f$  – Frequência

$P$  – Período

$I$  – Inércia

$R_{min}$  – Raio mínimo

$P_{\infty}$  – Valor do pré.esforço na extremidade ativa da armadura a longo prazo

$P_u$  – Pré-esforço útil

$e$  – Excentricidade

$F_c$  – Força no betão

$F_c$  – Força nas armaduras

$A_p$  – Área de pré-esforço

- $f_{cd}$  – Valor de cálculo da tensão de cedência do betão à compressão
- $f_{syd}$  – Valor de cálculo da tensão de cedência do aço para armaduras de betão armado
- $f_{ctm}$  – Área de pré-esforço
- $f_{ck}$  – Valor característico da tensão de cedência do betão à compressão aos 28 dias de idade
- $f_{pd}$  – Tensão de cedência do aço de armaduras de pré-esforço
- $\Delta F_p$  – Variação da tensão de pré-esforço
- $A_{s,min}$  – Área da secção mínima de armaduras
- $A_{s,máx}$  – Área da secção máxima de armaduras
- $A_s$  – Área da secção de armaduras
- $d$  – Altura útil
- $M_{CQP}$  – Momento da combinação quase permanente
- $M_{CR}$  – Momento de fendilhação
- $v_{Rd,c}$  – Valor de cálculo da resistência ao punçoamento
- $\rho_l$  – Armaduras de tração aderentes em ambas as direções
- $v_{sd}$  – Tensão de punçoamento atuante
- $\beta$  – Coeficiente que tem em conta a excentricidade da carga
- $V_{sd}$  – Valor da carga atuante
- $u_1$  – Comprimento do perímetro de controlo
- $\alpha$  – Expoente para formula de interação
- $A_c$  – Área da secção
- $s_{máx}$  – Espaçamento máximo das cintas
- $\phi_{L,menor}$  – Diâmetro mínimo dos varões longitudinais
- $b_{mín}$  – Dimensão mínima do pilar
- $h_c$  – Maior dimensão da secção transversal do pilar
- $l_{cl}$  – Comprimento livre do pilar
- $s$  – Espaçamento das cintas
- $b_0$  – Dimensão mínima do núcleo de betão em relação ao eixo das cintas
- $d_{bL}$  – Diâmetro mínimo dos varões longitudinais
- $\omega_{wd}$  – Taxa mecânica volumétrica de cintas nas zonas críticas
- $\mu_\phi$  – Valor necessário do fator de ductilidade em curvatura
- $v_d$  – Esforço normal reduzido de cálculo
- $\varepsilon_{sy,d}$  – Valor de cálculo da extensão de cedência à tração do aço
- $b_c$  – Largura bruta da secção transversal

$b_0$  – Largura do núcleo confinado

$F_t$  – Força de tração

$l_{c,min}$  – Comprimento mínimo do pilar fictício

$l_w$  – Comprimento da parede

$b_w$  – Largura da parede

$s_{cl,tmax}$  – Espaçamento máximo das cintas em zonas correntes

$\emptyset_{long}$  – Diâmetro longitudinal

$h_{cr}$  – Altura crítica da parede

$h_s$  – Altura livre do piso



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. ENQUADRAMENTO

O primeiro passo na conceção estrutural de um edifício consiste na criação de uma solução estrutural que, atendendo à sua arquitetura, permita garantir a segurança deste quando solicitado pelas ações consideradas no seu dimensionamento. Consiste, desta forma, na escolha da localização, dimensão e disposição dos diferentes elementos estruturais. A crescente procura de imóveis nos centros das grandes cidades, tem-se revelado essencial para o desenvolvimento do mercado imobiliário, nos quais os engenheiros civis têm um papel fundamental.

Nos dias que correm, um projeto é composto por várias especialidades (arquitetura, estrutura e o projeto, entre outros) onde existe participação de vários intervenientes. Na metodologia de trabalho atual cada especialidade tem por vezes realizar o seu projeto de forma desconectada de todas as outras, existindo uma ineficiente capacidade de cooperação entre as diversas especialidades, levando à ineficaz capacidade de deteção de conflitos e incompatibilidades em projeto. De forma a suprimir estas incongruências em projeto existiu a necessidade de melhorar métodos de trabalho, nascendo o conceito BIM “*Building Information Modeling*”, proporcionando automatismos de integração de projeto, criando uma plataforma única e universal a todos os intervenientes e com a capacidade de englobar todo o ciclo de vida de uma infraestrutura, incluindo aspetos de conceção, manutenção e gestão. No caso em estudo, a abordagem e aplicabilidade do BIM ao projeto em estudo irão ser uma grande mais valia no que toca aos aspetos anteriormente mencionados, pois será colocada em prática grande parte da capacidade deste método de trabalho auxiliando e facilitando o dimensionamento, peças desenhadas, modelo analítico e determinação de quantidades dos materiais de projeto da estrutura.

A abordagem para a projeção de um novo edifício depende de alguns fatores como por exemplo, o seu futuro valor patrimonial, o programa funcional previsto e o estudo económico. Neste contexto, o engenheiro civil, em particular, o projetista de estrutura estando inserido na modelação BIM, consegue corresponder a estes aspetos de uma forma mais eficaz criando métodos de trabalho mais automatizados e com menos probabilidades de erros, conseguindo criar diversas soluções estruturais mais económicas e com a durabilidade e qualidade pretendida. Embora o caso em estudo, se trate de uma obra corrente, a conceção arquitetónica prevista conduziu a uma solução de vãos de laje que obrigou à adoção de sistemas pré-esforçados, conferindo uma complexidade adicional ao cálculo estrutural.

## 1.2. OBJETIVOS DO PROJETO

O ensino da engenharia, embora tenha uma vertente prática importante, não consegue abranger todas as especificidades de um Projeto de Estrutura, pelo que a elaboração de um Projeto de um edifício com alguma complexidade, desde a conceção da estrutura à pormenorização de armaduras, permite consolidar conceitos e apreender novos tópicos e novas técnicas de cálculo, que se consideram essenciais para o desenvolvimento profissional.

Para tal optou-se pelo estudo de um edifício de escritórios, futuramente situado em Alcântara, em que a proposta consiste na construção de um edifício com um bloco de 8 pisos elevados uma área em planta retangular e dimensões de cerca de 75m x 40m cada, e um embasamento comum com uma área de 72 x 46m e 4 pisos enterrados. No total são aproximadamente 24000m<sup>2</sup> de área de construção nos pisos elevados e 13250m<sup>2</sup> nos pisos enterrados. A estrutura é, essencialmente, constituída por pilares, vigas, núcleos, paredes estruturais, muros de contenção e lajes de betão armado e pré-esforçado.

Conforme referido anteriormente, são adotadas soluções pré-esforçadas nas lajes de modo a controlar eficazmente a deformabilidade dos pisos. Além dos aspetos de cálculo específicos de soluções de lajes pré-esforçadas, que permitirão consolidar os conhecimentos adquiridos no curso, serão também abordados temas relacionados com a modelação dos núcleos, paredes de betão armado e pilares, nomeadamente no que se refere à ação sísmica.

Em complemento ao desenvolvimento do Projeto acima mencionado pretende-se também desenvolver o modelo em tecnologia BIM (*Building Information Modelling*), pois é atualmente reconhecido que este tipo de tecnologia é muito útil para a elaboração de projetos de edifícios, sendo já obrigatória em alguns Países do Norte da Europa, embora em Portugal esteja ainda numa fase embrionária. Pretende-se assim também criar um conjunto de procedimentos necessários para a aplicação da metodologia BIM por parte do utilizador assim como alguns detalhes na modelação de objetos. No entanto, considera-se que os sistemas BIM serão indispensáveis num futuro muito breve, pelo que a aprendizagem, o desenvolvimento e a utilização deste tipo de sistema constitui uma mais-valia significativa para qualquer profissional. Os sistemas BIM vêm proporcionar um conjunto de processos interrelacionados para gerir um projeto e os seus dados num formato digital, podendo abranger aspetos de conceção, manutenção e gestão, tornando-se também de fácil acesso a futuras intervenções de outras entidades. No que respeita ao desenvolvimento de projetos, os sistemas BIM baseiam-se num modelo virtual 3D, comum e transversal a todas as especialidades, garantindo que toda a informação relativa ao edifício esteja condensada na mesma plataforma, permitindo uma adequada transmissão de informação.

Salienta-se que o objetivo é demonstrar as principais potencialidades do programa REVIT como a utilização de uma metodologia para o projeto a desenvolver, nomeadamente as capacidades de desenho e, eventualmente, tirar partido do “modelo analítico” de forma a desenvolver o modelo global da estrutura. Para além disso, serão também utilizadas outras ferramentas de cálculo correntes para a elaboração de projeto, entre as quais o AutoCAD, EXCEL, GaLa (programa de análise de secções), SAP2000, ETABS, entre outras.

### **1.3. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DO PROJETO**

O presente projeto de mestrado encontra-se estruturado em cinco capítulos e um anexo. No capítulo introdutório (Capítulo 1) faz-se o enquadramento do projeto e apresentam-se os objetivos geral e específicos a serem atingidos. No segundo capítulo (Capítulo 2) procede-se à introdução do conceito BIM onde são identificados os benefícios na utilização deste método e o panorama atual. No Capítulo 3 apresenta-se o caso de estudo simultaneamente com a aplicação de uma metodologia BIM aplicada a este. Também é elaborada uma análise e dimensionamentos de uma laje do piso tipo como é feita também uma análise sísmica e dimensionamentos de elementos verticais com o auxílio do BIM. Finalmente, no Capítulo 4 apresentam-se as principais conclusões e recomendações para trabalhos futuros.



## 2. BIM - BUILDING INFORMATION MODELING

### 2.1. CONCEITO BIM

O conceito BIM "*Building Information Modeling*" é algo ainda não bem definido vista a grande abundância de fontes e perspectivas devido a ser um avanço tecnológico em constante evolução e transformação. Segundo (*Sinergia, 2012*), "O BIM é um processo integrado que armazena e agiliza a troca de informação de projeto, de construção e exploração entre os vários intervenientes do ciclo de construção, criando modelos de elevado potencial para tomadas de decisão nas diversas fases de preparação, construção e manutenção de um empreendimento. Estes modelos de informação que representam todas as características físicas e funcionais do edifício permitem a visualização, simulação e análise numa fase bastante anterior à existência do edifício, criando uma nova dimensão: a virtual."

Uma das principais potencialidades do BIM envolve a geração de um modelo inteligente 3D, contribuindo para a adoção de uma nova forma de refletir sobre o projeto, simulando toda a realidade deste.



Figura 1 – BIM, Future Lab

### 2.2. IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA BIM

A grande progressão da tecnologia nas aplicações informáticas tem levado a AEC à implementação desde conceito, sendo o BIM considerado o assunto primordial das Tecnologias de Informação e Comunicação no setor da construção.

Segundo um estudo da empresa de consultoria "*McGraw-Hill Construction's*" o uso do BIM está acelerando poderosamente, impulsionado por grandes proprietários privados que

querem institucionalizar os seus benefícios, tais como entrega a rapidez na entrega de projetos, a segurança e a qualidade. A adoção do BIM na América do Norte subiu de 28% para 71% entre 2007 e 2012, e o Reino Unido e outras regiões estão preparadas para estas dramáticas expansões.

Uma organização Americana que agrega algumas das maiores empresas construtoras denominada "CURT", recomenda que os proprietários exijam a utilização do BIM nos seus projetos para que haja uma cooperação eficaz e de qualidade.(Arun, Roy, 2012).

No Reino Unido, desde Maio de 2011, o uso do BIM foi adotado para projetos públicos com valor superior a 5 milhões de libras, e em Junho do mesmo ano foi publicada a intenção de todos os projetos com apoio público requererem a adoção do BIM a partir de 2016. Também na Dinamarca e Finlândia é já obrigatória a utilização de abordagens BIM em projetos de construção com fundos públicos. Estes são sinais evidentes das mudanças em curso na indústria AEC global (Taborda, Paulo, 2012).

A implementação desta metodologia em Portugal encontra-se numa fase relativamente atrasada confrontando com outros países. Uma das possíveis justificações para este atraso estará relacionada com a forte crise económica nestes últimos anos, e na falta de conhecimento por parte dos especialistas envolvidos no projeto. Contudo, nesta fase, já é possível encontrar alguns escritórios dando os primeiros passos e a implementar esta metodologia nas suas bases de trabalho.

É de salientar, que a implementação desta metodologia BIM numa empresa obriga a uma mudança de paradigma na forma e em alguns processos de trabalho e que para esta tenha uma elevada produtividade requer durante os primeiros tempos de utilização a existência de um forte investimento na criação de bases de trabalho e na formação de pessoal. Porém o investimento poderá representar um risco económico para as empresas.

Segundo o mesmo estudo da empresa de consultoria "*McGraw-Hill Construction 's*",  $\frac{3}{4}$  de todas as empresas relatam um ROI (*Return on Investment*) relativamente ao BIM.

### **2.3. BENEFÍCIOS E INCONVENIENTES**

Com a implementação da metodologia BIM, espera-se de uma forma promissora melhorar a gestão da informação, oferecendo um conjunto de benefícios de utilização imediatos, tais como a redução de erros, omissões e interferências de projeto.

As vantagens pertencentes à adoção do BIM, podem ser agrupadas de acordo com os principais intervenientes envolvidos. Neste contexto, relativamente à área de estudo, os projetistas podem tirar partido com o BIM na facilidade do estudo de alternativas, na identificação atempada e resolução de incompatibilidades com a arquitetura ou outras especialidades, na geração automática de cortes e da extração automática de mapas de quantidades.

Na figura 2, é representado uma lista de benefícios relativos à implementação do BIM levado a cabo pela *McGraw Hill Construction* em 2014, referidos por empresas envolvidas no estudo.



Figura 2 - Benefícios BIM mencionados pelas empresas (*McGraw Hill*)

Fazendo uma análise sucinta à figura 2, consta-se que dos vários benefícios apresentados, a redução de erros e omissões e a colaboração entre os vários intervenientes, encontram-se no topo da lista das empresas.

De uma forma geral, o BIM proporciona uma otimização de todo o processo construtivo, no entanto e como em qualquer outra tecnologia, apenas trará benefícios se for correta e rigorosamente implementando.

Relativamente aos inconvenientes as empresas justificam a não implementação do BIM por motivos exclusivamente financeiros. A necessidade de um investimento inicial com a aquisição de novos softwares bem como com a sua amortização, incluindo custos de aprendizagem inicial, constitui uma limitação da adoção do BIM.

Pelo facto de não haver ainda muitos utilizadores BIM, existe uma grande dificuldade em encontrar formação de qualidade para a utilização destas ferramentas. Além disso, uma vez

que os formadores existentes não têm eles próprios muita experiência na área, é fácil prever que os próprios utilizadores ultrapassem o conhecimento dos seus formadores pelo método tentativa erro (Querido, 2013).

Caso seja necessária a comunicação entre os vários intervenientes que utilizam diferentes plataformas tecnológicas, a importação e exportação entre as várias ferramentas não é, ainda, isenta de falhas (Lino, Azenha, & Lourenço, 2012).

#### 2.4. SOFTWARES BIM

No mercado atual, a oferta de softwares e aplicações destinadas ao desenvolvimento de modelos BIM é muita ampla. Dos vários softwares BIM existentes no mercado, é de possível identificação softwares destinados a diferentes tipos de especialidades. É de elevada relevância fazer referência à inexistência de softwares que englobem todas as funcionalidades e especialidades envolvidas no ciclo de vida de um projeto, cabendo ao utilizador optar quais as ferramentas que melhor se adequam às necessidades previstas por si.

Uma forma de contornar e tornar alguns processos mais simples, é possível identificar várias empresas que desenvolvem componentes, denominados por “*addons*”, interligados aos softwares BIM, com a função de ampliar as potencialidades dos mesmos ou facilitando a exportação de informação e recolha de dados do projeto.

A tabela 1 apresenta-se algumas das plataformas mais relevantes produzidas pelas 4 principais empresas nesta área.

Tabela 1 – Plataformas mais relevantes BIM

Empresa	Software
Autodesk	REVIT Architecture
	REVIT Strucutre
	REVIT MEP
	Navisworks
Graphisoft	ArchiCAD
Bentley Systems	Bentley Architecture
	Bentley Strucutral Modeler

	Bentley Hevacomp Mechanical Designer
	Bentley AECOSim Building Designer
<b>Tekla</b>	Tekla Structures

A lista apresenta uma oferta ampla de ferramentas que suportam o conceito BIM, sendo o líder do mercado a Autodesk, com o software Revit. Segundo Eastman, o Revit é de aprendizagem fácil e intuitiva, apoiada numa interface bem estruturada e apelativa para o utilizador (Eastman et al, 2011).

Apesar disso, o Revit dispõe de uma plataforma colaborativa denominada “*Revit Collaboration*” que juntamente com o BIM360 é possível armazenar e compartilhar os arquivos na nuvem diretamente com usuários dentro e fora da sua rede permitindo assim que que várias equipas de projeto possam aceder aos modelos e informações em tempo real durante a construção (figura 3).



Figura 3 – Plataforma “Autodesk Collaboration for Revit” (Autodesk)

## 2.5. INTEROPERABILIDADE

A crescente complexidade e a abundância de informação na indústria da construção tornam imprescindível abordar os problemas de interoperabilidade entre sistemas. A interoperabilidade não é mais do que a capacidade de trocar informações entre as diferentes aplicações informáticas de modo a que estas contribuam conjuntamente para o desenvolvimento dos processos (Eastman et al, 2011).

No contexto dos softwares BIM o termo interoperabilidade é utilizado com o intuito de diferentes softwares garantirem a transferência de informação entre si de forma transparente e eficiente. No sentido de garantir a interoperabilidade entre as várias aplicações BIM existiu a necessidade de desenvolver formatos padrão possibilitando a troca de informação sem a perda de dados.

Segundo “*buildingSMART*” o formato IFC é a ferramenta principal para a implementação do Open BIM, “o qual representa uma abordagem universal à colaboração para o desenho e a construção dos edifícios baseados em padrões e fluxos de trabalho abertos”.

Sendo o IFC “*Industry Foundation Classes*”, um formato universal, revela-se eficiente no processo de transferência de dados, contudo é notável ainda a existência de algumas limitações a nível de perda de informação, contudo é sabido que é um formato ainda em constante crescimento e evolução-

## 2.6. LOD

Para cada fase do ciclo de vida do empreendimento deve ser definido o nível de desenvolvimento (LOD) pretendido para a informação geométrica a gerar em função dos usos BIM e da tipologia dos empreendimentos.

Tabela 2 – Níveis de desenvolvimento (LOD “*Level of Development*”)

Nível de desenvolvimento (LOD)		
LOD 100	Informação sobre massa e volumes	Programa base
LOD 200	Informação relevante para análise estrutural	Estudo prévio
LOD 300	Informação relevante ao nível de projeto de execução	Projeto de execução
LOD 400	Informação completa sobre fabricação, montagem ou construção	Preparação de obra, construção e montagem

---

LOD 500	Informação necessária durante a fase de exploração e manutenção	Modelo <i>as build</i>
---------	---	------------------------

---



Figura 4 – Níveis de desenvolvimento de um edifício BIM (SRINSOFT)



## 3. APLICABILIDADE DO BIM A UM CASO PRÁTICO

### 3.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo refere-se à aplicabilidade do BIM ao caso de estudo, sendo este um edifício de escritórios localizado em Alcântara, cuja zona de implantação é esquematizada na figura 5.



Figura 5 - Localização geográfica do caso de estudo

### 3.2. BASES ARQUITÉTICAS

A conceção arquitetónica (fornecida através de um modelo BIM) prevê a construção de um edifício com um bloco de 8 pisos elevados, com uma área em planta retangular e dimensões de cerca de 75m x 40m cada, e um embasamento comum com uma área de 72m x 46m e 4

pisos enterrados. No total são aproximadamente 24000m<sup>2</sup> de área de construção nos pisos elevados e 13250m<sup>2</sup> nos pisos enterrados.

No que respeita à utilização do edifício está previsto que os pisos elevados se destinem, essencialmente, a escritórios e os pisos enterrados para estacionamento e zonas técnicas. O embasamento no piso 0 destina-se às receções, zonas técnicas e também escritórios.

Do ponto de vista estrutural a arquitetura, prevê, para os pisos elevados e na zona central em planta, os acessos verticais e as instalações sanitárias, pelo que é possível adotar um conjunto de paredes estruturais nessas zonas, que são os principais elementos para equilibrar as ações horizontais, nomeadamente as ações sísmicas. Além destes elementos verticais, está previsto apenas um alinhamento de pilares junto da fachada do edifício, o que conduz a pisos com um espaço em “*open-space*”.

Nos pisos enterrados, a modulação de pilares é de 8.1m x 8.1m, o que permite uma confortável distribuição de lugares de estacionamento entre pilares e adequadas larguras de circulação.

O projeto de arquitetura prevê também a continuidade das paredes dos núcleos dos pisos elevados para os pisos inferiores, embora não exista continuidade de todos os elevadores, garantindo assim a continuidade estrutural desses importantes elementos estruturais.



Figura 6-Render do modelo BIM da arquitetura

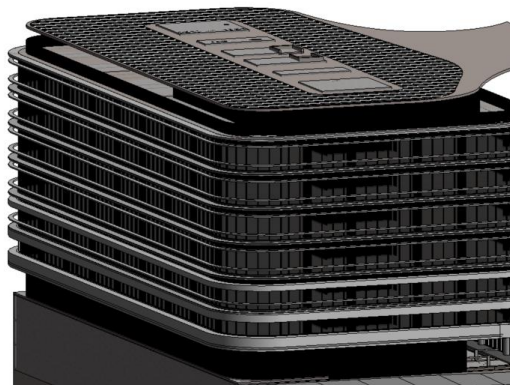


Figura 7 - Modelo BIM da arquitetura

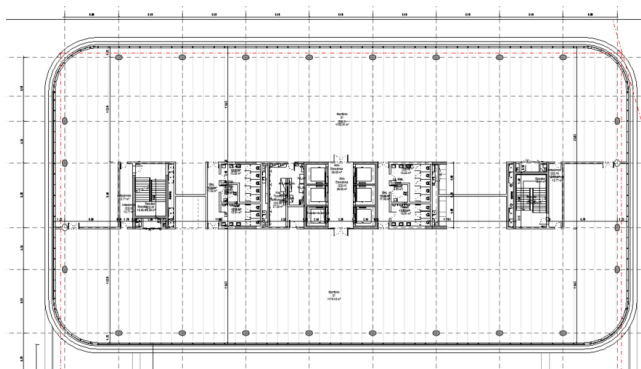


Figura 8 - Planta piso tipo elevado (Arquitetura)

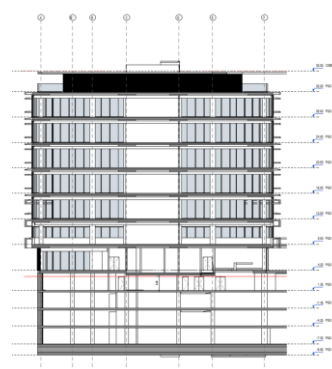


Figura 9 - Corte transversal (Arquitetura)

### 3.3. SOLUÇÃO ESTRUTURAL

#### 3.3.1. INTRODUÇÃO

Na conceção global da estrutura e no dimensionamento dos seus elementos consideraram-se, para além dos aspetos da segurança estrutural e economia, as indicações mais recentes em termos de qualidade e durabilidade dos edifícios. A estrutura do edifício é em geral constituída por pilares, núcleos, paredes estruturais, muros de contenção e lajes de betão armado e pré-esforçado. As ações horizontais, particularmente a ação sísmica, são fundamentalmente equilibradas pelas paredes estruturais, localizadas nos núcleos de comunicações verticais, que se prolongam até às fundações.

Não estão previstas juntas de dilatação, de modo a evitar os habituais problemas de manutenção, adotando-se as quantidades de armaduras necessárias de modo a controlar eficazmente a fendilhação da laje, devido às deformações impostas.

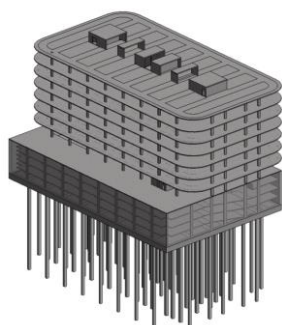


Figura 10 - Modelo BIM da estrutural

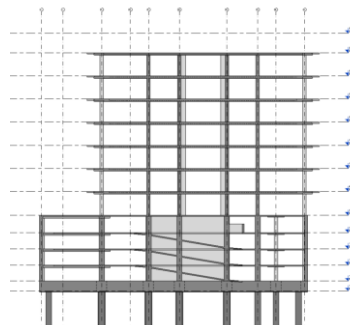


Figura 11 - Corte transversal da estrutura

### 3.3.2. LAJES DO PISOS

Os pisos apoiam, em geral, monoliticamente em pilares de betão armado, com dimensões adaptadas ao nível de esforços a que estão submetidos, sendo a orientação da secção transversal definida, tendo essencialmente em consideração a compatibilidade com o projeto de Arquitetura. As lajes estão também ligadas aos núcleos de acesso e paredes estruturais, que se prolongam até à fundação, apoiando-se, sem continuidade de esforços de flexão, nas paredes de contenção que delimitam o contorno do edifício. Nos pisos elevados, as lajes vencem vãos máximos de 13.45m x 8.1m entre apoios, pelo que se recorreu a uma solução de bandas maciças de betão armado e pré-esforçado nos alinhamentos dos pilares e uma laje maciça com 0.22m de espessura nas restantes zonas (figura 12). As bandas conterão 12 cabos de 4 cordões de bainhas planas cada uma que compensarão cerca de 80-90% da carga permanente, garantindo assim níveis de deformações para os pisos perfeitamente aceitáveis. Com esta solução, tendo em consideração a altura do pavimento flutuante de 0.15m e que está previsto o teto falso que permite um pé-direito de 3.0m, garante-se que as instalações tenham um espaço livre de cerca de 0.4m, sob as bandas pré-esforçadas, e de 0.63m nas restantes zonas. Do ponto de vista estrutural, e recorrendo a soluções pré-esforçadas, obtém-se uma espessura equivalente da laje de cerca de 0.3m, o que se trata de valores claramente económicos no que respeita às quantidades de materiais. Além disso, tratando-se de uma solução com menor peso próprio, permite reduzir globalmente as cargas verticais e os custos inerentes às fundações indiretas como também às forças de massa associadas às ações sísmicas.

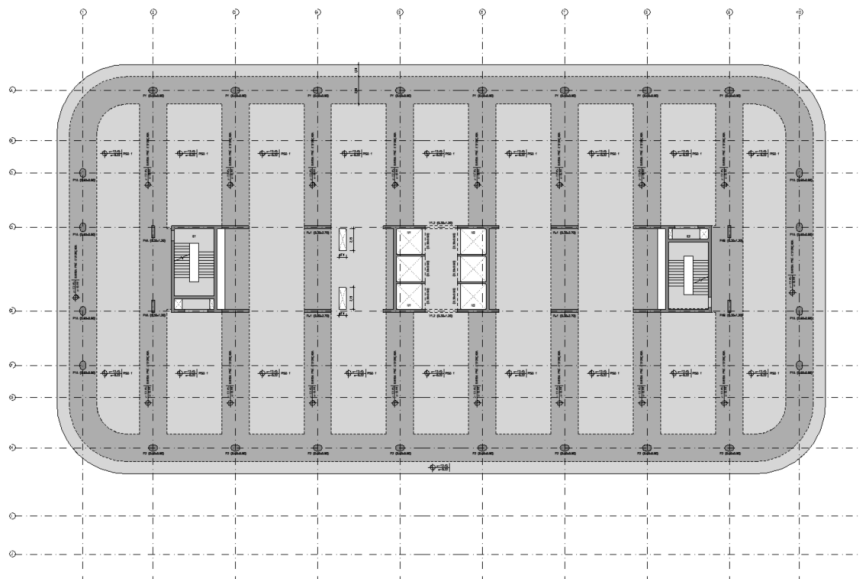


Figura 12 - Laje tipo estrutural dos pisos elevados

Nos pisos enterrados, as lajes vencem vãos máximos na ordem dos 8.0m entre pilares, pelo que se recorreu a uma solução de laje fungiforme de betão armado com 0.20m de espessura e capiteis com 0.35m de espessura, com o objetivo de controlar eficazmente a deformação e garantir a segurança ao punçoamento.

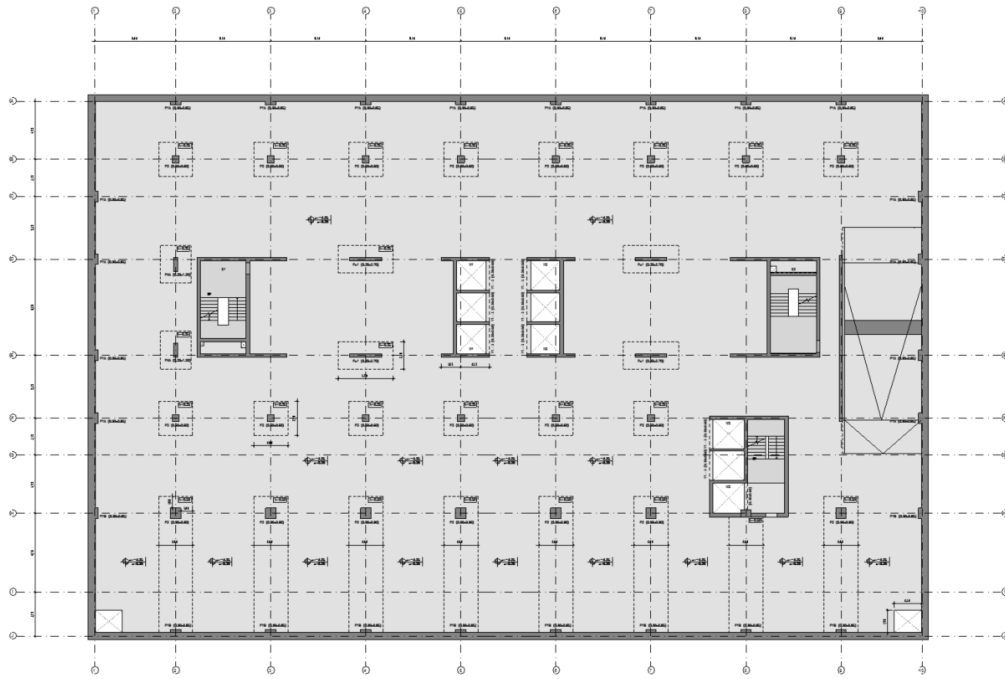


Figura 13 - Solução tipo dos pisos enterrados

### 3.3.3. VIGAS

Tratando-se de uma solução de lajes maciças com bandas nos pisos elevados e fungiforme aligeirada nos pisos enterrados, praticamente não são adotadas vigas. Prevê-se apenas vigas nas zonas de ligação entre núcleos de betão armado e nos pisos elevados, de modo a garantir o funcionamento conjunto dos diversos elementos verticais resistentes e consequentemente um melhor comportamento dinâmico global.

### 3.3.4. PILARES E NÚCLEOS

As dimensões dos pilares foram adaptadas aos esforços que estão submetidos e a sua orientação foi condicionada essencialmente de acordo com a proposta arquitetónica, conforme referido anteriormente.

Nos pisos elevados, estão previstos pilares com secção transversal com envolvente retangular de 0.60m x 0.90m com os cantos em semicírculo e propõe-se secção constante

em todos os pisos, para facilitar a execução. A partir do piso 0 até às fundações, e tendo em consideração os esforços a que estes pilares estão sujeitos, propõe-se uma secção transversal com 0.90m x 0.90m.

Os núcleos de betão armado estão localizados nas zonas dos acessos verticais e prolongam-se até às fundações. Prevê-se que as paredes tenham, em geral, 0.30m de espessura e tentou-se dispor do mesmo número de paredes em ambas as direções, de modo a garantir uma boa distribuição de rigidez.

Do ponto de vista estrutural, os pilares equilibram essencialmente a carga vertical, sendo os núcleos responsáveis por equilibrar uma parcela muito relevante das cargas horizontais, nomeadamente as ações sísmicas.

### 3.3.5. FUNDAÇÕES

As fundações serão indiretas, constituídas por uma laje de ensoleiramento e por estacas com 1.0 m e 1.2 m de diâmetro, consoante os esforços que estão sujeitas e garantindo resistências de ponta que rondam os 5 MPa para as ações características, valor que se considera adequado perante a informação geotécnica fornecida.

Tendo em consideração que o nível freático se situa próximo da cota 1.5m, o que conduz a um impulso da água sob a laje de ensoleiramento de cerca de 12m de coluna de água (120 kN/m<sup>2</sup>), e tratando-se de uma carga muito significativa prevê-se no projeto específico uma laje com 0.45m de espessura e vigas de betão armado com 1.80m x 1.80m ou 1.50m x 1.80m que vencem um vão máximo de 1.45m e que equilibram os impulsos entre os apoios dos pilares. Sobre a laje de ensoleiramento está prevista uma camada de betão de enchimento com 0.55m de espessura, o enrocamento onde se insere o sistema de drenagem com 0.65m de espessura e a laje do piso -4 com 0.15m de espessura.

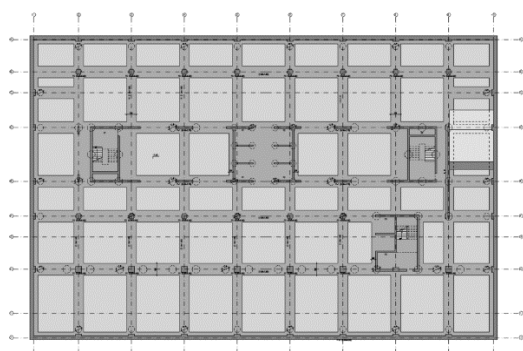


Figura 14 - Solução fundações (Piso -4)

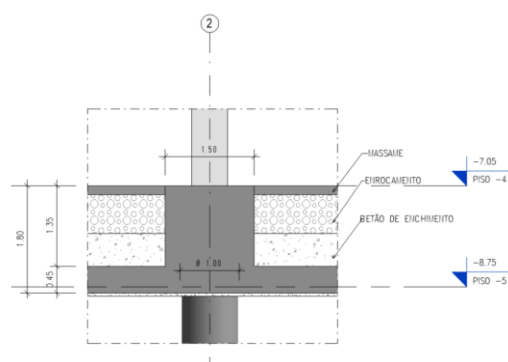


Figura 15 - Corte transversal (Piso -4)

### **3.4. CRITÉRIOS GERAIS DE DIMENSIONAMENTO**

#### **3.4.1. REGULAMENTAÇÃO**

Neste projeto foram tidos em consideração os seguintes documentos normativos e assimiláveis:

- NP EN 1990: Bases para o projeto de estruturas;
- NP EN 1991-1-1: Ações gerais. Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios;
- NP EN 1991-1-4: Ações gerais. Ação do vento;
- NP EN 1992-1-1: Projeto de estruturas de betão. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios;
- NP EN 1992-1-1: Projeto de estruturas de betão. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios;
- NP EN 1997-1: Regras gerais;
- NP EN 1998-1: Projeto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios;
- EN 206-1 (2007): Betão – Parte 1: Especificação, Desempenho, Produção e Conformidade;
- Especificação LNEC E464 (2007): Betões;
- Especificação LNEC E460 (2010): Varões de Aço A500NR de Ductilidade Especial para Armaduras de Betão Armado;
- Especificação LNEC E453 (2011): Cordões de Aço para Pré-esforço. Características e Ensaios.

#### **3.4.2. AÇÕES**

Foram quantificadas e consideradas na verificação da segurança da estrutura as ações que se indicam de seguida, baseadas no Regulamento de Segurança e Ações e na EN1991-1-1 - Ações em Estruturas. Ações Gerais.

##### **3.4.2.1. PESO PRÓPRIO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS**

- Betão Armado:        25 kN/m<sup>3</sup>

Tabela 3 - Restantes cargas permanentes (rcp) e Sobrecargas de Utilização ( $q_k$ ,  $Q_k$ )

Zona	rcp [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Zonas de estacionamento	0.5	2,5
Zonas de comércio	1.5	4.0
Zonas de escritórios	2.5 (*)	3.0
Zonas Técnicas	5.0	5.0

(\*) 1.5kN/m<sup>2</sup> de pavimento flutuante, teto falso, equipamentos leves e 1.0 kN/m<sup>2</sup> de paredes divisórias amovíveis.

### 3.4.2.2. AÇÃO SÍSMICA

O zonamento sísmico remete para a zona 3, para a ação sísmica do tipo 1 e 2; considerou-se a classe de importância II; com o terreno de fundação do tipo D; considerou-se um coeficiente de comportamento de  $q=3.0$  correspondente a uma estrutura de classe de ductilidade média. De acordo com o disposto, os parâmetros relativos à definição dos espectros de resposta de cálculo são apresentados na tabela que se segue.

Tabela 4 – Zonamento sísmico

	Sismo 1	Sismo 2
Zona	1.3	2.3
$a_{gr}$ (m/s <sup>2</sup> )	1,50	1,70
$\gamma_I$	1,00	1,00
$a_g$ (m/s <sup>2</sup> )	1,50	1,70
Tipo de Terreno	D	
$S_{max}$	2,00	2,00
$T_b$ (s)	0,10	0,10
$T_c$ (s)	0,80	0,30
$T_d$ (s)	2,00	2,00

Na figura 16, representa-se o espectro de resposta de cálculo utilizado.

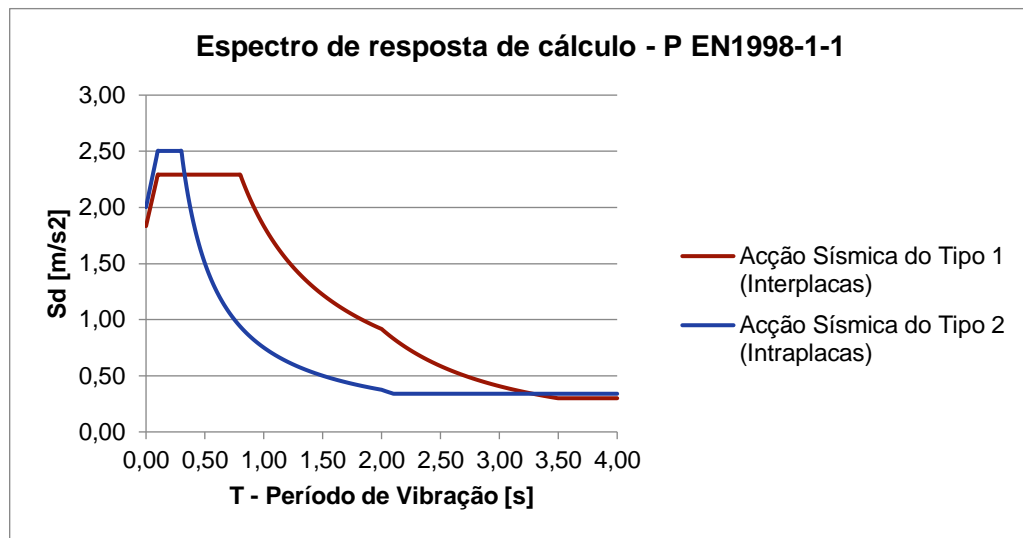


Figura 16 -Espectro de resposta de cálculo - NP EN1998-1-1

### 3.4.2.3. AÇÃO DO VENTO

Segundo o EN1991-1-4, para a definição da ação do vento, considerou-se que a estrutura está localizada na Zona B com categoria de terreno tipo IV, conduzindo a uma velocidade de referência do vento de 30m/s.

### 3.4.3. COMBINAÇÕES DE AÇÕES

Para a verificação aos Estados Limites Últimos (ELU) é utilizada a combinação fundamental:

$$S_d = \sum_i \gamma_{gi} \times S_{Gik} + \gamma_{gi} \times \left[ S_{Q1k} + \sum_j \psi_{0j} \times S_{Qj k} \right] \quad (1)$$

Em que:

SG – Cargas permanentes;

SQ – Sobrecarga nos pisos.

Os coeficientes parciais de segurança foram considerados nos termos regulamentares, tendo-se adotado  $\gamma_g=1.35$  ou  $\gamma_g=1.0$  para as ações permanentes, consoante o seu efeito seja desfavorável ou não, e  $\gamma_q=1.5$  ou  $\gamma_q=1.0$  para as ações variáveis, no caso de serem, respetivamente, desfavoráveis ou favoráveis.

A combinação de ações utilizada para o cálculo dos efeitos das ações em situações de projeto sísmicas está de acordo com a NP EN1990:

$$S_d = \sum_i S_{Gik} + S_{Ek} + \sum_j \psi_{2j} \times S_{Qj k} \quad (2)$$

Sendo,

SE – Ação sísmica

Quanto ao comportamento em serviço, consideraram-se as combinações de ações: (3) quase-permanente, para a verificação das deformações; (4) frequente para verificação do critério de fendilhação

$$S_{qp} = \sum_i S_{Gik} + \psi_2 \times S_{Q1k} + \sum_j \psi_{2j} \times S_{Qj k} \quad (3)$$

$$S_{fr} = \sum_i S_{Gik} + \psi_1 \times S_{Q1k} + \sum_j \psi_{2j} \times S_{Qj k} \quad (4)$$

Os coeficientes de combinação adotados são os especificados na NP EN1990, nomeadamente no Quadro A1.1.

### 3.4.4. MATERIAIS E RECOBRIMENTOS

#### 3.4.4.1. BETÕES

Tabela 5 - Especificação dos betões e recobrimento.

Elemento	Classes NP EN206-1	Recobrimentos [cm]
Regularização	C16/20. X0(P). Cl1,0. Dmax12. ≥S2	-
Laje de ensoleiramento	C30/37. XC2(P). XA1. Cl0,4. Dmax25. ≥S3	5.0
Vigas de fundação	C30/37. XC2(P). XA1. Cl0,4. Dmax25. ≥S3	4.0
Pilares	C40/50. XC3(P). Cl0,4. Dmax25. ≥S3	4.0
Núcleos e Paredes	C40/50 XC3(P) Cl0.4 Dmax20 ≥S3	3.0
Vigas	C30/37 XC3(P) Cl0.4 Dmax20 ≥S3	4.0
Lajes	C30/37 XC3(P) Cl0.4 Dmax20 ≥S3	3.0
Lajes Pré-Esforçadas	C30/37 XC3(P) Cl0.2 Dmax20 ≥S3	3.0

Massame	C25/30 XC3(P) Cl0.4 Dmax16 ≥S2	3.0
---------	--------------------------------	-----

### 3.4.4.2. AÇO

Tabela 6 - Especificação do aço

Elemento	Aço
Armaduras Ordinárias	A500 NR SD
Armaduras de Pré-Esforço em cabos (Em conformidade com EN10138; E453-2002)	Y1860. S7. 15,7. F2. C2

### 3.5. MODELO BIM DA ESTRUTURA

Este subcapítulo aborda a criação da componente estrutural do modelo BIM, recorrendo ao *software* Revit 2018. Neste capítulo será abordada uma metodologia BIM aplicada ao caso de estudo.

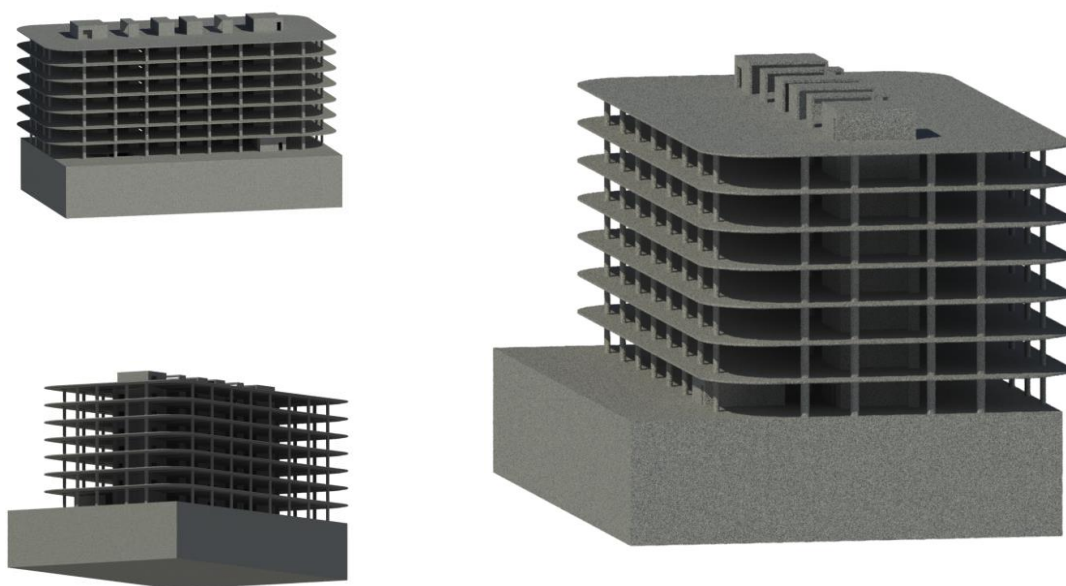


Figura 17 - Geração do modelo BIM

### 3.5.1. DEFINIÇÕES INICIAIS

#### 3.5.1.1. UNIDADE DE TRABALHO

Um dos parâmetros fundamentais e indispensáveis para iniciar o processo de modelação através do Revit é o estabelecimento da unidade de trabalho. De forma a estabelecer essa mesma unidade de trabalho, existe a possibilidade de aceder ao separador “*Manage*”, painel “*Settings*” e seleciona-se “*Project Units*”, ou então de uma forma mais rápida através do comando “U+N”. Assim sendo, é iniciada uma janela onde é possível definir a unidade de trabalho, como também o número de casas decimais para cada tipo de parâmetro, “*Length*”, “*Área*”, “*Volume*”, “*Ângle*”, entre outros.

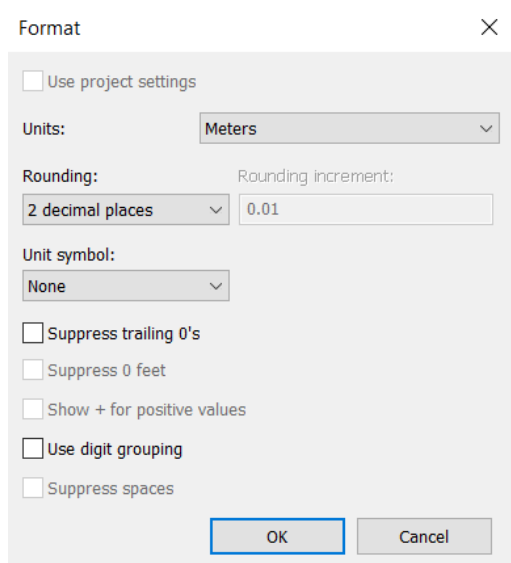


Figura 18 - Configuração das unidades de projeto

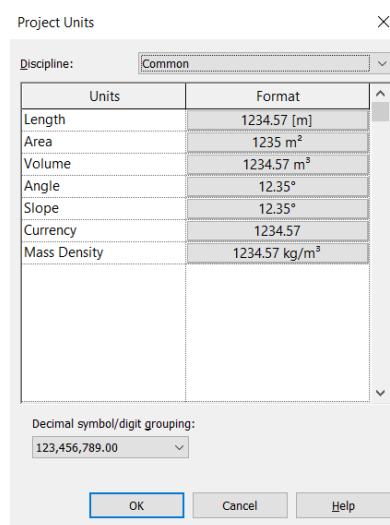


Figura 19 - Formato das unidades de projeto

#### 3.5.1.2. NÍVEIS E GRELHAS

Para iniciar a modelação do edifício exigiu estabelecer os níveis de construção, através da introdução do valor da cota altimétrica e da designação de cada nível. O *template* do Revit, inicialmente apresenta alguns níveis já pré-definidos, onde é possível proceder à sua edição ou a criação de novos. Sempre que é criado um novo nível, existe a necessidade de criar um *Structural Plan* correspondente a esse mesmo nível. Para tal no separador “*View*”, painel “*Create*” é possível seleccionar “*Plan Views*”. No caso em estudo foram criados 13 níveis, correspondentes do piso -4 ao piso da cobertura.

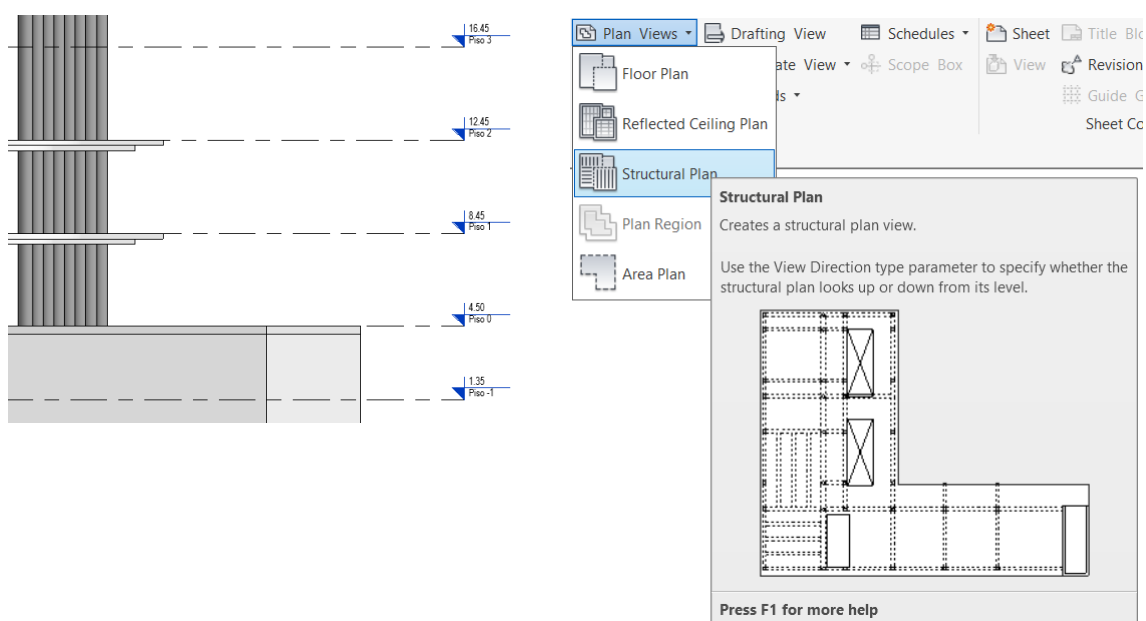


Figura 20 – Definição dos níveis estruturais

Adicionalmente, também existiu a necessidade de criar eixos de projetos denominados por “*grids*” num projeto de REVIT, correspondentes aos alinhamentos ortogonais a ter em consideração na modelação. Estas “*grids*” devem apoiar a definição da solução estrutural projetada, onde as interseções dos alinhamentos representam a localização dos eixos dos pilares.

### 3.5.1.3. MATERIAIS

A escolha do material para cada elemento estrutural, pode-se considerar que é uma etapa indispensável na forma de organização do modelo BIM. É no material que pode ser definido para cada elemento estrutural o seu aspeto gráfico, tanto em vista como em corte, como a sua quantificação e identificação deste parâmetro associada a cada elemento. De acordo com a figura 21, é de possível demonstração, a criação do material betão C30/37 e a definição do seu aspeto na produção das peças desenhadas deste caso de estudo.

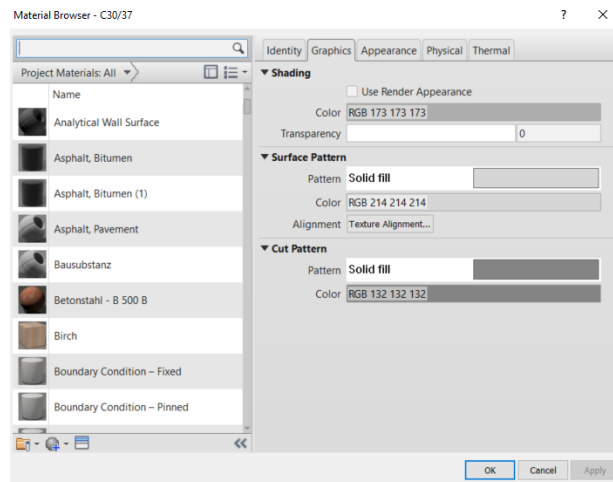


Figura 21 - Criação do material

### 3.5.2. COMPATIBILIZAÇÃO COM A ARQUITETURA EXISTENTE

Sendo um dos objetivos do BIM a cooperação entre as diversas especialidades, neste caso não existiu exceção. Com o intuito de iniciar uma solução estrutural e compatibilizá-la com a arquitetura existente, identificando e eliminando conflitos e incongruências, o Revit possui uma opção bastante útil e eficaz neste processo, sendo esta denominada por “*Manage Links*”. Esta opção do Revit permitiu a ligação com referências externas no formato *rvt*, compatibilizando assim toda a solução estrutural com a solução arquitetônica proposta. Uma vez inserido o ficheiro de arquitetura existente, sempre que o projeto sofra alterações a nível desta especialidade, o Revit permite a opção “*reload*” permitindo assim de forma rápida e automatizada proceder à atualização desta referência externa no projeto em estudo.

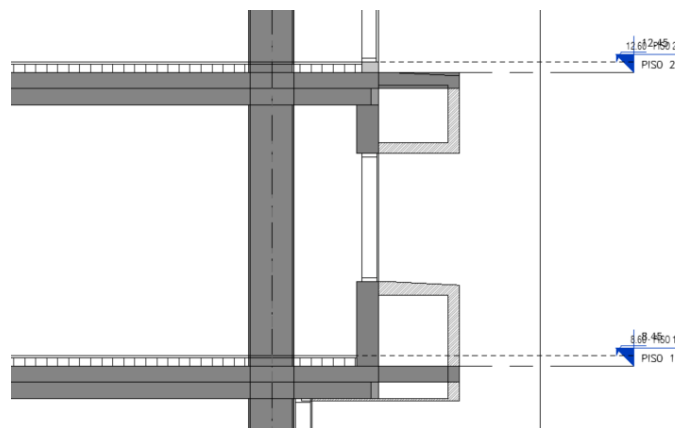


Figura 22 - Compatibilização entre o modelo estrutura e arquitetura (vista em corte)

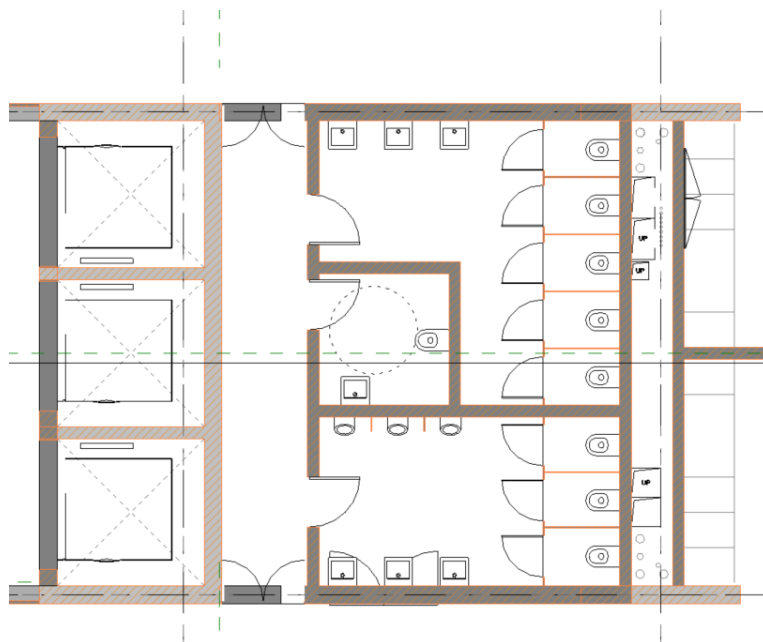


Figura 23 - Compatibilização entre o modelo estrutura e arquitetura (vista em planta)

Como demonstra as figuras 22 e 23, utilizando assim a capacidade do Revit, foi possível adicionar ao modelo de estrutura, o link do modelo arquitetura, possibilitando fazer a coordenação entre estes 2 modelos. No modelo de estrutura encontra-se modelado todos os elementos estruturais do edifício enquanto que no modelo arquitetônico tem a necessidade de conter todos os elementos não estruturais, tais como paredes de alvenaria e enchimentos. Verificou-se assim neste caso, a existência de algumas incompatibilidades que necessitaram de ser ajustadas ao longo de toda a concepção do projeto, tais como portas e outros acessos devido à necessidade de paredes resistentes estruturais.

### 3.5.3. ORGANIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS OBJETOS

De forma a organizar e tirar a máxima rentabilidade do modelo BIM, foi criado um sistema de classificação de objetos, que se apresenta de seguida. Este sistema encontra-se organizado da seguinte forma:

- **Nomenclaturas:** nomeação dos objetos em função da sua família e tipo de família, dependendo também se a família é de sistema ou carregável;
- **Parâmetros partilhados:** definição dos parâmetros partilhados para a organização e extração de informação dos objetos consoante a sua família (FL Família), piso (FL Piso); divisão dos parâmetros por tipo e por instância;
- **Códigos:** códigos para os objetos, dependendo da sua função e da especialidade; códigos para os materiais.

Na tabela 7, é exemplificado a classificação dos elementos modelados.

Tabela 7 - Nomenclaturas/Descrição dos elementos

Categorias	Family		Type	
	Tipos de família	Descrição	Exemplo	Designação
Carregáveis	Nome-Função-Material	FL-PILRET-C30	Dimensões	0.30x0.30m
Sistema	-	-	Nome-Função-Material-Dimensões	FL-LAJ-C30-0.30x0.30m

Tabela 8 - Nomenclatura associadas aos parâmetros partilhados

Categorias	Family		Type	
	Tipos de família	Descrição	Exemplo	Designação
Carregáveis	"FL Família"	FL-PILRET-C30	"FL Tipo"	0.30x0.30m
Sistema	-	-	"FL Família" - "FL Tipo"	JSJ-PIL-C30-0.30x0.30m

Na tabela 9, é descrito quais os parâmetros partilhados comuns a todos os elementos modelados:

Tabela 9 - Parâmetros partilhados

<b>Nome do parâmetro</b>	<b>Tipo de parâmetro</b>	<b>Designação</b>	<b>Exemplos</b>
FL Família	Type	Nome-Função-Material	FL-PILRET-C30
FL Tipo	Type	Dimensões	0.30x0.30m
FL Piso	Instance	Piso Associado	Piso 1

Toda esta organização e classificação de objetos utilizados neste caso de estudo encontra-se na tabela 11.

Tabela 10 – Classificação de elementos

FUNÇÃO				FAMÍLIAS SISTEMA				Shared Parameters			
Elementos				Familia		Tipo		FL Familia		FL Tipo	
Nome	Função	Categoria	Código	Designação	Exemplos	Designação	Exemplos	Designação	Exemplos	Designação	Exemplos
Fundações	Parede Moldada	Walls	PARMOL	-	-	Autor-Função-Material-Dimensões	FL-PARMOL-C30-0,30m	Autor-Função-Material	FL-PARMOL-C30	Dimensões	0,35m
	Muro Suporte	Walls	MURSUP	-	-	Autor-Função-Material-Dimensões	FL-MURSUP-C30-0,30m	Autor-Função-Material	FL-MURSUP-C30-0,30m	Dimensões	0,30m
	Estacas	Structural Column	EST	Autor-Função-Material	FL-PIL-C30	Dimensões	Ø1,20m	Autor-Função-Material	FL-PIL-C30	Dimensões	Ø1,20m
	Sapatas	Structural Column	SAP	Autor-Função-Material	FL-SAP-C30	Dimensões	2,00x2,00x1,00m	Autor-Função-Material	FL-SAP-C30	Dimensões	2,00x2,00x1,00m
	Sapatas Muro de Suporte	Structural Foundation	SAPMUR	Autor-Função-Material	FL-SAPMUR-C30	Dimensões	2,00x2,00x1,00m	Autor-Função-Material	FL-MURSUP-C30	Dimensões	2,00x2,00x1,00m
	Vigas de fundação	Structural Framing	VIGFUN	Autor-Função-Material	FL-VIGFUN-C30	Dimensões	0,40x0,60m	Autor-Função-Material	FL-VIGFUN-C30	Dimensões	0,40x0,60m
	Laje de ensoleiramento	Structural Foundation	LAJENS	-	-	Autor-Função-Dimensões	FL-LAJENS-0,50m	Autor-Função	FL-LAJENS	Dimensões	0,50m
Betão de regularização	Structural Foundation	BETREG	-	-	Autor-Função-Material-Dimensões	FL-BETREG-C16-0,05m	Autor-Função-Material	FL-BETREG-C30	Dimensões	0,05m	
Estrutura	Pilares (b x h)	Structural Column	PIL	Autor-Função-Material	FL-COLRET-C30	Dimensões	0,20x0,40m	Autor-Função-Material	FL-PIL-C30	Dimensões	0,20x0,40m
	Pilares circulares	Structural Column	PILCIR	Autor-Função-Material	FL-PILCIRC-C30	Dimensões	Ø1,20m	Autor-Função-Material	FL-PILCIR-C30	Dimensões	Ø1,20m
	Pilares ovais	Structural Column	PILOVA	Autor-Função-Material	FL-PILOVA-C30	Dimensões	0,20x0,40m	Autor-Função-Material	FL-PILOVA-C30	Dimensões	0,20x0,40m
	Paredes	Walls	PARMOL	-	-	-	FL-PAR-C30-0.30m	Autor-Função-Material	FL-PAR-C30	Espessura	0.30m
	Paredes Núcleos	Walls	PARNUC	-	-	-	FL-PARNUC-C30-0.30m	Autor-Função-Material	FL-PARNUC-C30	Dimensões	0.30m
	Vigas	Structural Framing	VIGFUN	Autor-Função-Material	FL-VIGFUN-C30	Dimensões	0.30x0.60m	Autor-Função-Material	FL-VIGFUN-C30	Dimensões	0.30m
	Lajes	Floors	LAJ	-	-	Autor-Função-Material-Espessura	FL-LAJ-C30-0.30m	Autor-Função-Material	FL-LAJ-C30	Espessura	0.30m
	Bandas	Floors	BAND	-	-	Autor-Função-Material-Espessura	FL-BAND-C30-0.30m	Autor-Função-Material	FL-BAND-C30	Espessura	0.30m
	Capiteis	Floors	CAP	-	-	Autor-Função-Material-Espessura	FL-CAP-C30-0.30m	Autor-Função-Material	FL-CAP-C30	Espessura	0.30m
	Rampas	Floors	RAM	-	-	Autor-Função-Material-Espessura	FL-RAM-C30-0.30m	Autor-Função-Material	FL-RAM-C30	Espessura	0.30m
Escadas	Stairs	ESC	-	-	Autor-Função-Material-Espessura	FL-ESC-C30-0.30m	Autor-Função-Material	FL-ESC-C30	Espessura	0.30m	

### 3.5.4. ORGANIZAÇÃO DO BROWSER

De forma a organizar o projeto a nível de vistas, folhas, tabelas, legendas e famílias, o “Project Browser” é a peça chave para conseguir condensar toda esta informação.

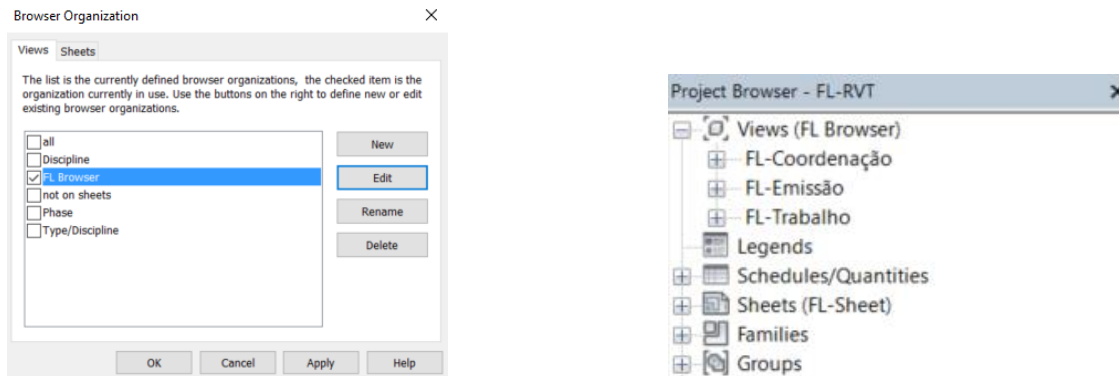


Figura 24 - Organização do Browser

Neste projeto de forma a obter uma boa base para a organização das “Vistas do Browser” foi necessário criar vistas de trabalho, de coordenação e de emissão.

- **Vista de trabalho**, onde é possível ocultar e filtrar informação para desenvolvimento do trabalho sem colocar em causa o aspeto final da vista de emissão;
- **Vista de coordenação**, vista esta onde é possível fazer a coordenação entre o projeto de arquitetura e estrutura”, contendo permanentemente deste modo ativo o link do modelo de arquitetura;
- **Vista de emissão**, que terá sempre bem definida, permitindo impressão/exportação em qualquer momento, independentemente do estado de desenvolvimento da vista de trabalho, contendo anotações/referências dos elementos estruturais.

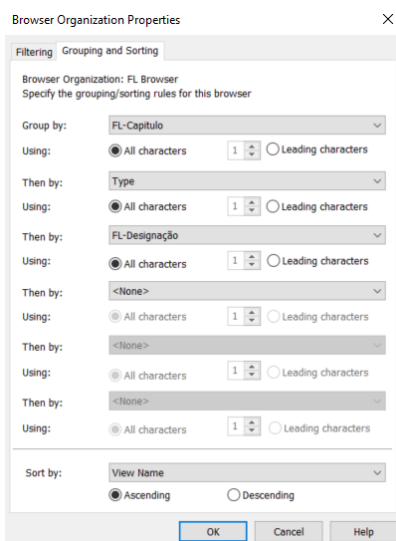


Figura 25 – Propriedades da organização do browser

### 3.5.5. TEMPLATES DE VISTAS

De forma a automatizar os processos das vistas, o “*View Template*” define um estilo gráfico para uma ou mais vistas. Assim sendo no “*template*” de vista é onde é definido o “Capitulo” e a Designação para que, além de ser definido o aspeto gráfico seja possível proceder à organização do Project Browser, por Trabalho, Coordenação e Emissão. Neste projeto foram definidos “*templates*” para vista em planta e vista de corte como representam as figuras 26 e 27.

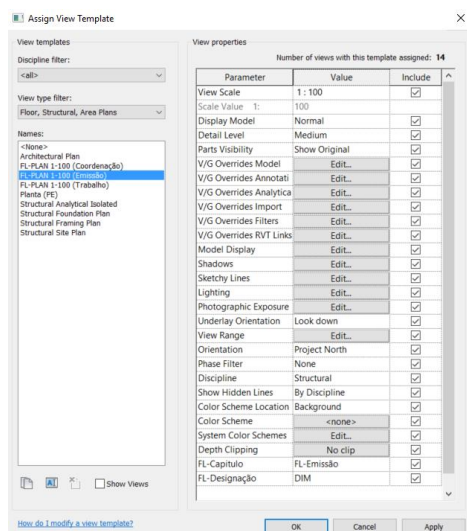


Figura 26 - Criação do "template"

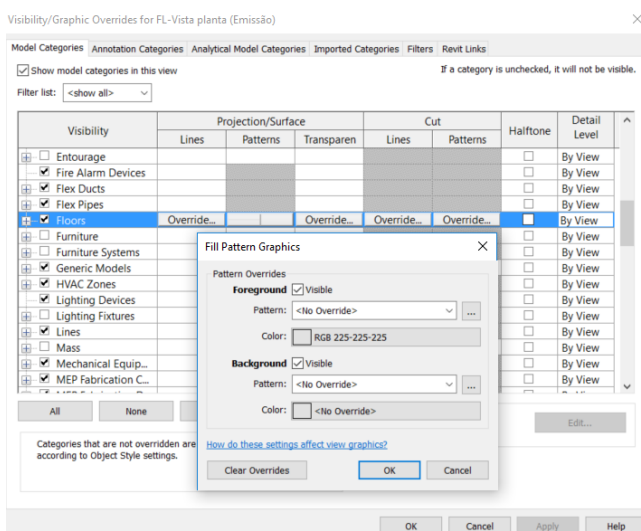


Figura 27 - Definição das características dos elementos do “*template*”

### 3.5.6. CRIAÇÃO DE FAMÍLIAS

A importância de um modelo geométrico de qualidade em BIM pode requerer a criação de novos objetos BIM, capazes de traduzir os elementos pretendidos. No entanto existem já vários elementos genéricos por defeito num projeto em Revit, sendo estes divididos por elementos carregáveis “famílias” e elementos não carregáveis, estando estes apenas aplicados ao projeto.

Em relação ao conjunto de elementos existentes estes são destinados às várias especialidades existentes num projeto, tais como estrutura, arquitetura, águas e esgotos e sistemas de AVAC, como também é permitida a criação de elementos neutros. Neste caso em estudo, serão apenas abordados elementos estruturais respetivamente colunas, paredes, vigas, lajes e fundações que permitindo assim a criação de modelo analítico.

Sem exceção, como quase em todos os projetos, verificou-se a existência de algumas particularidades, existindo a necessidade de criação de um pilar com uma seção pouco comum, tendo-se para isso elaborado uma família onde é possível parametrizar as dimensões do novo elemento, possibilitando com isso, que esta nova família de “Colunas” seja carregada no “Projeto Revit”, através de parâmetros que podem ser modificados. Para este caso, foram definidos os parâmetros  $b$  (largura),  $h$  (altura total) e  $h_1$  (altura da alma).

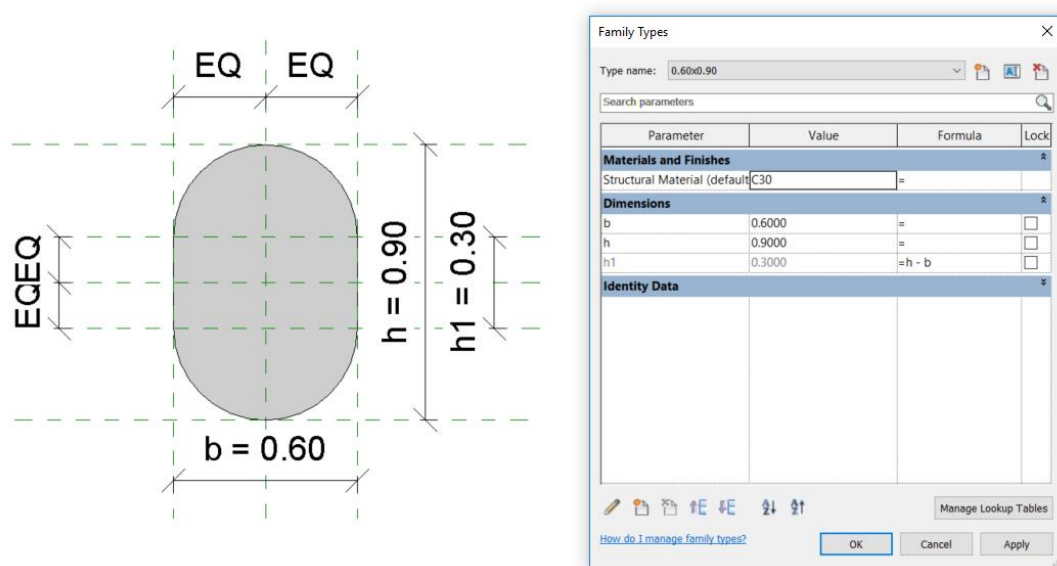


Figura 28 - Criação de família "Structural Column"

Após criação desta família, esta poderá ser guardada e reintroduzida em novos diferentes projetos sempre que o seu uso seja pretendido, originando por parte do utilizador a criação de uma biblioteca de novos elementos.

### 3.5.7. CRIAÇÃO DE TAGS

Um dos objetivos da elaboração de um modelo BIM é a criação de automatismos e eliminar a probabilidade da existência de incoerências ao nível do projeto, nomeadamente na elaboração das peças desenhadas. Desta forma, o Revit dispõe de um automatismo de anotações aos elementos a apresentar denominado “TAG”, sendo também possível proceder à sua parametrização através da criação de uma família destinada a cada tipo de elemento.

Neste projeto existiu a necessidade da criação de um trabalho base através de várias famílias de anotação para cada tipo de elemento, utilizando a catalogação dos parâmetros partilhados como é demonstrada na figura 29.

#### 3.5.7.1. TAG FLOOR

De forma a exemplificar esta situação, é representado a forma de parametrização do “TAG” do elemento de laje. Neste caso pretendia-se que fosse indicado no elemento “*floor*” a cota altimétrica, a espessura da laje e a indicação do piso em questão. Como exemplificam as figuras seguintes é demonstrado a constituição deste elemento de forma a obter-se o desejado, sendo assim associados os parâmetros pretendidos.

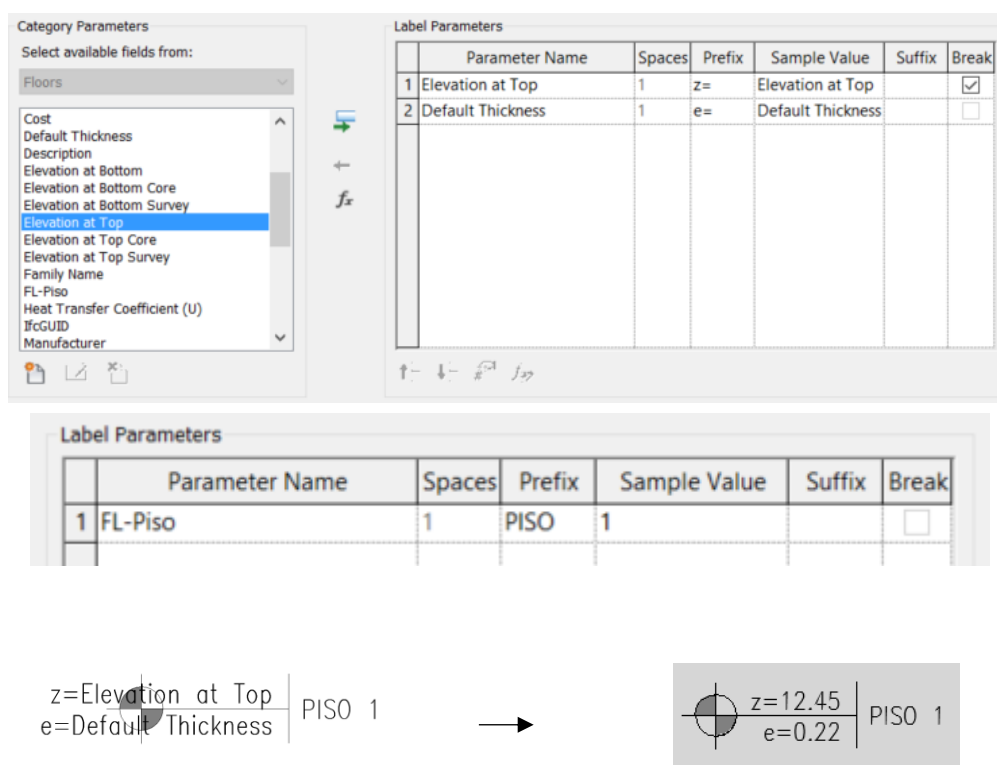


Figura 29 – Criação do elemento de anotação “Floor”

Mais uma vez, como referido anteriormente, a criação para elementos de laje poderá ser armazenada na biblioteca do utilizador e sempre que o seu uso seja pretendido poderá ser carregada em novos projetos.

### 3.5.7.2. TAG COLUMN

Sem exceção os pilares também seguiram uma metodologia de anotação. Neste projeto de forma a elaborar a anotação dos pilares foi necessária a criação de 2 parâmetros de instância (*Nº Pilar* e *Letra Pilar*) aplicados à categoria “*Structural Columns*” e a utilização do parâmetro “*Type name*” já existente de forma a fazer a indicação da dimensão do mesmo.

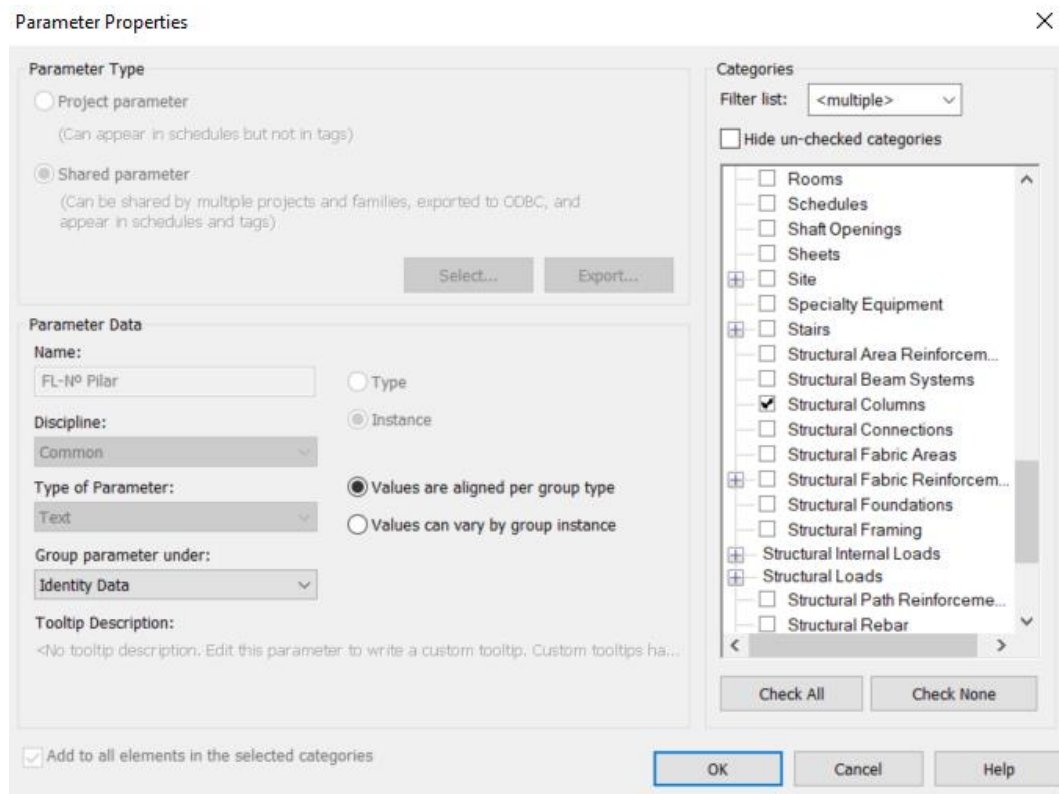


Figura 30 - Adição de parâmetro partilhado ao elemento “tag” *Structural Column*

Após criação destes parâmetros é necessário proceder à catalogação da simbologia de instância adotada. De seguida foi elaborada a família de anotação consituída através do elemento “label”, onde é possível fazer a chamada destes parâmetros como é demonstrado na figura 31, de forma a obter uma anotação automatizada destes elementos.

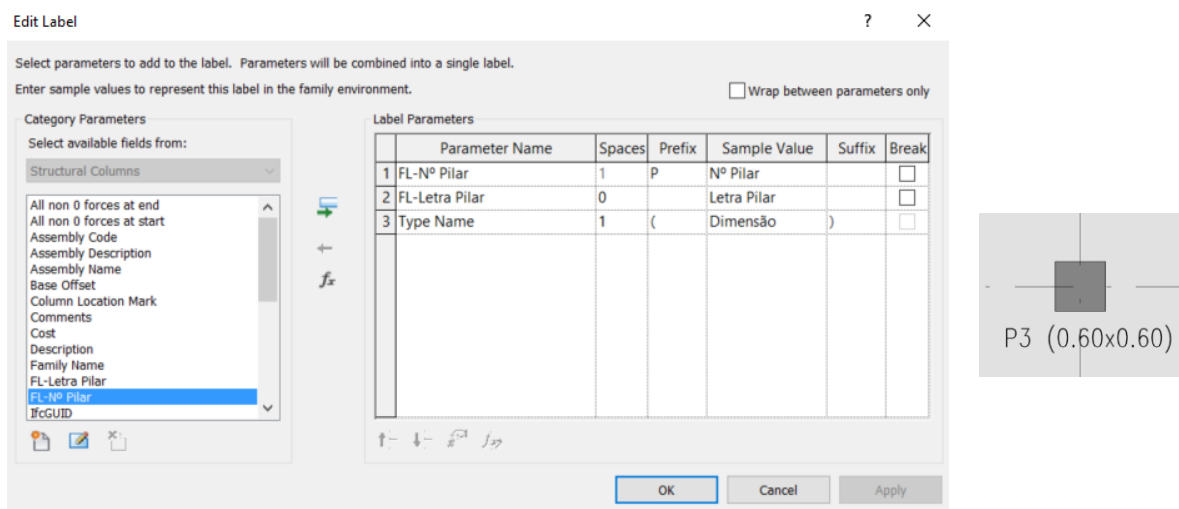


Figura 31 - Criação do elemento "tag" *Structural Column*

### 3.5.7.3. TAG WALL

No caso das paredes a metodologia de simbologia destas também originou a criação de um parâmetro de instância (*Nº Parede*) aplicado às "Walls" e a utilização dos parâmetros já existentes (*With* e *Length*).

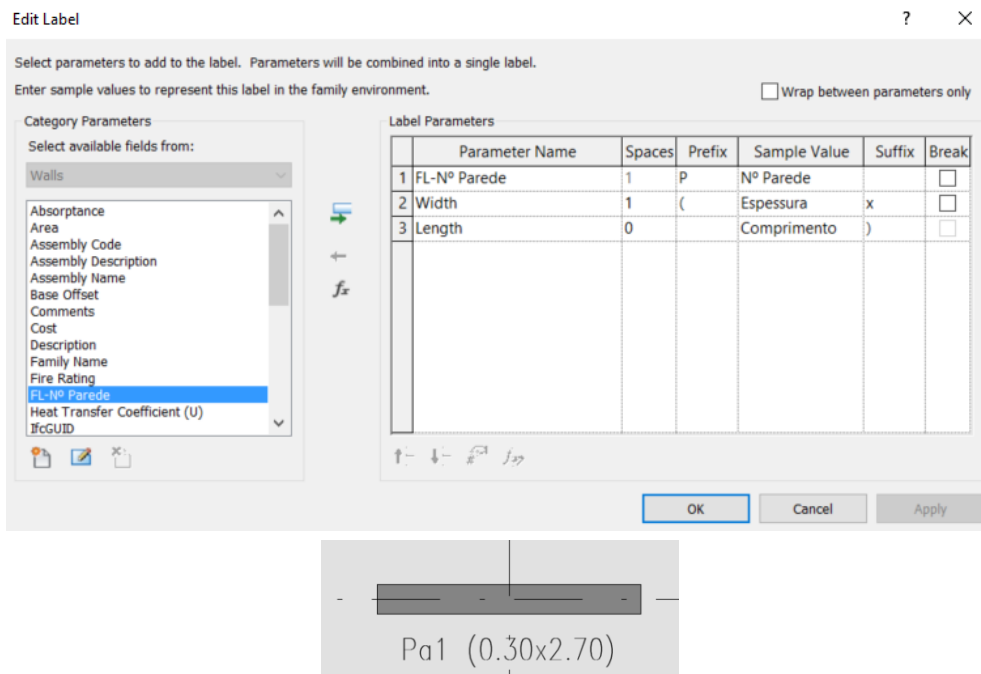


Figura 32 - Criação do elemento "tag" *Wall*

### 3.5.7.4. TAG BEAM

Em relação às vigas pretendeu-se fazer a indicação do nº viga e fazer referência ao piso em que esta se encontra juntamente com a indicação da sua dimensão. Para isso de forma semelhante aos outros elementos foram criados parâmetros de instância aplicados ao elemento “*structural framing*”.

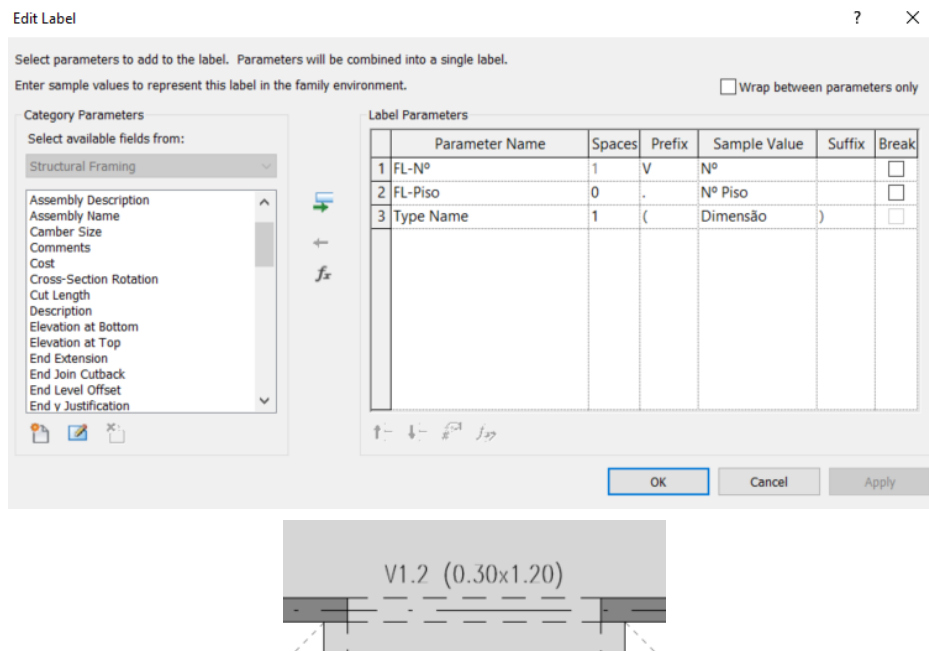


Figura 33 - Criação do elemento "tag" beam

### 3.5.8. DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS E RESPECTIVOS CRITÉRIOS DE MODELAÇÃO

Durante a modelação dos elementos estruturais de um edifício em BIM é necessário ter em conta diretrizes adequadas aos objetivos pretendidos, pois a modelação com fins para efeitos de visualização contem alguns processos distintos da modelação para efeitos de obtenção de quantidades ou até mesmo de modelo analítico. Nesta perspetiva os elementos de modelação existentes no Revit são distinguidos por diferentes categorias, de forma a fazer a diferenciação do tipo de elemento que se pretende modelar.

Assim sendo neste capítulo, serão abordados os principais critérios de modelação tomados no processo de criação deste modelo BIM.

### 3.5.8.1. PILARES

No separador “*Structure*” do Revit, é possível encontrar os elementos “*Structural Columns*” correspondentes aos pilares estruturais. Neste caso foram criados pilares com novas dimensões desejadas a utilizar neste caso de estudo. Para tal, na janela “*Properties*”, na opção “*Edit Type*” seleciona-se a função “*Duplicate*”, é possível indicar o nova dimensão do pilar, como também é possível definir os valores dos parâmetros *h*, *b* e o material associado a este elemento.

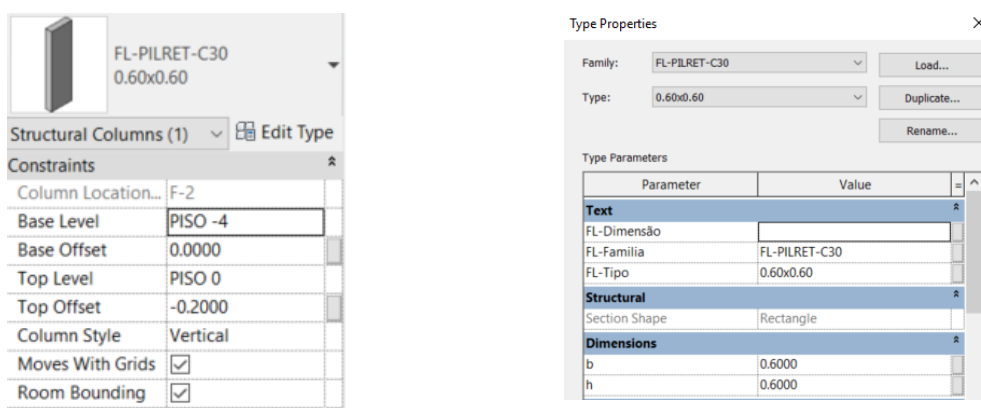


Figura 34 -Criação do elemento “*Structural Column*”

Os pilares foram modelados de acordo com a categoria “*Structural Column*” estando a altura destes compreendida entre a face superior da laje/viga sobre a qual apoia e a face superior da viga/laje/capitel situado imediatamente acima do pilar. Em termos de modelo analítico esta opção justifica-se devido ao fato de existir ligação perfeita do nó do pilar à laje. Se a modelação do pilar fosse compreendida até à face inferior da viga/laje/capitel iria existir um offset do nó do pilar até ao elemento laje. Assim sendo esta opção irá originar inconvenientemente duplicação de volume pilar com a viga/laje/capitel que é resolvida através do comando “*switch join order*”, conseguindo definir a ordem de junção dos elementos.

É de ter em conta que em certos casos, a necessidade de um planeamento 4D por piso não permite que seja modelado como um elemento único com mais de um piso. Visto não ser o objetivo deste caso de estudo, o pilar foi modelado como um só elemento da fundação até ao último piso.

Como é demonstrado na figura 35, todos os pilares seguiram esta metodologia, realçando à cor azul as quantidades a considerar do elemento.

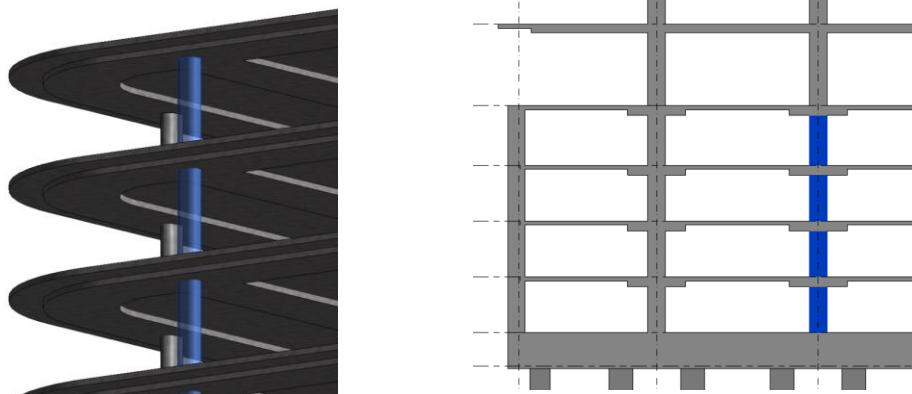


Figura 35 - Modelação do elemento "Structural Column"

### 3.5.8.2. VIGAS

O processo de criação das vigas é idêntico ao dos pilares. Assim da mesma forma, através da opção "Duplicate", é possível criar novas secções dentro da mesma família de vigas. Estes elementos são criados sempre com um base num nível de referência.

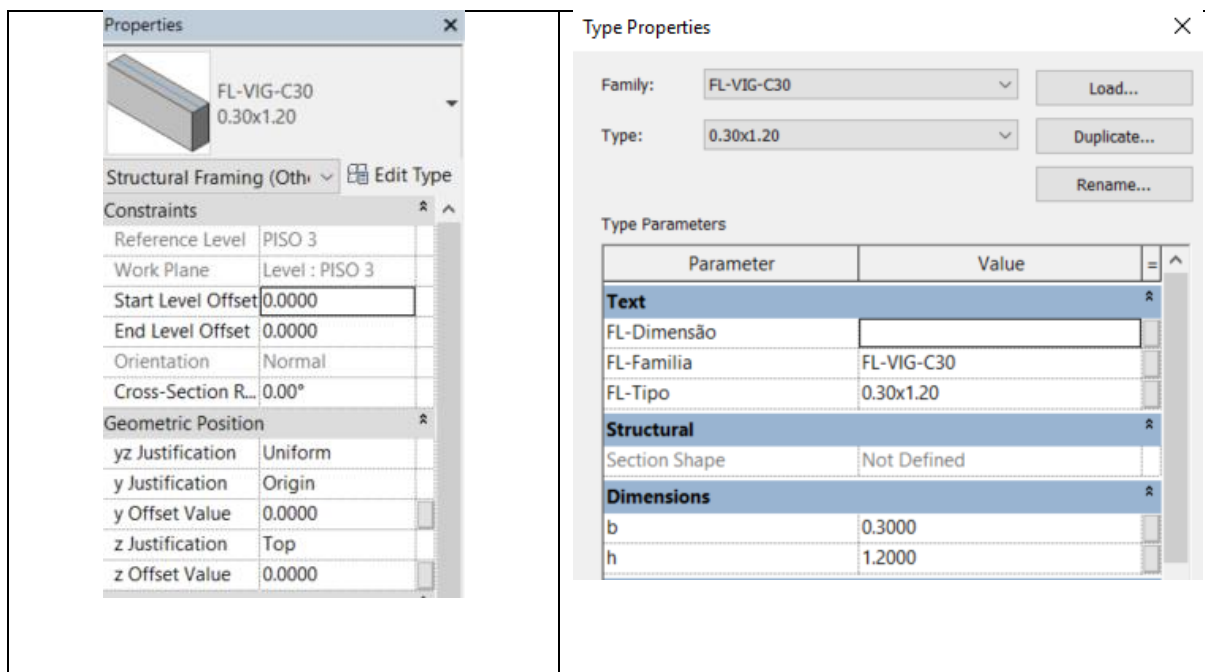


Figura 36 – Criação do elemento "Structural Framing"

Relativamente à modelação destes elementos “*Structural Framing*”, a sua altura foi compreendida entre a face inferior da viga e a face superior da laje apoiada sobre esta. Esta situação mais uma vez trará problemas em termos de duplicação de volume com o elemento laje, sendo resolvida recorrendo ao método descrito nos pilares, ou seja, através do comando “*switch join order*” garantindo que em termos de medição quantidades as vigas só serão contabilizadas até à face inferior da laje.

### 3.5.8.3. LAJES/CAPITEIS/BANDAS

Todos os elementos de lajes/bandas/capiteis seguiram a modelação através de um elemento da categoria “Floor”, pois em termos de modelo analítico o REVIT aborda estes elementos como “sheels” benéfico para a utilização no modelo de cálculo estrutural.

Estes elementos são representados com base no traçado do seu perímetro, estando a sua criação dependente apenas da sua espessura/altura. Assim sendo na janela “*Properties*” é indicada o tipo de laje que se pretende usar. Recorrendo ao mesmo método dos pilares e vigas em “*Edit Type*” seguido em “*Duplicate*” é possível criar o elemento com a espessura pretendida. De seguida, é indicado o valor da espessura da laje através da opção “*Edit*” na janela de edição.

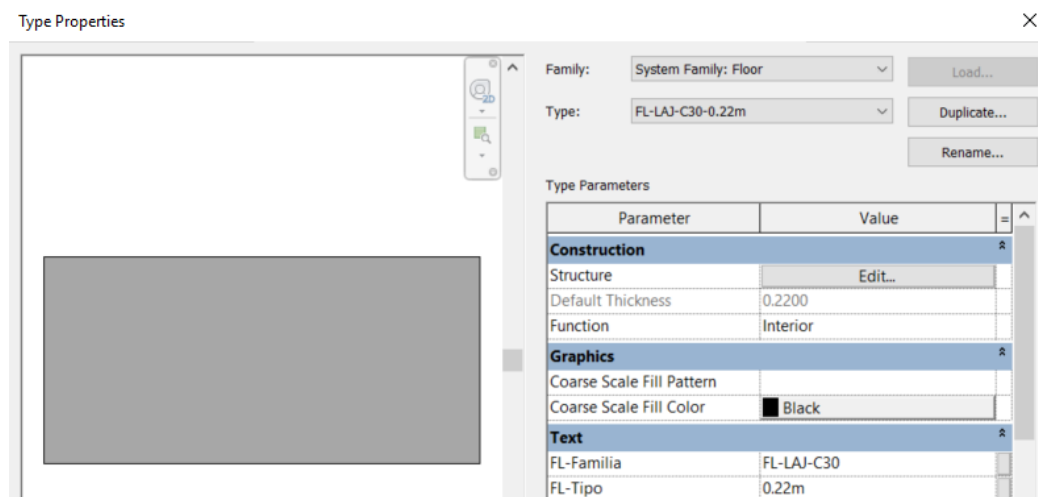


Figura 37 - Criação dos elementos "Floor"

Ao ser selecionada, a opção *Edit*, agora na janela *Edit Assembly* foi possível indicar a espessura do elemento como também escolher o material a ser utilizado, como indica a figura 38.

Após este processo através da opção “*Boundary Line*” e o respetivo comando “*Line*” é possível traçar o perímetro de laje. É de salientar que a face superior deste elemento, situa-se por defeito na cota do nível ativo.

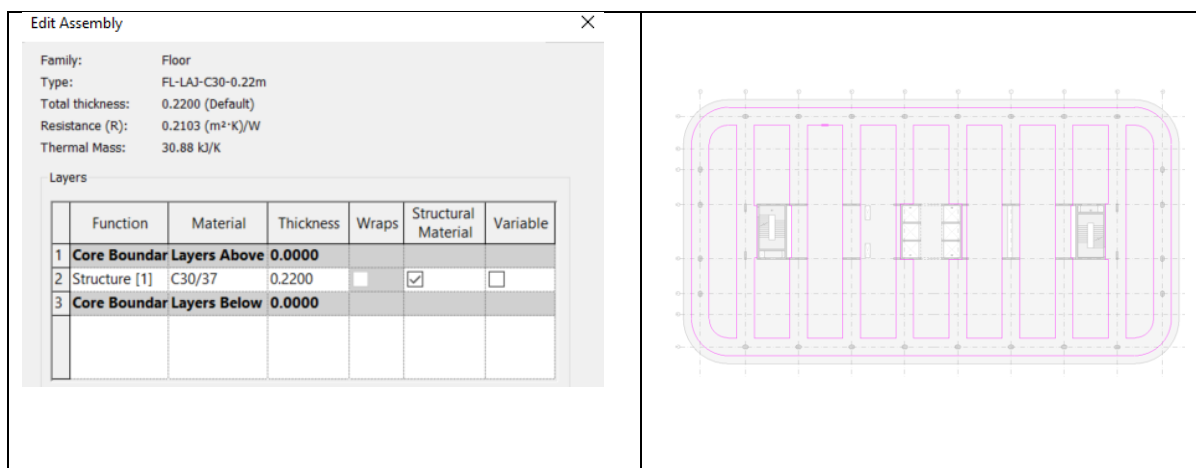


Figura 38 - Definição da espessura e limites dos elementos “*Floor*”

No caso de lajes com bandas ou capiteis na modelação destes elementos existiu o estudo de 2 abordagens diferentes de modelação:

- 1) *Altura dos capiteis/bandas definida entre a face superior do pilar e a face superior da laje, mas considerando que em termos de ordem de junção o volume da laje é descontado ao volume do capitel/banda, como demonstra a figura 39 à esquerda;*
- 2) *Altura dos capiteis/bandas definida entre a face superior do pilar e a face superior da laje, mas considerando que em termos de ordem de junção o volume do capitel/banda sobrepõe-se ao volume de laje, de acordo com a figura 39 à direita.*

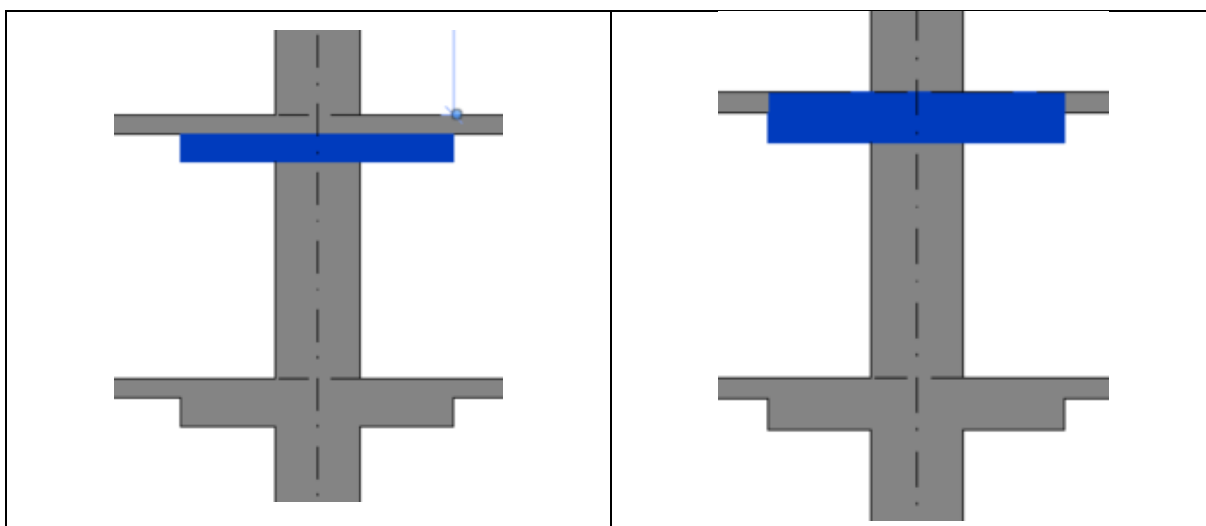


Figura 39 – Critério de modelação dos capiteis/bandas (corte)

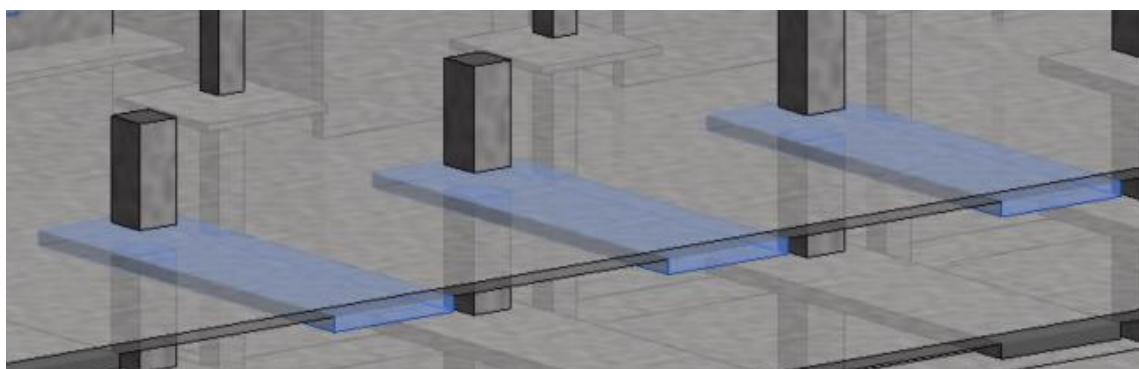


Figura 40 - Critério de modelação dos capiteis/bandas (3D)

Após o estudo destas 2 situações verificou-se que a abordagem 1) era mais benéfica em termos do objetivo do modelo BIM em estudo. Em termos de modelo analítico e quantidade de volume de betão estas 2 abordagens eram indiferentes para o objetivo proposto, mas em termos de medição de cofragem a abordagem 2 traria inconvenientes pois iria medir a cofragem lateral do capitel/banda equivalente à sua altura e não até à face inferior da laje.

#### 3.5.8.4. PAREDES

A modelação das paredes seguiu um processo semelhante ao dos pilares, sendo também modeladas como elementos únicos das fundações até ao último piso. Na modelação destas ao contrário que acontece nos outros elementos verticais não existiu interrupção da quantidade de volume de betão por parte das lajes, tendo em consideração o faseamento construtivo. A criação destes elementos teve por base o conceito referido nos elementos lajes, sendo também permitido a criação de uma nova dimensão, neste caso, a espessura.

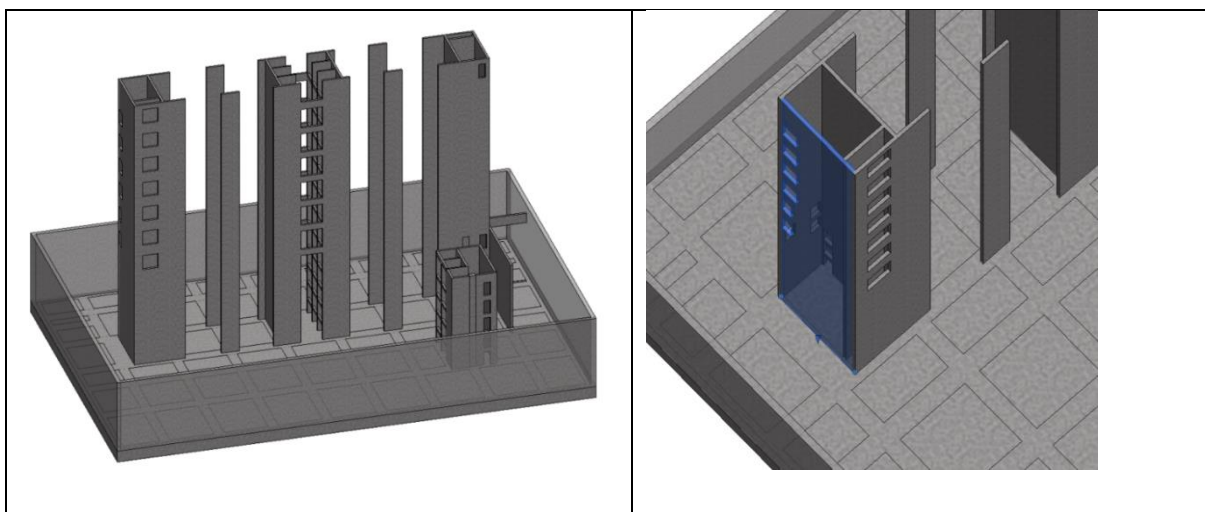


Figura 41 - Modelação dos elementos "Wall" (3D)

### 3.5.8.5. FUNDAÇÕES/PISO TÉRREO

Neste projeto o piso térreo foi modelado por único elemento “Slab” composto pelas diversas camadas necessárias no projeto (Massame, Enrocamento, Terreno, e uma laje de ensoleiramento), onde foi possível indicar as espessuras pretendidas, de acordo como é exemplificado na figura 42.

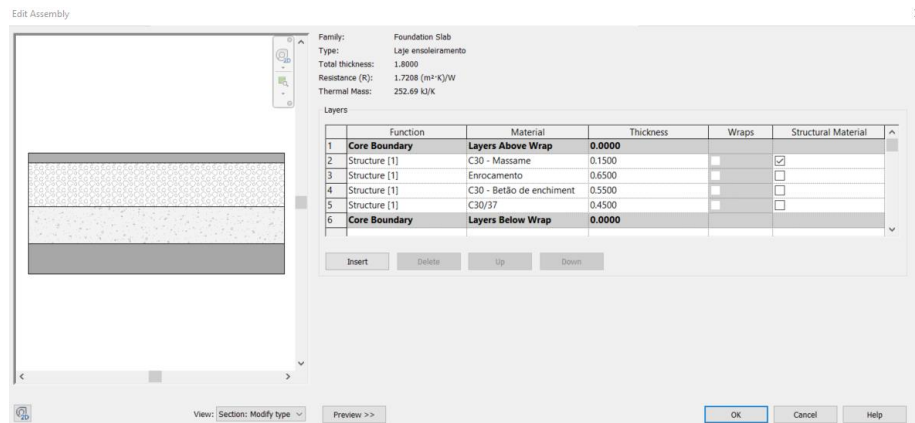


Figura 42 - Criação do elemento "Slab"

Relativamente às fundações indiretas (Estacas), estas foram modeladas como “*Structural Columns*” e as vigas de fundação como elementos “*Structural Framing*”.

### 3.5.8.6. ESCADAS

A modelação das escadas é algo que ainda não se encontra bem definido na modelação estrutural, pois estas apenas são encontradas na disciplina de Arquitetura. Sendo assim colocou-se 2 cenários em discussão:

- 1) *Modelação através do elemento “Stair”, elemento da disciplina de Arquitetura, não existindo possibilidade de união aos restantes elementos devido a não ser considerado um elemento estrutural;*
- 2) *Modelação através do “Model In Place”, permitindo a união deste elemento aos restantes elementos estruturais.*

Colocando estes 2 cenários, optou-se por proceder à modelação das escadas através do ponto 1), sendo este mais benéfico em termos de automatismos de desenho permitindo definir rapidamente a altura dos degraus e dos níveis associados em termos de posteriores alterações no projeto.

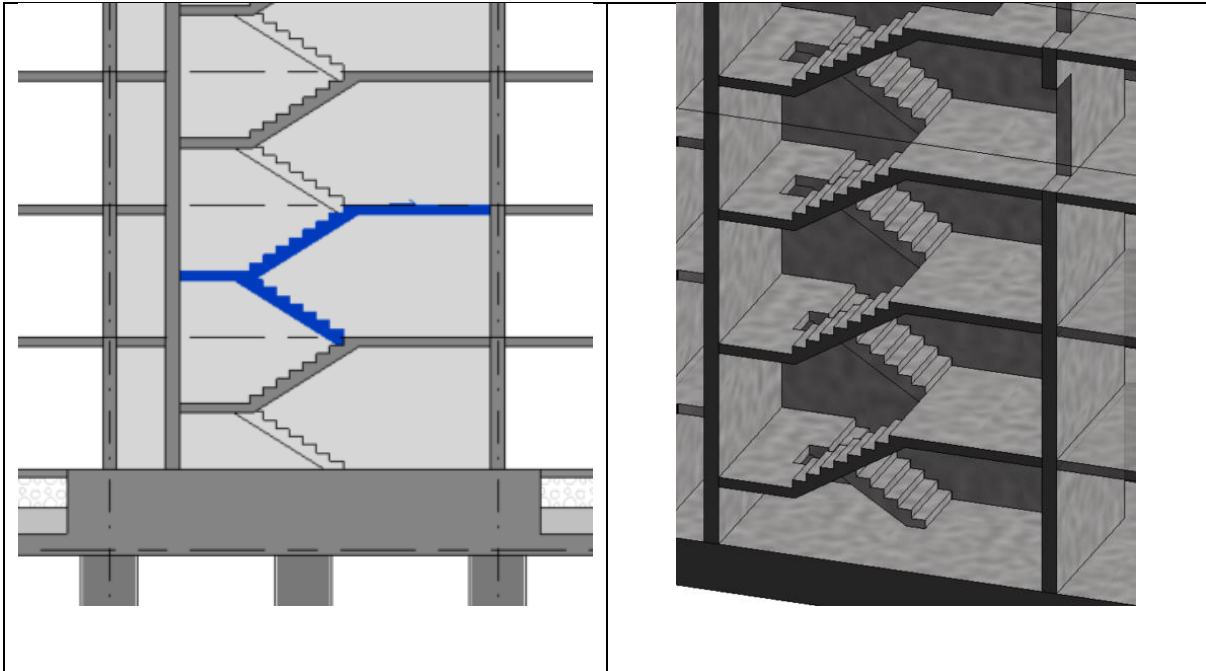


Figura 43 - Modelação dos elementos "Stair"

### 3.5.8.7. ABERTURAS

As aberturas dos elementos foram feitas através das diversas opções oferecidas pelo software, como é demonstrado na figura 44.



Figura 44 - Aberturas nos elementos "Estruturais"

### 3.5.8.8. APLICAÇÃO DE ARMADURAS

Numa parte interessante do projeto de estrutura em BIM encontra-se também a pormenorização das armaduras. Sendo a modelação das armaduras um método que ainda não se encontra agilizado nas ferramentas BIM e proceder-se à modelação de todas as armaduras deste caso de estudo iria traduzir-se num processo bastante moroso, principalmente verificando a existência de elementos estruturais com geometrias menos convencionais.

Assim sendo, neste caso de estudo, existindo a necessidade de lajes pré-esforçadas, tornou-se um problema no que toca à modelação destes elementos pré-esforçados. Nesta fase o Revit não correspondeu totalmente às expectativas apresentando limitações no que diz respeito à modelação dos cabos e bainhas de pré-esforço, não sendo disponibilizado por parte deste software elementos com esta finalidade. Uma das possíveis formas de contornar e assim sendo simular estes objetos seria com o recurso ao software “*Dynamo*”, criando uma rotina de modelação, ou através de alguns “*addons*” que possuem algum desenvolvimento destes elementos, mas ainda muito limitado. Visto não ser considerado o principal objetivo desta dissertação optou-se por pormenorizar estes elementos com recurso ao método tradicional de desenho do tipo CAD, utilizando a facilidade de obtenção de cortes do Revit.

No que diz respeito às armaduras ordinárias, o Revit oferece vários automatismos no que toca à pormenorização destes elementos, como a facilidade da alteração diâmetros dos varões como o ajuste automático do espaçamento das armaduras transversais.

Colocada esta situação a modelação das armaduras seguiu 2 métodos, sendo sempre a sua aplicabilidade dependente do elemento estrutural em causa:

- 1) *Modelação das armaduras diretamente nos elementos estruturais do modelo, sendo esta forma de modelação exequível em qualquer elemento estrutural. Neste caso o utilizador é responsável por colocar diretamente a armadura nos elementos estruturais possibilitando a escolha e localização exata dos varões;*
  
- 2) *Modelação das armaduras com recurso à extensão do Revit “Reinforcement” Nesta extensão existe a possibilidade de modelação da armadura de vários elementos estruturais, tais como, vigas, pilares, paredes, entre outros.*

Analisando estas 2 opções verifica-se que a opção 1), é, portanto, uma opção que permite uma maior personalização levando a recorrer à sua utilização no caso de elementos com geometrias mais irregulares e para soluções de pormenorizações mais complexas tornando-

se morosa e muito pouco automatizada. Quanto a opção 2) esta torna-se num processo com grandes automatismos tendo em consideração o diâmetro dos varões, o espaçamento das armaduras transversais e a garantia do recobrimento da secção definido no Revit. Porém o seu uso é de fato limitado por geometrias de elementos menos convencionais que possam não ser contempladas pela capacidade desta expansão do Revit.

Também nas zonas onde se encontra uma grande afluência de armaduras dos diferentes diversos elementos estruturais, como é o caso dos nós de ligação pilar/viga ou pilar/laje a conjugação dos vários varões, evitando sobreposições torna-se um processo de difícil definição e demorado.

Contudo, através da figura 45, é possível exemplificar o processo de colocação de armaduras no pilar P2 através do método de modelação com recurso à extensão "Reinforcement". Como é observável, a introdução do número de varões longitudinais e a sua disposição, como também a disposição das armaduras transversais ao longo de todo o pilar é algo bastante intuitivo e de rápida inserção.

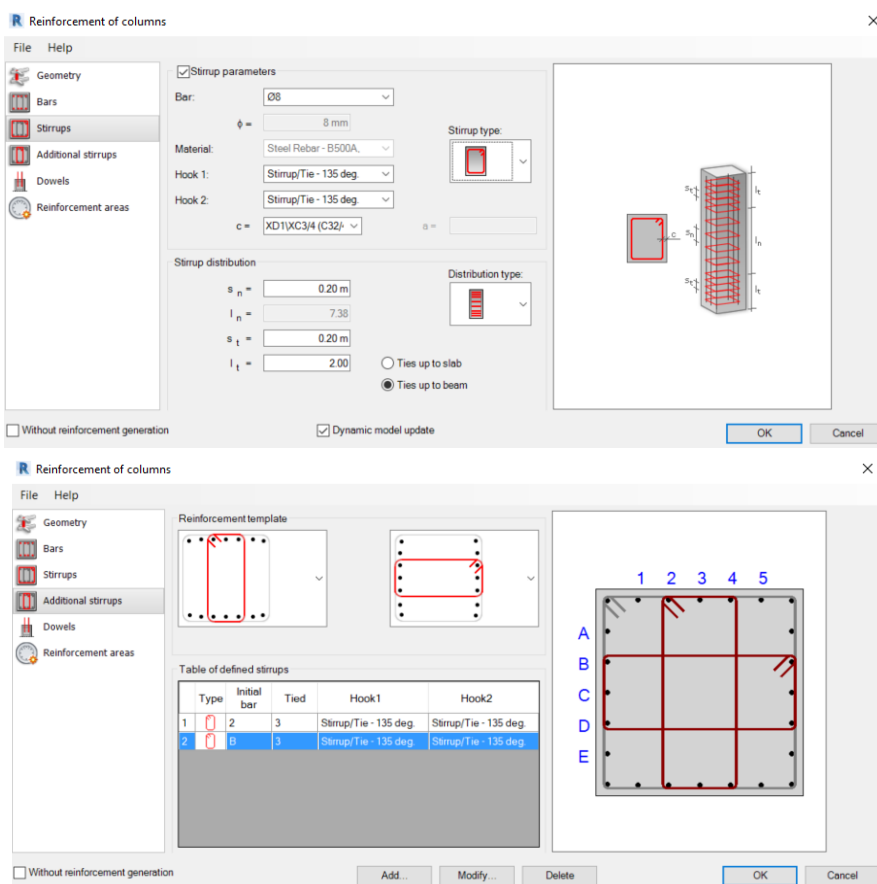


Figura 45 - Colocação de armaduras através da extensão "Reinforcement"

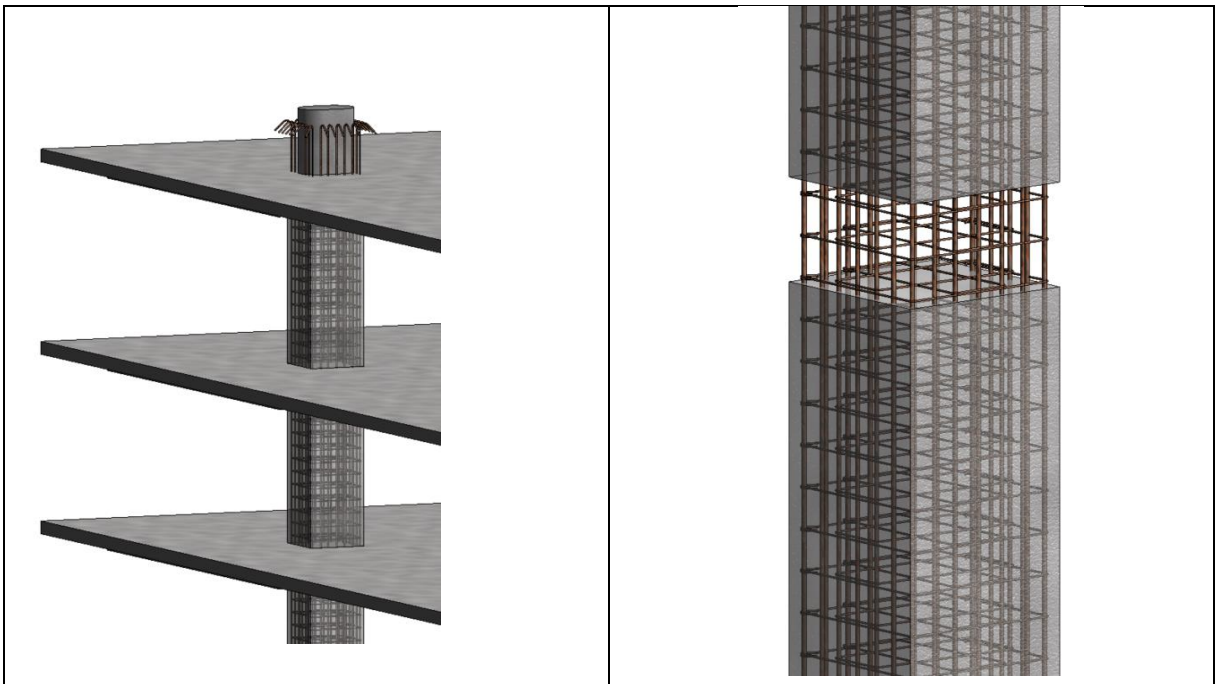


Figura 46 - Armaduras em P2 (3D)

### 3.5.9. VALIDAÇÃO DO MODELO

A capacidade de análise de interferências e conflitos entre os diversos elementos estruturais da mesma especialidade e entre especialidades diferentes é uma das grandes vantagens do modelo BIM, garantindo assim um projeto de qualidade e evitando possíveis erros humanos. Assim sendo, no presente caso de estudo, apesar da existência de um conjunto de visualizadores BIM, com capacidade mais detalhada no que diz respeito a análise de erros e conflitos, como é o caso do software “Navisworks” da Autodesk utilizou-se a capacidade de análise de interferências do Revit entre elementos da mesma especialidade (elementos estruturais) e entre estes últimos e o modelo de arquitetura existente.

Para proceder à deteção de interferências através do separador *Collaborate*, seguido de “*Coordinate*” e “*Interference Check*”.

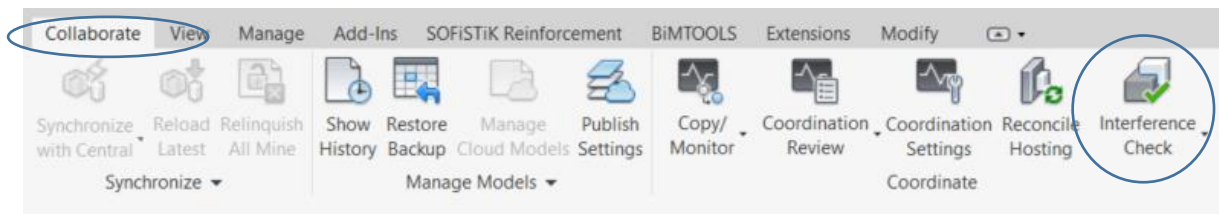


Figura 47 - Menu "Collaborate"

Através da interface, demonstrada na figura 48, é possível cruzar os modelos como também os tipos de elementos que se pretende proceder a verificação das interferências.

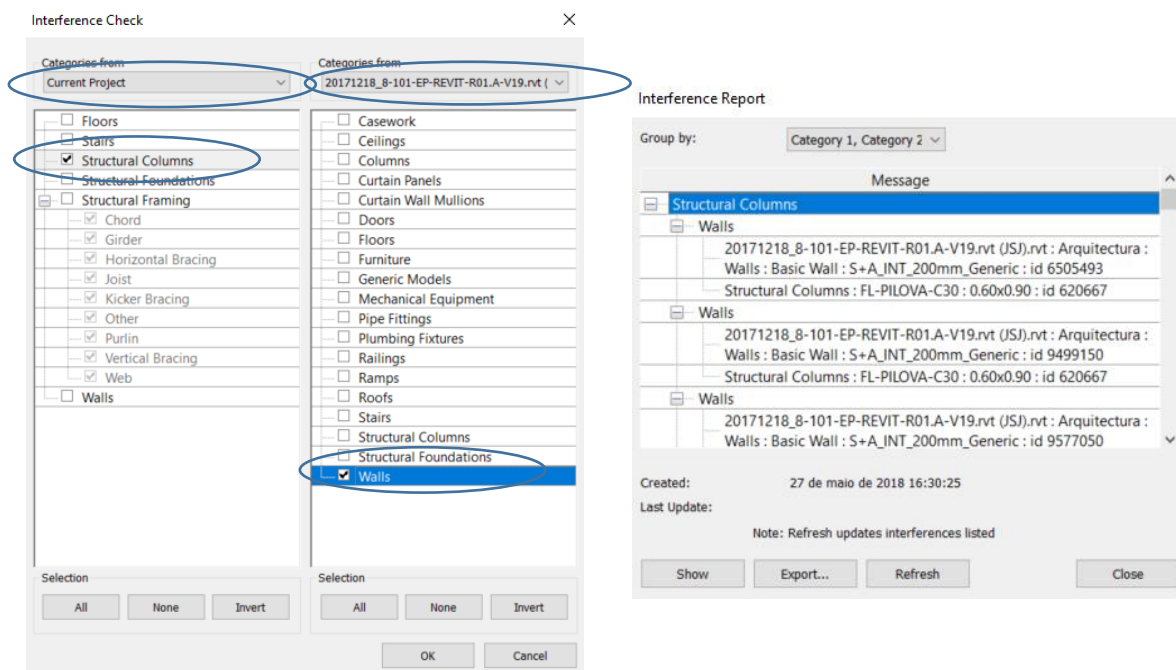


Figura 48 - Verificação de conflitos entre modelos

Exemplificando, neste caso procedeu-se à verificação entre os pilares do modelo de estruturas e as paredes do modelo de arquitetura, tendo sido possível encontrar alguns conflitos. Este, deve-se à sobreposição do pilar com a parede de alvenaria, passando a resolução pela correção no modelo de arquitetura da parede de alvenaria.

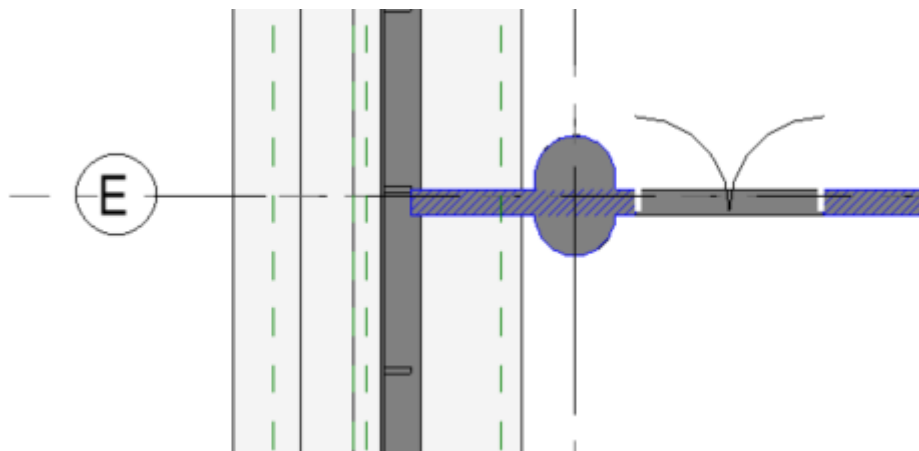


Figura 49 - Conflito entre o elemento "Structural Column" e o elemento "Wall"

Para além da verificação referida atrás, também existe a possibilidade de acompanhar a existência de incongruências durante a modelação de elementos das mesmas disciplinas, através da indicação de “warnings”, indicado na figura 50.

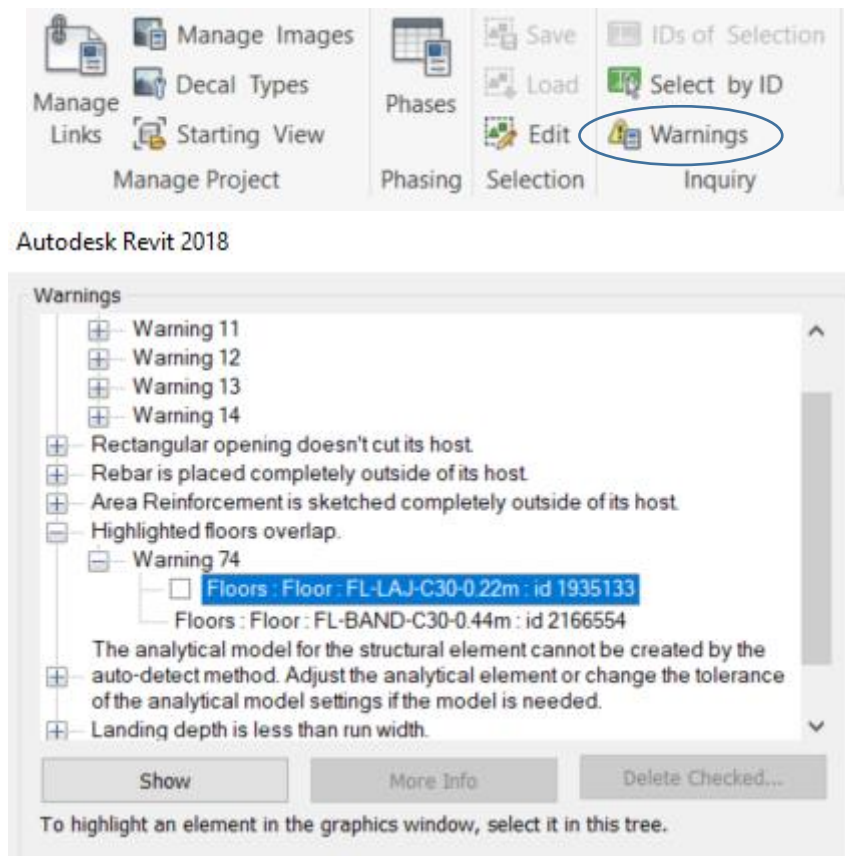


Figura 50 - Detecção de "warnings"

Foi de possível identificação a existências de alguns “warnings”, uns com menor importância, outros com uma maior importância no que diz respeito ao produto final. Exemplificando, o *warning*, “*Highlighted floors overlap*” faz a indicação da existência da sobreposição de elementos do tipo “floor”. Neste caso foi detetada a sobreposição entre um elemento de laje e a banda que foi facilmente resolvida pelo estabelecimento da interligação entre estes, procedendo à união da geometria através do comando “*join*”.

Assim sendo, é de salientar que a análise de conflitos é reconhecida como um benefício dos modelos BIM, relativamente ao modo tradicional, sendo possível manter um maior controlo nestas indefinições e incoerências em projetos com alguma complexidade e volume considerável.

### 3.5.10. EXTRAÇÃO DE QUANTIDADES

De forma da equipa a projeto a avaliar eficazmente a nível económico diferentes opções estruturais e agilizar processos de medição dos diversos elementos devido a alterações repentinas e tardias, o modelo BIM é algo fundamental e vantajoso neste tipo de ações. Neste ponto da dissertação é descrita a forma de extração de quantidades BIM na fase de projeto.

Para o cálculo de quantidades, executado através do software REVIT, foi necessário analisar um modo de modelação considerando algumas regras e boas práticas de forma a obter resultados fiáveis através do automatismo oferecido, como foram referidas no capítulo 3.5.8.

Sendo este caso de estudo aplicado ao projeto de estruturas cabe ao projetista acompanhar junto das suas peças desenhadas também elementos de medições dos elementos estruturais, tais como, volume de betão, área de cofragem e quantidades de aço. Como referido anteriormente, visto a aplicação completa de armaduras num modelo BIM ser bastante morosa, o objetivo concentrou-se no método de medição de volumes de betão e área de cofragem.

Contudo a capacidade de medição de cofragens dos diversos elementos estruturais é algo também ainda não desenvolvido por parte do Revit. De forma a obter estas quantidades foi indispensável a utilização de um “addon” com esta capacidade, desenvolvimento pela empresa *SOFISTIK*, denominado *SOFISTIK BiMTOOLS 2018*.

Excepcionalmente, o elemento escada (*stair*) ao não ser tratado como elemento estrutural, pelas diversas razões indicadas anteriormente, a medição da cofragem através do “addon” referido não é de possível execução, tendo sido criado um método alternativo de medição. Este método consiste na pintura das zonas de cofragens através da opção “*Paint*”, sendo para isso necessário a criação de um novo material para tal efeito. Através deste método é possível retirar através das “*Schedules – Material Takeoff*” a área associada ao material pintado, obtendo o objetivo pretendido.

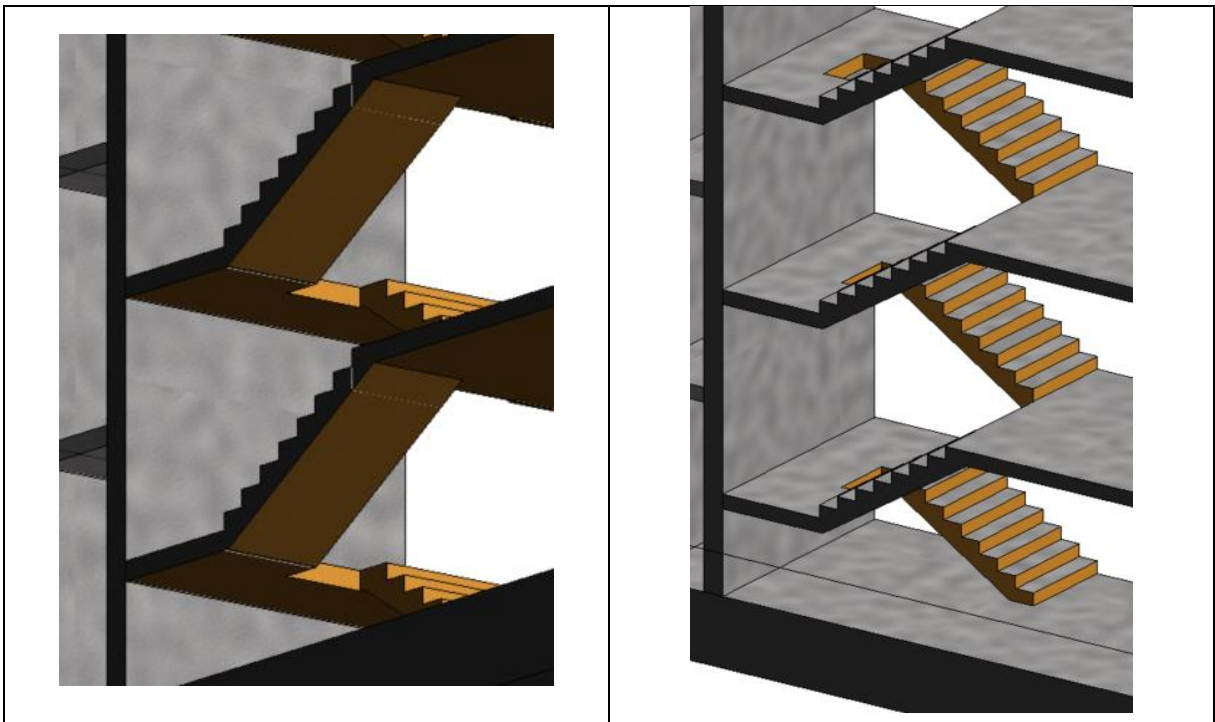


Figura 51 - Medição de cofragem de escadas

Todos estes dados são apresentados através de tabelas, onde é possível conter inúmeros parâmetros de quantificação tais como comprimento, área, volume, entre outros e qualificação (família, tipo de seção, comentários, referência do nível) também existindo a possibilidade de criação de novos parâmetros de forma a identificar, organizar e sintetizar a informação.

### 3.5.10.1. GERAÇÃO DE TABELAS

As tabelas de quantidades dos elementos modelados foram obtidas através da opção "Schedules" que é visível na barra de comandos do Revit.

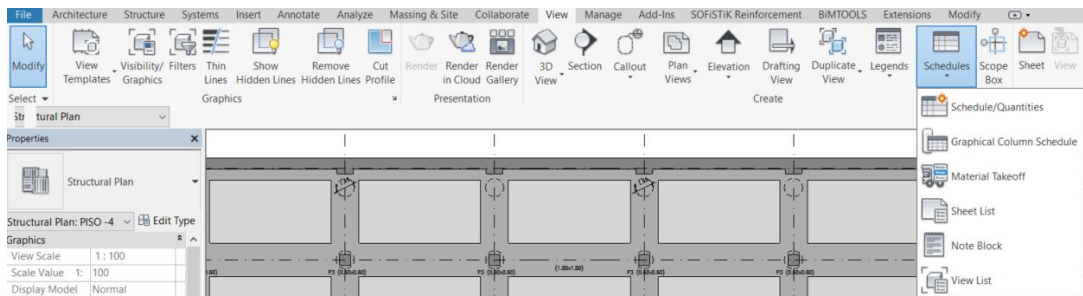


Figura 52 - Criação dos elementos "Schedules"

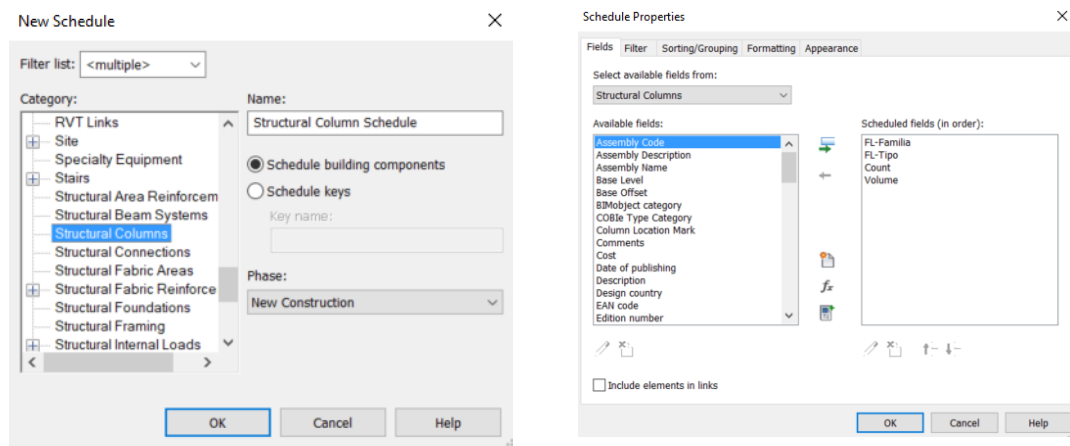


Figura 53 - Seleção da categoria desejada para medição

Selecionando a categoria desejada (figura 53) para obtenção da extração de quantidades seguidamente é oferecida uma ampla lista de parâmetros associados a essa mesma categoria.

É de salientar que para cada tipo de categoria existiu necessidade de criação de uma nova tabela. Exemplificando esta situação a categoria “*Structural Columns*” apenas é aplicada à extração de pilares, assim como a categorias “*Walls*” apenas extrairá quantidades para os elementos do tipo paredes.

Nesta fase foram selecionados alguns parâmetros desejados já existentes, tais como “*Count*” e o “*Volume*”, como também foram adicionados os parâmetros partilhados criados e catalogados aos elementos (FL-Família e FL-Tipo) de forma a obter as quantidades pretendidas de forma organizada.

Também é de referir que o Revit contempla os parâmetros “*Family*” e “*Type*”, mas a necessidade da repetição desta informação através da criação de novos parâmetros partilhados deveu-se:

- 1) **Elementos não carregáveis**, onde nestes elementos não é possível definir uma simbologia para a família, como é o caso dos elementos “*Floor*” e “*Wall*”. Assim neste caso ao criar o parâmetro FL-Família e após correta catalogação a situação foi resolvida.
- 2) **Possibilidade de criação de filtros**, onde neste caso, mais uma vez os parâmetros “*Family*” e “*Type*” não permitem esta opção, ao contrário dos novos parâmetros

criados. Visto os elementos de laje, capiteis e bandas serem modelados como elementos “Floor” todas as quantidades destes elementos encontrarão se na tabela de categorias “Floors”. Esta opção é bastante útil pois permite filtrar de forma organizada as quantidades por Família. Esta opção também é aplicada aos elementos “Walls” conseguindo filtrar informação relativa às paredes dos núcleos relativamente às restantes paredes do projeto.

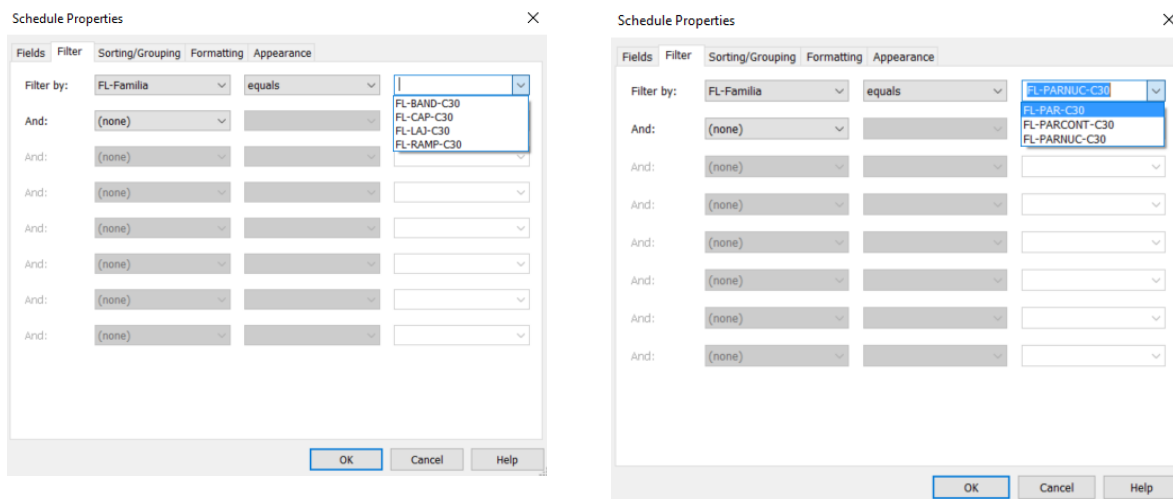


Figura 54 - Criação de filtros em medições

<FL-NUC>					
A	B	C	D	E	F
FL-Familia	FL-Tipo	FL-ID Par/Nuc	Count	SOFISTiK_Formw	Volume
FL-PARNUC-C30	0.30m	E1	5	2823 m²	418.82 m³
				2823 m²	418.82 m³
FL-PARNUC-C30	0.30m	E2	5	2823 m²	417.77 m³
				2823 m²	417.77 m³
FL-PARNUC-C30	0.20m	N1	2	511 m²	47.68 m³
FL-PARNUC-C30	0.30m	N1	3	1396 m²	205.61 m³
				1907 m²	253.29 m³
FL-PARNUC-C30	0.20m	N2	2	511 m²	47.68 m³
FL-PARNUC-C30	0.30m	N2	3	1396 m²	205.61 m³
				1907 m²	253.29 m³
FL-PARNUC-C30	0.20m	N3	2	198 m²	18.63 m³
FL-PARNUC-C30	0.30m	N3	8	862 m²	124.19 m³
FL-PARNUC-C30	0.60m	N3	1	45 m²	8.08 m³
				1105 m²	150.90 m³
				10566 m²	1494.07 m³

<FL-PIL>				
A	B	C	D	E
FL-Familia	FL-Tipo	Count	SOFISTiK_Formwor	Volume
FL-PILOVA-C30	0.60x0.90	24	1485 m²	276.58 m³
FL-PILOVA-C30: 24			1485 m²	276.58 m³
FL-PILRET-C30	0.30x1.20	4	360 m²	43.23 m³
FL-PILRET-C30	0.60x0.60	14	336 m²	50.40 m³
FL-PILRET-C30	0.90x0.85	26	397 m²	66.19 m³
FL-PILRET-C30	0.90x0.90	7	237 m²	53.30 m³
FL-PILRET-C30: 51			1331 m²	213.11 m³
Grand total			2816 m²	489.69 m³

<FL-EST>			
A	B	C	D
FL-Familia	FL-Tipo	Count	Volume
FL-EST-C30	Ø1.00	56	1240.29 m³
			1240.29 m³
FL-EST-C30	Ø1.20	43	1371.41 m³
			1371.41 m³
Grand total			2611.70 m³

Figura 55 - Tabelas de medições

## 4. MODELAÇÃO E DIMENSIONAMENTO

### 4.1. INTEROPERABILIDADE ENTRE O MODELO REVIT E ETABS

O modelo analítico criado no Revit consiste na modelação estrutural do edifício. Este modelo é automaticamente gerado durante a modelação dos elementos estruturais em REVIT que tem como objetivo a sua possível exportação para o software de cálculo estrutural, vindo facilitar a coordenação da informação geométrica com a informação analítica. Neste caso de estudo, o software de cálculo utilizado foi o ETABS onde a exportação foi elaborada com base no “*plug in*” denominado *CSIXRevit* da CSI.

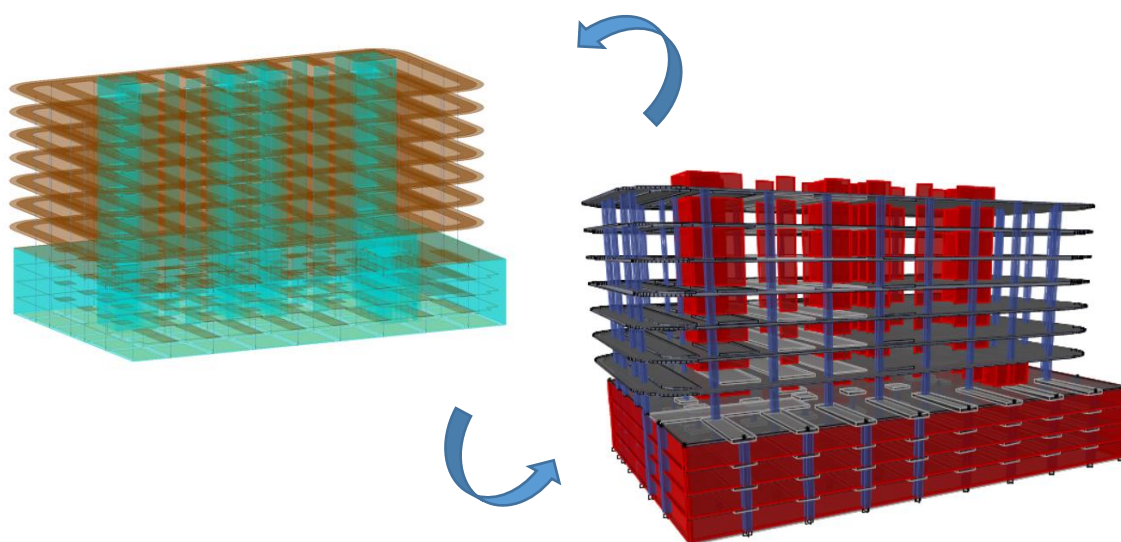


Figura 56 - Interoperabilidade entre o modelo Revit e ETABS

Como referido anteriormente, neste processo de exportação para o ETABS foi apenas considerada informação referente à modelação estrutural, tais como componentes estruturais, geometria não contemplando propriedades dos materiais nem a inserção de cargas no modelo de REVIT, tendo sido elaboradas posteriormente. Também são reconhecidos os elementos de orientação traçados no modelo de REVIT, como é o caso dos alinhamentos estruturais (*grids*), elementos estes indispensáveis para o posicionamento dos elementos modelados.

Este *addon* permitiu também a utilização de algumas potencialidades que se destacam entre o modelo REVIT e o modelo de ETABS:

- 1) **Interoperabilidade bidirecional**, onde foi possível trocar informações entre os dois softwares, ou seja, proceder à troca de informação tanto do REVIT para o ETABS como também percorrendo o caminho inverso;
- 2) **Atualização de partes específicas do modelo** sem colocar em causa o intercâmbio de informações realizadas em iterações anteriores.

Idealmente, o objetivo era aproveitar 100% da modelação analítica dos vários elementos efetuados no modelo de REVIT e que esta fosse plenamente reconhecida pelo software de cálculo estrutural ETABS. No entanto, foram detetadas algumas limitações, existindo necessidade de efetuar algumas ações complementares no modelo de cálculo estrutural.

Um exemplo desta situação encontra-se relacionada com a ligação do nó pilar - parede de contenção ao nível do piso 0. Nesta situação o ETABS importa a posição do modelo geométrico dos elementos de barra em vez de posição analítica gerada pelo modelo REVIT, como demonstra na figura 57.

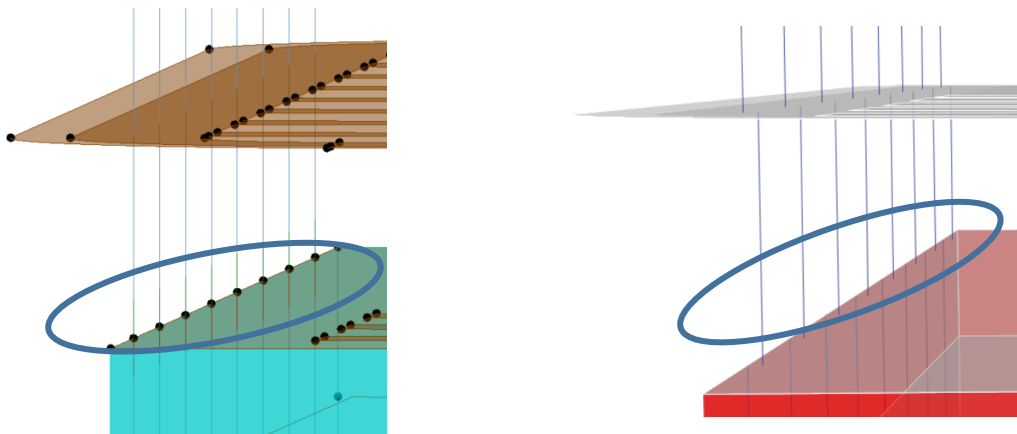


Figura 57 - Ajustes na interoperabilidade

Com esta pequena situação, visto que esta transposição não é perfeita existiu a necessidade verificar este tipo de ligações e efetuar algumas correções ao nível dos nós de forma a obter a transmissão adequada de esforços no modelo de cálculo. Também é de salientar que cabe ao utilizador perceber aquilo que pretende simular e que o controlo do modelo de cálculo deve estar sempre do seu lado. É de referir que esta transposição não vem substituir por completo a modelação de raiz em qualquer software de cálculo, mas sim facilitar a definição da geometria minimizando o tempo de modelação e os erros propícios a este tipo de situações.

## 4.2. MODELAÇÃO DA ESTRUTURA NO ETABS

As múltiplas alterações do projeto durante a sua fase de execução bem como os prazos a cumprir levam à necessidade de um rápido processamento de dados e rápidas alterações à estrutura não dispensando a utilização de programas de cálculo automático. Assim sendo, para o edifício em estudo, como já referido, foi utilizado o programa tridimensional de elementos finitos ETABS 2016 da CSI.

Existindo a possibilidade de simular esforços através de cálculos manuais, como é elaborado no pré-dimensionamento, somente um modelo desta essência tem a capacidade de simular o comportamento dinâmico da estrutura, assim como os seus modos de vibração e a respetivas frequências próprias. Com isto, existe também a necessidade de proceder à validação do modelo estrutural, sendo o possível fazer através da comparação das reações do modelo e uma verificação tendo em conta as cargas aplicadas.

Neste capítulo são apresentados a forma como os diferentes elementos estruturais foram simulados, garantindo sempre que o modelo esteja o mais próximo possível da realidade.

Na figura 58, é apresentada uma imagem relativa ao modelo final simulado através do ETABS 2016:



Figura 58 - Modelo global do edifício em estudo em ETABS

### 4.2.1. LAJES

As lajes foram simuladas através de elementos finitos de casca, sendo a discretização elaborada automaticamente pelo ETABS 2016 através da opção “*Floor Auto Mesh*”.

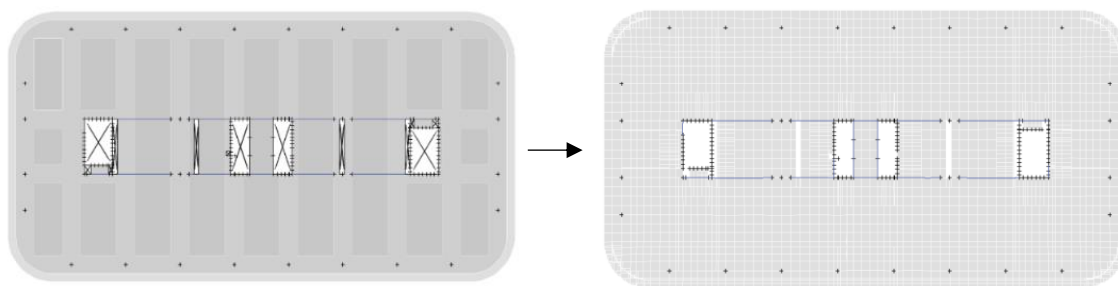


Figura 59 - Elementos finitos de casca

#### 4.2.2. PILARES E VIGAS

Os pilares e vigas existentes na estrutura foram simulados como elementos de barra.

#### 4.2.3. NÚCLEOS. PAREDES E MUROS DE CONTENÇÃO

Os núcleos foram simulados através de elementos finitos "shell", obtidos através do modelo físico do REVIT.

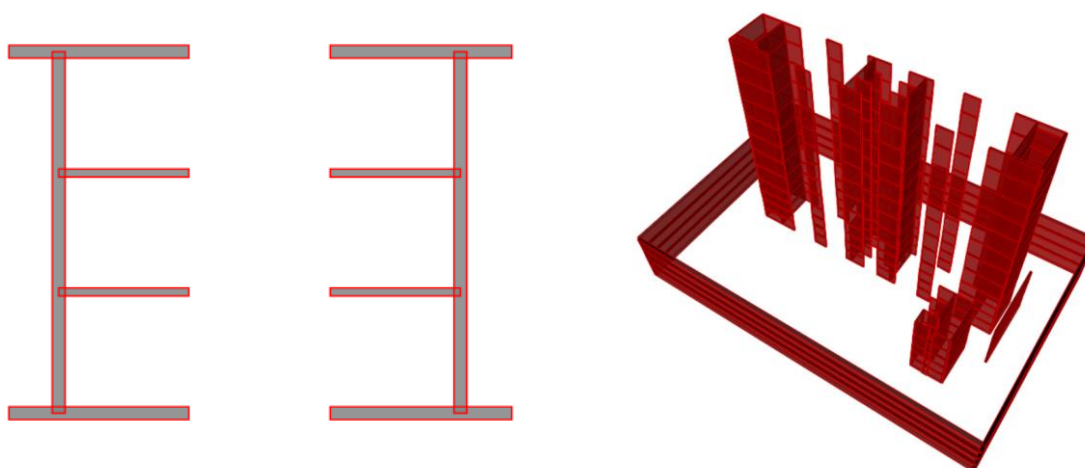


Figura 60 - Elementos de shell "Walls"

#### 4.2.4. CABOS DE PRÉ-ESFORÇO

Os cabos de pré-esforço necessários neste modelo foram simulados através de elementos “*tendon*”, sendo o seu traçado elaborado com o auxílio das potencialidades do ETABS, demonstrada na figura 61.

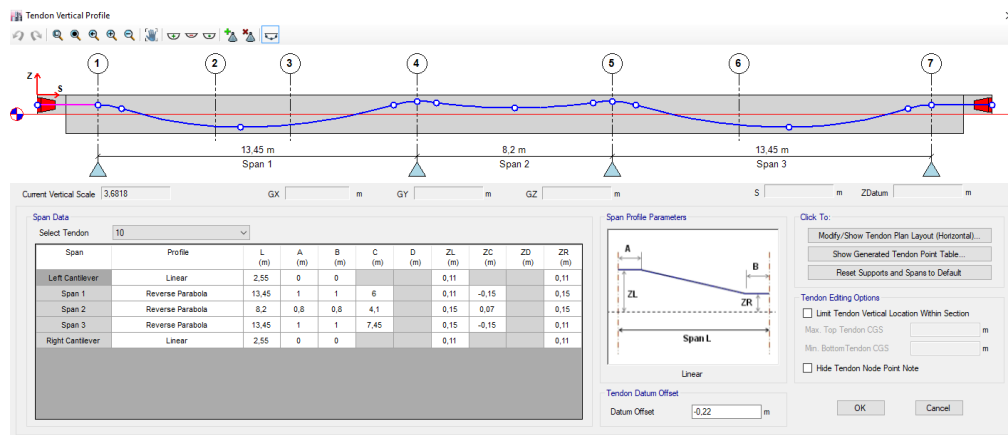


Figura 61 - Perfil vertical dos elementos "tendon"

### 4.3. ANÁLISE SÍSMICA

Para se obter uma apropriada resposta aos sismos, um edifício deve possuir determinadas características, que possibilitem uma simples resposta estrutural durante a ocorrência de um sismo. Assim, estas características devem ser tidas em conta logo no início do projeto na fase de conceção estrutural.

Para contabilizar os efeitos da ação sísmica é necessário proceder à quantificação do espectro de resposta de cálculo utilizado no modelo estrutural. Para tal, procedeu-se nos seguintes subcapítulos a uma caracterização dinâmica da estrutura do edifício em estudo.

#### 4.3.1. TIPO DE SISTEMA ESTRUTURAL

Os edifícios de betão são classificados quanto ao seu sistema estrutural consoante o seu comportamento sob as ações sísmicas horizontais. Para clarificar a solução estrutural recorreu-se ao referido no EC8-1.

Primeiramente é necessário avaliar a percentagem de resistência ao esforço de corte basal dos diferentes tipos de elementos sísmicos primários. Para calcular esta percentagem, retirou-se as reações absorvidas ao nível do piso 0 relativamente à ação do sismo.

Tabela 11 – Força de corte ao nível do piso 0

Elementos	Esforços					
	Direção X		Direção Y		P	
	[kN]	[%]	[kN]	[%]	[kN]	[%]
Pilares	6923,16	15	5410,59	15	200553,74	55
Paredes	39658,63	85	30584,6	85	242613,56	45
Total	46581,79	100	34493,8	100	443167,30	100

Como se verifica, o tipo de sistema estrutural associa-se ao sistema misto equivalente a paredes em ambas as direções. As paredes estruturais e os núcleos são os grandes responsáveis pela resistência à força de corte na base do edifício sendo responsáveis por cerca de 85% da resistência de todo o sistema estrutural. Porém estes elementos são apenas responsáveis por uma resistência às forças verticais cerca de 50% não tendo sido possível a classificação como sistema de paredes. Após esta análise conclui-se que estes elementos, paredes e núcleos, serão classificados como elementos primários, sendo os restantes elementos classificados como elementos secundários.

Desta forma, de acordo como EC8-1, como a contribuição da rigidez lateral dos pilares não é superior a 15% de todos os elementos sísmicos primários a resistência e a rigidez desses elementos à ação sísmica pode ser desprezada, devendo ser dimensionados e pormenorizados de modo a manter a função de suporte das forças gravíticas. Contudo neste projeto não foram contabilizados os efeitos de 2ª ordem.

#### 4.3.2. REGULARIDADE EM ALTURA

A estrutura é regular em altura, verificando-se que todos os elementos resistentes às ações laterais como os núcleos e paredes têm continuidade desde das fundações até ao topo do edifício. Também não é observável recuos sendo a rigidez lateral e a massa de cada piso permanecerem constantes em altura, concluindo-se que o edifício é regular em altura.

### 4.3.3. COEFICIENTE DE COMPORTAMENTO

Com recurso ao modelo efetuado, foi realizada uma análise modal, da qual foram retirados os modos de vibração e frequências de vibração para cada um dos modos. Foram retirados valores para 12 modos de vibração, satisfazendo o art.º 4.3.3.3.1 (3) do EC8 que diz que devem de ser considerados todos os modos de vibração com massas modais efetivas superiores a 5% da massa total da estrutura. A segunda cláusula do mesmo artigo não foi satisfeita, a qual diz que se devem considerar modos até que a soma das suas massas modais efetivas atinja 90% da massa total da estrutura, porque o edifício apresenta 4 caves e toda a massa de estrutura enterrada não tem expressão nos modos de vibração.

A determinação das propriedades dinâmicas da estrutura consistiu numa análise de valores e vetores próprios dos primeiros 12 modos de vibração.

Tabela 12– Frequências e fatores de participação modal

Modo	P (s)	f (Hz)	U <sub>x</sub>	U <sub>y</sub>	U <sub>z</sub>	Σ U <sub>x</sub>	Σ U <sub>y</sub>	Σ U <sub>z</sub>
1	1,16	0,87	0,48	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00
2	1,09	0,92	0,00	0,02	0,00	0,48	0,02	0,00
3	1,04	0,96	0,00	0,45	0,00	0,49	0,48	0,00
4	0,28	3,53	0,11	0,00	0,00	0,59	0,48	0,00
5	0,26	3,89	0,00	0,00	0,00	0,59	0,48	0,00
6	0,22	4,47	0,00	0,12	0,00	0,59	0,60	0,00
7	0,14	7,33	0,03	0,00	0,00	0,63	0,60	0,00
8	0,14	7,42	0,00	0,00	0,00	0,63	0,60	0,00
9	0,11	8,83	0,00	0,00	0,00	0,63	0,60	0,00
10	0,11	8,83	0,00	0,00	0,00	0,63	0,60	0,00
11	0,11	8,85	0,00	0,03	0,00	0,63	0,63	0,00
12	0,11	9,08	0,00	0,01	0,00	0,63	0,64	0,00

Os primeiros três modos de vibração da estrutura correspondem aos modos de vibração dos pisos elevados, com frequências entre os 1.04Hz e os 1.16Hz. O fator de participação da massa ronda os 60% em ambas as direções.

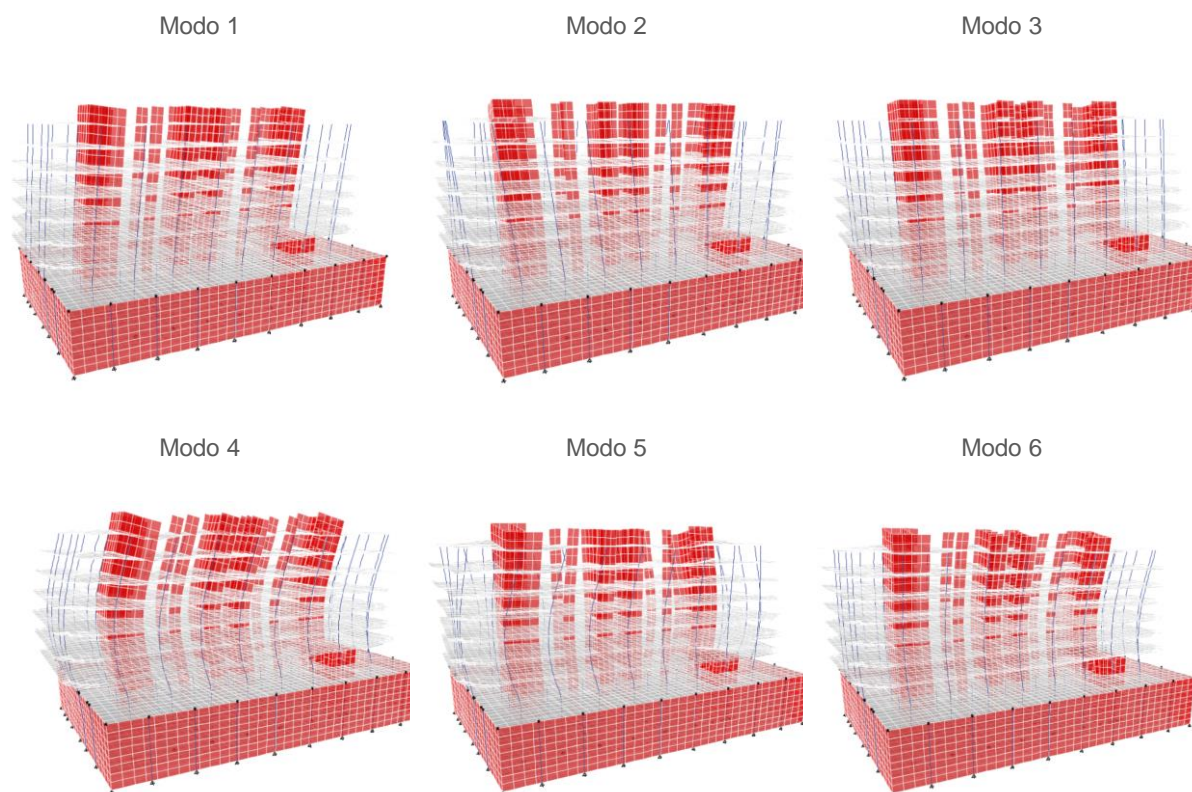


Figura 62 - Modos de vibração do edifício

#### 4.4. VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Estabelecidas as dimensões da solução estrutural é necessário proceder aos critérios de segurança, sendo este capítulo destinado à verificação da segurança de algumas peças estruturais que compõem o edifício, tais como, laje dos pisos elevados, laje do piso -3, pilares e o núcleo N1.

##### 4.4.1. LAJE DOS PISOS ELEVADOS

Para o dimensionamento e verificação de segurança aos estados limites últimos e de utilização através das potencialidades do BIM foi extraído do *REVIT* para o *ETABS* com recurso do addon "*CSIXRevit*" um modelo local de laje onde foi possível fazer a sua análise.

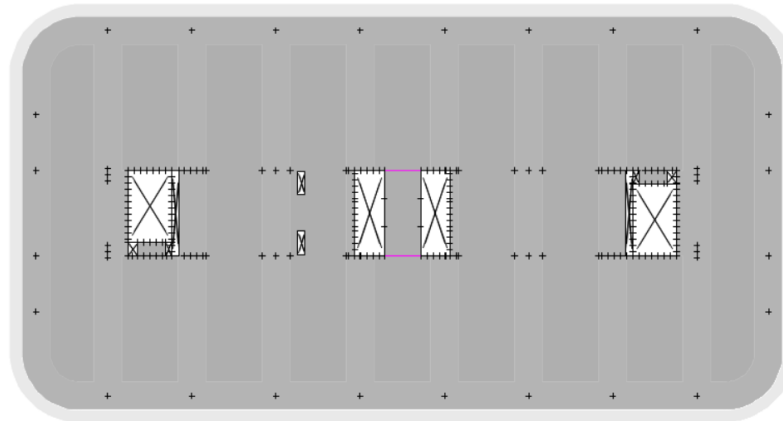


Figura 63 - Modelo local da laje do piso tipo elevado

#### 4.4.1.1. ESTIMATIVA E TRAÇADO DOS CABOS DE PRÉ-ESFORÇO

Nas lajes dos pisos elevados devido aos grandes vãos existiu a necessidade de aplicação de pré-esforço, conseguindo reduzir consideravelmente as deformações impostas. Este sistema permite assim obter maior esbelteza na laje com conseqüente diminuição do seu peso próprio e uma melhoria no comportamento em serviço. Assim sendo, a quantidade de pré-esforço a utilizar foi calculada através do critério do balanceamento das cargas, isto é, conseguir-se compensar 80% a 90% da carga permanente com a aplicação do pré-esforço. Considerou-se assim 12 cabos de 4 cordões nas zonas das bandas, garantindo uma força de pré-esforço por cordão de  $P_{\infty} = 150 \text{ kN}$ , contabilizando já as perdas por atrito, por reentrada de cabos e por deformação instantânea do betão.

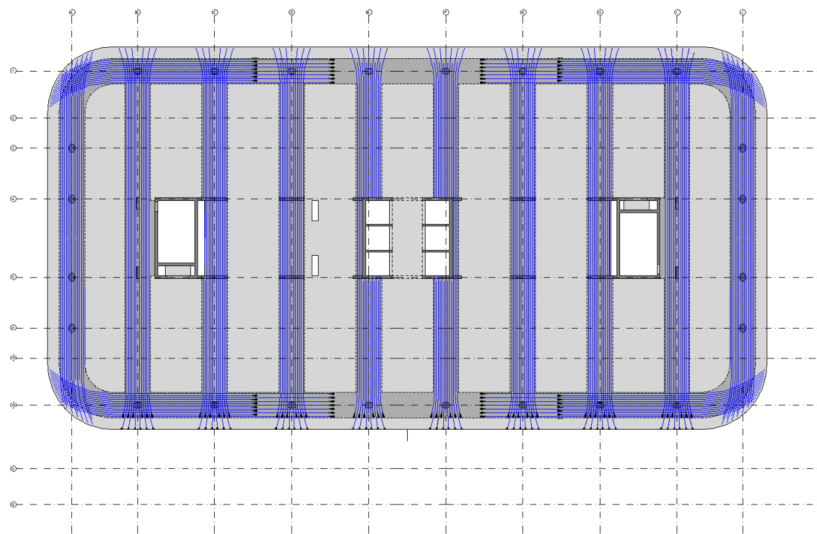


Figura 64 - Cabos de pré-esforço em laje do piso tipo

O traçado dos cabos de pré-esforço é de grande importância, sendo possível afirmar que corresponde a um dos pontos de maior sensibilidade de uma estrutura pré-esforçada. Para tal, de forma a tirar o máximo partido dos cabos de pré-esforço, criou-se um traçado em que fosse garantida a excentricidade máxima na zona de maiores esforços.

$$e_{máx,cabo y} (M^+) = \frac{h_{laje}}{2} - rec - \phi_{long} - \frac{\phi_{bainha}}{2} \quad (5)$$

Através do elemento “Tendon” do ETABS , foram introduzidos vários traçados no modelo de cálculo garantindo sempre o raio de curvatura mínimo que pode foi obtido através da seguinte expressão:

$$R_{mín} [m] = 3 \sqrt{P_u} \quad (6)$$

$$R_{mín} [m] = 3 \sqrt{1041,6} = 3,06 \quad (7)$$

Todos os traçados de cabos efetuados encontram-se em anexo nas peças desenhadas. Na figura 65 e 66, é possível verificar as deformações impostas sujeitas devido às cargas permanentes e ao pré-esforço da laje em estudo.

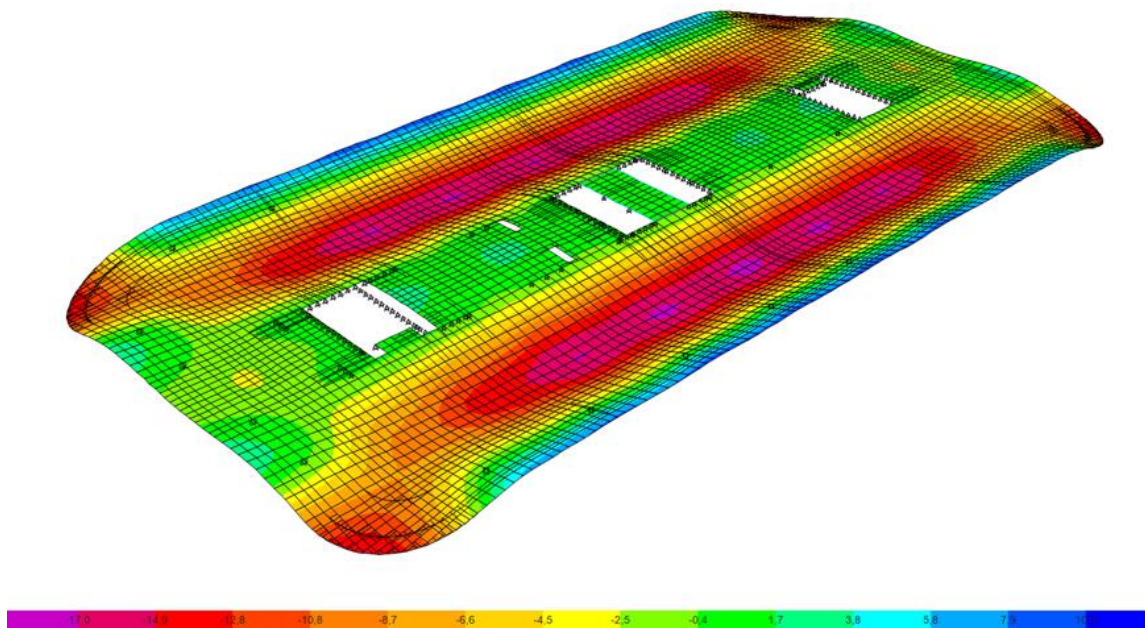


Figura 65 – Deformações devido às cargas permanentes

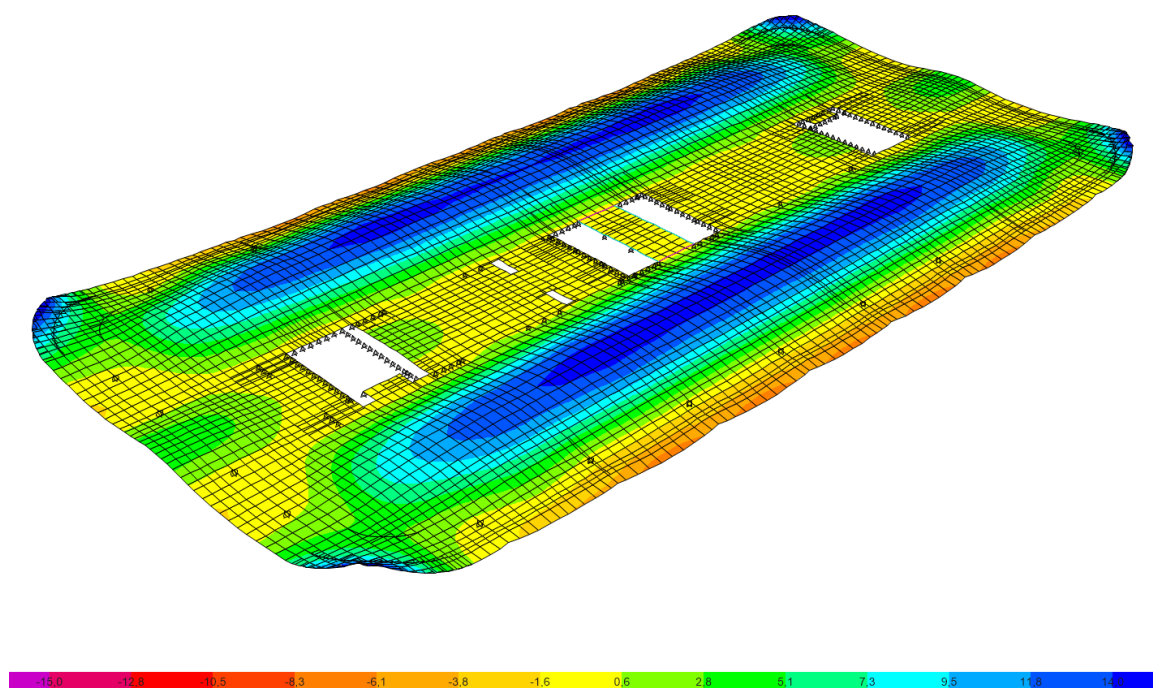


Figura 66 - Deformações devido ao pré-esforço

Tabela 13 – Deslocamento elástico para CP e PE

Combinação	$\delta_{el}$ (mm)	%
CP	16,42	
PE	14,92	91

Assim, sendo conseguiu-se compensar 91% da carga permanente com a aplicação do pré-esforço.

#### 4.4.1.2. ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO - DEFORMAÇÃO

Os estados limites de serviço a verificar para a laje, segundo o EC2, são o controlo da fendilhação, o controlo da deformação e a limitação de tensões. A limitação da tensão de compressão no betão permite que se evite a formação de fendas longitudinais, o que neste caso não tem implicações no funcionamento geral da estrutura.

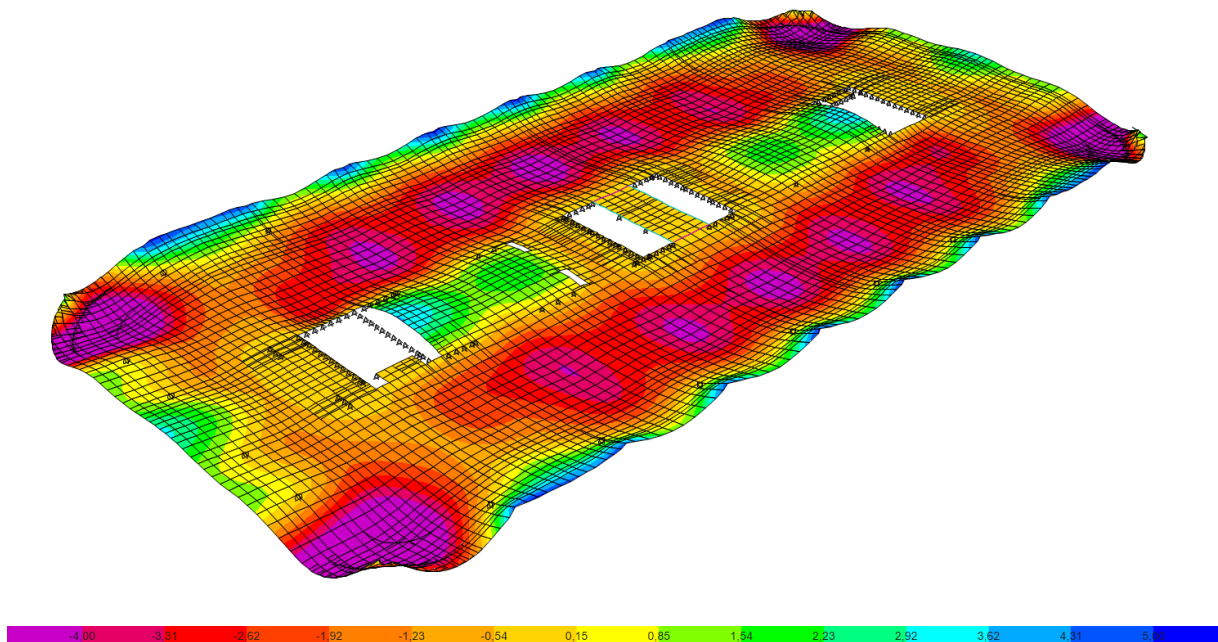


Figura 67 – Deslocamentos elásticos finais

De forma a simplificar o processo de obtenção de soluções, foi admitido que a flecha a longo-prazo por ser obtida através da expressão:

$$\delta_{\infty} = \delta_{el} (1 + \varphi) \quad (8)$$

Onde:

$\delta_{\infty}$  – Flecha a longo prazo

$\delta_{el}$  – Flecha elástica calculada através de uma análise elástica não fendilhada

$\varphi$  – Coeficiente de fluência (tomado igual a 2,5)

Considerando um limite conservativo para a flecha a longo prazo de vão/500, obtém-se:

- Para a zona da banda:

$$\delta_{\infty \text{ adm.}} = \frac{L}{500} \quad (9)$$

- Para a zona da consola:

$$\delta_{\infty \text{ adm.}} = \frac{2L}{500} \quad (10)$$

A deformação máxima elástica a longo prazo, devido aos efeitos da fluência e fendilhação, obtidas para a combinação de ações quase permanente, é a que se apresentam na tabela 15, verificando-se que, mesmo sendo a situação mais desfavorável, verifica o limite estabelecido de acordo com a EN 1992,  $L/\delta=1/500$ .

Tabela 14 - Deslocamentos elásticos máximos a longo prazo

Zona	L (m)	$\delta_{el}$ (mm)	$\delta_{\infty}$ (mm)	$\delta_{\infty}$ adm. (mm)
Banda	13,45	2,9	10,15	26,9
Consola	7,96	5,5	19,25	31,8

#### 4.4.1.3. ESTADO LIMITE ÚLTIMO

Para a análise da laje ao estado limite último, o pré-esforço instalado foi considerado como estando do lado da ação. Assim nesta análise utilizou-se a parte da capacidade resistente das armaduras de pré-esforço e da totalidade das armaduras ordinárias do betão. Desta forma não existiu necessidade de entrar em conta com os efeitos hiperestáticos do pré-esforço na laje, tal como é esquematizado na figura 68.

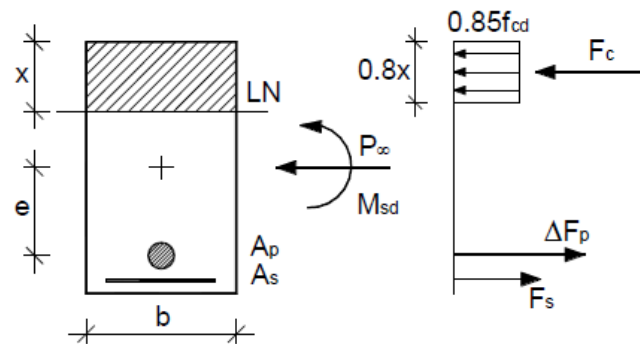


Figura 68 - Diagrama retangular, *Júlio Appleton e Carla Marchão*

$$F_c = 0.85 f_{cd} \times 0.8 \times b \quad (11)$$

$$\Delta F_p = A_p \times (f_{pd} - \sigma_p) = A_p \times \left( f_{pd} - \frac{P_{\infty}}{A_p} \right) \quad (12)$$

$$F_s = A_s \times f_{yd} \quad (13)$$

Segundo o art.º 9.3.1.1 (1) do EC2 1-1 a armadura mínima e máxima a considerar na direção principal da laje é a seguinte:

$$A_{s,min} = 0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{syk}} \times b_t \times d \quad (14)$$

$$A_{s,máx} = 0,04 \times d \quad (15)$$

Tabela 15 -Armadura mínima e máxima na laje

Zona	e (m)	As,mín (cm <sup>2</sup> /m)	As,máx (cm <sup>2</sup> /m)
Banda	0,44	7,11	164
Laje	0,22	3,29	76

Para a zona da banda, foi elaborada uma folha de cálculo para análise de secções com pré-esforço, onde demonstra na 17 a verificação da segurança para as zonas de maiores esforços, isto é, para a zona de meio vão e apoio, onde foi calculado o valor do momento resistente.

Tabela 16 - Cálculo do momento resistente

Zona	As, ad. (cm <sup>2</sup> )	As, ad.	e (m)	x (m)	P <sub>∞</sub> (kN)	Fc (kN)	Fs (kN)	ΔF <sub>p</sub> (kN)	MRd (kN.m)
M. vão	28,14	Φ16//0,20	0,15	0,254	7200	10982,70	1224,09	2558,61	1915,71
Apoio	28,14	Φ16//0,20	0,15	0,254	7200	10982,70	1224,09	2558,61	1915,71

Nas figuras 69, 70, 71 e 72 são representados os esforços atuantes em ambas as direções para a combinação fundamental com e sem a aplicação de pré-esforço.

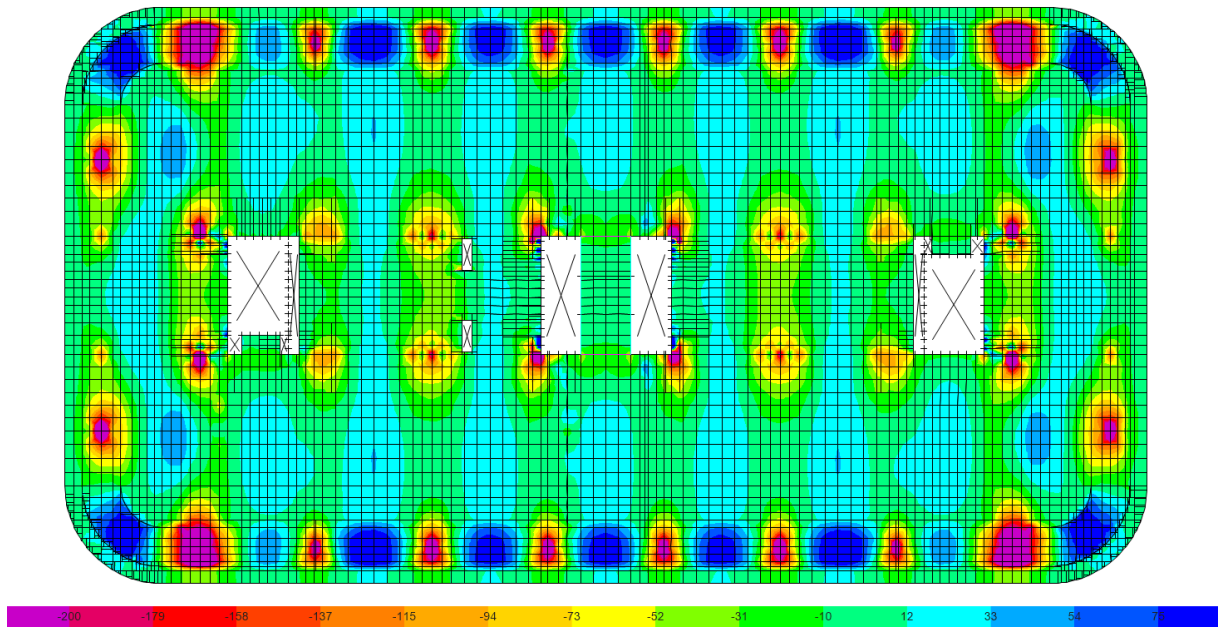


Figura 69 - Esforços atuantes M11 para a combinação fundamental ELU (kN.m)

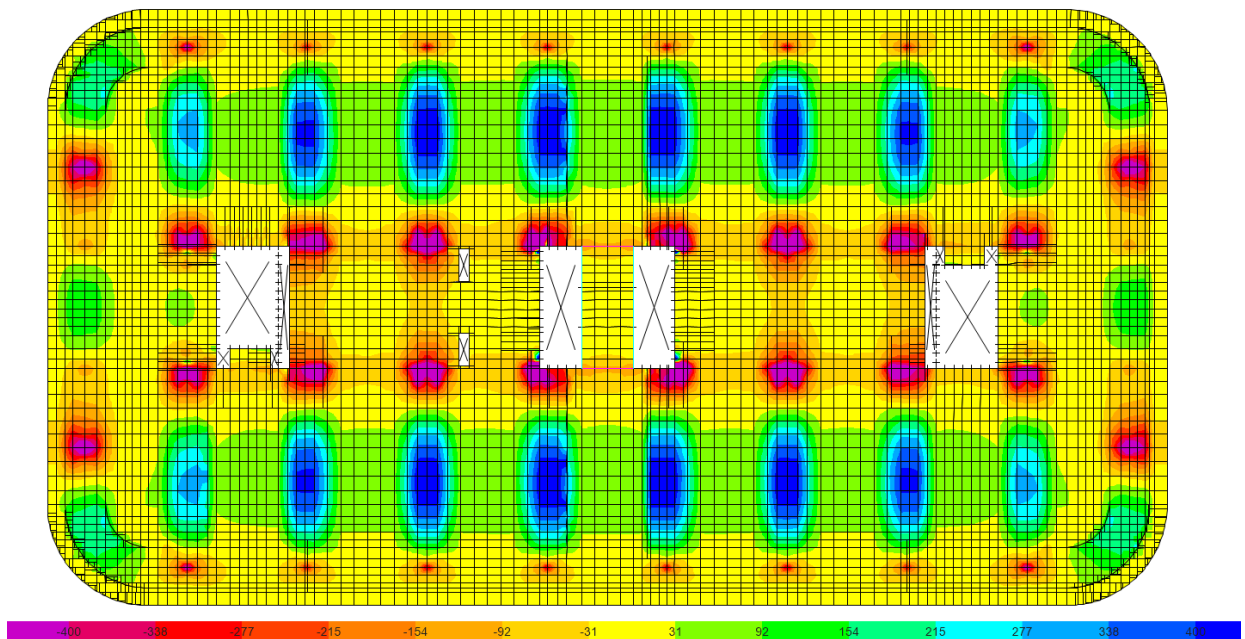


Figura 70 - Esforços atuantes M22 para a combinação fundamental ELU (kN.m)

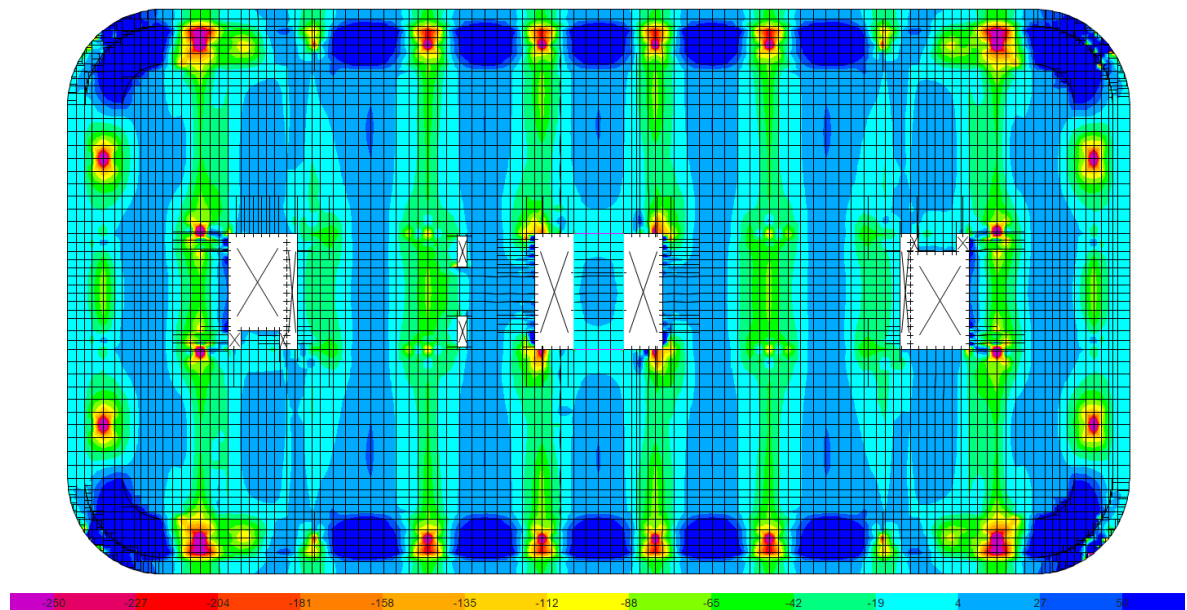


Figura 71 - Esforços atuantes M11 ELU+PE (kN.m)

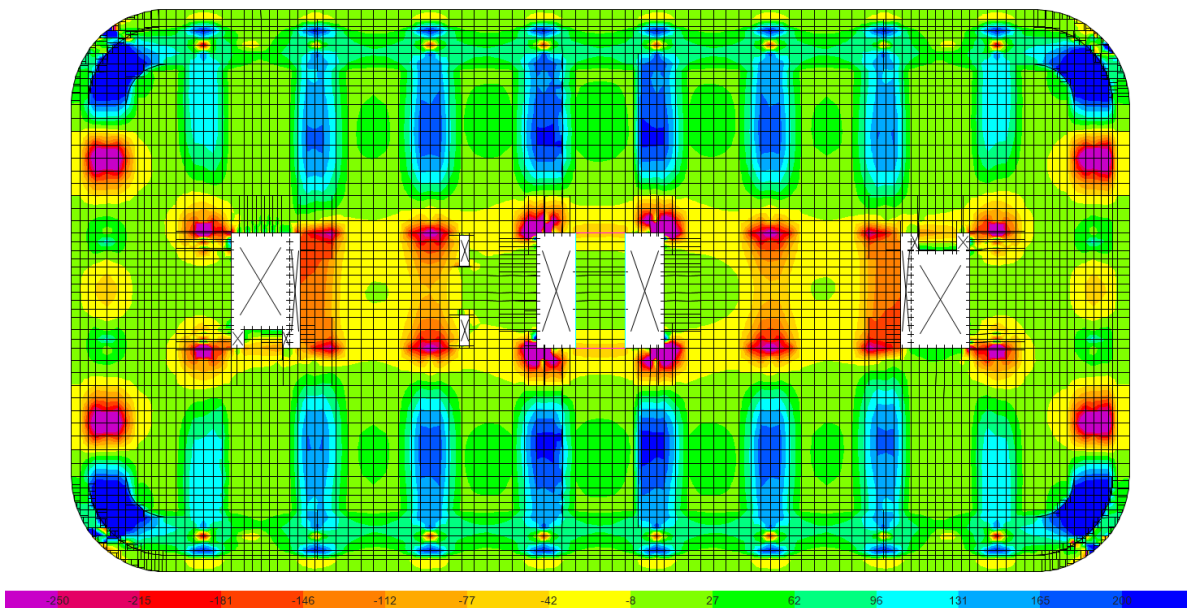


Figura 72 - Esforços atuantes M22 ELU+PE (kN.m)

Para as zonas de laje sem aplicação de pré-esforço considera-se de forma tradicional a aplicação de duas malhas de armadura (armadura superior e inferior), reforçando apenas algumas zonas onde os esforços sejam um pouco mais elevados. Deste modo a compatibilização das diferentes armaduras é resolvida, como também ao mesmo tempo é

garantida as necessidades de armaduras mínimas de flexão. De outro ponto de vista a probabilidade da existência de erros em obra tende a diminuir consideravelmente. Assim sendo de forma geral, adotou-se uma armadura  $\Phi 10//0.20$  em ambas as direções reforçando com  $\Phi 10//0.20$  em zonas onde os esforços são mais elevados, como é demonstrado nas pormenorizações em anexo, garantindo que a pormenorização adotada corresponde sempre a momentos resistentes superiores aos momentos atuantes. Assim sendo para a laje de espessura 0.22m, valores dos momentos resistentes correspondentes, considerando uma largura unitária, para uma distribuição de armaduras aplicadas foi dado pela expressão 16.

$$M_{Rd} = (A_s \times 0,9 \times d \times f_{syd}) \quad (16)$$

Tabela 17 - Cálculo dos momento resistente

Armadura	MRd (kN.m)
$\Phi 10//0,20$	29,23

#### 4.4.2. LAJE DOS PISOS ENTERRADOS

Mais uma vez, de forma a elaborar a análise da laje tipo dos pisos enterrados, no piso 3 (figura 73), procedeu-se a extração desta através do modelo analítico do Revit. Sendo uma laje com a adoção de um sistema de capiteis de forma a controlar eficazmente a deformação, apenas irá elaborar-se uma análise ao estado limite de serviço, relativamente à deformação e ao estado limite último (verificação do punçoamento dos capiteis utilizados)

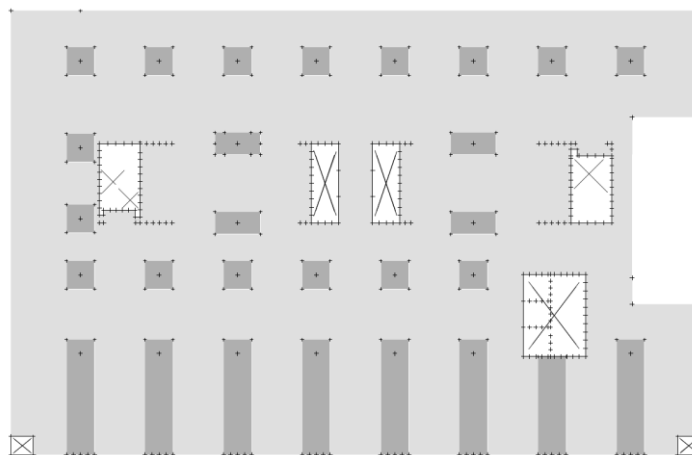


Figura 73 - Laje do piso -3 em ETABS

#### 4.4.2.1. ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO – DEFORMAÇÃO

Sendo um piso de estacionamento com vãos de 8,10x8,10m devido as zonas de circulação, existiu também a necessidade de vencer um vão de 10,15m, adotando assim um conjunto de bandas de forma a reduzir eficazmente as deformações nestas zonas críticas.

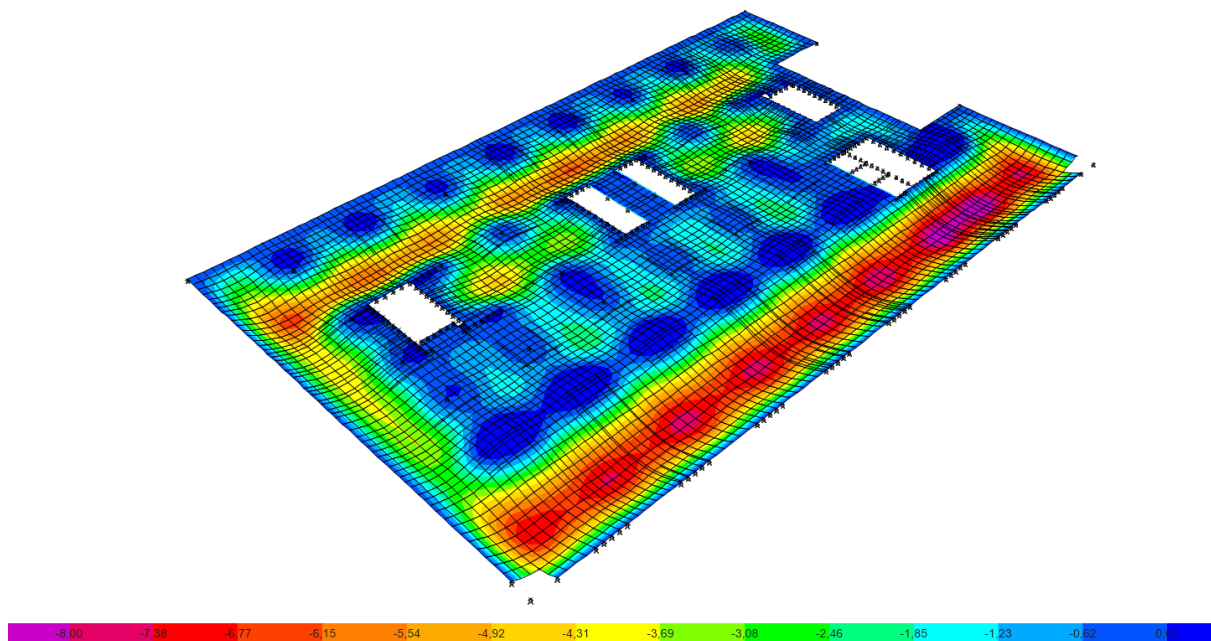


Figura 74 - Deslocamentos elásticos (Piso -3)

De forma a calcular a fecha elástica a longo prazo para a zona da laje e banda recorreu-se ao método dos coeficientes globais, onde foi possível garantir as condições limite de deformação de acordo com a seguinte expressão 17 e a tabela 19.

$$\delta_{\infty} = \left(\frac{h}{d}\right)^3 \times \eta \times Kt \times a_c \quad (17)$$

Tabela 18 – Deformação elástica a longo prazo

Zona	L (m)	As, adot.	$\delta_{el}$ (mm)	$M_{CQP}$	$M_{CR}$	Estado	$\delta_{\infty}$ (mm)	$\delta_{\infty}$ adm. (mm)
Laje e=0.20	8,50	$\Phi 12//0,20+$ $\Phi 12//0,20$	6,5	12.28	19,33	I (Não Fendilhado)	29,51	34
Banda e=0.50	10,45	$\Phi 16//0.10+$ $\Phi 12//0,20$	8,1	265.30	120,83	II (Fendilhado)	40,5	41,8

#### 4.4.2.2. ESTADO LIMITE ÚLTIMO

Relativamente ao estado limite último, neste piso em análise tratando-se de uma laje com capiteis, procedeu-se apenas à verificação do punçoamento destes elementos. Consistindo, o punçoamento num tipo de rotura associado normalmente a lajes carregadas com uma distribuição uniforme apoiadas em secções pequenas, a verificação da segurança ao punçoamento, de acordo com o EC2, consiste em garantir, a expressão 18:

$$v_{sd} \leq v_{Rd,c} \quad (18)$$

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \geq v_{min} k_1 \sigma_{cp} \quad (19)$$

$$v_{sd} = \beta \frac{V_{sd}}{u_1 d} \quad (20)$$

Visto esta condição não se verificar e esteticamente ser aceitável visto se tratar de uma zona de estacionamento, como referido atrás, foi adotada uma solução de laje com capiteis admitindo um o espessamento no mínimo de  $2.5 d_1$  a partir da face do pilar. De acordo com o EC2-1, ao tratar se de uma laje sobre capitel em que  $l_H > 2 h_H$  foi feita uma verificação das secções de controlo a  $2d$  no interior do capitel como também na laje, como exemplificado na figura 75 e verificado na tabela 20.

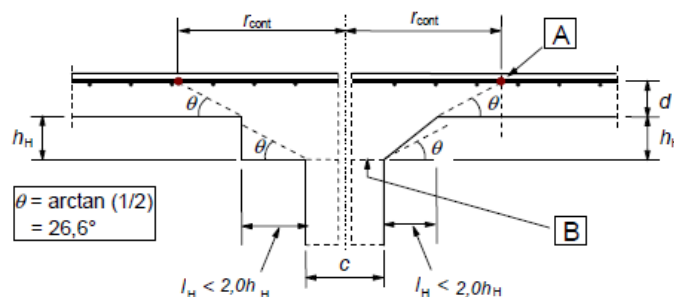


Figura 75 - Verificação do punçoamento, EC2

Tabela 19 - Verificação do punçoamento (Piso -3)

	<b>b</b>	<b>h</b>	<b>d</b>	<b><math>u_1</math></b>	<b><math>\beta</math></b>	<b><math>V_{sd}</math></b>	<b><math>v_{sd}</math></b>	<b><math>C_{Rd,c}</math></b>	<b>k</b>	<b>Arm. D1</b>	<b>Arm. D2</b>	<b><math>v_{Rd,c}</math></b>
	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>		<b>(kN)</b>	<b>(kN)</b>			<b>(cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kN)</b>
P2	0,9	0,9	0,47	9,51	1,15	1309,6	337,08	0,12	1,65	20,11	20,11	464,25
P3	0,6	0,6	0,32	6,42	1,15	834,2	466,86	0,12	1,79	20,11	20,11	571,87
P4A	0,3	1,2	0,32	7,02	1,15	871,1	445,86	0,12	1,79	20,11	20,11	571,87
Pa1	2,7	0,3	0,32	10,02	1,15	855,9	306,94	0,12	1,79	20,11	20,11	571,87

### 4.4.3. PILARES

#### 4.4.3.1. ARMADURAS LONGITUDINAIS

Para ser feita uma verificação da segurança dos pilares ao estado limite último o esforço axial atuante não deverá ser desprezado como acontece nos elementos viga. Assim sendo deverá ser elaborada uma análise à flexão composta desviada efetuada pela:

$$\left(\frac{M_{Ed,y}}{M_{Ed,y}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{Ed,z}}{M_{Ed,z}}\right)^\alpha \leq 1.0 \quad (21)$$

Neste caso apesar de todos os pilares do edifício em estudo serem classificados como elementos secundários onde a rigidez desses elementos à ação sísmica foi desprezada, estes foram dimensionados e pormenorizados de modo a manter a função de suporte das forças gravíticas. Assim sendo foi adotada uma taxa de armadura de cerca de 1 a 2% de armadura longitudinal adotando-se assim uma boa prática de projeto garantindo sempre a armadura mínima nestas situações.

Assim sendo adotaram as seguintes armaduras:

Tabela 20 - Armaduras de pilares

	<b>b</b> [m]	<b>h</b> [m]	<b>c</b> [m]	<b>As, mín</b> [cm <sup>2</sup> ]	<b>As,max</b> [cm <sup>2</sup> ]	<b>As,adot</b> [cm <sup>2</sup> ]	<b>As,adot</b>	<b>ρ</b> (%)
P1A	0,9	0,85	0,035	15,30	306	75,36	24φ20	0,99
	0,9	0,6	0,035	10,80	216	56,52	18φ20	1,05
P1B	0,9	0,85	0,035	15,30	306	75,36	24φ20	0,99
P2	0,9	0,9	0,035	16,20	324	75,36	24φ20	0,93
	0,9	0,6	0,035	10,80	216	56,52	18φ20	1,05
P3	0,6	0,6	0,035	7,20	144	50,24	16φ20	1,40
P4A	0,3	1,2	0,035	7,20	144	88,38	18φ25	2,46
P4B	0,3	1,2	0,035	7,20	144	88,38	18φ25	2,46

Tendo sido a armadura adotada para cada tipo de secção estimada com base no EC2 respeitando a armadura mínima e máxima abaixo indicadas:

$$A_{s,min} = 0.002 A_c \quad (22)$$

$$A_{s,max} = 0.04 A_c \quad (23)$$

Posto isto foi utilizado o programa de análise de seções “GALA REINFORCEMENT” desenvolvido por **Ilija Alashki** entre 1997-2002. Este software permite através das características do betão, do aço, da geometria da seção e respetiva distribuição de armaduras obter-se o diagrama de interação  $M_{Rd} N_{Rd}$  para cada tipo de seção, como demonstra a figura 76.

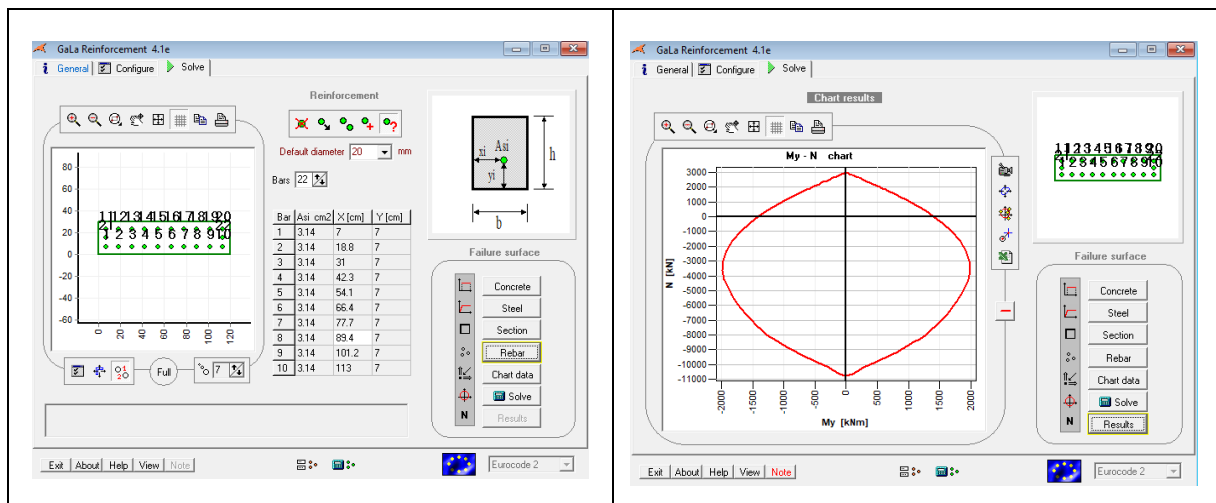


Figura 76 – Diagrama de interação M-N obtido através do GALA

Assim foi possível confirmar através do diagrama de interação a segurança dos pilares às ações submetidas, sendo possível observar que os pilares dos pisos enterrados ao encontrarem-se numa cave enterrada não estão sujeitos a forças de massa resultando uma envolvente de esforços praticamente nula.

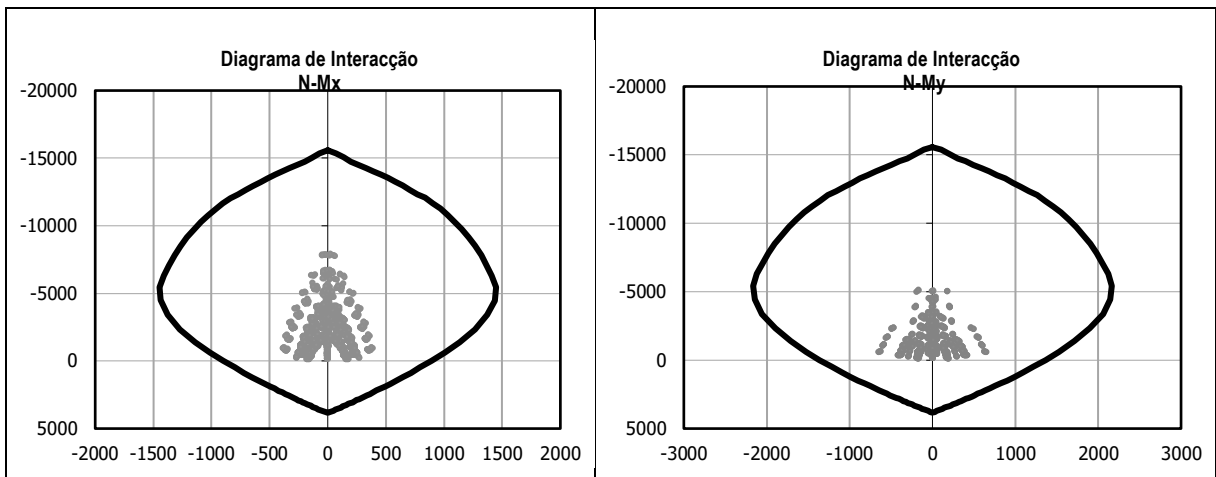


Figura 77 - Verificação dos diagramas de interação M-N (Pilar P1A)

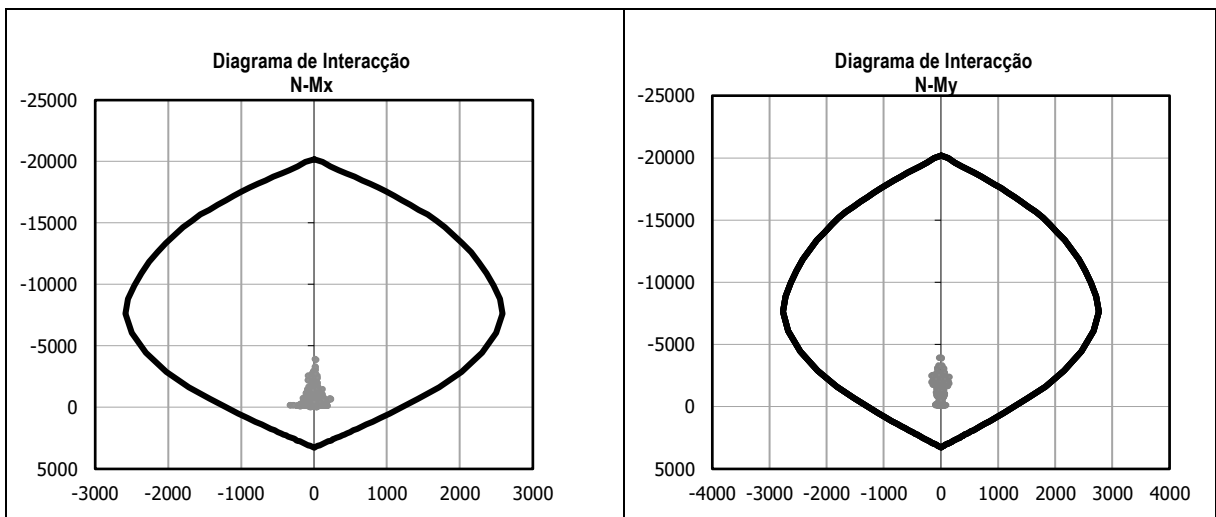


Figura 78 - Verificação dos diagramas de interação M-N (Pilar P1B)

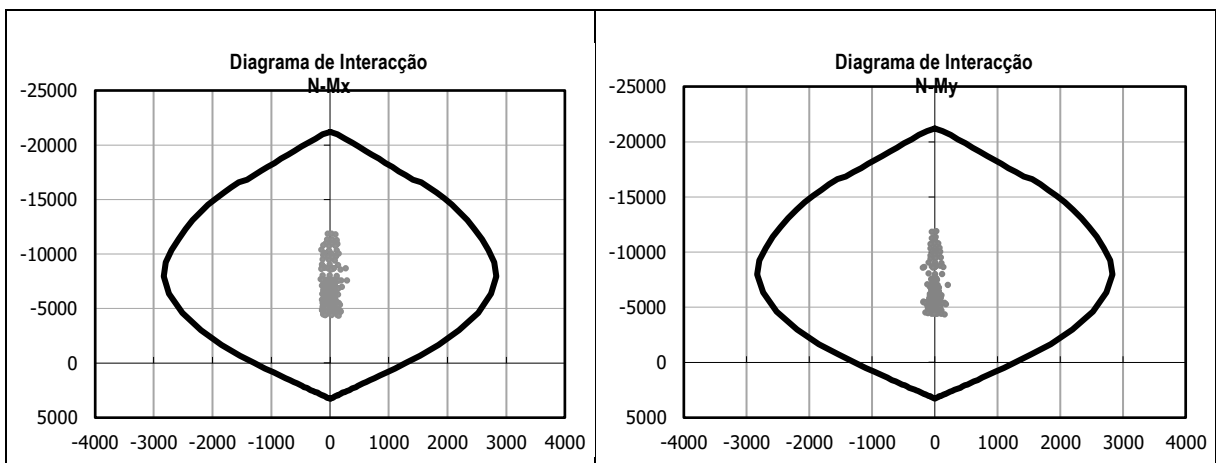


Figura 79 - Verificação dos diagramas de interação M-N (Pilar P2)

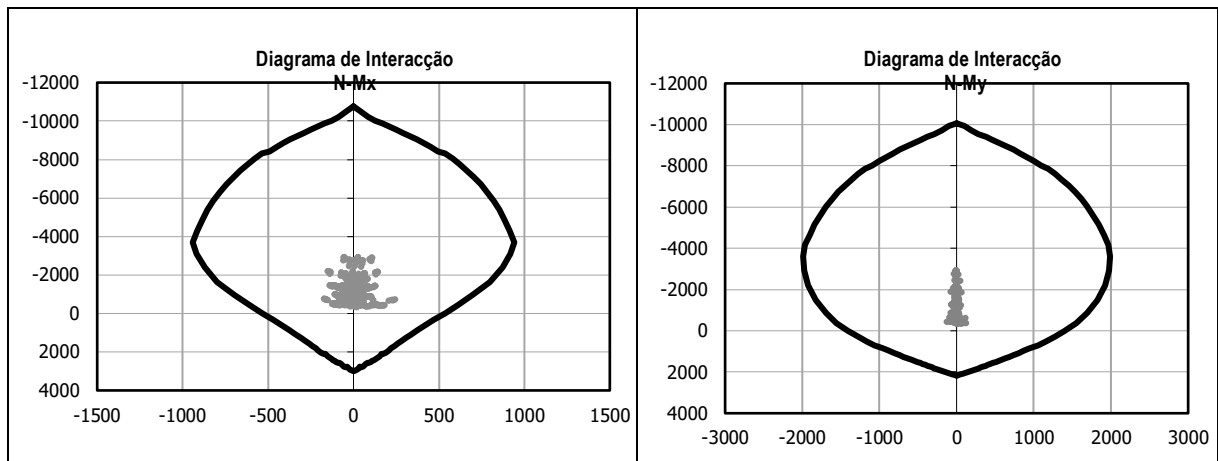


Figura 80 - Verificação dos diagramas de interação M-N (Pilar P3)

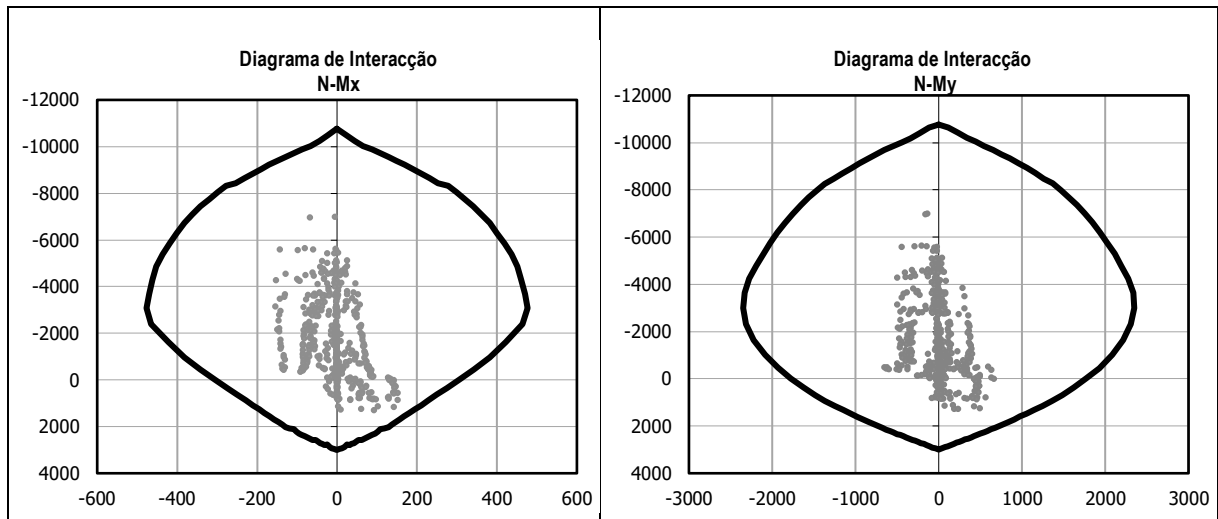


Figura 81 - Verificação dos diagramas de interação M-N (Pilar P4 e P4A)

#### 4.4.3.2. ESFORÇO TRANSVERSO E CONFINAMENTO

Em todos os pilares adotaram-se as regras de cintagem para estruturas DCM da EN1998-1, de modo a garantir um nível de confinamento e, portanto, de ductilidade adequado que impeça a encurvadura local dos varões. Assim sendo utilizou-se diâmetros de  $\Phi 10$ , garantindo um espaçamento não superior nas zonas correntes a:

$$s_{m\acute{a}x} = \min(20 \times \phi_{L,menor}; b_{m\acute{i}n}; 40) \quad (24)$$

O EC8 define a altura crítica de um pilar através das expressões 25 e 26:

$$h_{cr} = \max[h_c; l_{cl}/6; 0.45] \quad (25)$$

Nesta zona calculada anteriormente devem adotar-se cintas e ganchos de diâmetro não inferior a 6mm com um espaçamento tal que garanta um mínimo de ductilidade e impeça a encurvadura local dos varões longitudinais.

Assim sendo o espaçamento das cintas não deverá ser superior a:

$$s = \min \left\{ \frac{b_0}{2}; 175; 8d_{bL} \right\} \quad (26)$$

Tabela 21 - Armadura transversal e de confinamento

	<b>b</b> [m]	<b>h</b> [m]	<b>smáx</b> (m)	<b>hcr</b> (m)	<b>hc</b> (m)	<b>lcl</b> (m)	<b>s</b> (m)	<b>As,adot</b> (Zona corrente)	<b>As,adot</b> (Zona crítica)
P1A	0,9	0,85	0,40	4,10	0,9	4,10	0,16	Φ10//0.20	Φ10//0.10
	0,9	0,6	0,40	2,80	0,9	2,80	0,16	Φ10//0.20	Φ10//0.10
P1B	0,9	0,85	0,40	4,10	0,9	4,10	0,16	Φ10//0.20	Φ10//0.10
P2	0,9	0,9	0,40	4,10	0,9	4,10	0,16	Φ10//0.20	Φ10//0.10
	0,9	0,6	0,40	2,80	0,9	2,80	0,16	Φ10//0.20	Φ10//0.10
P3	0,6	0,6	0,40	4,10	0,9	4,10	0,16	Φ10//0.20	Φ10//0.10
P4A	0,3	1,2	0,40	2,80	0,9	2,80	0,11	Φ10//0.20	Φ10//0.10
P4B	0,3	1,2	0,40	2,80	0,9	2,80	0,11	Φ10//0.20	Φ10//0.10

Embora os pilares não tenham sido dimensionados para equilibrar esforços resultantes das forças de inércia, como referido anteriormente, devem manter a capacidade de suporte das forças gravíticas quando submetidos aos deslocamentos impostos pelo sismo ao resto da estrutura. Assim sendo adotou-se as mesmas exigências de ductilidade em curvatura que para os elementos sísmicos primários, verificando que a pormenorização adotada cumpre o estabelecido, como se exemplifica na tabela 23 para o Pilar P1A (0.60x0.90).

Tabela 22 - Cintagem na zona crítica: garantia de ductilidade para o Pilar P1A (0.90x0.60)

	<b>Direção x</b>	<b>Direção y</b>
$v_d$ (Combinação sísmica)	0,40	
$\mu_\varphi$	5,0	
Comprimento da zona crítica [m]	0,9	
$\alpha$ - eficácia do confinamento	0,71	
$\alpha \cdot \omega_{wd}$	0,135	0,135
$30\mu_\varphi v_d \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0.035$	0,114	0,108

#### 4.4.4. PAREDES E NÚCLEOS

Neste projeto, foram consideradas paredes, todos os elementos estruturais que suportam outros elementos, de secção transversal alongada e com uma relação  $a \times b > 4$ . Este edifício em estudo é composto por várias paredes sendo estas constituídas nomeadamente pelas caixas de escadas e pelos núcleos de elevadores, como demonstra a figura 82, retirada do modelo de cálculo ETABS 2016.

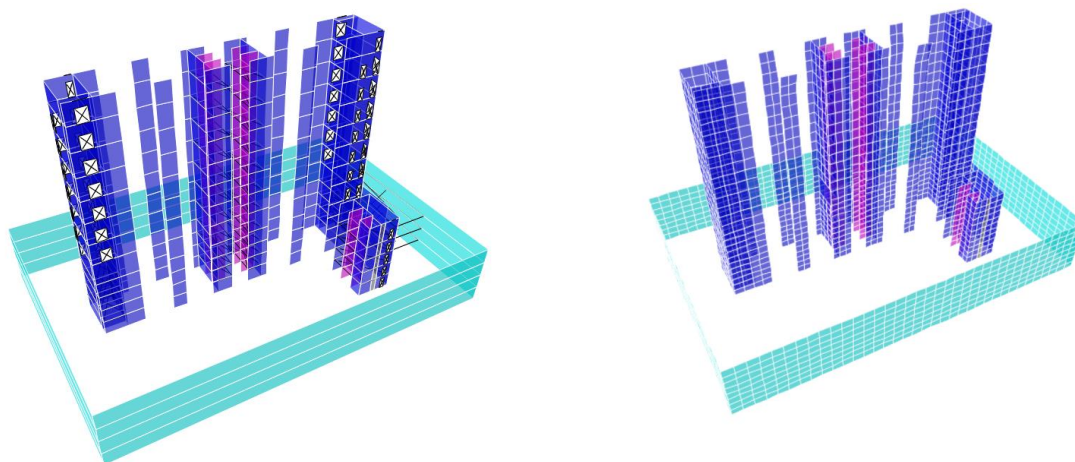


Figura 82 - Paredes do edifício em ETABS

De forma a elaborar o dimensionamento destes elementos recorreu-se ao método dos pilares fictícios recomendado pelo EC8, sendo esta verificação apenas exemplificada para o *N1*.

##### 4.4.4.1. ARMADURAS LONGITUDINAIS

Para o cálculo das armaduras longitudinais verificando assim o estado limite último de flexão recorreu-se ao método dos pilares fictícios. De acordo com o EC8 este método simplificado admite a que a capacidade resistente da parede se reúne nas duas extremidades desta (pilares fictícios) concentrando-se assim desde modo a armadura de flexão necessária.

Na figura 83 é possível, de forma esquemática, as forças atuantes na parede.

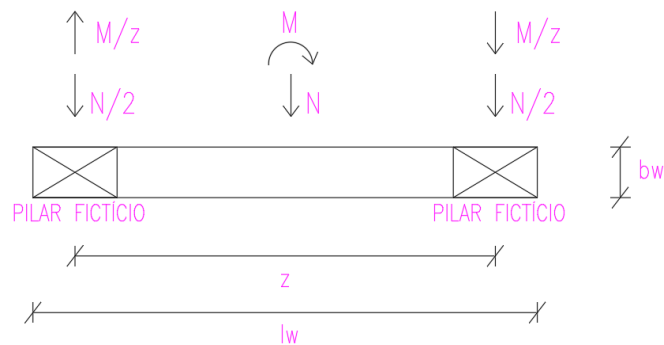


Figura 83 - Pilares fictícios

$$F_t = \frac{M}{z} \pm \frac{N}{2} \quad (27)$$

$$A_s = \frac{F_t}{f_{syd}} \quad (28)$$

De forma a definir o comprimento do pilar fictício foi respeitado o valor mínimo regulamentar para este comprimento, que é dado pela expressão 29:

$$l_{c,min} = \min \{0,15 l_w; 1.50 b_w\} \quad (29)$$

De acordo com a cláusula 5.4.3.4, o valor do esforço normal reduzido,  $v_d$ , não deverá ser superior a 0,4.

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}} \quad (30)$$

De forma a obter os esforços destes elementos, recorreu-se à capacidade do software ETABS 2016, utilizando a opção “*Piers Labels*”. Esta opção permite agrupar todas os elementos “*sheel*” que constituem o núcleo de escadas, obtendo assim os esforços resultantes desse conjunto.

Na figura 84 apresenta-se a envolvente de esforços para os momentos em ambas as direções.

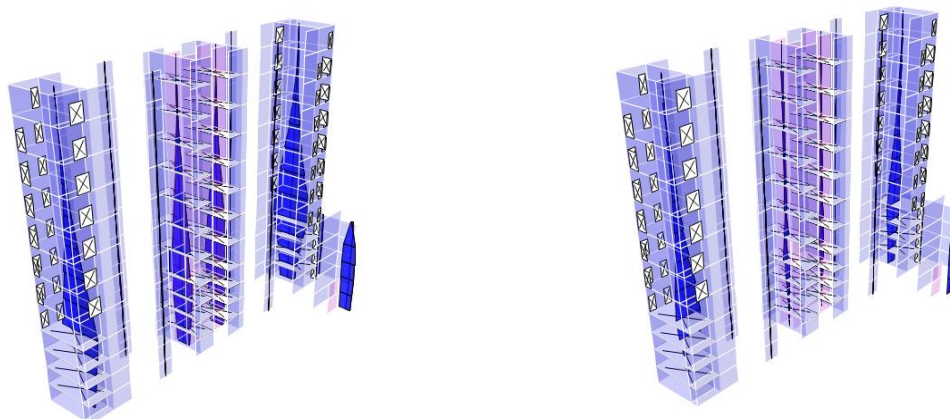


Figura 84 – Envoltório de esforços em ambas as direções dos núcleos

Para o dimensionamento do núcleo, uma vez que é retirado do programa de cálculo automático a resultante de esforços do N1 (tabela 24) procedeu-se posteriormente a distribuição de esforços para cada parede constituinte do núcleo em função da respetiva inércia, chegando aproximadamente à armadura necessária dos pilares fictícios, tendo sido adotados varões com  $\phi 25/0.10m$ .

Tabela 23 - Esforços resultantes do núcleo N1

Elemento	Ned [kN]	Med,x [kN.m]	Med,y [kN.m]
N1	44573,4	28845,1	118108,3

Tabela 24 - Estimativa da dimensão dos pilares fictícios

Elemento	lw [m]	bc=bw [m]	lc [m]	z [m]	I [m <sup>4</sup> ]
<b>N1</b>					
N1.A	4,10	0,30	0,60	3,50	1,72
N1.B	2,80	0,20	0,40	2,40	0,37
N1.C	2,80	0,20	0,40	2,40	0,37
N1.D	4,10	0,30	0,60	3,50	1,72
N1.E	7,90	0,30	0,60	7,30	12,33

Relativamente à armadura de alma procurou-se não apertar muito o espaçamento entre varões nesta zona, não conduzindo a uma maior taxa volumétrica de armadura, sendo para isso adotada a armadura mínima  $A_{s,min} = 0.002 A_c$ . considerando uma pormenorização adequada.

Tabela 25 - Armadura de alma adotada

Elemento	As,v mín [cm2/m]	As,v adot. [cm2/m]
<b>N1</b>		
N1.A	6,00	φ16//0,20
N1.B	4,00	φ16//0,20
N1.C	4,00	φ16//0,20
N1.D	6,00	φ16//0,20
N1.E	6,00	φ16//0,20

Após estimada a armadura longitudinal e a dimensão dos pilares dos núcleos através das expressões 27 e 28, utilizou-se as potencialidades do ETABS de forma a verificar a segurança do núcleo E1. Neste caso através do "Section Designer" foi possível introduzir a disposição dos varões dos pilares fictícios como da armadura de alma (figura 85) e proceder a verificação através do diagrama de interação M-N, conseguindo garantir que todos os pontos da envolvente de esforços encontram-se dentro da curva de interação.

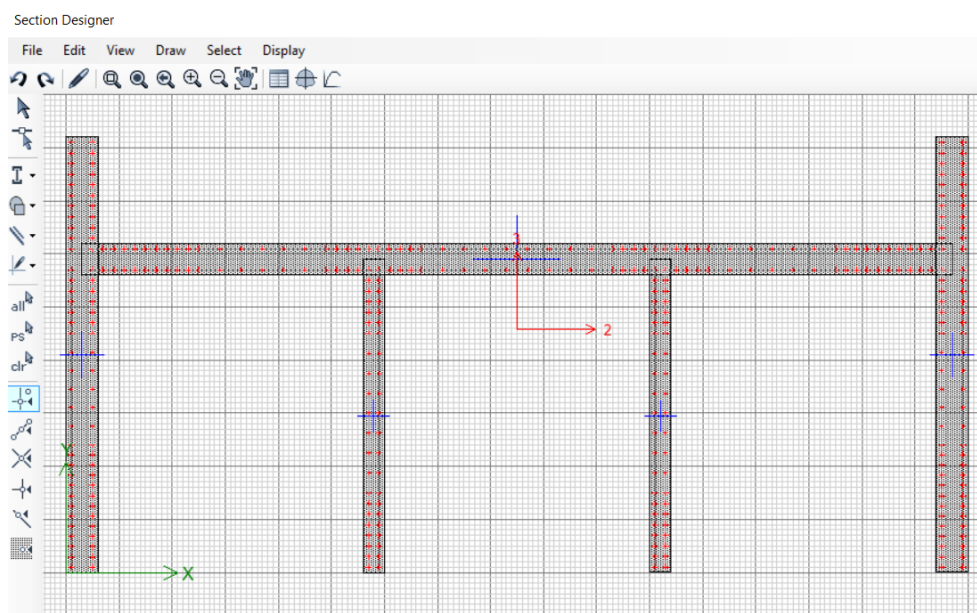


Figura 85 - Introdução das armaduras N1 no "Section Designer"

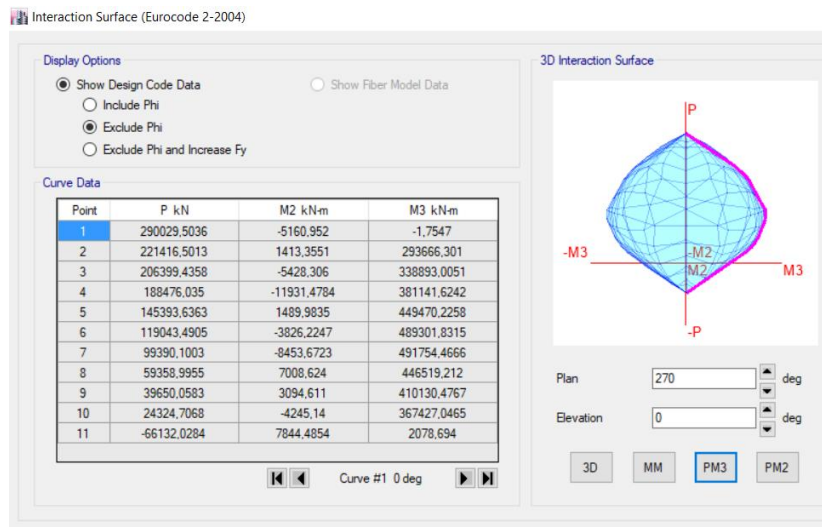


Figura 86 - Envoltória de esforços resistentes extraída do ETABS (N1)

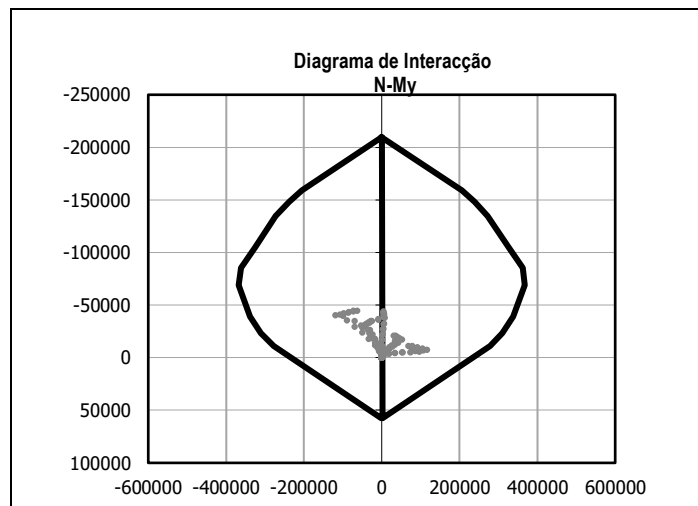


Figura 87 - Verificação do diagrama de interação My-N

#### 4.4.4.2. ESFORÇO TRANSVERSO E DUCTILIDADE

A resistência ao esforço transverso foi determinada de acordo com a envoltória preconizada na NP EN1998-1, sendo esta armadura colocada ao longo de toda a parede

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z f_{yd} \cot(\theta)} \quad (31)$$

De forma a simplificar, é de salientar que a pormenorização adotada para a parede mais solicitada será aplicada em outras paredes na mesma direção.

Tabela 26 - Esforço transverso N1.A

Elemento	V2 [kN]	V2, envolvente (EC8) [kN]	Asw/s [cm2/m]	2 Ramos [cm2/m]	Asw/s adot. [cm2/m]	Asw/s adot.
N1	5273,83					
N1	1318,48	1977,69	8,27	4,14	5,24	Φ10//0,20

Tabela 27 - Esforço transverso N1.E

Elemento	V3 [kN]	V3, envolvente (EC8) [kN]	Asw/s [cm2/m]	2 Ramos [cm2/m]	Asw/s adot. [cm2/m]	Asw/s adot.
N1	4991,75					
N1	4991,75	7847,63	22,58	11,29	11,31	Φ12//0,10

O espaçamento em zonas correntes poderá ser determinado através do Anexo Nacional, em que o valor recomendado pode ser dado através da expressão 32:

$$s_{cl,tmax} = \min(20\phi_{long}; bc; 400mm) \quad (32)$$

Relativamente à armadura de confinamento nas paredes é prolongada verticalmente ao longo de um comprimento crítico  $h_{cr}$ .

O EC8 define a altura crítica de uma parede através das expressões 33 e 34:

$$h_{cr} = \max[l_w, h_w/6] \quad (33)$$

Mas,

$$h_{cr} \leq \begin{cases} 2 l_w \\ h_s \text{ para } n \leq 6 \text{ pisos} \\ 2 h_s \text{ para } n \geq 7 \text{ pisos} \end{cases} \quad (34)$$

Nesta zona calculada anteriormente devem adotar-se cintas e ganchos de diâmetro não inferior a 6mm com um espaçamento tal que garanta um mínimo de ductilidade e impeça a encurvadura local dos varões longitudinais.

Assim sendo o espaçamento longitudinal das cintas não deverá ser superior a:

$$s = \min \left\{ \frac{b_0}{2}; 175; 8d_{bL} \right\} \quad (35)$$

Tabela 28 - Espaços adotados N1

Elemento	hcr [m]	hcr, adot. [m]	s [m]	s, adot [m]
<b>N1</b>				
N1.A	5,25	5,25	0,11	0,10

Tabela 29 - Cintagem na zona crítica e garantia de ductilidade N1

	Direção Flexão da parede
$\nu_d$	0,26
$\mu_\varphi$	5,0
Comprimento da zona crítica [m]	1,20
$\alpha$ - eficácia do confinamento	0,63
$\alpha \cdot \omega_{wd0}$	0,117
$30\mu_\varphi(\nu_d + w_v) \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035$	0,0972

## 5. SÍNTESE E CONCLUSÕES

O foco do presente trabalho consistiu no desenvolvimento de um projeto de estrutura de um edifício com o auxílio de um modelo BIM, demonstrando as principais potencialidades da utilização desde recurso ao longo de um caso de estudo.

No primeiro capítulo apresentou-se o enquadramento geral do tema, os objetivos e a estrutura desta dissertação.

O Capítulo 2 descreve o conceito BIM com especial atenção à implementação desta metodologia no mercado atual. Esta metodologia oferece uma abordagem promissora na gestão de informação de um edifício reduzindo erros ou emissões num projeto como a rapidez na sua execução.

No terceiro capítulo é apresentado um caso de estudo, onde é aplicada uma metodologia BIM no desenvolvimento de um projeto de estrutura. Neste capítulo é apresentada a solução estrutural do edifício em estudo como, também alguns passos fundamentais para o desenvolvimento de um projeto em Revit, nomeadamente a organização e classificação os objetos, a criação de famílias, métodos de modelação, extração de quantidades, interoperabilidade entre o modelo analítico e o software de cálculo estrutural “ETABS”, complementando com uma avaliação sísmica e a análise de 2 lajes do edifício em estudo.

Assim sendo, ao longo do presente trabalho foram retiradas várias conclusões acerca deste método de trabalho:

- O sistema BIM, utilizado através da plataforma Revit fornece todas as condições necessárias na coordenação dos projetos das várias especialidades em apenas um modelo BIM. A coordenação entre o modelo estrutural e o modelo arquitetónico, no caso em estudo, talvez seja dos pontos eficazes de um modelo BIM. A verificação automática de incompatibilidades entre estas duas disciplinas torna-se muito importante pois a existência de erros e incongruências é automaticamente extinta. Salienta-se que a ferramenta do Revit direcionada à deteção de conflitos entre projetos de especialidades diferentes ainda é um pouco primitiva, podendo ser complementada pelas capacidades do *Navisworks*;
- O software BIM utilizado, mostra-se intuitivo e com capacidade de fornecer à equipa de projeto uma avaliação eficaz a nível económico diversas soluções estruturais, conseguindo dar uma resposta mais eficaz e em tempo reduzido em processos de

reorçamentação devido a alterações de última hora propostas ao projeto inicial, atualizando de forma rápido o seu modelo BIM;

- É de salientar que para a utilização/implementação do BIM existe necessidade de criação de metodologias de trabalho eficazes e a aquisição de novo software/hardware levando a um investimento considerável por parte das empresas neste setor;
- Existem campos de atuação que exigem ainda melhorias no que toca ao processo de modelação de armaduras, não sendo este ainda suficientemente prático para facilmente converter os tradicionais e enraizados métodos CAD para a modelação em BIM, pois recorrendo ao CAD o processo de pormenorização da armadura é consideravelmente menos moroso. No que respeita os cabos de pré-esforço, não existe ainda elementos específicos destinados à sua modelação no Revit, sendo ainda necessário o desenvolvimento dessas famílias. Em complemento ao Revit, existem “addons” desenvolvidos por empresas exteriores de forma a complementar e a executar processos automatizados na colocação de armaduras, entretanto aparentam não ser suficientemente eficazes em geometrias mais complexas e menos regulares;
- A interoperabilidade entre o modelo analítico do Revit e o software de cálculo estrutural “ETABS”, através do *addon* “*CsiXRevit*” considera-se uma grande mais valia na rapidez da criação do modelo de cálculo e na omissão de erros, entretanto ainda encontra-se com algumas deficiências que terão de ser corrigidas manualmente através do utilizador, sendo necessário durante a elaboração do modelo geométrico avaliar constantemente o modelo analítico.
- As peças desenhadas, como a geração automática de cortes levam a uma diminuição do tempo de produção do projeto e evitam-se as usuais incoerências entre plantas e os respetivos cortes.

Em conclusão final, pode-se seguramente afirmar que esta nova metodologia aplicada ao projeto de estrutura irá ser cada vez mais utilizada, sendo uma alternativa de sucesso ao CAD, melhorando processo de trabalho e rentabilização de recursos, tendo para isso ser ainda desenvolvidas mais ferramentas que permitam a inexistência de limitações. Relativamente ao dimensionamento do edifício em estudo em complemento com o processo BIM conseguiu-se clarificar alguns pontos do EC8, tais como, cálculos e verificações específicas em soluções de lajes pré-esforçadas, como também a modelação e análise de núcleos e paredes relativamente à ação sísmica, com o auxílio das potencialidades do ETABS.





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [A] Becerik-Gerber, B., Kensek, K. (2010). Building Information Modeling in Architecture, Engineering, and Construction: Emerging Research Directions and Trends. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 136, 139–147.
- [B] Arun, Roy. Bridging the Gap between BIM & Residential Owners, 11/07/2012, <http://www.bimjournal.com/2011/07/bridging-the-gap-between-bim-residential-owners/>
- [C] Lino, J., Azenha, M., Lourenço, P. (2012). Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas. Porto: Encontro Nacional Betão estrutural.
- [D] Taborda, Paulo. BIM nas Obras Públicas do Reino Unido, 14/07/2012, [http://www.tecad.pt/documents/autores/2080877170Paulo\\_Taborda\\_nov11.pdf](http://www.tecad.pt/documents/autores/2080877170Paulo_Taborda_nov11.pdf)
- [E] BUILDINGSMART. Model-Industry Foundation Classes (IFC), 11/07/2012, <http://buildingSMART.com/standards/ifc>
- [F] McGraw Hill Construction (2012). *The Business Value of BIM in North America: Multi-Year Trend Analysis and User Ratings (2007-2012)*. Bedford, EUA: Autor.
- [G] McGraw Hill Construction (2014). *The business Value of BIM for Construction in Major Global Markets, 2014*
- [H] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. (2011). *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. New Jersey, EUA: John Wiley & Sons.
- [I] Sinergia. (2012). *Uma visão de futuro internacional e diversificada*. Mota-Engil.
- [J] Querido, J. P. (2013). *Proposta de melhoria da produtividade numa PME de construção*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.
- [L] Lopes, Mário. *Sismos e Edifícios*, 2009
- [M] Appleton, J. (1988). *Conceção e Projeto de Estruturas de Edifícios*, Estruturas de Edifícios, Volume I. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- [N] Appleton, J., Marchão, Carla. *Estruturas de Betão II*. Folhas de apoio às aulas.





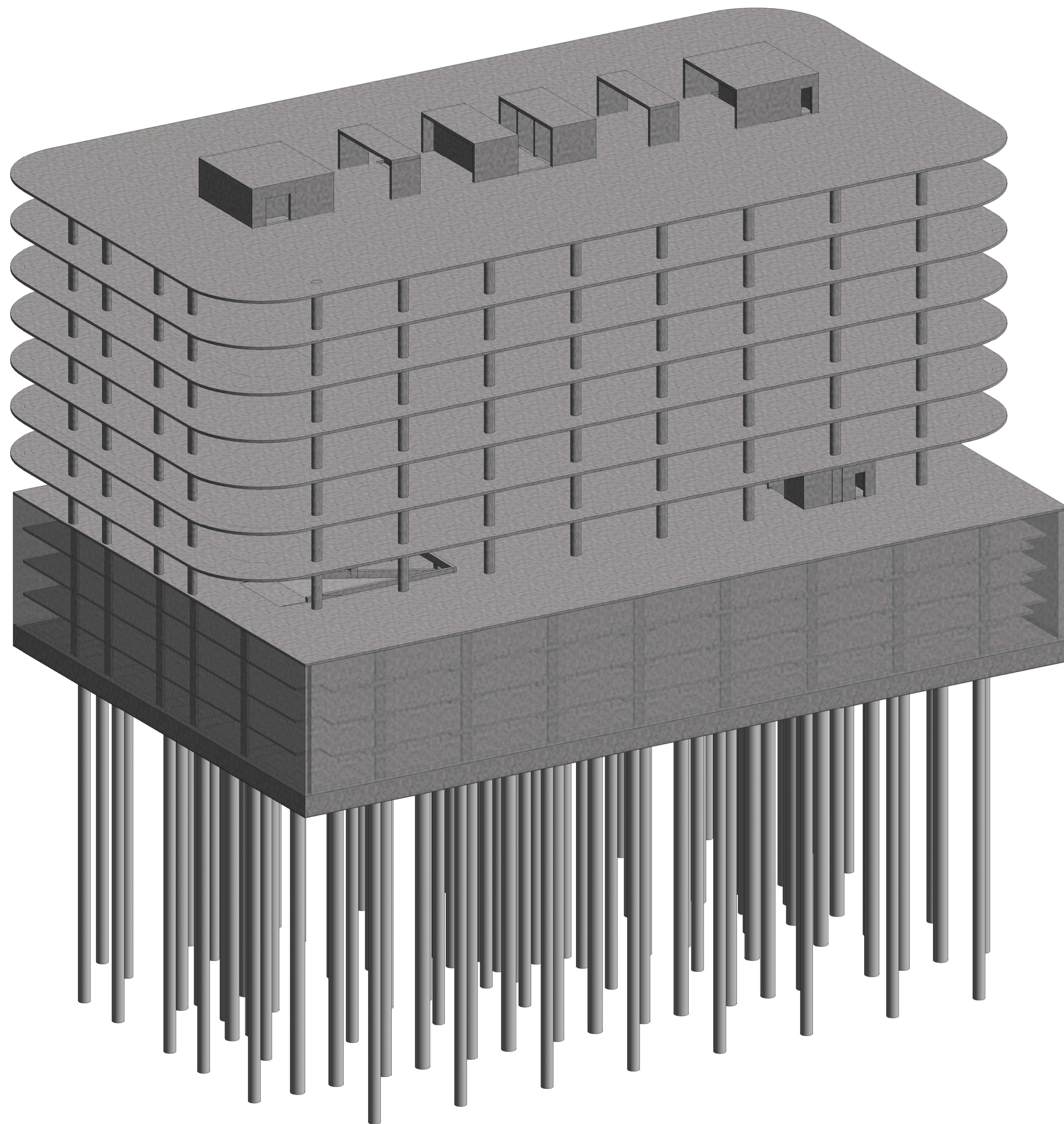
## **ANEXO 1**

## LISTA DE PEÇAS DESENHADAS

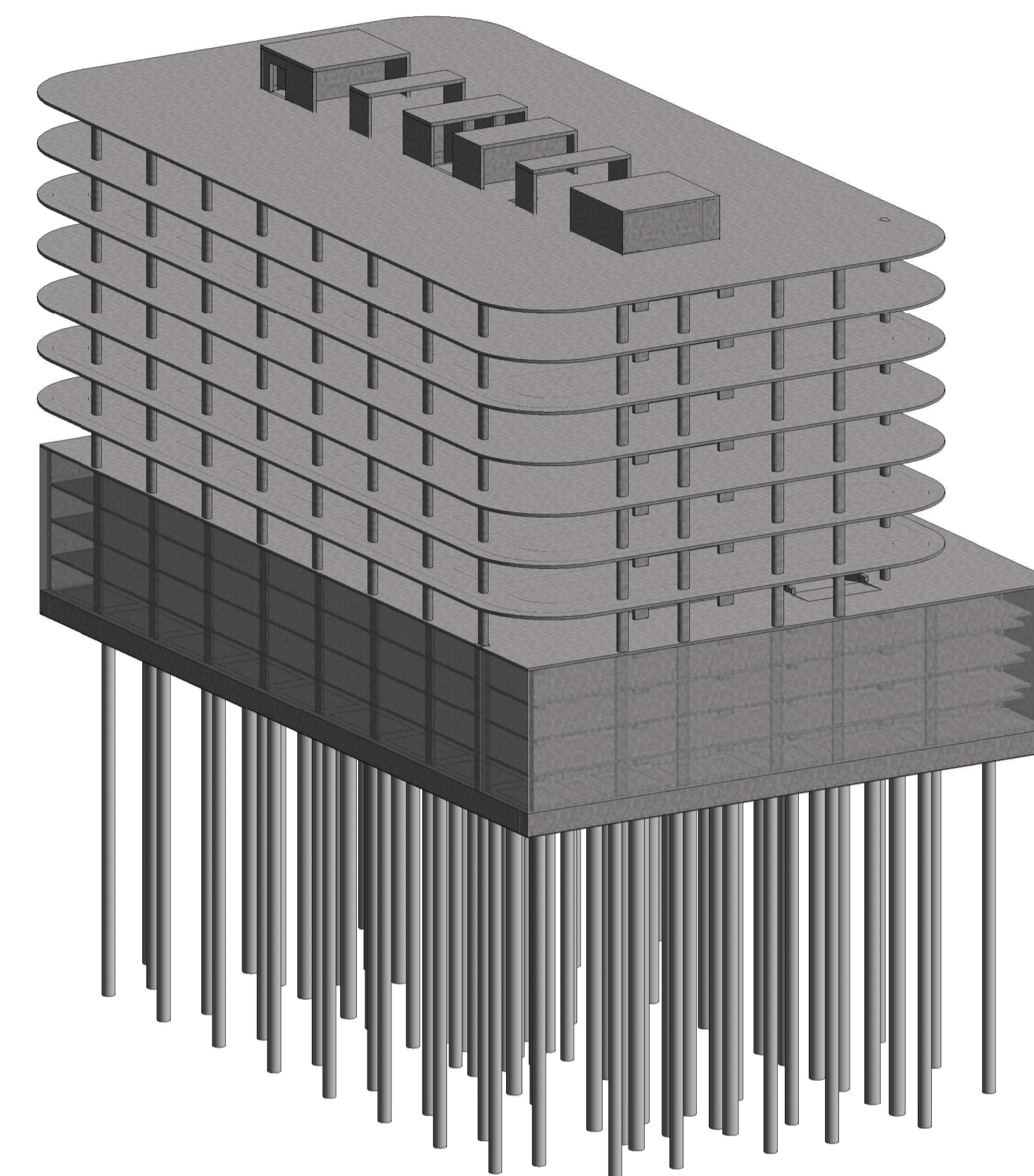
---

<b>DES. Nº</b>	<b>DESIGNAÇÃO</b>
01.	DIMENSIONAMENTO – VISTA 3D
02.	DIMENSIONAMENTO – PLANTA PISO -4: FUNDAÇÕES
03.	DIMENSIONAMENTO – PLANTA PISO -3
04.	DIMENSIONAMENTO – PLANTA PISO 0
05.	DIMENSIONAMENTO – PLANTA PISO TIPO
06.	DIMENSIONAMENTO – ALÇADOS E CORTES
07.	DIMENSIONAMENTO – CORTES GERAL 1
08.	DIMENSIONAMENTO – CORTES GERAL 2
09.	BETÃO ARMADO - ARMADURAS INFERIORES DO PISO TIPO
10.	BETÃO ARMADO- ARMADURAS SUPERIORES DO PISO TIPO
11.	BETÃO ARMADO – QUADRO DE PILARES E NÚCLEO N1
12.	PRÉ-ESFORÇO – PLANTA DO PISO TIPO ELEVADO
13.	PRÉ-ESFORÇO – ALÇADOS DO PISO TIPO ELEVADO

---



VISTA 3D A  
ESC:



VISTA 3D B  
ESC:

#### QUADRO DE MATERIAIS


##### BETÃO | RECOBRIMENTOS Especificações de acordo com NP EN 206-1

Regularização:	C16/20 X0(P), C11.0 Dmax12. >=S2   Rec. ...
Laje de ensoleiramento:	C30/37 XC2(P), XA1, CL0,4 Dmax25. >=S3   Rec. 50mm
Vigas de fundação:	C30/37 XC2(P), XA1, CL0,4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm
Pilares:	C40/50 XC3(P), CL0,4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm
Núcleos e Paredes:	C40/50 XC3(P), CL0,4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Vigas:	C30/37 XC3(P), CL0,4 Dmax20. >=S3   Rec. 40mm
Lajes:	C30/37 XC3(P), CL0,4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Lajes pré-esforçadas:	C30/37 XC3(P), CL0,4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Massame:	C25/30 XC3(P), CL0,4 Dmax16. >=S2   Rec. 30mm

##### ARMADURAS De acordo com a norma NP ENV 13670-1 e o respetivo DNA

Armaduras ordinárias:	A500 NR SD
Armaduras pré-esforço:	Y1860 S7 15.7

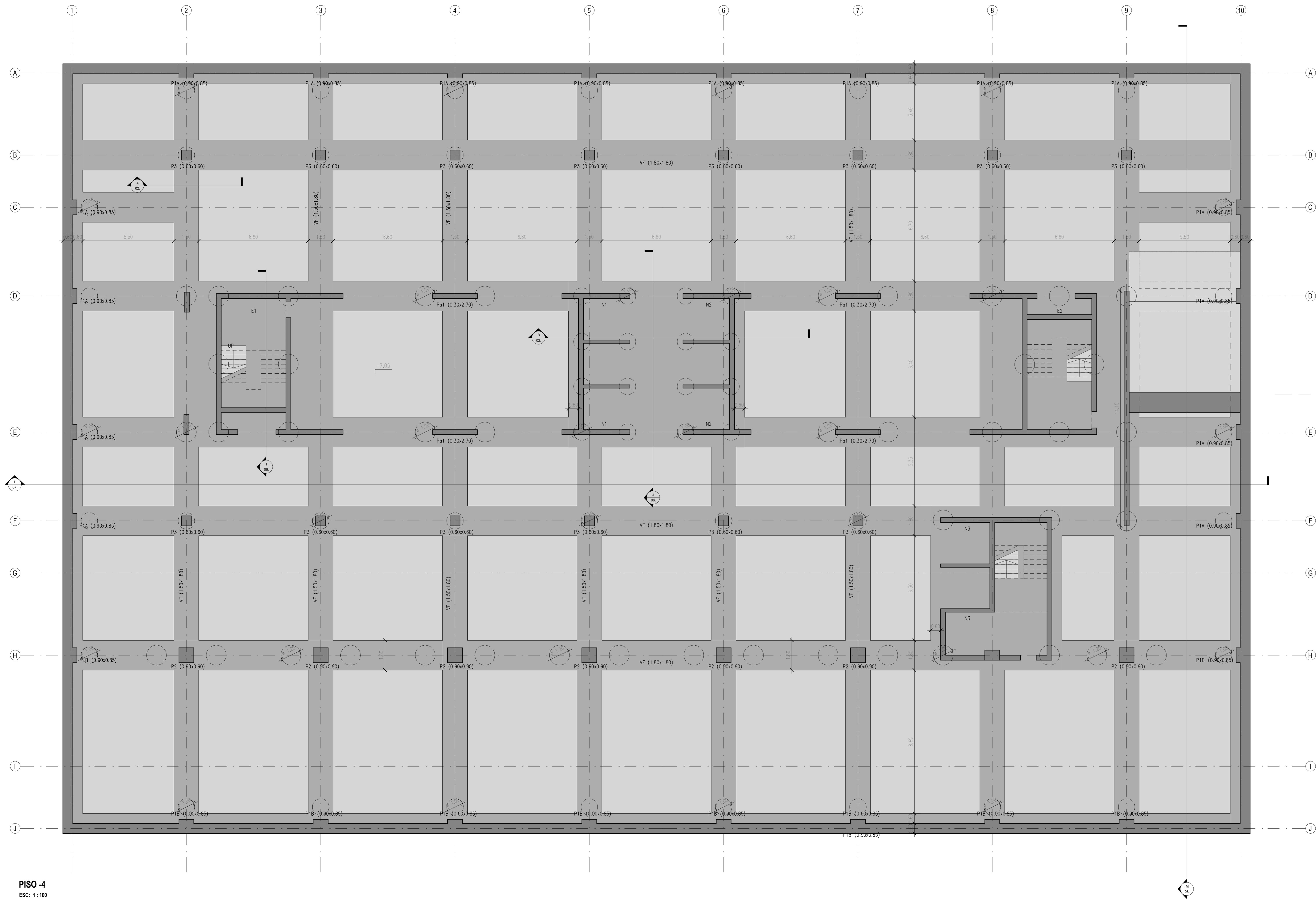
#### IDENTIFICAÇÃO

	FLÁVIO ALEXANDRE PEREIRA LOPES Nº 1685
	DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO COM RECURSO AO BIM

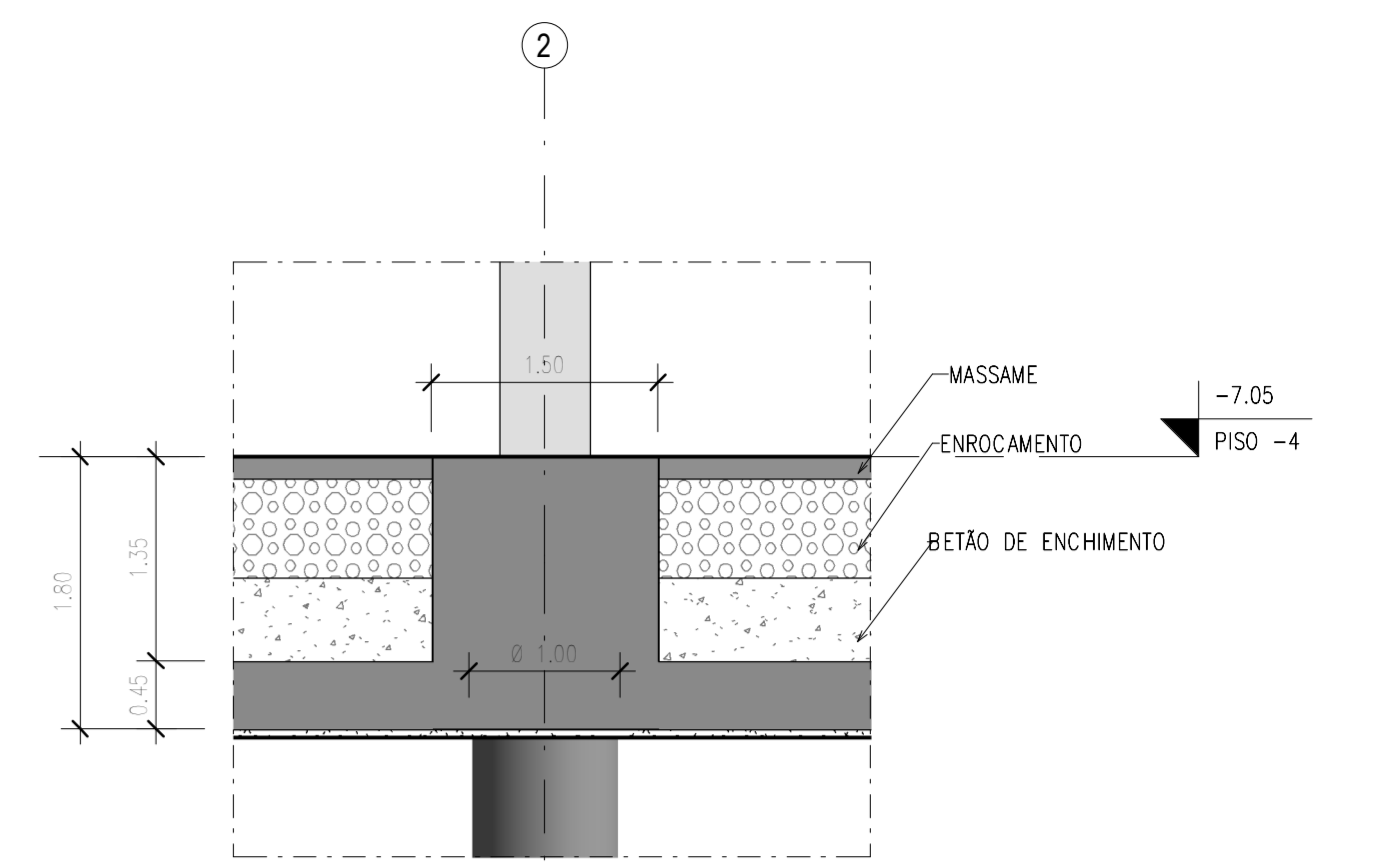
CURSO	TÍTULO
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL ESPECIALIDADE: ESTRUTURAS	DIMENSIONAMENTO - VISTAS 3D

FORMATO	ESCALA	DATA	Nº DESENHO
A1	INDICADAS	NOVEMBRO 2018	01.

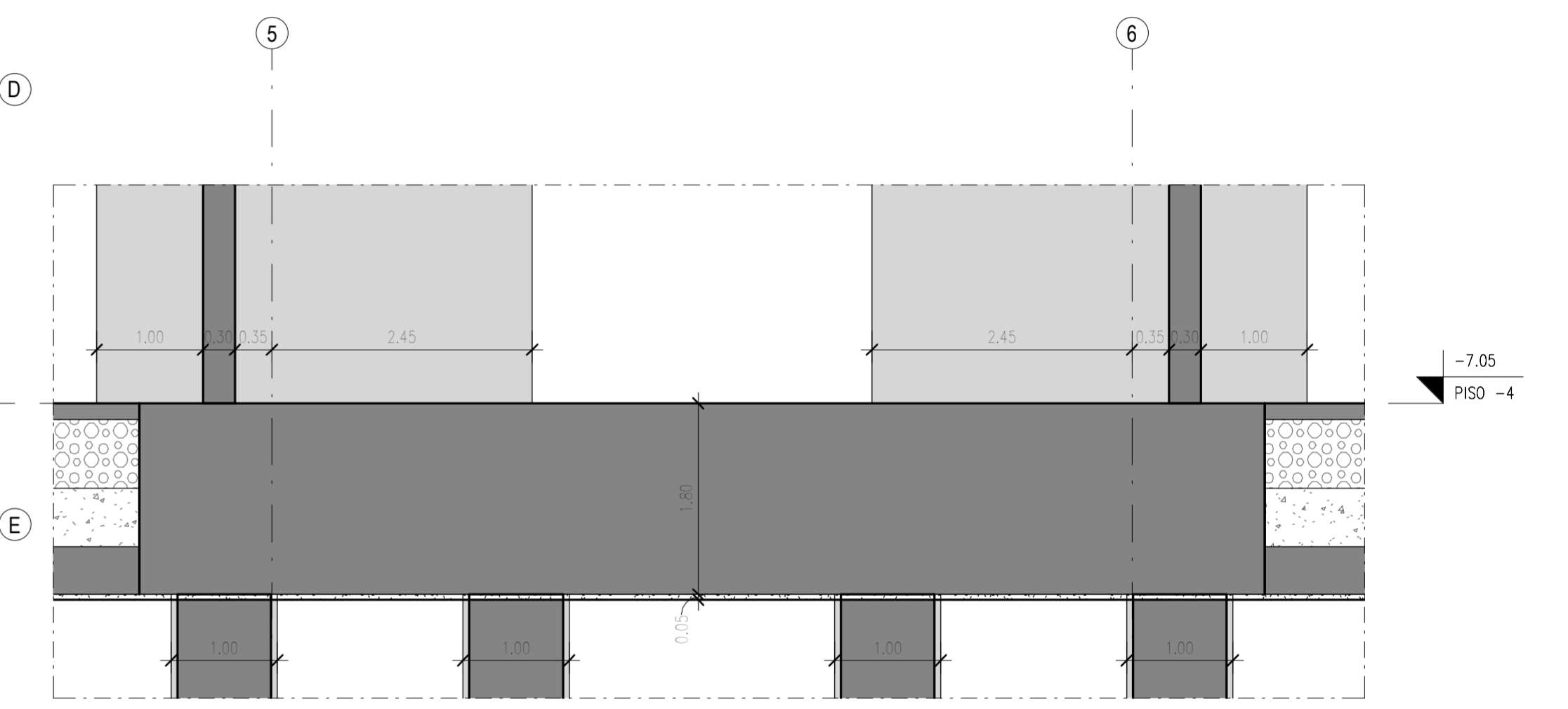
ESTE DESENHO É PROPRIEDADE INTELECTUAL DO AUTOR, TITULAR DOS DIREITOS MORAIS E PATRIMONIAIS DO PROJETO DE QUE É PARTE, AO ABRIGO DO DISPOSTO NA ALÍNEA B) DO Nº11 DO ART. 1º DO "CÓDIGO DO DIREITO DE AUTOR E DOS DIREITOS CONEXOS", NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO OU USADO PARA QUALQUER PROPÓSITO A NÃO SER O AQUI INDICADO SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO ESCRITA.



**PISO -4**  
ESC: 1:100



**CORTE A**  
ESC: 1:50



**CORTE B**  
ESC: 1:50

**QUADRO DE MATERIAIS**

BETÃO   RECOBRIMENTOS	Especificações de acordo com NP EN 206-1
Regularização:	C16/20 X0(P), C1.0 Dmax12, >=S2   Rec...
Laje de encoformamento:	C30/37 XC2(P), XA1, CL0.4 Dmax25, >=S3   Rec: 50mm
Vigas de fundação:	C30/37 XC2(P), XA1, CL0.4 Dmax25, >=S3   Rec: 40mm
Pilares:	C40/50 XC3(P), CL0.4 Dmax25, >=S3   Rec: 40mm
Núcleos e Paredes:	C40/50 XC3(P), CL0.4 Dmax20, >=S3   Rec: 30mm
Vigas:	C30/37 XC3(P), CL0.4 Dmax20, >=S3   Rec: 40mm
Lajes:	C30/37 XC3(P), CL0.4 Dmax20, >=S3   Rec: 30mm
Lajes pré-esforçadas:	C30/37 XC3(P), CL0.4 Dmax20, >=S3   Rec: 30mm
Massame:	C25/30 XC3(P), CL0.4 Dmax16, >=S2   Rec: 30mm

**ARMADURAS** De acordo com a norma NP ENV 13670-1 e o respetivo DNA  
 Armaduras ordinárias: A500 NR SD  
 Armaduras pré-esforço: Y1860 ST 15.7

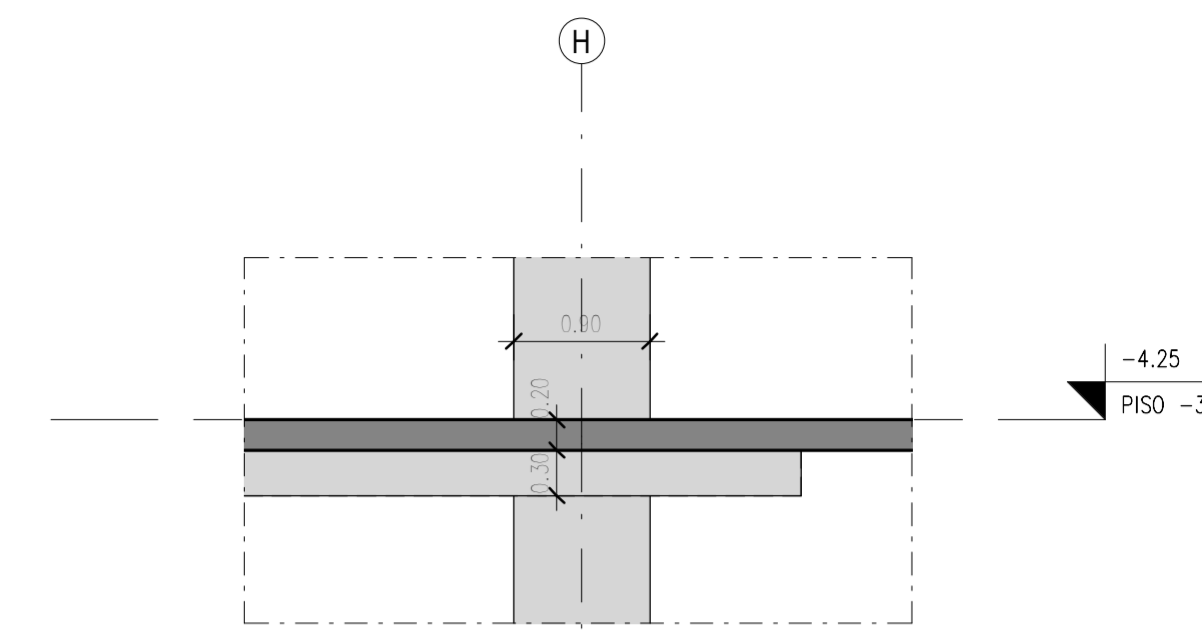
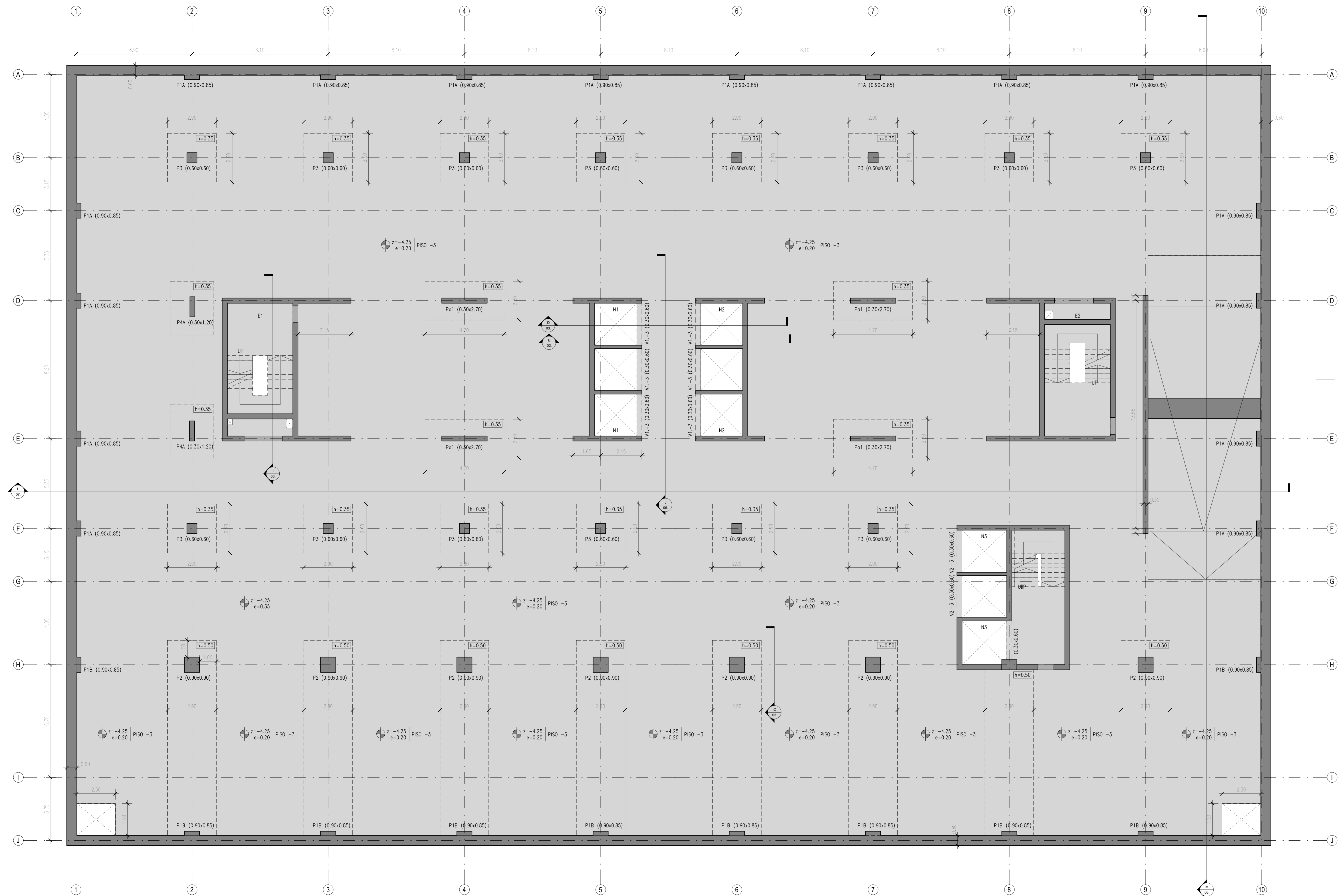
**IDENTIFICAÇÃO**

FLÁVIO ALEXANDRE PEREIRA LOPES  
 Nº 1685  
 DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO COM RECURSO AO BIM

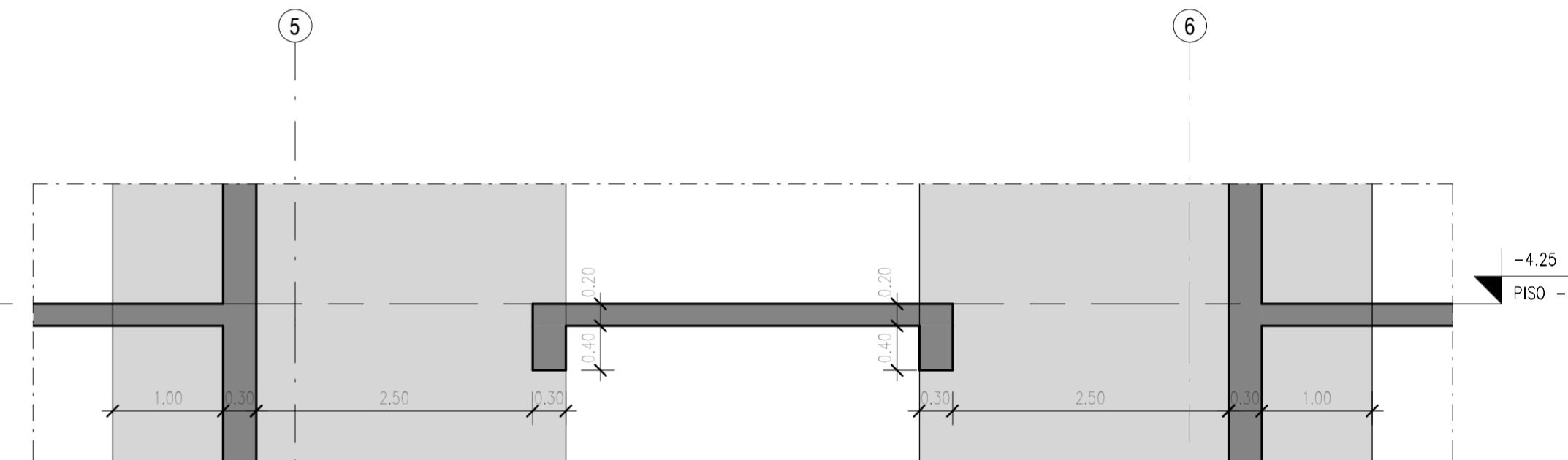
CURSO	TÍTULO
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL ESPECIALIDADE: ESTRUTURAS	DIMENSIONAMENTO PISO -4

FORMATO	ESCALA	DATA	Nº DESENHO
A1+	INDICADAS	NOVEMBRO 2018	02.

ESTE DESENHO É PROPRIEDADE INTELECTUAL DO AUTOR, TITULAR DOS DIREITOS MORAIS E PATRIMONIAIS DO PROJETO DE QUE É PARTE, AO ABRIGO DO DISPOSTO NA ALÍNEA B) DO N.º 1 DO ART. 1.º DO CÓDIGO DO DIREITO DE AUTOR E DOS DIREITOS CONEXOS, NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO OU USADO PARA QUALQUER PROPÓSITO A NÃO SER O AQUI INDICADO SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO ESCRITA.



**CORTE C**  
ESC: 1:50



**CORTE D**  
ESC: 1:50

**QUADRO DE MATERIAIS**

**BETÃO | RECOBRIMENTOS** Especificações de acordo com NP EN 206-1

Regularização:	C16/20 X0(P), C1.0 Dmax12, >=S2   Rec...
Laje de ensacamento:	C30/37 XC2(P), XA1, CL0.4 Dmax25, >=S3   Rec: 50mm
Vigas de fundação:	C30/37 XC2(P), XA1, CL0.4 Dmax25, >=S3   Rec: 40mm
Pilares:	C40/50 XC3(P), CL0.4 Dmax25, >=S3   Rec: 40mm
Núcleo e Paredes:	C40/50 XC3(P), CL0.4 Dmax20, >=S3   Rec: 30mm
Vigas:	C30/37 XC3(P), CL0.4 Dmax20, >=S3   Rec: 40mm
Lajes:	C30/37 XC3(P), CL0.4 Dmax20, >=S3   Rec: 30mm
Lajes pré-esforçadas:	C30/37 XC3(P), CL0.4 Dmax20, >=S3   Rec: 30mm
Massame:	C25/30 XC3(P), CL0.4 Dmax16, >=S2   Rec: 30mm

**ARMADURAS** De acordo com a norma NP ENV 13670-1 e o respetivo DNA

Armaduras ordinárias:	A500 NR SD
Armaduras pré-esforço:	Y1860 ST 15.7

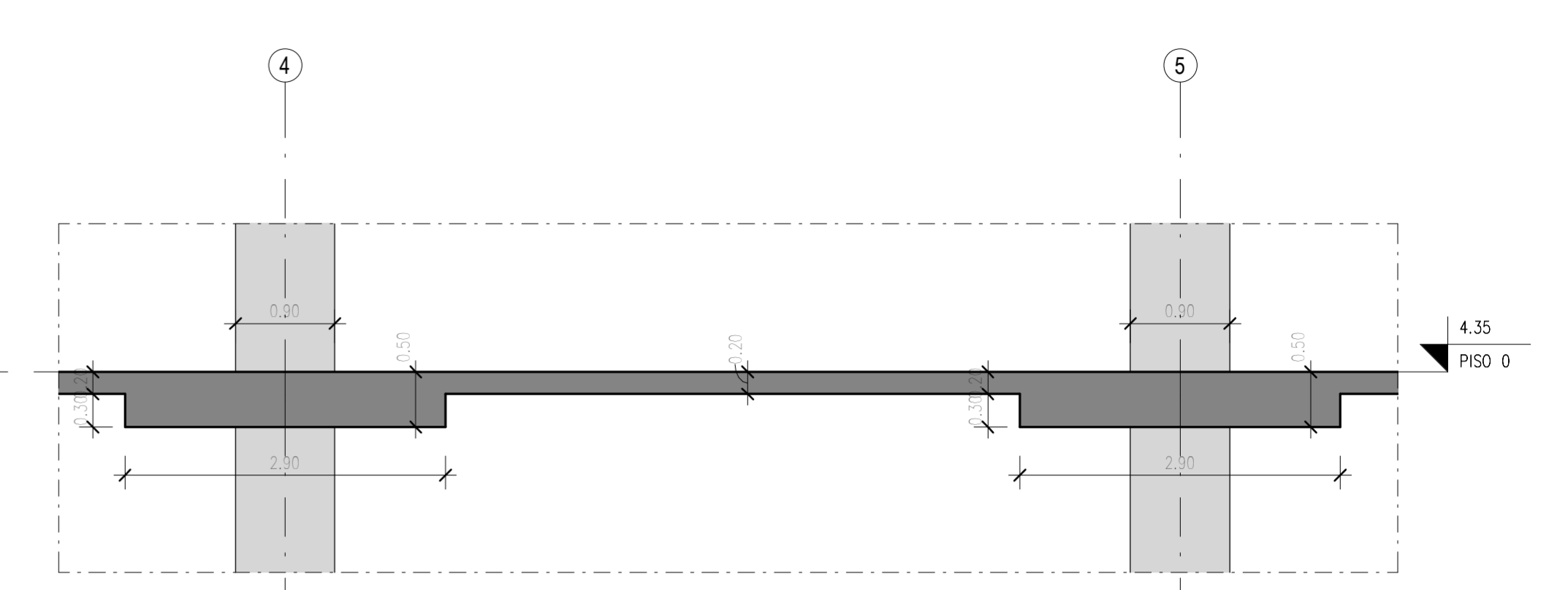
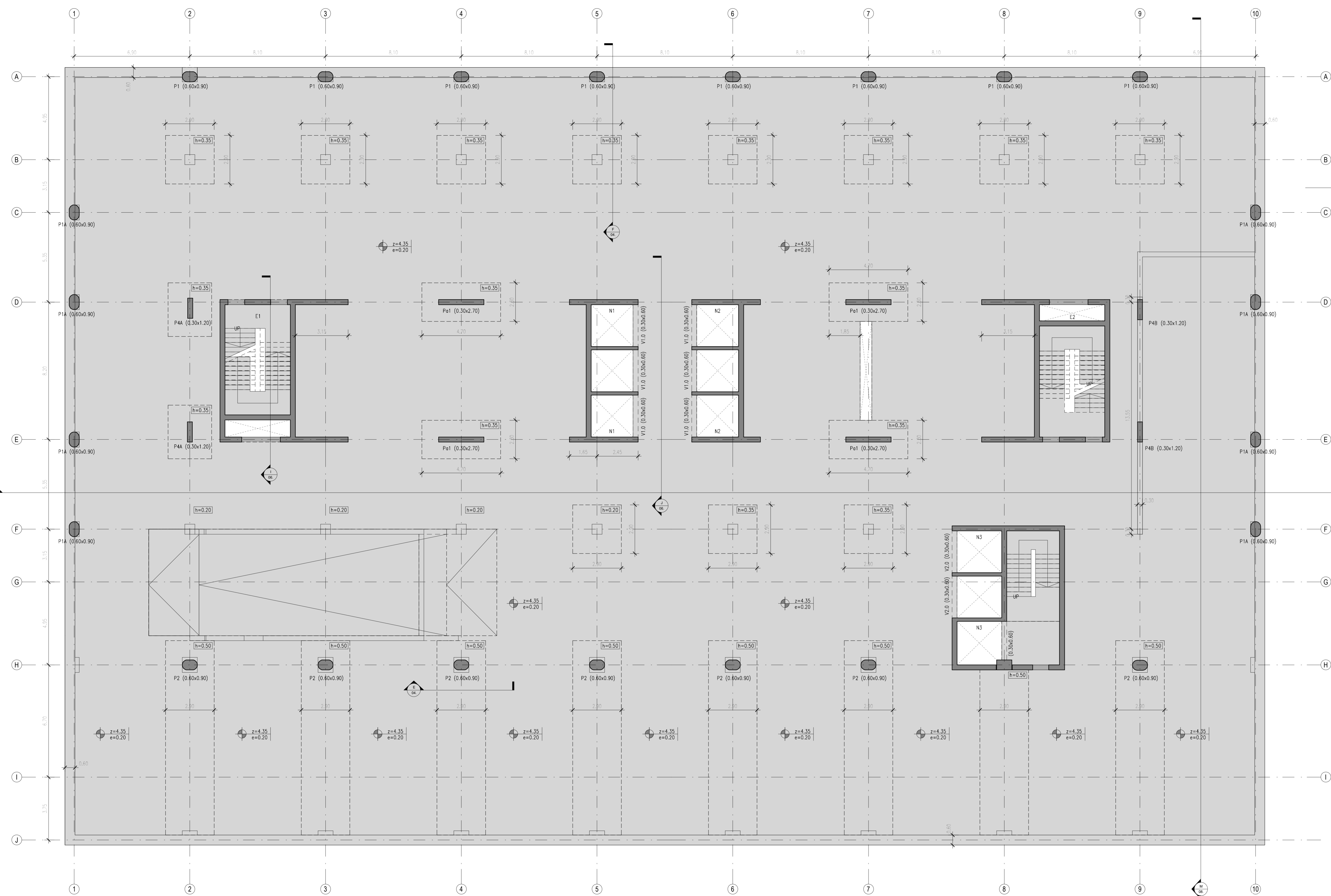
**IDENTIFICAÇÃO**

FLÁVIO ALEXANDRE PEREIRA LOPES  
Nº 1685  
DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO COM RECURSO AO BIM

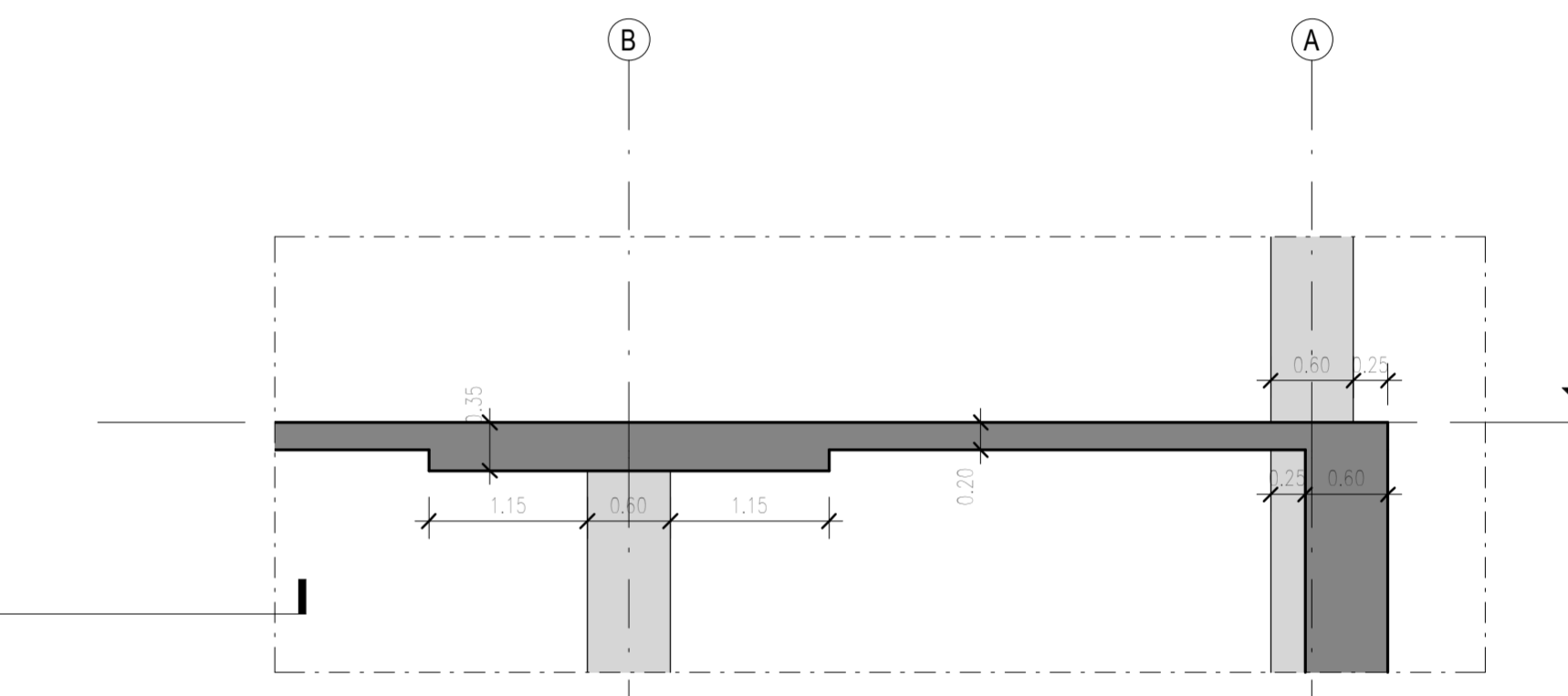
<b>CURSO</b>	<b>TÍTULO</b>
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL ESPECIALIDADE: ESTRUTURAS	DIMENSIONAMENTO PISO -3

<b>FORMATO</b>	<b>ESCALA</b>	<b>DATA</b>	<b>Nº DESENHO</b>
A1	INDICADAS	NOVEMBRO 2018	03.

ESTE DESENHO É PROPRIEDADE INTELECTUAL DO AUTOR, TITULAR DOS DIREITOS MORAIS E PATRIMONIAIS DO PROJETO DE QUE É PARTE, AO ABRIGO DO DISPOSTO NA ALÍNEA B) DO N.º 1 DO ART. 1.º DO CÓDIGO DO DIREITO DE AUTOR E DOS DIREITOS CONEXOS; NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO OU USADO PARA QUALQUER PROPÓSITO A NÃO SER O AQUI INDICADO SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO ESCRITA.



**CORTE E**  
ESC: 1:50



**CORTE F**  
ESC: 1:50

**PISO 0**  
ESC: 1:100

**QUADRO DE MATERIAIS**

BETÃO   RECOBRIMENTOS	Especificações de acordo com NP EN 206-1
Regularização:	C16/20 X0(P)   C1.0 Dmax12. >=S2   Rec...
Laje de encofiamento:	C30/37 XC2(P)   XA1. CL0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 50mm
Vigas de fundação:	C30/37 XC3(P)   XA1. CL0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm
Pilares:	C40/50 XC3(P)   CL0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 40mm
Núcleos e Paredes:	C40/50 XC3(P)   CL0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Vigas:	C30/37 XC3(P)   CL0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 40mm
Lajes:	C30/37 XC3(P)   CL0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Lajes pré-esforçadas:	C30/37 XC3(P)   CL0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Messame:	C25/30 XC3(P)   CL0.4 Dmax16. >=S2   Rec. 30mm

**ARMADURAS** De acordo com a norma NP ENV 13670-1 e o respetivo DNA  
 Armaduras ordinárias: A500 NR SD  
 Armaduras pré-esforço: Y1860 ST 15.7

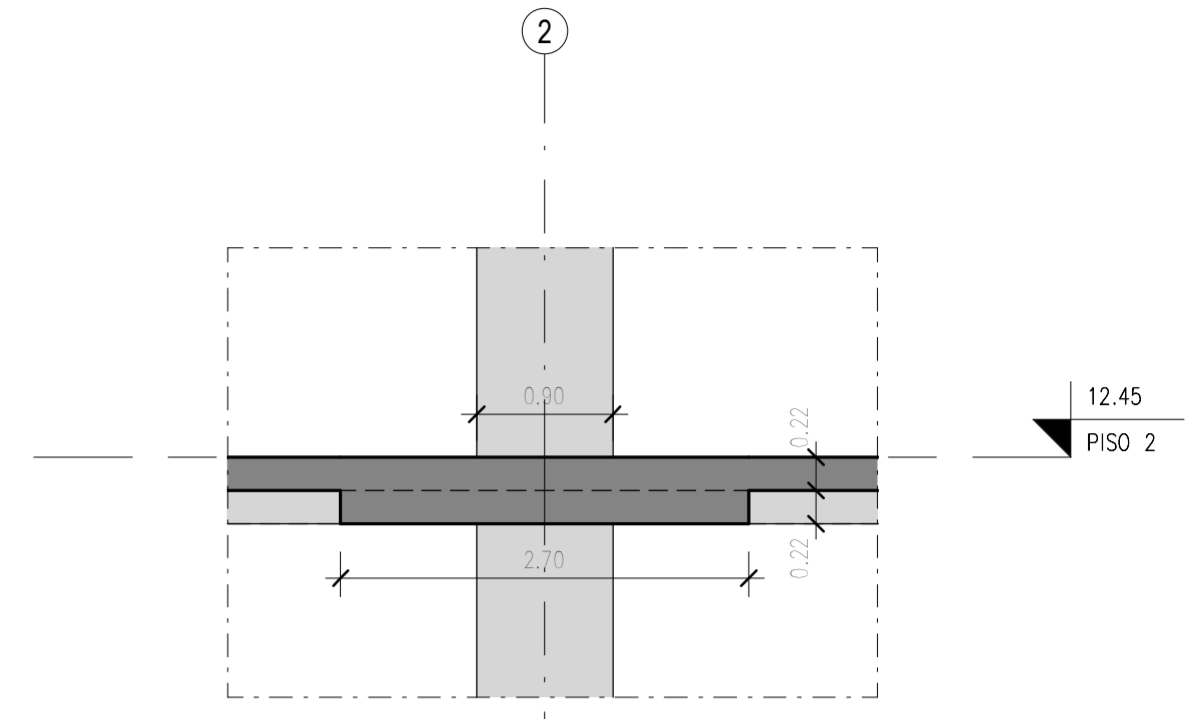
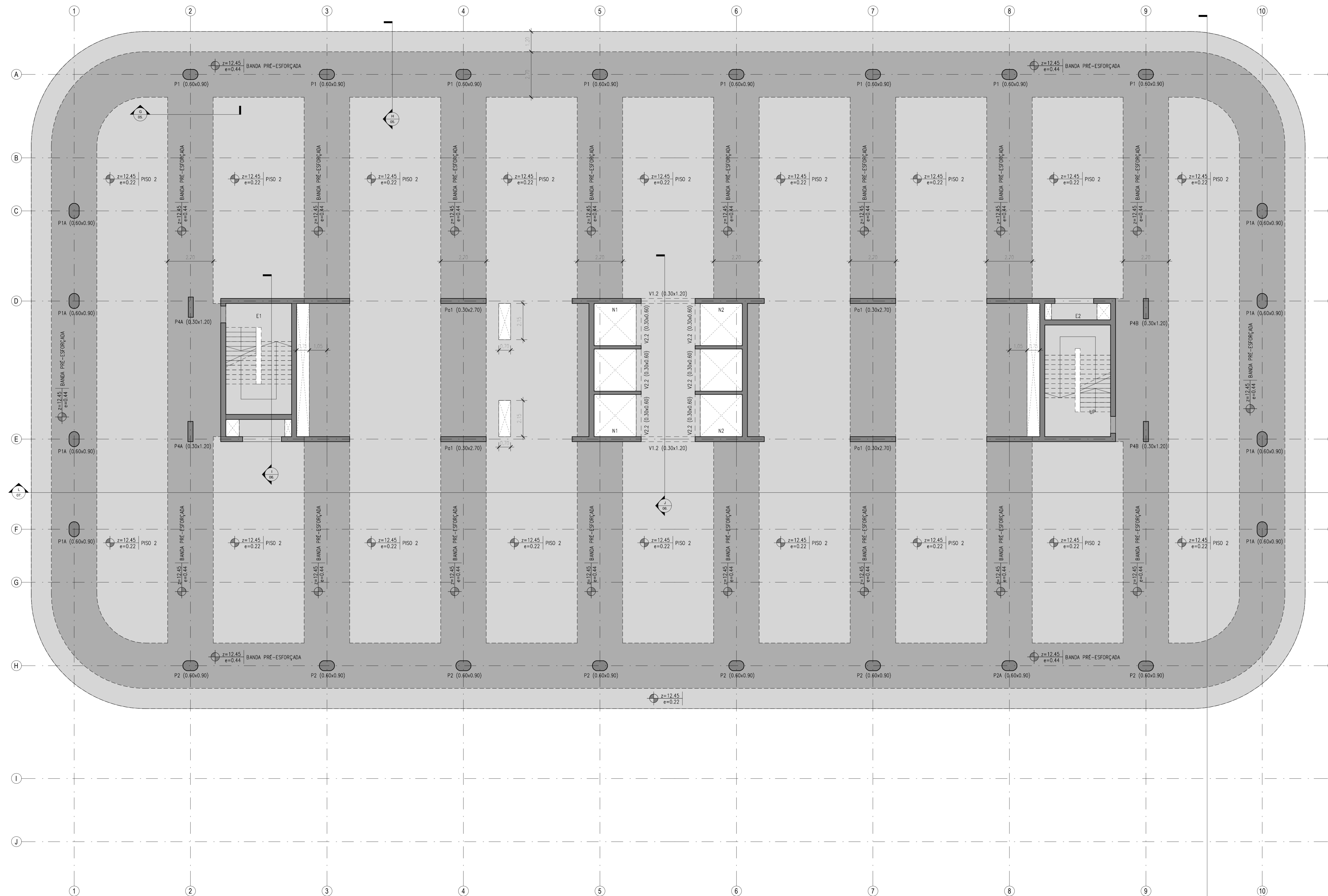
**IDENTIFICAÇÃO**

FLÁVIO ALEXANDRE PEREIRA LOPES  
 Nº 1685  
 DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO COM RECURSO AO BIM

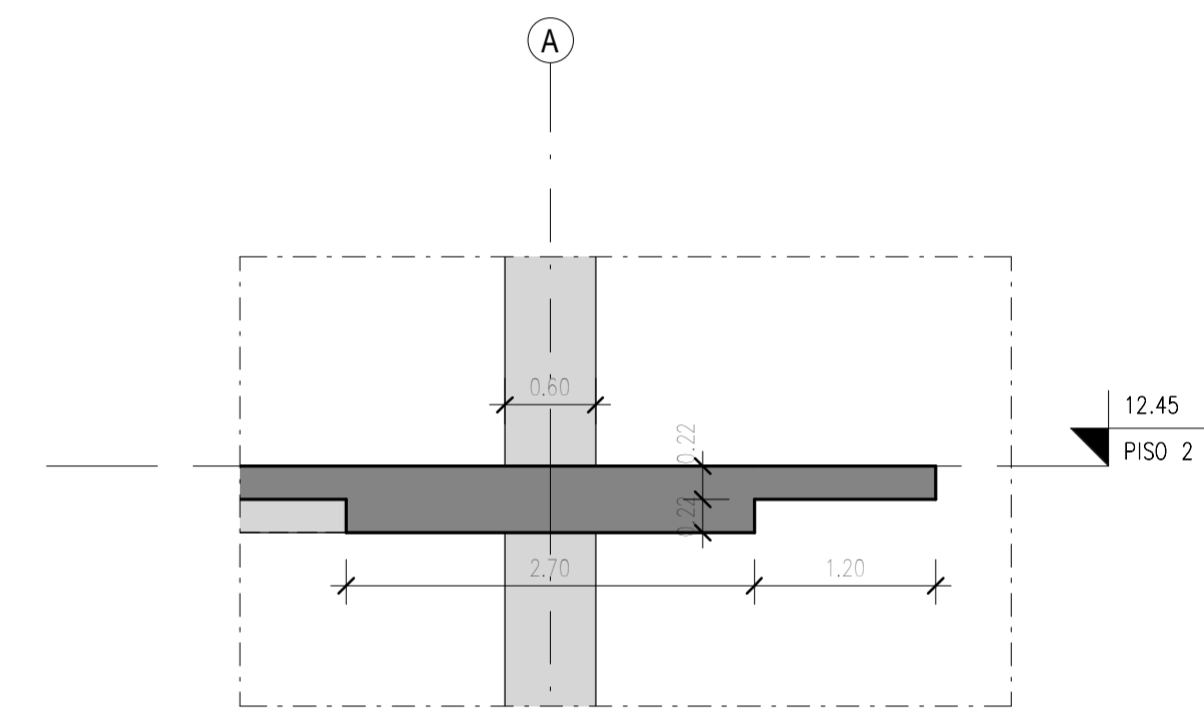
CURSO	TÍTULO
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL ESPECIALIDADE: ESTRUTURAS	DIMENSIONAMENTO PISO 0

FORMATO	ESCALA	DATA	Nº DESENHO
A1+	INDICADAS	NOVEMBRO 2018	04.

ESTE DESENHO É PROPRIEDADE INTELECTUAL DO AUTOR. TITULAR DOS DIREITOS MORAIS E PATRIMONIAIS DO PROJETO DE QUE É PARTE. AO ABRIGO DO DISPOSTO NA ALÍNEA B) DO N.º 1 DO ART. 1.º DO CÓDIGO DO DIREITO DE AUTOR E DOS DIREITOS CONEXOS, NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO OU USADO PARA QUALQUER PROPÓSITO A NÃO SER O AQUI INDICADO SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO ESCRITA.



**CORTE G**  
ESC: 1:50



**CORTE H**  
ESC: 1:50

**PISO 2**  
ESC: 1:100

**QUADRO DE MATERIAIS**

**BETÃO | RECOBRIMENTOS** Especificações de acordo com NP EN 206-1

Regularização:	C16/20 X0(P). C1.0 Dmax12. >=S2   Rec. ...
Laje de ensoleiramento:	C30/37 XC2(P). XA1. CL0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 50mm
Vigas de fundação:	C30/37 XC2(P). XA1. CL0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm
Pilares:	C40/50 XC3(P). CL0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm
Núcleo e Paredes:	C40/50 XC3(P). CL0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Vigas:	C30/37 XC3(P). CL0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 40mm
Lajes:	C30/37 XC3(P). CL0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Lajes pré-esforçadas:	C30/37 XC3(P). CL0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Massama:	C25/30 XC3(P). CL0.4 Dmax16. >=S2   Rec. 30mm

**ARMADURAS** De acordo com a norma NP ENV 13670-1 e o respetivo DNA

Armaduras ordinárias: A500 NR SD

Armaduras pré-esforço: Y1860 ST 15.7

**IDENTIFICAÇÃO**

FLÁVIO ALEXANDRE PEREIRA LOPES  
Nº 1685

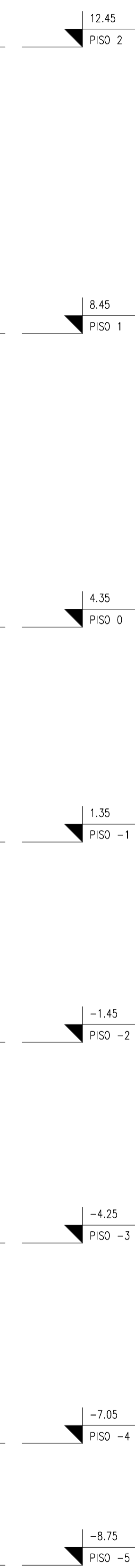
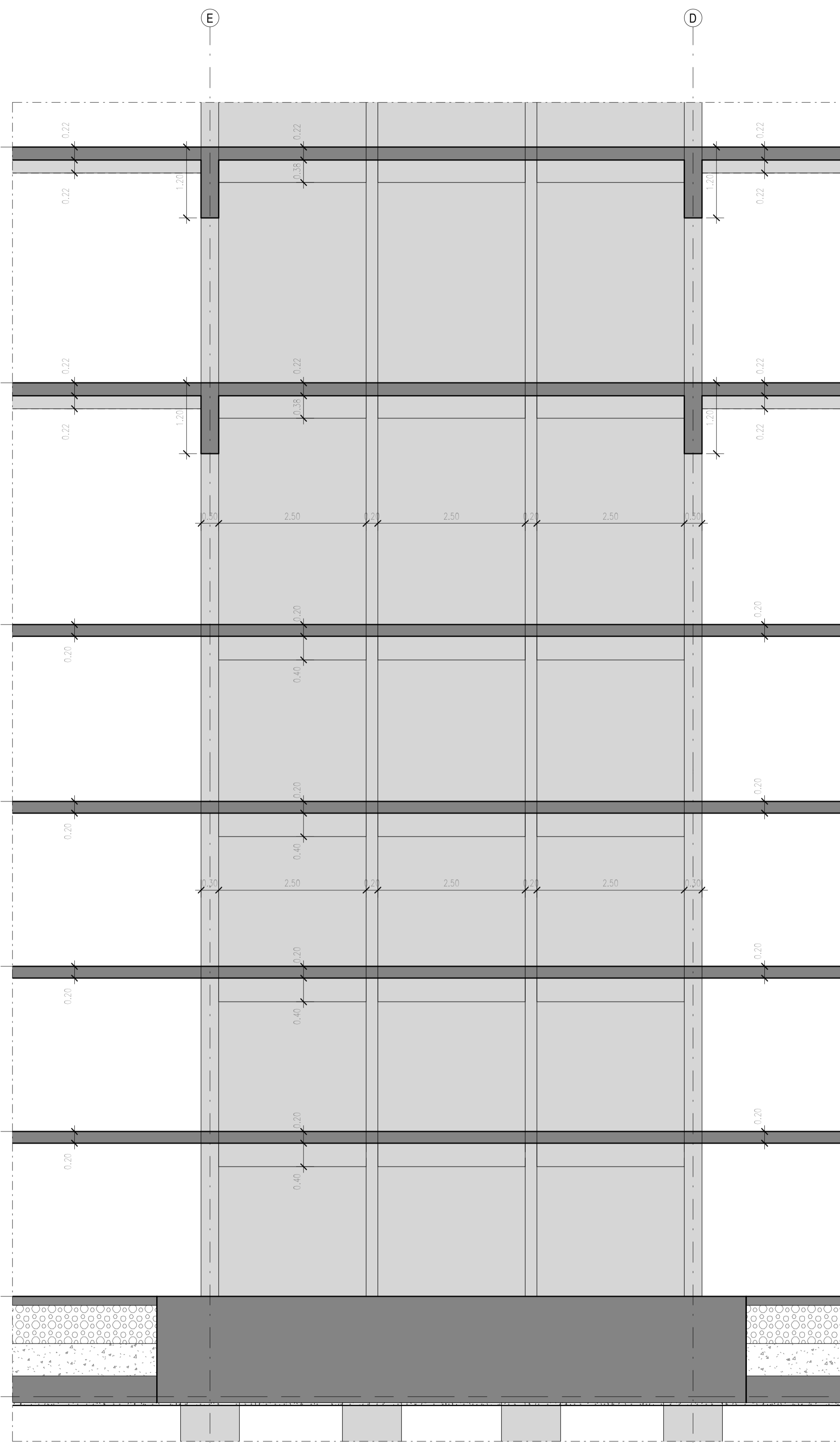
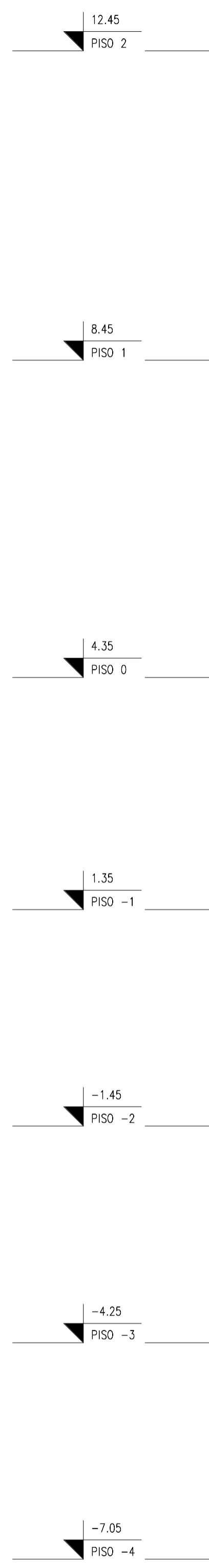
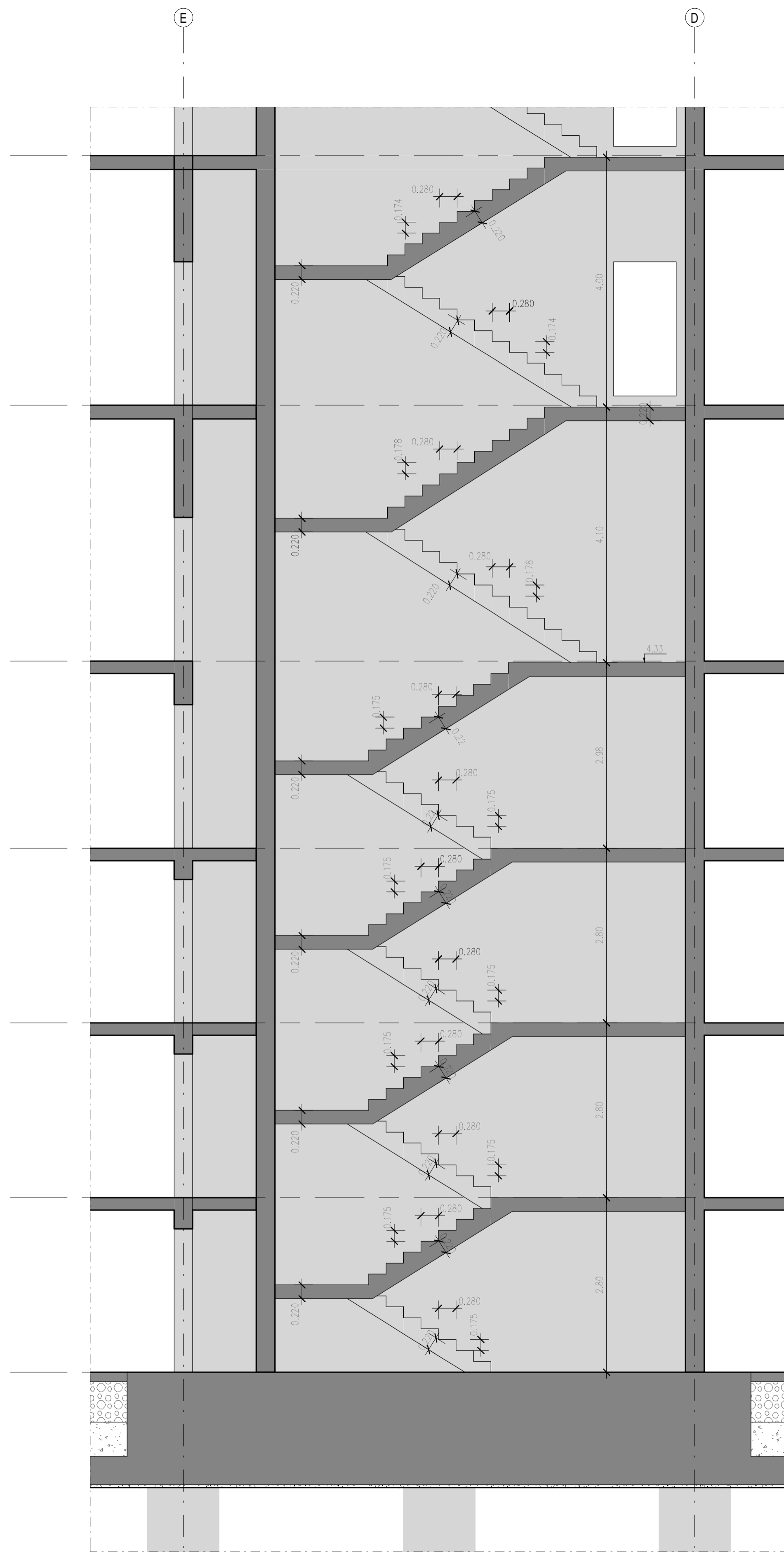
IPS ESTB

DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO COM RECURSO AO BIM

<b>CURSO</b>	<b>TÍTULO</b>
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL ESPECIALIDADE: ESTRUTURAS	DIMENSIONAMENTO PISO 2

<b>FORMATO</b>	<b>ESCALA</b>	<b>DATA</b>	<b>Nº DESENHO</b>
A1+	INDICADAS	NOVEMBRO 2018	05.

ESTE DESENHO É PROPRIEDADE INTELECTUAL DO AUTOR. TITULAR DOS DIREITOS MORAIS E PATRIMONIAIS DO PROJETO DE QUE É PARTE. AO ABRIGO DO DISPOSTO NA ALÍNEA B) DO N.º 1 DO ART. 1.º DO CÓDIGO DO DIREITO DE AUTOR E DOS DIREITOS CONEXOS, NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO OU USADO PARA QUALQUER PROPÓSITO A NÃO SER O AQUI INDICADO SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO ESCRITA.



CORTE J  
ESC: 1:50

CORTE I  
ESC: 1:50

**QUADRO DE MATERIAIS**


**BETÃO | RECOBRIMENTOS** Especificações de acordo com NP EN 206-1

Regularização:	C16/20 X0(P), C11.0 Dmax12. >=S2   Rec. ...
Laje de ensoreamento:	C30/37 XC2(P), XA1, CL0,4 Dmax25. >=S3   Rec. 50mm
Vigas de fundação:	C30/37 XC2(P), XA1, CL0,4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm
Pilares:	C40/50 XC3(P), CL0,4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm
Núcleos e Paredes:	C40/50 XC3(P), CL0,4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Vigas:	C30/37 XC3(P), CL0,4 Dmax20. >=S3   Rec. 40mm
Lajes:	C30/37 XC3(P), CL0,4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Lajes pré-esforçadas:	C30/37 XC3(P), CL0,4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Massame:	C25/30 XC3(P), CL0,4 Dmax16. >=S2   Rec. 30mm

**ARMADURAS** De acordo com a norma NP ENV 13670-1 e o respetivo DNA

Armaduras ordinárias:	A500 NR SD
Armaduras pré-esforço:	Y1860 S7 15.7

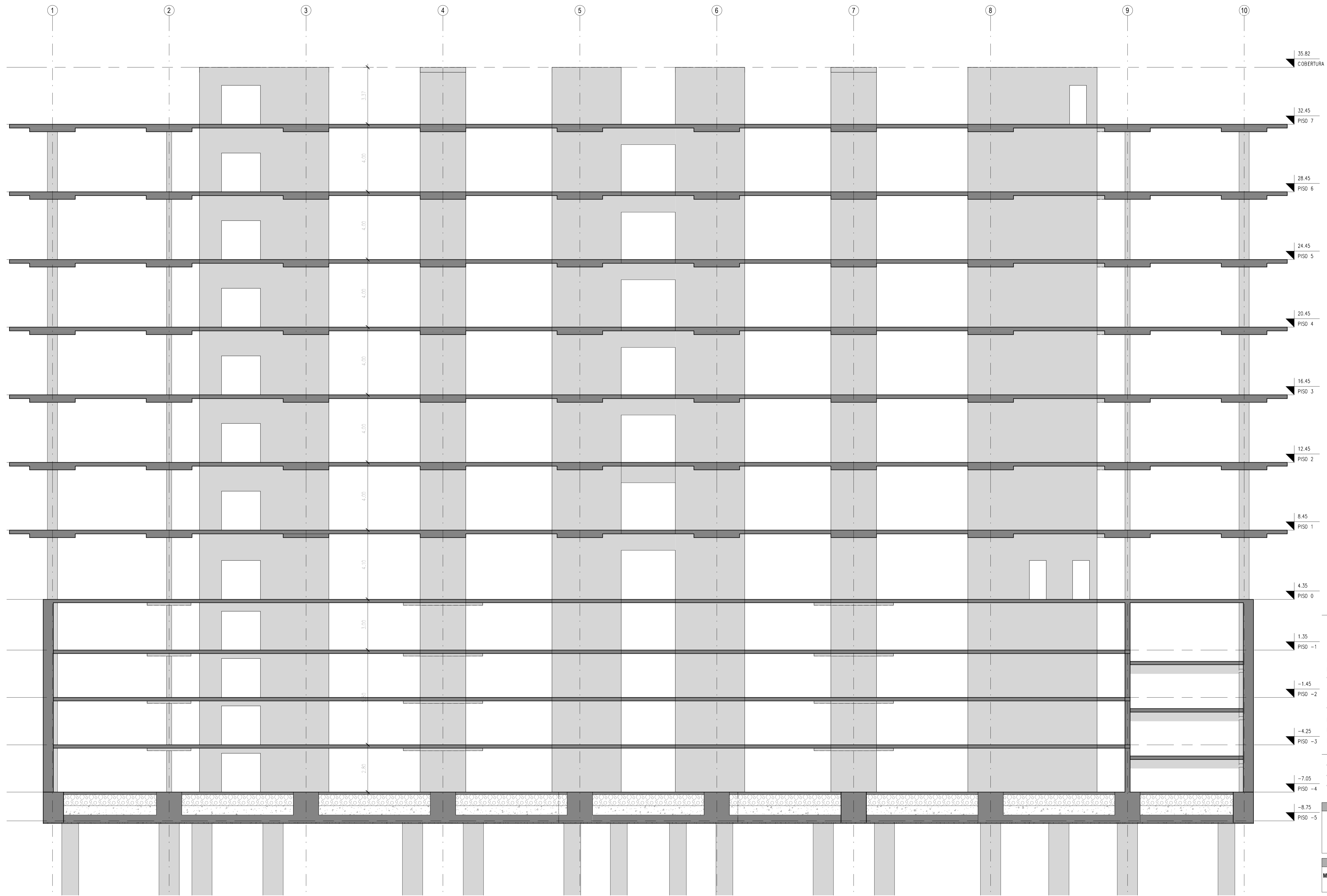
**IDENTIFICAÇÃO**


**FLÁVIO ALEXANDRE PEREIRA LOPES**  
 Nº 1685  
 DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO COM RECURSO AO BIM

<b>CURSO</b>	<b>TÍTULO</b>
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL ESPECIALIDADE: ESTRUTURAS	DIMENSIONAMENTO - ALÇADOS E CORTES

<b>FORMATO</b>	<b>ESCALA</b>	<b>DATA</b>	<b>Nº DESENHO</b>
A1	INDICADAS	NOVEMBRO 2018	06.

ESTE DESENHO É PROPRIEDADE INTELECTUAL DO AUTOR, TITULAR DOS DIREITOS MORAIS E PATRIMONIAIS DO PROJETO DE QUE É PARTE, AO ABRIGO DO DISPOSTO NA ALÍNEA B) DO 1º DO ART. 1º DO CÓDIGO DO DIREITO DE AUTOR E DOS DIREITOS CONEXOS, NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO OU USADO PARA QUALQUER PROPÓSITO A NÃO SER O AQUI INDICADO SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO ESCRITA.



CORTE L  
ESC: 1:100

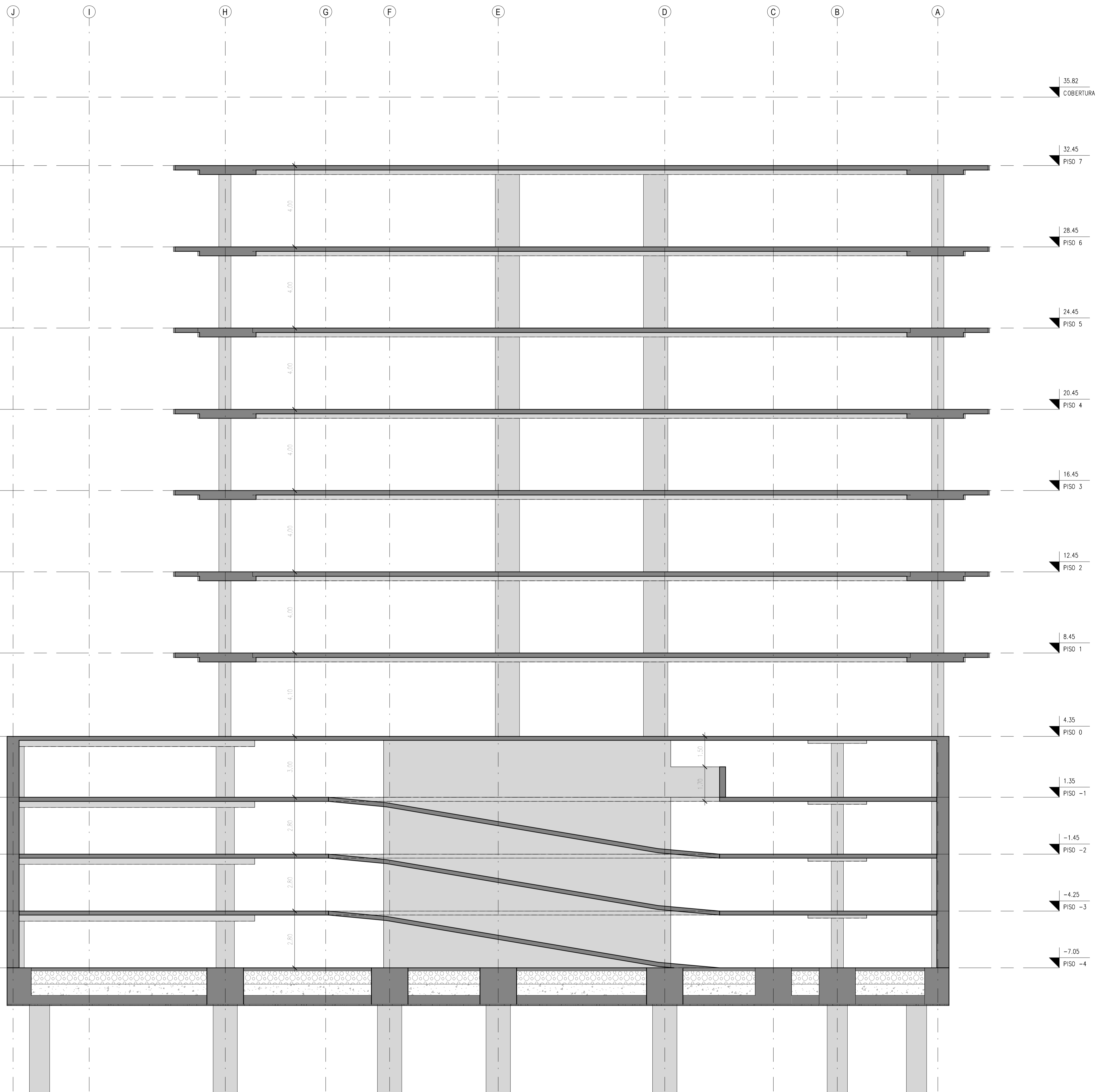
QUADRO DE MATERIAIS	
<b>BETÃO   RECOBRIMENTOS</b> Especificações de acordo com NP EN 206-1	
Regularização:	C16/20 X0(P), Cl.0 Dmax12. >=S2   Rec. ...
Laje de ensoleiramento:	C30/37 XC2(P), XA1, CL.0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 50mm
Vigas de fundação:	C30/37 XC2(P), XA1, CL.0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm
Pilares:	C40/50 XC3(P), CL.0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm
Núcleos e Paredes:	C40/50 XC3(P), CL.0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Vigas:	C30/37 XC3(P), CL.0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 40mm
Lajes:	C30/37 XC3(P), CL.0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Lajes pré-esforçadas:	C30/37 XC3(P), CL.0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Massame:	C25/30 XC3(P), CL.0.4 Dmax16. >=S2   Rec. 30mm
<b>ARMADURAS</b> De acordo com a norma NP ENV 13670-1 e o respetivo DNA	
Armaduras ordinárias:	A500 NR SD
Armaduras pré-esforço:	Y1860 S7 15.7

**IDENTIFICAÇÃO**  
 FLÁVIO ALEXANDRE PEREIRA LOPES  
 Nº 1685  
 DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO COM RECURSO AO BIM

CURSO	TÍTULO
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL ESPECIALIDADE: ESTRUTURAS	DIMENSIONAMENTO - CORTE GERAL 1

FORMATO	ESCALA	DATA	Nº DESENHO
A1+	INDICADAS	NOVEMBRO 2018	07.

ESTE DESENHO É PROPRIEDADE INTELECTUAL DO AUTOR, TITULAR DOS DIREITOS MORAIS E PATRIMONIAIS DO PROJETO DE QUE É PARTE. AD ABRIGO DO DISPOSTO NA ALÍNEA B) DO Nº1 DO ART. 19º DO CÓDIGO DO DIREITO DE AUTOR E DOS DIREITOS CONEXOS, NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO OU USADO PARA QUALQUER PROPÓSITO A NÃO SER O AQUI INICIADO SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO ESCRITA.



**CORTE M**  
ESC: 1:100

**QUADRO DE MATERIAIS**


**BETÃO | RECOBRIMENTOS** Especificações de acordo com NP EN 206-1

Regularização:	C16/20 X0(P), C11.0 Dmax12. >=S2   Rec. ...
Laje de ensoleiramento:	C30/37 XC2(P), XA1, CL0,4 Dmax25. >=S3   Rec. 50mm
Vigas de fundação:	C30/37 XC2(P), XA1, CL0,4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm
Pilares:	C40/50 XC3(P), CL0,4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm
Núcleos e Paredes:	C40/50 XC3(P), CL0,4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Vigas:	C30/37 XC3(P), CL0,4 Dmax20. >=S3   Rec. 40mm
Lajes:	C30/37 XC3(P), CL0,4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Lajes pré-esforçadas:	C30/37 XC3(P), CL0,4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Massame:	C25/30 XC3(P), CL0,4 Dmax16. >=S2   Rec. 30mm

**ARMADURAS** De acordo com a norma NP ENV 13670-1 e o respetivo DNA

Armaduras ordinárias:	A500 NR SD
Armaduras pré-esforço:	Y1860 S7 15.7

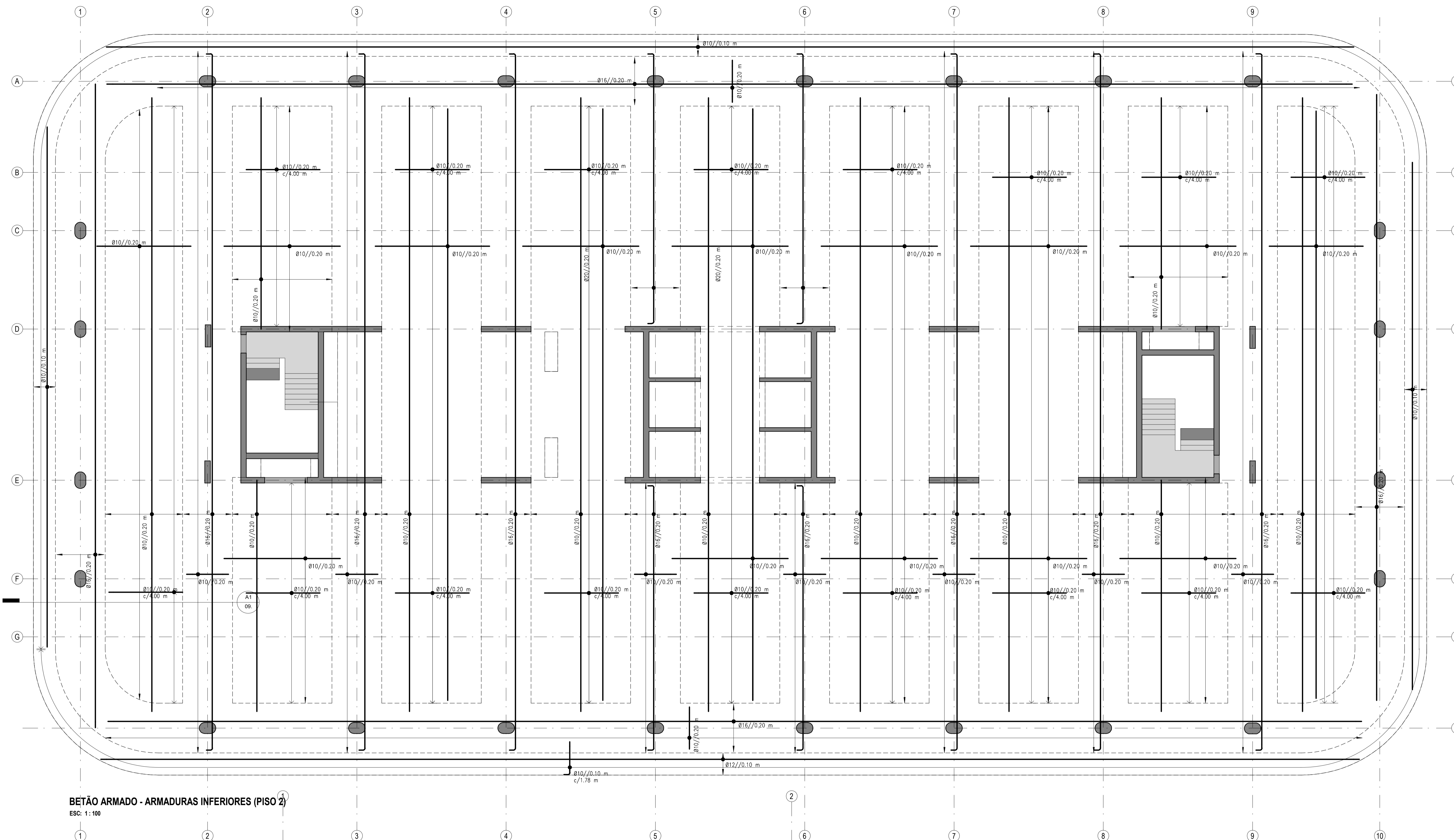
**IDENTIFICAÇÃO**


**FLÁVIO ALEXANDRE PEREIRA LOPES**  
 Nº 1685  
 DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO COM RECURSO AO BIM

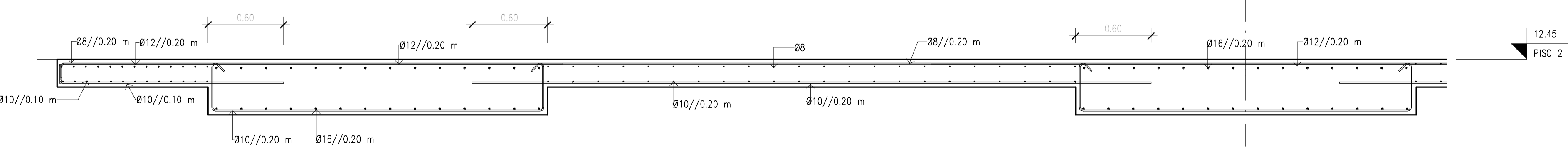
CURSO	TÍTULO
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL ESPECIALIDADE: ESTRUTURAS	DIMENSIONAMENTO - CORTES GERAL 2

FORMATO	ESCALA	DATA	Nº DESENHO
A1	INDICADAS	NOVEMBRO 2018	08.

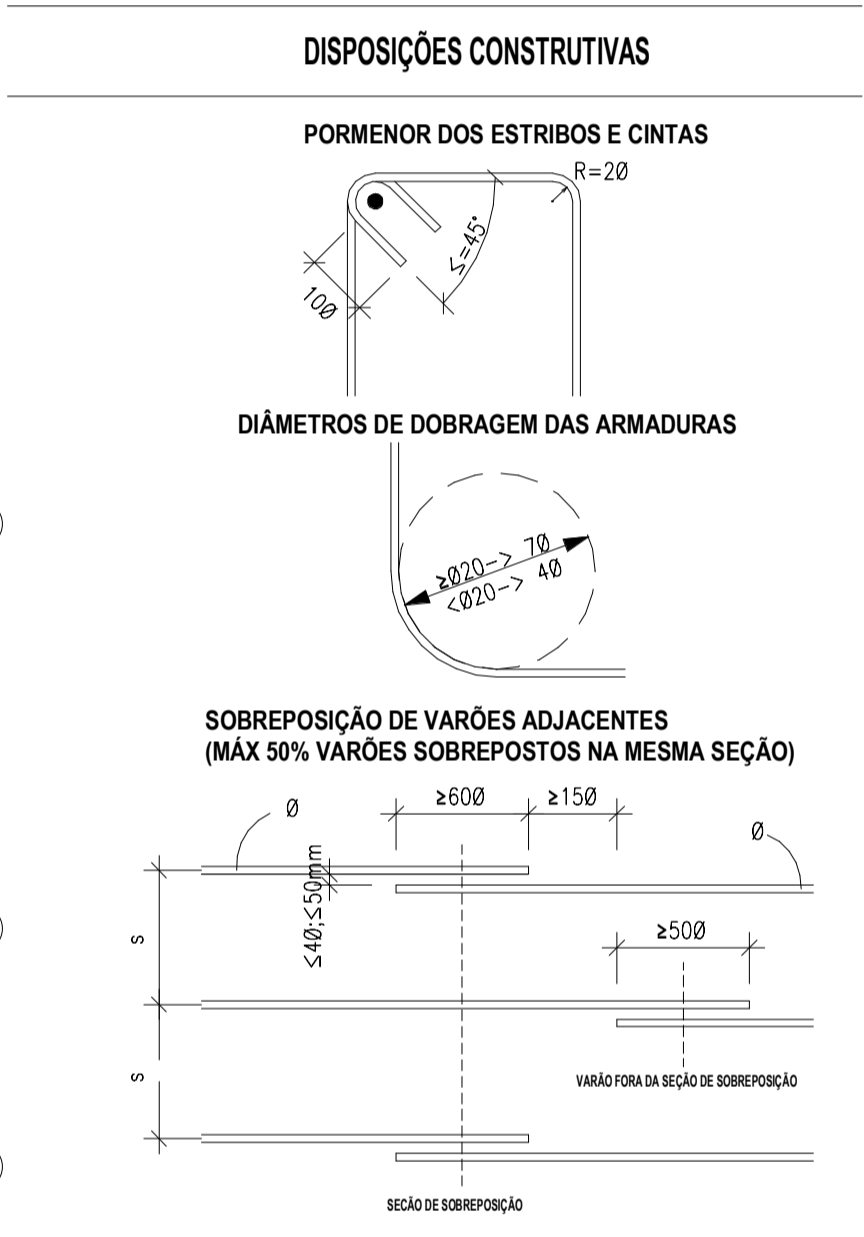
ESTE DESENHO É PROPRIEDADE INTELECTUAL DO AUTOR, TITULAR DOS DIREITOS MORAIS E PATRIMONIAIS DO PROJETO DE QUE É PARTE. AO ABRIR DO DISPOSTO NA ALÍNEA B) DO 1ºº DO ART. 1ºº DO "CÓDIGO DO DIREITO DE AUTOR E DOS DIREITOS CONEXOS", NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO OU USADO PARA QUALQUER PROPÓSITO A NÃO SER O AQUI INDICADO SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO ESCRITA.



**BETÃO ARMADO - ARMADURAS INFERIORES (PISO 2)**  
 ESC: 1:100



**CORTE A1**  
 ESC: 1:25



**QUADRO DE MATERIAIS**

**BETÃO | RECOBRIMENTOS** Especificações de acordo com NP EN 206-1

Regularização:	C16/20 X0(P). Cl.0 Dmax12. >=S2   Rec. ...
Laje de ensoleiramento:	C30/37 XC2(P). XA1. CL.0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 50mm
Vigas de fundação:	C30/37 XC2(P). XA1. CL.0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm
Pilares:	C40/50 XC3(P). CL.0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm
Núcleos e Paredes:	C40/50 XC3(P). CL.0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Vigas:	C30/37 XC3(P). CL.0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 40mm
Lajes:	C30/37 XC3(P). CL.0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Lajes pré-esforçadas:	C30/37 XC3(P). CL.0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Massame:	C25/30 XC3(P). CL.0.4 Dmax16. >=S2   Rec. 30mm

**ARMADURAS** De acordo com a norma NP ENV 13670-1 e o respetivo DNA

Armaduras ordinárias: A500 NR SD

Armaduras pré-esforço: Y1860 S7 15.7

**IDENTIFICAÇÃO**

FLÁVIO ALEXANDRE PEREIRA LOPES  
 Nº 1685

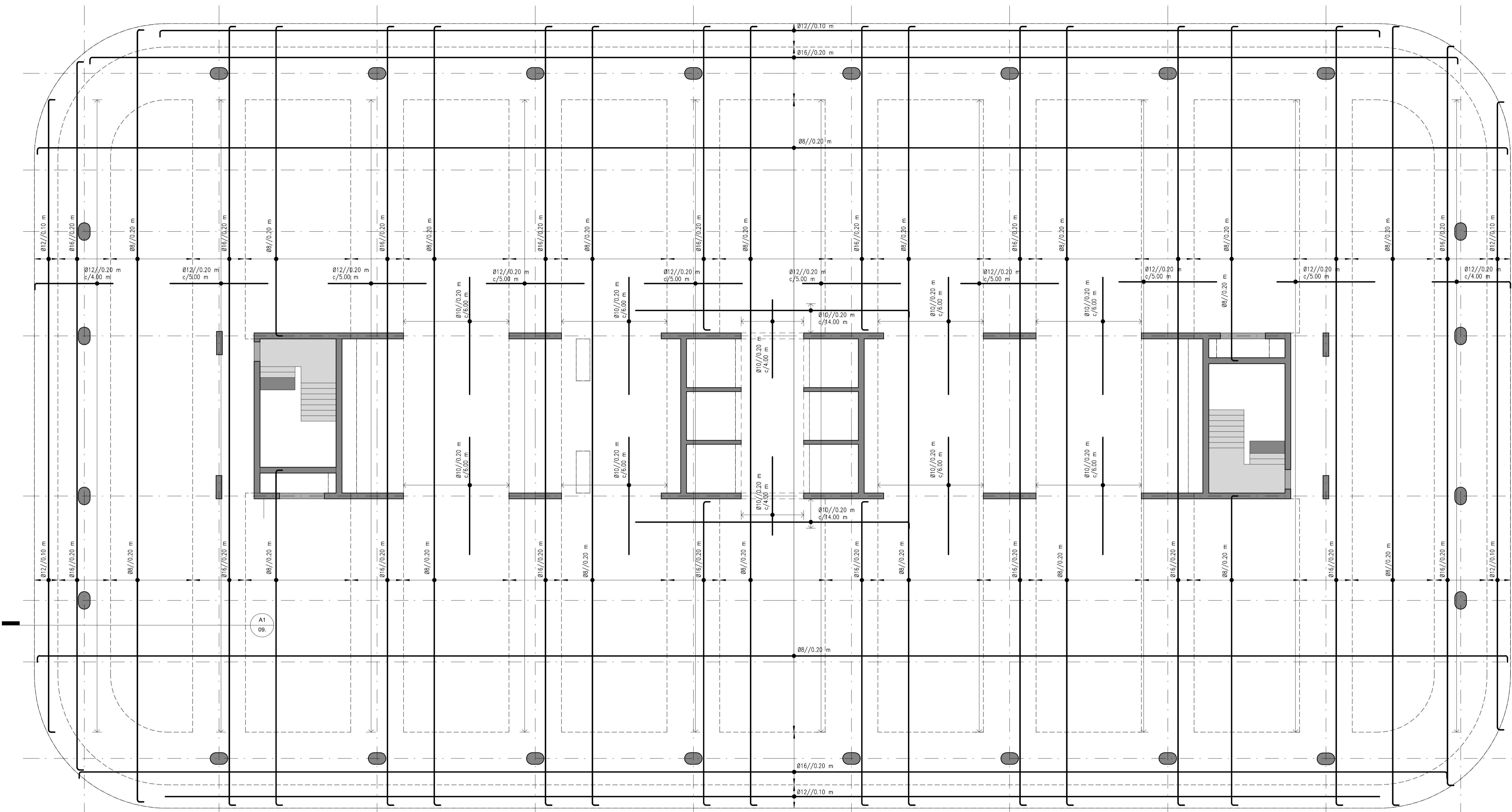
IPS ESTB

DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO COM RECURSO AO BIM

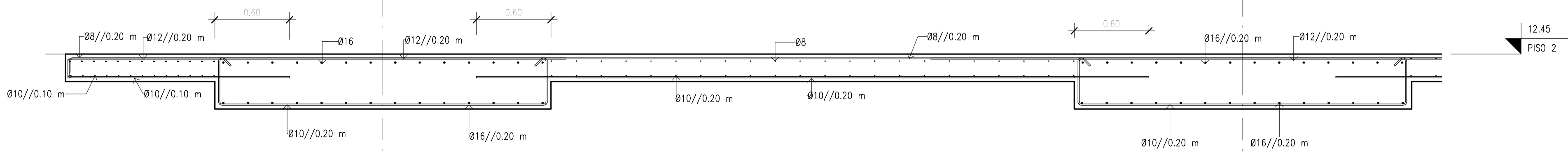
<b>CURSO</b>	<b>TÍTULO</b>
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL ESPECIALIDADE: ESTRUTURAS	BETÃO ARMADO - ARMADURAS INFERIORES PISO 2

<b>FORMATO</b>	<b>ESCALA</b>	<b>DATA</b>	<b>Nº DESENHO</b>
A1+	INDICADAS	NOVEMBRO 2018	09.

ESTE DESENHO É PROPRIEDADE INTELECTUAL DO AUTOR, TITULAR DOS DIREITOS MORAIS E PATRIMONIAIS DO PROJETO DE QUE É PARTE. AO ABRIGO DO DISPOSTO NA ALÍNEA B) DO Nº1 DO ART. 19º DO CÓDIGO DO DIREITO DE AUTOR E DOS DIREITOS CONEXOS, NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO OU USADO PARA QUALQUER PROPÓSITO A NÃO SER O AQUI INICIADO SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO ESCRITA.



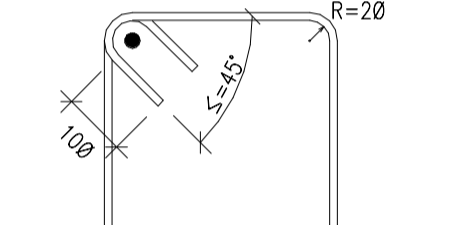
**ARM-LAJE-SUP-PISO2**  
ESC: 1:100



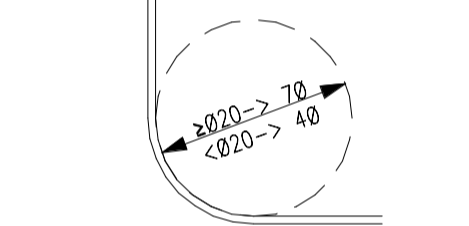
**CORTE A1**  
ESC: 1:25

**DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS**

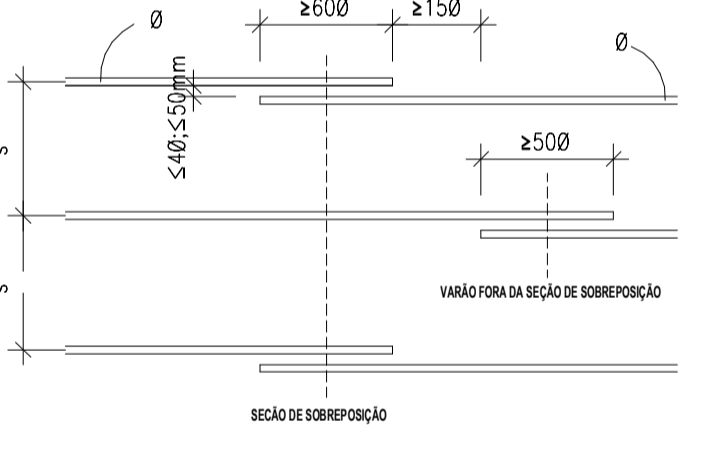
**PORMENOR DOS ESTRIBOS E CINTAS**



**DIÂMETROS DE DOBRAGEM DAS ARMADURAS**



**SOBREPOSIÇÃO DE VARÕES ADJACENTES (MAX 50% VARÕES SOBREPÓSITOS NA MESMA SEÇÃO)**



**QUADRO DE MATERIAIS**

BETÃO   RECOBRIMENTOS		Especificações de acordo com NP EN 206-1
Regularização:	C16/20 X0(P). Cl.0 Dmax12. >=S2   Rec. ...	
Laje de ensoleiramento:	C30/37 XC2(P). XA1. CL.0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm	
Vigas de fundação:	C30/37 XC2(P). XA1. CL.0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm	
Pilares:	C40/50 XC3(P). CL.0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm	
Núcleos e Paredes:	C40/50 XC3(P). CL.0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm	
Vigas:	C30/37 XC3(P). CL.0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 40mm	
Lajes:	C30/37 XC3(P). CL.0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm	
Lajes pré-esforçadas:	C30/37 XC3(P). CL.0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm	
Massame:	C25/30 XC3(P). CL.0.4 Dmax16. >=S2   Rec. 30mm	

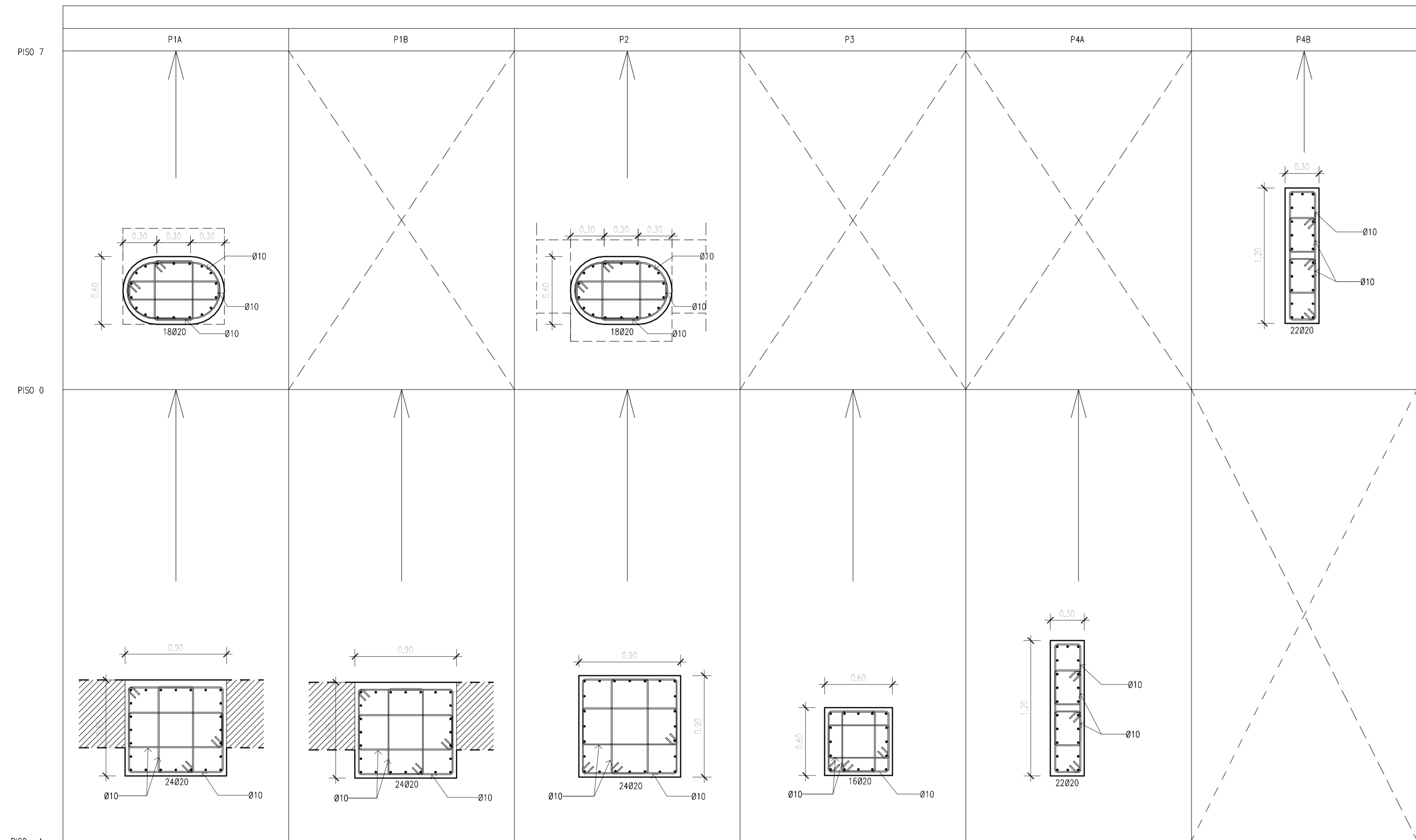
**ARMADURAS** De acordo com a norma NP ENV 13670-1 e o respetivo DNA  
 Armaduras ordinárias: A500 NR SD  
 Armaduras pré-esforço: Y1860 S7 15.7

**IDENTIFICAÇÃO**  
 FLÁVIO ALEXANDRE PEREIRA LOPES  
 Nº 1685  
 DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO COM RECURSO AO BIM

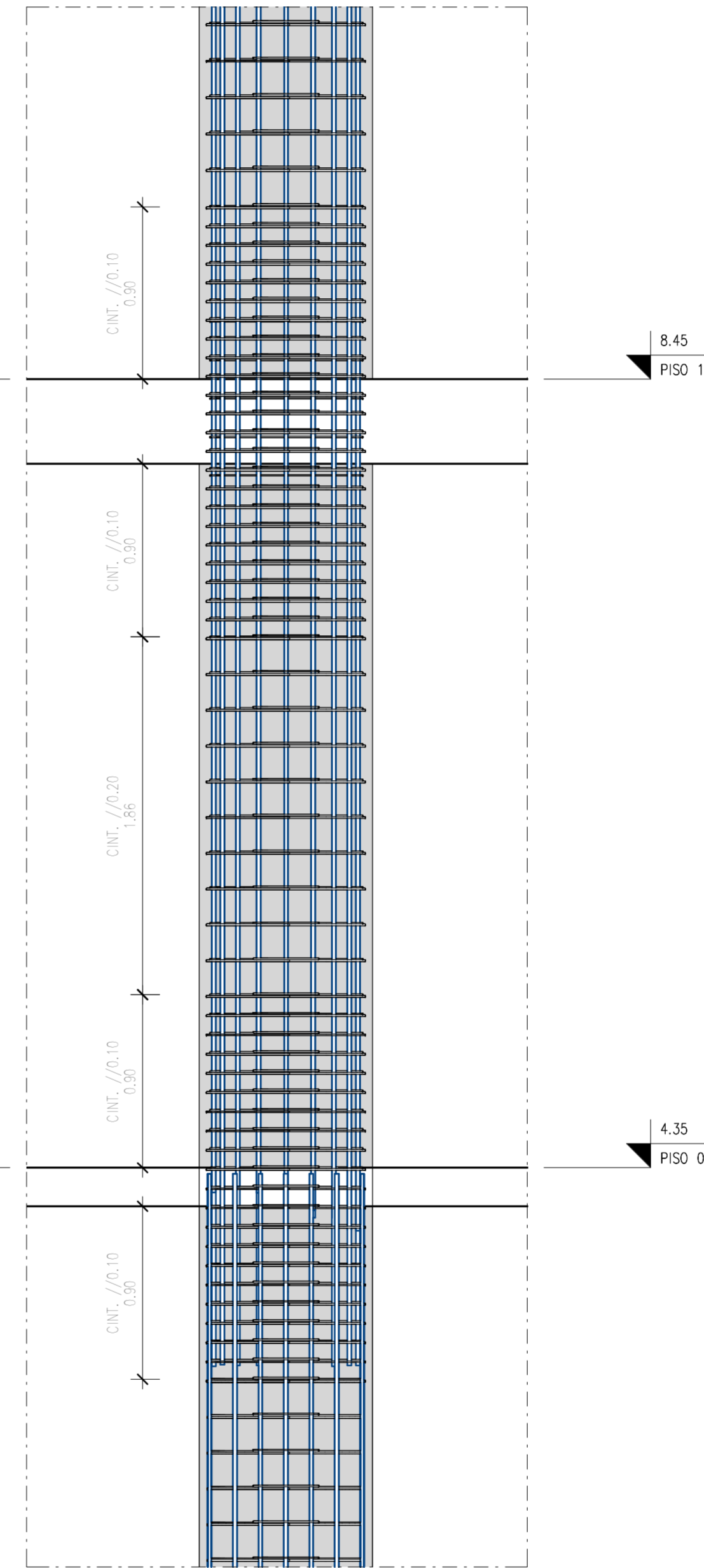
CURSO	TÍTULO
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL ESPECIALIDADE: ESTRUTURAS	BETÃO ARMADO - ARMADURAS SUPERIORES PISO 2

FORMATO	ESCALA	DATA	Nº DESENHO
A1+	INDICADAS	NOVEMBRO 2018	10.

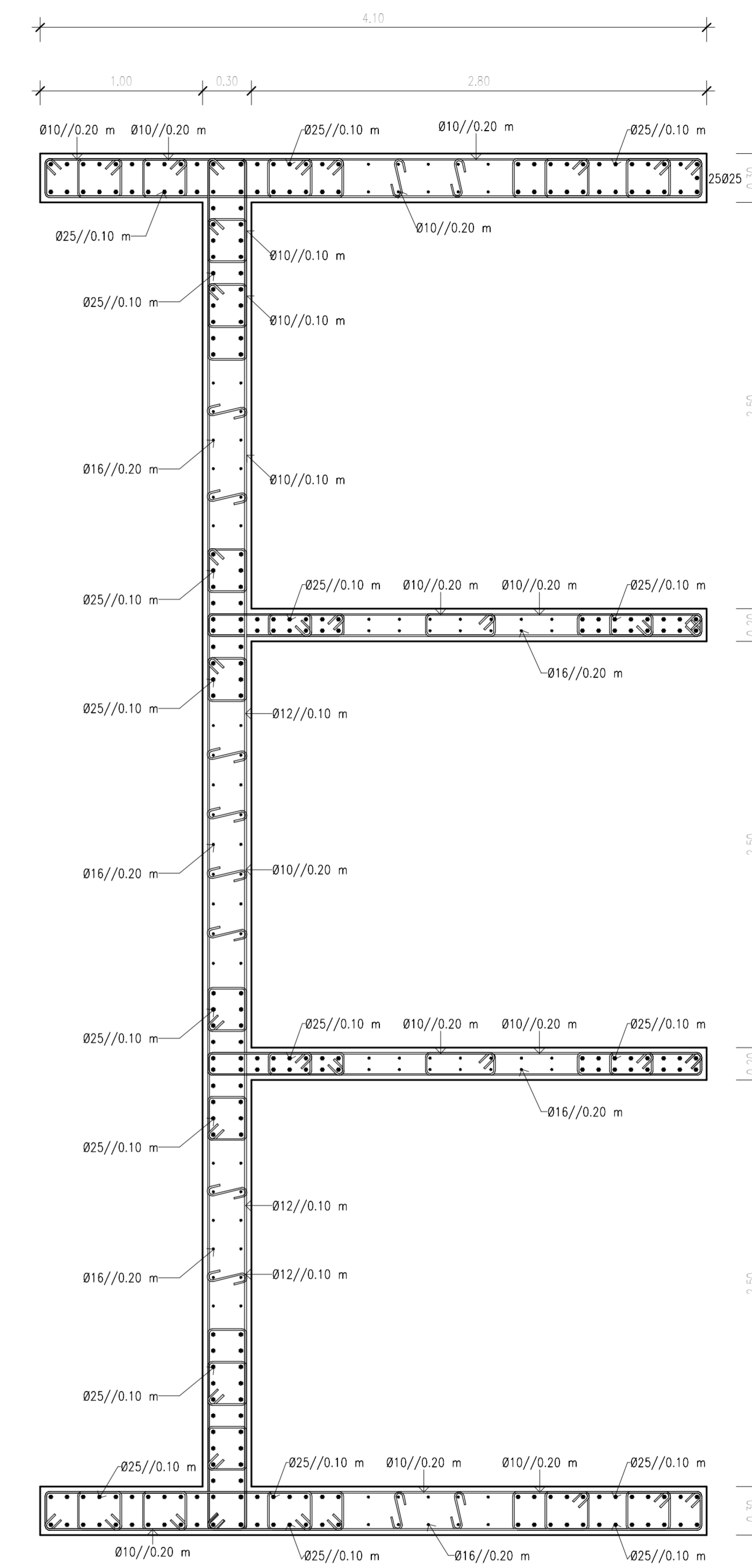
ESTE DESENHO É PROPRIEDADE INTELECTUAL DO AUTOR, TITULAR DOS DIREITOS MORAIS E PATRIMONIAIS DO PROJETO DE QUE É PARTE. AO ABRIGO DO DISPOSTO NA ALÍNEA B) DO Nº1 DO ART. 19º DO CÓDIGO DO DIREITO DE AUTOR E DOS DIREITOS CONEXOS, NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO OU USADO PARA QUALQUER PROPÓSITO A NÃO SER AQUI INICIADO SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO ESCRITA.



**QUADRO PILARES**  
ESC: 1:25



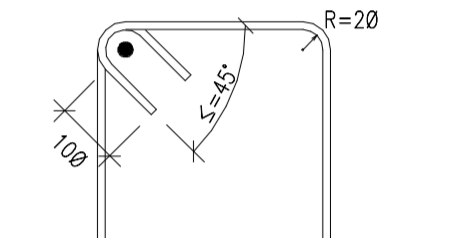
**PILAR P1A**  
ESC: 1:25



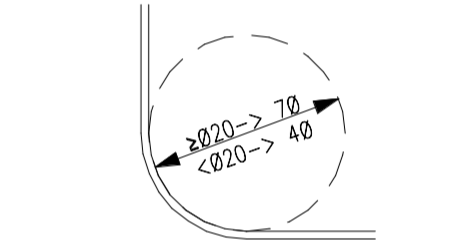
**NÚCLEO N1**  
ESC: 1:25

**DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS**

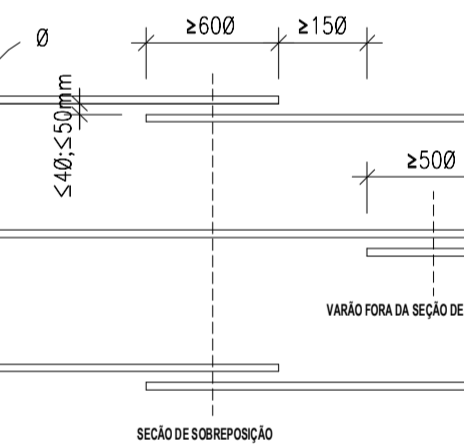
**PORMENOR DOS ESTRIBOS E CINTAS**



**DIÂMETROS DE DOBRAGEM DAS ARMADURAS**



**SOBREPOSIÇÃO DE VARÕES ADJACENTES (MÁX 50% VARÕES SOBREPÓSITOS NA MESMA SEÇÃO)**



**QUADRO DE MATERIAIS**

BETÃO   RECOBRIMENTOS		Especificações de acordo com NP EN 206-1
Regularização:	C16/20 X0(P)	C1.0 Dmax12. >=S2   Rec. ...
Laje de ensolaramento:	C30/37 XC2(P)	XA1. CL0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 50mm
Vigas de fundação:	C30/37 XC2(P)	XA1. CL0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm
Pilares:	C40/50 XC3(P)	CL0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm
Núcleos e Paredes:	C40/50 XC3(P)	CL0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Vigas:	C30/37 XC3(P)	CL0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 40mm
Lajes:	C30/37 XC3(P)	CL0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Lajes pré-esforçadas:	C30/37 XC3(P)	CL0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Massama:	C25/30 XC3(P)	CL0.4 Dmax16. >=S2   Rec. 30mm

ARMADURAS		De acordo com a norma NP ENV 13670-1 e o respetivo DNA
Armaduras ordinárias:	A500 NR SD	
Armaduras pré-esforço:	Y1860 ST 15.7	

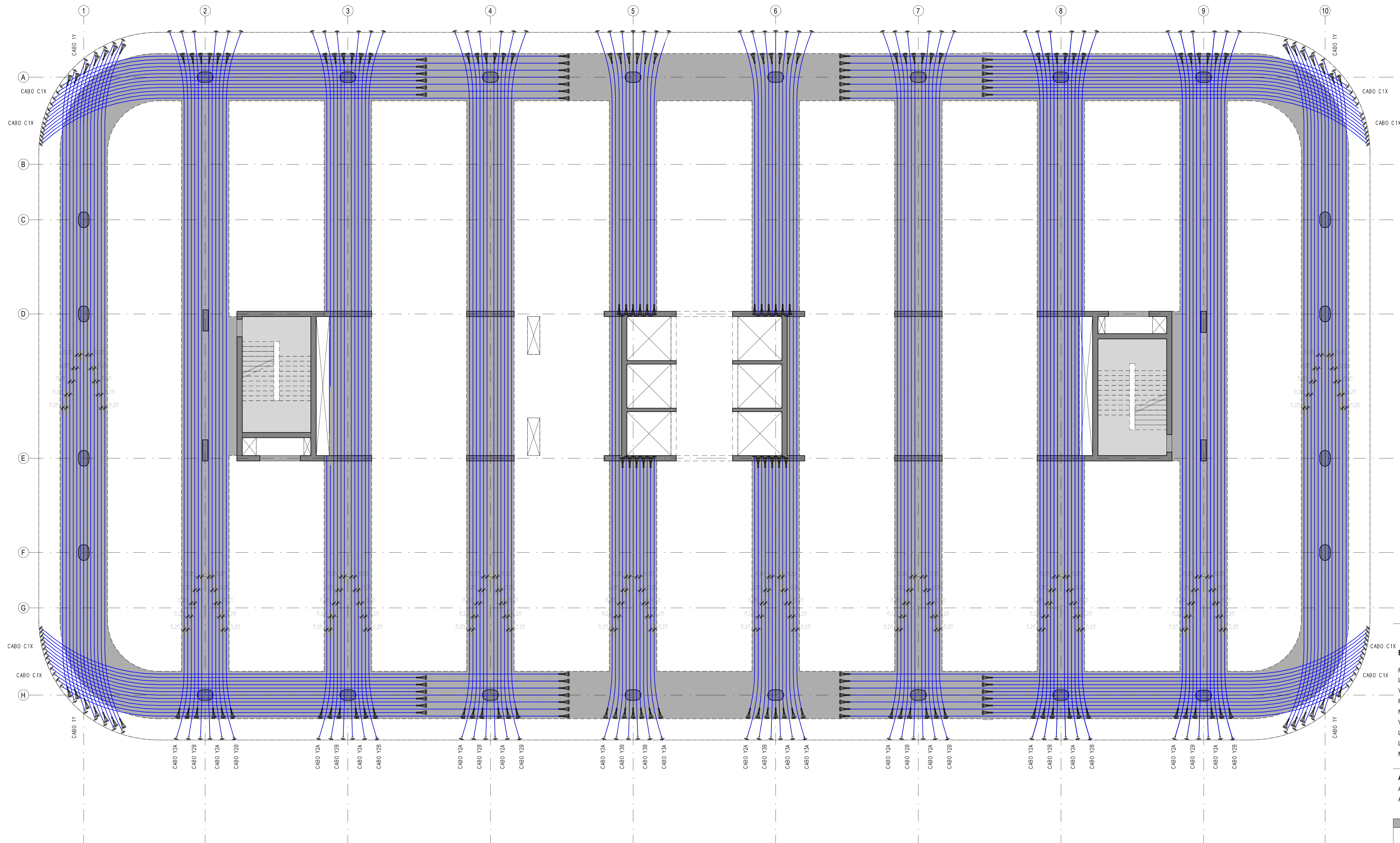
**IDENTIFICAÇÃO**

IPS ESTB  
 FLÁVIO ALEXANDRE PEREIRA LOPES  
 Nº 1685  
 DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO COM RECURSO AO BIM

CURSO	TÍTULO
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL ESPECIALIDADE: ESTRUTURAS	BETÃO ARMADO - QUADRO DE PILARES E NÚCLEO N1

FORMATO	ESCALA	DATA	Nº DESENHO
A1+	INDICADAS	NOVEMBRO 2018	11.

ESTE DESENHO É PROPRIEDADE INTELECTUAL DO AUTOR, TITULAR DOS DIREITOS MORAIS E PATRIMONIAIS DO PROJETO DE QUE É PARTE, AO ABRIGO DO DISPOSTO NA ALÍNEA B) DO N.º 1 DO ART. 1.º DO CÓDIGO DO DIREITO DE AUTOR E DOS DIREITOS CONEXOS, NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO OU USADO PARA QUALQUER PROPÓSITO A NÃO SER O AQUI INDICADO SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO ESCRITA.



**PISO TIPO ELEVADO - PRÉ-ESFORÇO**  
ESC: 1:100

**QUADRO DE MATERIAIS** Especificações de acordo com NP EN 206-1

**BETÃO | RECOBRIMENTOS**

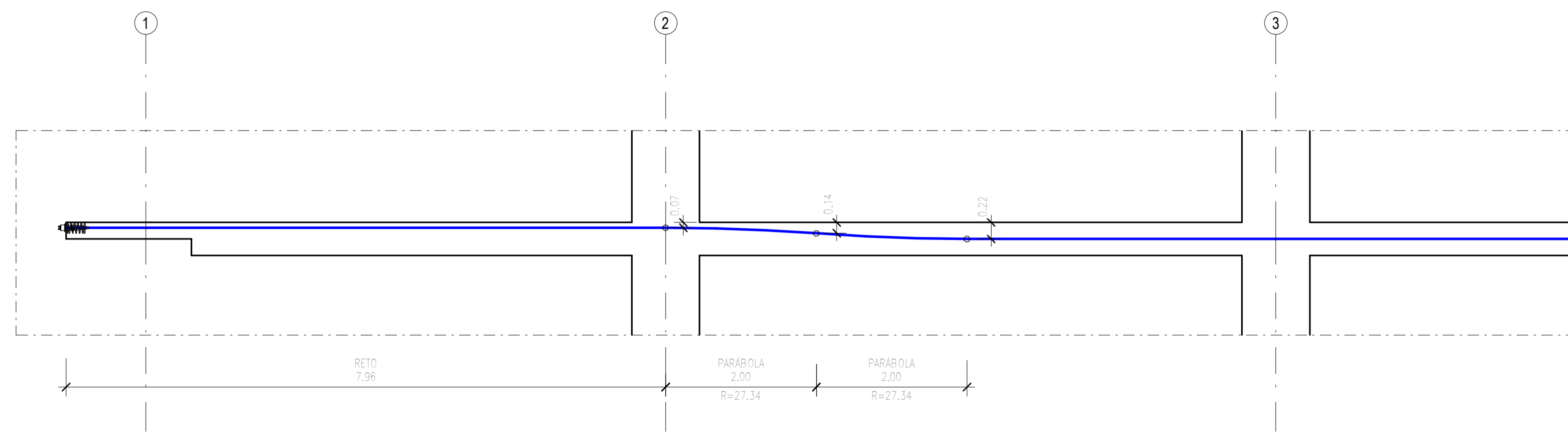
Regularização: C16/20 X0(P). Cl.0 Dmax12. >=S2 | Rec. ...  
 Laje de ensoleiramento: C30/37 XC2(P). XA1. CL.0.4 Dmax25. >=S3 | Rec. 50mm  
 Vigas de fundação: C30/37 XC2(P). XA1. CL.0.4 Dmax25. >=S3 | Rec. 40mm  
 Pilares: C40/50 XC3(P). CL.0.4 Dmax25. >=S3 | Rec. 40mm  
 Núcleos e Paredes: C40/50 XC3(P). CL.0.4 Dmax20. >=S3 | Rec. 30mm  
 Vigas: C30/37 XC3(P). CL.0.4 Dmax20. >=S3 | Rec. 40mm  
 Lajes: C30/37 XC3(P). CL.0.4 Dmax20. >=S3 | Rec. 30mm  
 Lajes pré-esforçadas: C30/37 XC3(P). CL.0.4 Dmax20. >=S3 | Rec. 30mm  
 Massame: C25/30 XC3(P). CL.0.4 Dmax16. >=S2 | Rec. 30mm

**ARMADURAS** De acordo com a norma NP ENV 13670-1 e o respetivo DNA

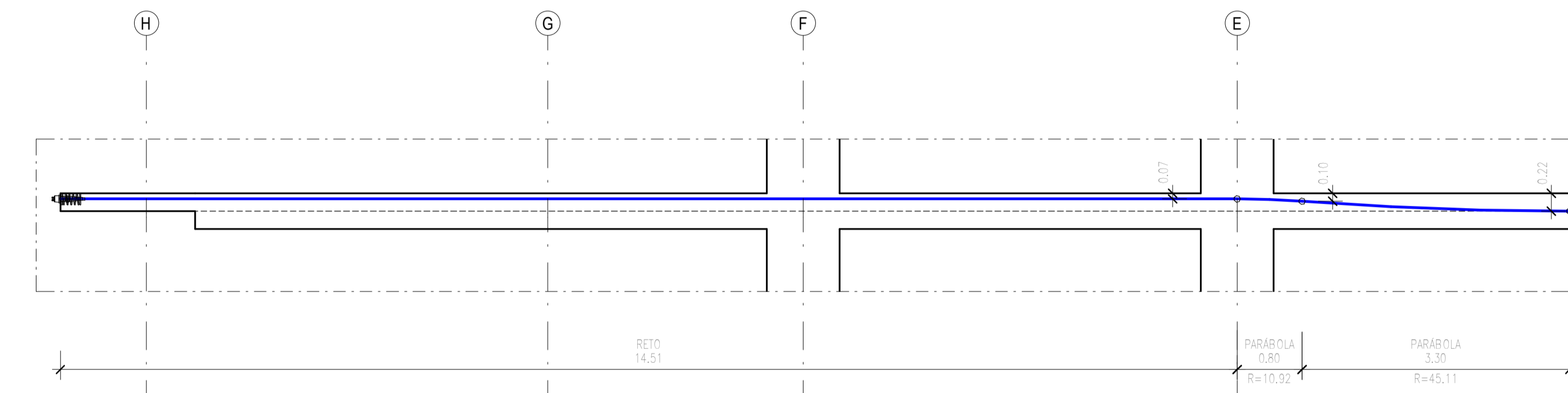
Armaduras ordinárias: A500 NR SD  
 Armaduras pré-esforço: Y1860 S7 15.7

<b>IDENTIFICAÇÃO</b>			
FLÁVIO ALEXANDRE PEREIRA LOPES Nº 1685			
DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO COM RECURSO AO BIM			
<b>CURSO</b>		<b>TÍTULO</b>	
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL ESPECIALIDADE: ESTRUTURAS		PRÉ-ESFORÇO - PISO TIPO ELEVADO	
<b>FORMATO</b>	<b>ESCALA</b>	<b>DATA</b>	<b>Nº DESENHO</b>
A1+	INDICADAS	NOVEMBRO 2018	12.

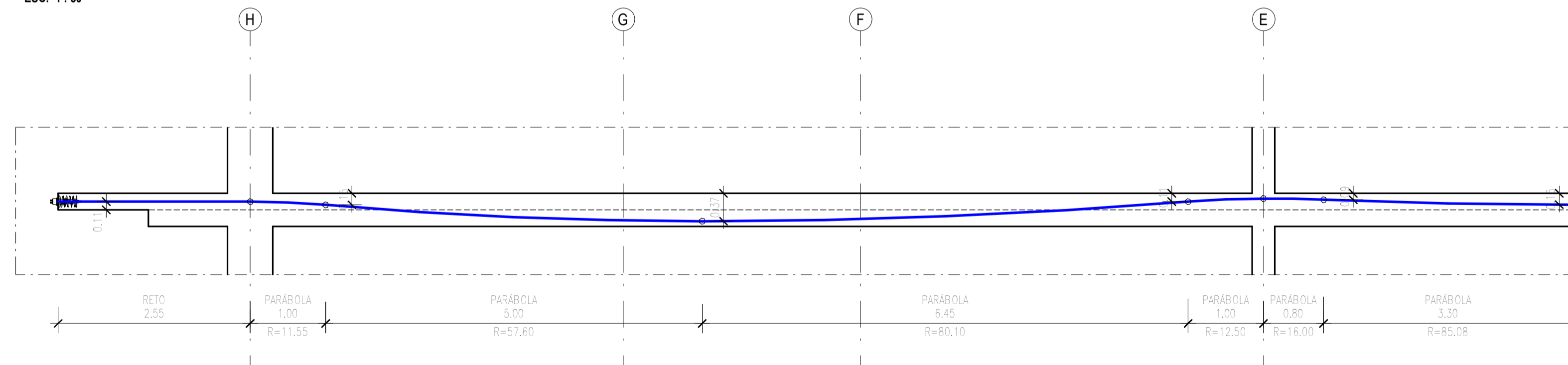
ESTE DESENHO É PROPRIEDADE INTELECTUAL DO AUTOR, TITULAR DOS DIREITOS MORAIS E PATRIMONIAIS DO PROJETO DE QUE É PARTE. AO ABRIGO DO DISPOSTO NA ALÍNEA B) DO Nº1 DO ART. 19º DO CÓDIGO DO DIREITO DE AUTOR E DOS DIREITOS CONEXOS, NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO OU USADO PARA QUALQUER PROPÓSITO A NÃO SER O AQUI INDICADO SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO ESCRITA.



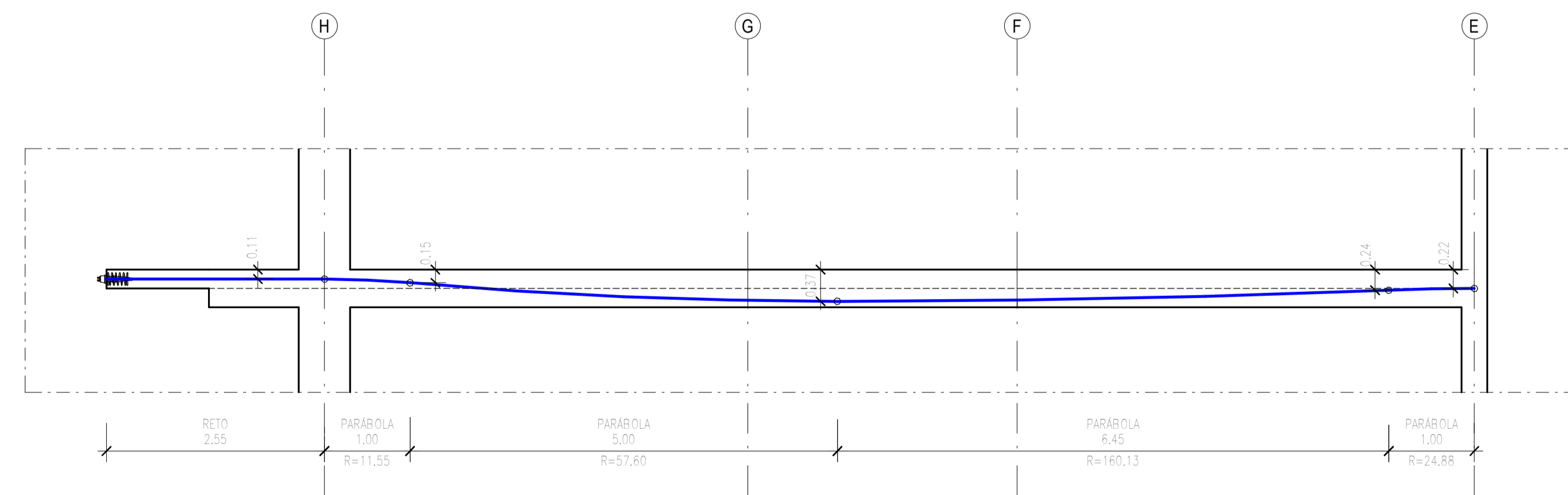
**CABO X1 - Pútil=600kN (CABO DE 4 CORDÕES DE BAINHAS PLANAS)**  
ESC: 1 : 50



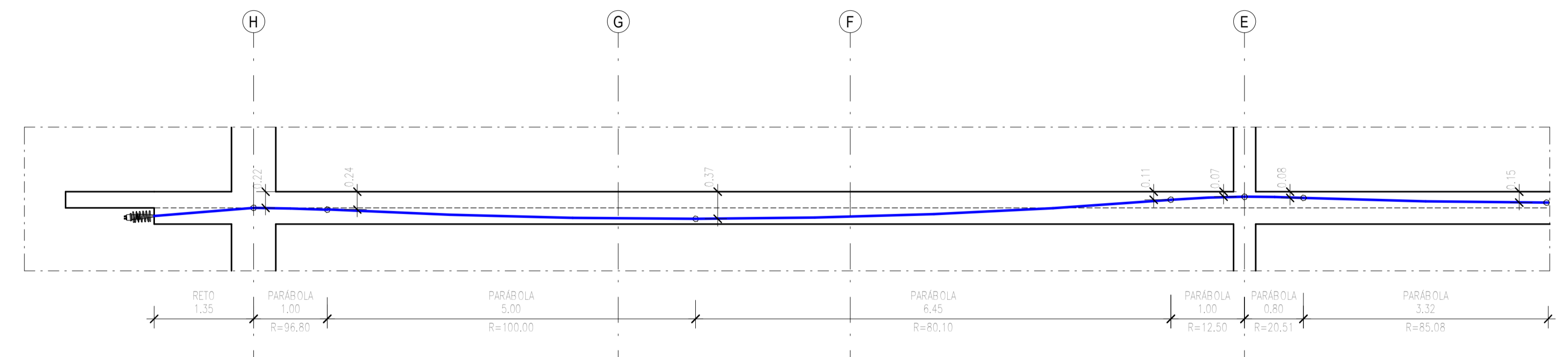
**CABO Y1 - Pútil=600kN (CABO DE 4 CORDÕES DE BAINHAS PLANAS)**  
ESC: 1 : 50



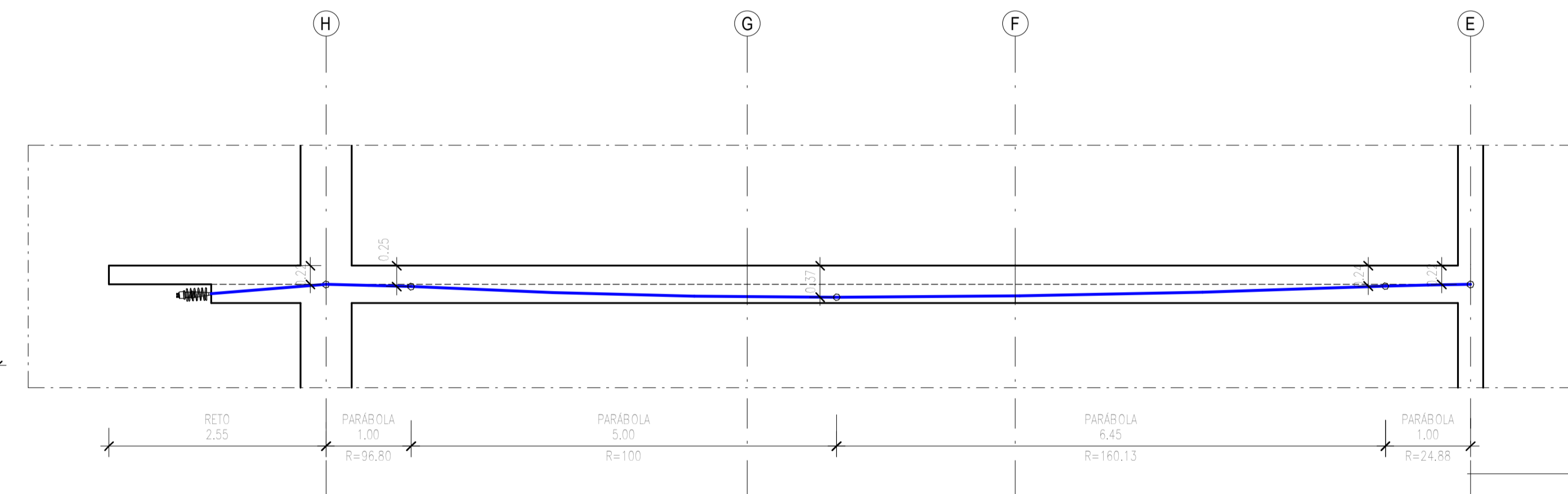
**CABO Y2A - Pútil=600kN (CABO DE 4 CORDÕES DE BAINHAS PLANAS)**  
ESC: 1 : 50



**CABO Y3A - Pútil=600kN (CABO DE 4 CORDÕES DE BAINHAS PLANAS)**  
ESC: 1 : 50



**CABO Y2B - Pútil=600kN (CABO DE 4 CORDÕES DE BAINHAS PLANAS)**  
ESC: 1 : 50



**CABO Y3B - Pútil=600kN (CABO DE 4 CORDÕES DE BAINHAS PLANAS)**  
ESC: 1 : 50

**QUADRO DE MATERIAIS**

**BETÃO | RECOBRIMENTOS** Especificações de acordo com NP EN 206-1

Regularização:	C16/20 X0(P). Cl.0 Dmax12. >=S2   Rec. ...
Laje de ensaiamento:	C30/37 XC2(P). XA1. CL0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 50mm
Vigas de fundação:	C30/37 XC2(P). XA1. CL0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm
Pilares:	C40/50 XC3(P). CL0.4 Dmax25. >=S3   Rec. 40mm
Núcleos e Paredes:	C40/50 XC3(P). CL0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Vigas:	C30/37 XC3(P). CL0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 40mm
Lajes:	C30/37 XC3(P). CL0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Lajes pré-esforçadas:	C30/37 XC3(P). CL0.4 Dmax20. >=S3   Rec. 30mm
Massame:	C25/30 XC3(P). CL0.4 Dmax16. >=S2   Rec. 30mm

**ARMADURAS** De acordo com a norma NP ENV 13670-1 e o respetivo DNA

Armaduras ordinárias:	A500 NR SD
Armaduras pré-esforço:	Y1860 S7 15.7

<b>IDENTIFICAÇÃO</b>			
FLÁVIO ALEXANDRE PEREIRA LOPES Nº 1685			
DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO COM RECURSO AO BIM			
<b>CURSO</b>		<b>TÍTULO</b>	
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL ESPECIALIDADE: ESTRUTURAS		PRÉ-ESFORÇO - ALÇADOS DO PISO TIPO ELEVADO	
<b>FORMATO</b>	<b>ESCALA</b>	<b>DATA</b>	<b>Nº DESENHO</b>
A1+	INDICADAS	NOVEMBRO 2018	13.

ESTE DESENHO É PROPRIEDADE INTELECTUAL DO AUTOR, TITULAR DOS DIREITOS MORAIS E PATRIMONIAIS DO PROJETO DE QUE É PARTE. AO ABRIGO DO DISPOSTO NA ALÍNEA B) DO N.º 1 DO ART. 19.º DO CÓDIGO DO DIREITO DE AUTOR E DOS DIREITOS CONEXOS, NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO OU USADO PARA QUALQUER PROPÓSITO A NÃO SER O QUE INDICADO SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO ESCRITA.