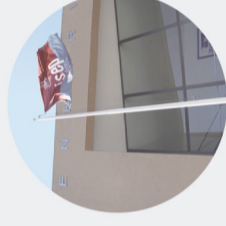




Integração BIM do Modelo de Cálculo Estrutural ? Aplicação ao Projeto de uma Moradia

RUI JORGE BORGES DE CARVALHO

novembro de 2021



Integração BIM do Modelo de Cálculo Estrutural Aplicação ao Projeto de uma Moradia

RUI JORGE BORGES DE CARVALHO
Outubro de 2021



INTEGRAÇÃO BIM DO MODELO DE CÁLCULO ESTRUTURAL – APLICAÇÃO AO PROJETO DE UMA MORADIA

RUI JORGE BORGES DE CARVALHO

Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE ESTRUTURAS

Orientador: Prof. Diogo Rodrigo Ribeiro (ISEP)

Co-Orientador: Eng. Rui Gavina (VN2R/ISEPBIM)

Supervisor: Eng. Pedro Amorim (Blackcurrant)

OUTUBRO DE 2021

Eu, Rui Jorge Borges de Carvalho, estudante nº 1161572, do Mestrado em Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia do Porto, declaro que não fiz plágio nem auto-plágio, pelo que o trabalho intitulado “Integração BIM do Modelo de Cálculo Estrutural – Aplicação ao Projeto de uma Moradia” é original e da minha autoria, não tendo sido usado previamente para qualquer outro fim. Mais declaro que todas as fontes usadas estão citadas, no texto e na bibliografia final, segundo as regras de referência adotadas na instituição.

Porto e ISEP, 2021/10/21

Rui Jorge Borges de Carvalho

ÍNDICE GERAL

Índice Geral	iii
Resumo	v
Abstract.....	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas.....	xix
CAPÍTULO 1 Introdução.....	1
CAPÍTULO 2 Estado de Arte.....	5
CAPÍTULO 3 Caso de Estudo	11
CAPÍTULO 4 CYPE	17
CAPÍTULO 5 Interoperabilidade Cype-Revit	53
CAPÍTULO 6 Considerações Finais	65
Referências Bibliográficas	67
Anexo I- Plantas.....	69
Anexo II-Espectros de Cálculo	71
Anexo III – Tabelas de Armadura.....	73

RESUMO

O presente trabalho foi realizado em meio empresarial, mais especificamente na empresa Blackcurrant. Esta empresa proporcionou uma colaboração excepcional, compreensiva e enriquecedora, apesar do estado pandémico existente.

Com este trabalho procurou desenvolver-se um projeto de estruturas de um edifício com auxílio do programa de cálculo automático CYPE. De seguida, foi realizado um processo de interoperabilidade entre os programas CYPE e REVIT, e que envolveu a transferência de informação entre os resultados obtidos no programa de cálculo e a plataforma BIM. Deste processo de troca de informação, foi desenvolvido uma ferramenta com recurso à ferramenta DYNAMO e a programação gráfica com o intuito de automatizar de colocação de armaduras em lajes, paredes/muros, vigas, pilares e fundações. A ferramenta desenvolvida demonstrou eficiência no detalhamento das armaduras e deste modo possibilitar a geração automática de peças desenhadas 2D e 3D.

Palavras-chave: Projeto de estruturas; CYPE; Revit; Interoperabilidade; Programação gráfica; Automatização.

ABSTRACT

The thesis here presented was conducted in a professional environment, namely at Blackcurrant. This company provided an exceptional, comprehensive, and enlightening collaboration, even during the current pandemic situation worldwide.

The main goal of the thesis was to develop a structural project for a building, and for such, there was a necessity to employ the use of the automated calculus software CYPE. Secondly, a process of interoperability was implemented between CYP and REVIT, involving the transfer of information of the results obtained in the calculus software to the BIM platform. From this exchange of data, a tool was developed using DYNAMO and graphic programming with the goal to automatize the placement of rebars in slabs, walls, beams, pillars, and foundations. The develop tool demonstrated the efficiency in detailing the rebars, enabling the automatic display of the drawings in 2D and 3D.

Keywords: Structural project; CYPE; Revit; Interoperability; Graphical programming; Automatization

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Blackcurrent por me ter recebido de braços abertos e por ter-se disponibilizado para me ajudar em todos os aspetos na realização deste trabalho, mesmo nesta altura pandémica.

Agradecer ao Engenheiro Pedro Amorim por me ter ajudado sempre ao longo do estágio, pela sua paciência e disponibilidade.

Agradeço ao Engenheiro Rui Gavina pela coorientação e por toda a sua disponibilidade e paciência que teve comigo.

Agradeço ao Professor Diogo Ribeiro pela orientação, pela sua paciência, disponibilidade e ainda por me ter lançado este grande desafio e nunca ter desistido de mim.

Agradeço aos meus colegas João, Pedro, Ricardo, Vasco, Simons e Bernardo por terem proporcionado estes anos de companheirismo e amizade ao longo destes anos de faculdade.

Agradeço à minha família por me ter apoiado sempre nestes anos académicos.

ÍNDICE DE TEXTO

Índice Geral	iii
Resumo	v
Abstract.....	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas.....	xix
CAPÍTULO 1 Introdução.....	1
1.1 Considerações Iniciais	1
1.2 Estágio em Ambiente Empresarial	2
1.3 Objetivos do Trabalho.....	2
1.4 Organização do Trabalho	3
CAPÍTULO 2 Estado de Arte.....	5
2.1 BIM	5
2.1.1 Modelação paramétrica baseada em objetos.....	6
2.1.2 Níveis de Desenvolvimento (LOD).....	6
2.1.3 Vantagens do uso do BIM	7
2.2 Revit.....	8
2.3 Interoperabilidade e IFC.....	9
CAPÍTULO 3 Caso de Estudo	11
3.1 Descrição geral.....	11

3.2	Condicionalismos de arquitetura	14
CAPÍTULO 4 CYPE		17
4.1	Dados gerais.....	18
4.2	Modelação Numérica	24
4.2.1	Colocação dos pilares.....	24
4.2.2	Colocação de vigas	29
4.2.3	Colocação de lajes.....	32
4.2.4	Muro	37
4.2.5	Escada	38
4.2.6	Fundações.....	40
4.2.7	Visualização 3D	43
4.3	Cargas adicionais.....	43
4.4	Resultados.....	44
4.4.1	Pilar	44
4.4.2	Vigas	46
4.4.3	Lajes	48
4.4.4	Muro	49
4.4.5	Escada	50
4.4.6	Fundação	51
CAPÍTULO 5 Interoperabilidade Cype-Revit		53
5.1	Tabelas.....	54
5.2	Dynamo.....	55
CAPÍTULO 6 Considerações Finais		65
6.1	Desenvolvimentos Futuros	65
Referências Bibliográficas.....		67
Anexo I- Plantas.....		69
Anexo II-Espectros de Cálculo		71

Anexo III – Tabelas de Armadura.....73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Blackcurrant, Engenharia (Fonte: Blackcurrant)	2
Figura 2.1 – Fases do ciclo de Vida de um Projeto (Fonte: BIMMDA).....	5
Figura 2.2 – Níveis de desenvolvimento (LOD) (Fonte: https://www.srinsofttech.com/bim-level-of-development-lod-300-400-500.html)	6
Figura 2.3 – Revit (Fonte: Autodesk)	8
Figura 2.4 – Interoperabilidade e o BIM (Fonte: https://utilizandobim.com/blog/interoperabilidade/)	9
Figura 3.1– Arquitetura da Moradia	11
Figura 3.2 – Arquitetura da Moradia	12
Figura 3.3 – Planta do Piso 0 (Fonte: Blackcurrant)	12
Figura 3.4 – Planta do Piso 1 (Fonte: Blackcurrant)	13
Figura 3.5 – Planta do Piso 2 (Fonte: Blackcurrant)	13
Figura 3.6 – Planta do Piso 1 (Fonte: Blackcurrant (adaptado))	14
Figura 3.7 – Lajes aligeiradas	14
Figura 3.8 – Desnível no Piso do Terraço (Fonte: Blackcurrant)	15
Figura 4.1 – CYPE (Fonte: CYPE)	17
Figura 4.2 – CYPECAD (Fonte: CYPE).....	17
Figura 4.3 – Dados Gerais (Fonte: CYPE)	18
Figura 4.4 – Dados da Fundação (Fonte: CYPE)	19
Figura 4.5 – Dados da Fundação (Fonte: CYPE)	19
Figura 4.6 – Categoria de utilização (Fonte: EC1-1-1, Adaptado)	20
Figura 4.7 – Ação do Vento (Fonte: CYPE)	20
Figura 4.8 – Ação Sísmica (Fonte: CYPE)	21

Figura 4.9 – Tipos de solo (Fonte: EC8-1:2010)	22
Figura 4.10 – Classe de Importância (Fonte:EC8-1:2010)	23
Figura 4.11 – Espectros de Cálculo (Fonte: CYPE).....	23
Figura 4.12 – Planta Estrutural	24
Figura 4.13 – Separador Entrada de Pilares (Fonte: CYPE, Adaptado).....	25
Figura 4.14 – Colocação de Pilares (Fonte: CYPE).....	25
Figura 4.15 – Pilar P1 (Fonte: Cype).....	26
Figura 4.16 – Pilar P2 (Fonte: Cype).....	26
Figura 4.17 – Colocação do Pilar (Fonte: CYPE)	27
Figura 4.18 – Ajustar Pilar (Fonte: CYPE, Adaptado).....	27
Figura 4.19 – Pilar ajustado a partir do ponto fixo (Fonte: CYPE)	28
Figura 4.20 – Planta Estrutural (Fonte: CYPE).....	28
Figura 4.21 – Entrada de Vigas (Fonte: CYPE, Adaptado)	29
Figura 4.22 – Introdução de Viga (Fonte: CYPE)	29
Figura 4.23 – Tipos de Viga (Fonte: CYPE)	30
Figura 4.24 – Maior Vão (Fonte: CYPE).....	30
Figura 4.25 – Altura Máxima (Fonte: Arquitetura)	31
Figura 4.26 – Viga (Fonte: CYPE).....	31
Figura 4.27 – Ajuste da Viga (Fonte: CYPE).....	32
Figura 4.28 – Colocação de Lajes (Fonte: CYPE)	32
Figura 4.29 – Escolha do Tipo de Laje (Fonte: CYPE)	33
Figura 4.30 – Lajes Maciças do Piso 1 (Fonte: CYPE)	33
Figura 4.31 – Lajes Maciças do Piso 2 (Fonte: CYPE)	34
Figura 4.32 – Limite de Largura Zero (Fonte: CYPE).....	34
Figura 4.33 – Introdução de Abertura (Fonte: CYPE).....	35
Figura 4.34 – Laje de Vigotas (Fonte: CYPE)	35
Figura 4.35 – Laje de Vigotas da Cobertura da Cozinha (Fonte: CYPE)	35

Figura 4.36 – Laje de Vigotas da Cobertura do Último Piso (Fonte: CYPE)	36
Figura 4.37 – Alteração do Coeficiente de Encastramento (Fonte: CYPE)	36
Figura 4.38 – Introdução de Muro (Fonte: CYPE)	37
Figura 4.39 – Colocação dos Muros (Fonte: CYPE)	37
Figura 4.40 – Muro já colocado (Fonte: CYPE).....	38
Figura 4.41 – Introdução de Escadas (Fonte: CYPE).....	38
Figura 4.42 – Dados do Núcleo de escadas (Fonte: CYPE)	39
Figura 4.43 – Tipologia de escadas (Fonte: CYPE).....	39
Figura 4.44 – Tramos das escadas (Fonte: CYPE).....	40
Figura 4.45 – Iniciar a Colocação de Sapata (Fonte: CYPE)	40
Figura 4.46 – Definição de uma Sapata (Fonte: CYPE).....	41
Figura 4.47 – Sapata do Pilar P1 (Fonte: CYPE).....	41
Figura 4.48 – Introdução de uma viga de equilíbrio e lintéis (Fonte: CYPE)	41
Figura 4.49 – Viga de Equilíbrio Automático (Fonte: CYPE)	42
Figura 4.50 – Planta da Fundação (Fonte: CYPE)	42
Figura 4.51 – Estrutura em 3D (Fonte: CYPE)	43
Figura 4.52 – Pilar P1 (Fonte: CYPE)	44
Figura 4.53 – Solução para o pilar P1 (Fonte: CYPE)	44
Figura 4.54 – Verificação não cumprida (Fonte: CYPE).....	45
Figura 4.55 – Verificação cumprida (Fonte: CYPE).....	45
Figura 4.56 – Viga V1 (Fonte: CYPE)	46
Figura 4.57 – Erros na viga V1 (Fonte: CYPE).....	46
Figura 4.58 – Gráficos de Área de Armadura (Fonte: CYPE)	47
Figura 4.59 – Solução final da Viga V1 (Fonte: CYPE)	47
Figura 4.60 – Armadura Base na Laje 3 (Fonte: CYPE).....	48
Figura 4.61 – Dimensionamento da Laje de Cobertura da Cozinha (Fonte: FAPREL).....	48
Figura 4.62 – Armaduras do Muro M1 (Fonte: CYPE)	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.63 – Cortes de Escadas (Fonte: CYPE)	50
Figura 4.64 – Fundação do Pilar P1 (Fonte: CYPE)	51
Figura 4.65 – Não Verificação da Fundação (Fonte: CYPE, Adaptado)	51
Figura 4.66 – Alteração da Dimensão da Fundação (Fonte: CYPE)	52
Figura 4.67 – Alteração da Armaduras da Fundação (Fonte: CYPE).....	52
Figura 5.1 – Resultado da abertura do IFC (Fonte: Revit)	53
Figura 5.2 – Exemplo de tabela (Fonte: CYPE)	54
Figura 5.3 – Programação Visual (Fonte: Dynamo Primer)	55
Figura 5.4 – Exemplo de Programação Visual (Fonte: Dynamo Primer)	55
Figura 5.5 – Esquema de Iteração dos Programas Usados	56
Figura 5.6 – Código para Automatizar o Desenho de Armaduras	57
Figura 5.7 – Grupo de <i>Inputs</i>	57
Figura 5.8 – Grupo de Compatibilização.....	58
Figura 5.9 –Parâmetro do IFC	58
Figura 5.10 – Grupo dos Dados da Tabela	59
Figura 5.11 – Grupo da Geometria	60
Figura 5.12 – Geometria dos Pilares	60
Figura 5.13 – <i>Curve</i>	61
Figura 5.14 – Intersecções desenvolvidas	61
Figura 5.15 – Grupo das Armaduras	62
Figura 5.16 – Conversão de <i>curves</i> em armadura.....	62
Figura 5.17 – Representação tridimensional das Armaduras dos Pilares	63
Figura 5.18 – Representação tridimensional das Armaduras de vários elementos estruturais do projeto	64

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 – Restantes Cargas e Sobrecarga (Fonte: CYPE)	20
Tabela 4.2 – Alterações de Carregamento	44
Tabela 4.3 – Armaduras do Muro M1	49
Tabela 4.4 – Armaduras das Escadas.....	50

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No início da história, o ser humano para se proteger das adversidades do meio exterior necessitou de construir abrigos. Inicialmente utilizou elementos que existiam ao seu redor, no entanto com a evolução dos materiais e tecnologias, os abrigos começaram a ser cada vez mais complexos. Começou-se a usar cada vez mais o conhecimento adquirido, de modo a gradualmente tornar as estruturas simples em edifícios de grande dimensão. Isto deve-se à inovação e evolução tecnológica que se torna um fator essencial no dia-a-dia da engenharia civil.

Atualmente seria impensável desenvolver um projeto de um edifício manualmente, isto é, usando papel e uma simples calculadora, isto traria muitos erros ao projeto e tornava-o pouco eficiente. Nos dias de hoje existem programas de cálculo automático que facilitam o processo e ainda conferem eficiência ao mesmo.

Assim, neste trabalho será apresentado um projeto de estruturas de um edifício em betão armado, que será realizado através do programa de cálculo CYPE. Serão apresentados todos os passos, de modo a ser possível entender o desenvolvimento do mesmo.

Após o uso deste programa, será usada uma plataforma de modelação BIM, o Revit. O uso desta ferramenta tem o propósito da transferência de informação do CYPE para o Revit, sendo esta feita através de um ficheiro IFC. Na sua versão nativa esta transferência acaba por ser muito limitada, uma vez que apenas transfere a informação geométrica referente aos vários elementos de betão, não sendo ainda possível transferir a informação referente a armaduras. Para isso será usada uma extensão do Revit, o Dynamo. Nesta extensão será desenvolvido um programa que realiza a leitura de tabelas em Excel com as informações relativas às armaduras, com o intuito automatizar o seu desenho. Estas tabelas vêm dos relatórios do CYPE, sendo estas apresentadas em documentos Word e transportadas para um ficheiro Excel.

1.2 ESTÁGIO EM AMBIENTE EMPRESARIAL

O estágio em ambiente empresarial foi realizado na empresa Blackcurrant-Engenharia (Figura 1.1) situada na zona de Gondomar, distrito do Porto e foi supervisionado pelo Engenheiro Pedro Amorim. Esta empresa trabalha no âmbito da engenharia, particularmente nas vertentes de projetos de engenharia, fiscalização, gestão de empreendimentos, consultoria e formação.



Figura 1.1 – Blackcurrant, Engenharia (Fonte: Blackcurrant)

Em particular, a empresa desenvolve atividade na área da engenharia civil, desenvolvendo projetos de estruturas de betão armado e estruturas metálicas, projetos ligados à área das infraestruturas, como redes de abastecimento de águas, redes de drenagem de águas residuais e pluviais, vias de comunicação, projetos de térmica, acústica e redes de gás. Ainda executa trabalhos de levantamento topográfico, gestão de empreendimentos e fiscalização de obras. Desenvolve também formações em algumas das especialidades acima mencionadas, mais concretamente sobre software Autodesk Civil3D. Complementarmente, a Blackcurrant também realiza trabalhos na área da engenharia eletrotécnica, onde desenvolve projetos de redes elétricas, redes de iluminação, ITED, ITUR e Segurança contra incêndios.[1]

1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tem como principal objetivo automatizar a interoperabilidade entre o modelo de cálculo desenvolvido no programa CYPE e o modelo BIM desenvolvido na plataforma Revit.

Em termos de objetivos específicos importa referir:

- Desenvolvimento de competências no programa de cálculo usado pela empresa, o CYPE, e a sua aplicação ao caso de estudo proposto pela empresa.
- Desenvolvimento de um programa, com recurso a uma ferramenta de programação gráfica o Dynamo, tendo em vista a automatização do processo de importação e disposição de armaduras na plataforma Revit.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se organizado em seis capítulos.

O primeiro capítulo, intitulado “Introdução”, é constituído por algumas considerações iniciais, que apresentam o tema que irá ser abordado, além dos objetivos e organização do trabalho.

O segundo capítulo deste documento denominado “Estado de Arte”, dá a conhecer a informação que existe sobre o tema abordado no documento.

O terceiro capítulo, intitulado “Caso de Estudo”, dá a conhecer o caso de estudo utilizado neste trabalho, em particular a sua arquitetura e condicionalismos ao desenvolvimento do projeto estrutural.

O quarto capítulo designado “Modelo de cálculo estrutural”, apresenta a aplicação do programa de cálculo ao caso prático. É neste capítulo que irá ser exemplificada a modelação numérica do edifício e os resultados obtidos.

O quinto capítulo, nomeado “Interoperabilidade CYPE-Revit”, remete para a utilização da ferramenta Dynamo com o objetivo de automatizar o processo de colocação de armaduras. É ainda apresentado o código utilizado para um elemento específico do projeto.

Por fim, no sexto e último capítulo denominado “Considerações Finais”, são expostas todas as conclusões acerca do trabalho realizado.

CAPÍTULO 2

ESTADO DE ARTE

2.1 BIM

Building Information Modeling (BIM) é uma tecnologia que permite que a indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) consiga aumentar a produtividade e qualidade de projetos envolvidos na área da Engenharia conseguindo reduzir o tempo de desenvolvimento dos mesmos, e consequente redução de custos. [2]

Grande parte das empresas a nível mundial, relacionadas com a AEC, já deixaram os projetos em CAD e começaram a usar a tecnologia BIM em quase todos os seus trabalhos, sendo que ainda existem empresas na transição do CAD para o BIM.[3]

A tecnologia BIM envolve o recurso a *softwares* nas várias fases do ciclo de vida de um empreendimento, incluindo o projeto e a construção, de forma a criar um modelo tridimensional. Este modelo permitirá os vários intervenientes (arquitetos, engenheiros, empreiteiros e o dono de obra) analisarem a informação necessária de forma mais rápida e precisa. Apesar de o BIM ser mais usado nas fases de projeto e construção pode também incluir a fase de manutenção e mesmo a sua demolição.[4]

As várias fases do ciclo de vida de um empreendimento onde o BIM intervém são apresentadas na figura 2.1.



Figura 2.1 – Fases do ciclo de Vida de um Projeto (Fonte: BIMMDA)

2.1.1 Modelação paramétrica baseada em objetos

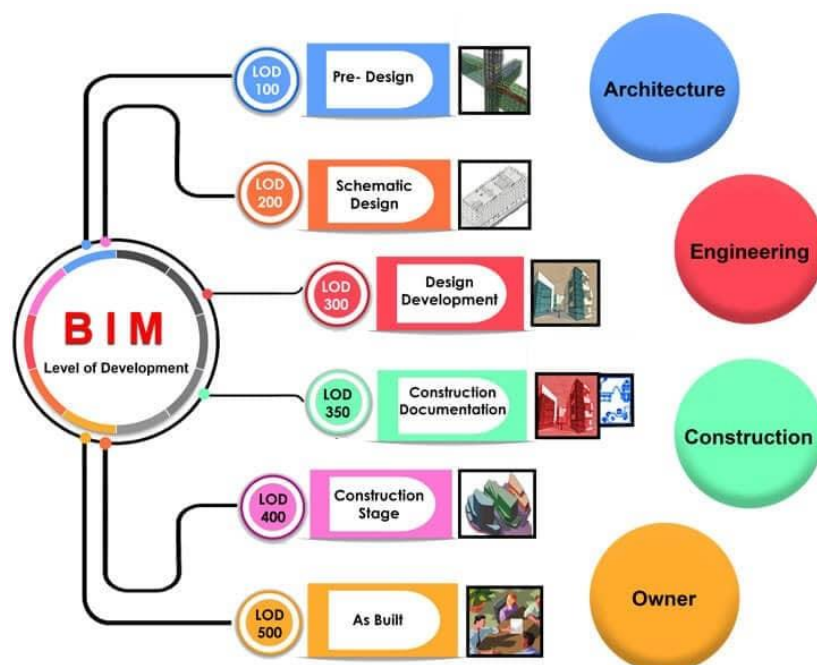
A modelação paramétrica tem por base objetos, estes são representados por produtos que são usados nos projetos. No entanto estes objetos não são só representados pelas suas propriedades e geometrias, pois a modelação paramétrica oferece aos objetos parâmetros e regras que determinam a sua geometria e ainda algumas propriedades dos mesmos.[5]

Um objeto que é usado numa modelação paramétrica pode sofrer alterações, pois os seus usuários poderão ter que editar alguns parâmetros ou regras, de forma a cumprir requisitos inerentes ao modelo. As alterações realizadas irão interagir com os restantes objetos intervenientes com o intuito de ESTES SE adaptarem ás alterações, esta coordenação garante a redução de erros no próprio modelo e uma maior eficácia.[5] Também é possível criar objetos de forma paramétrica e assim criar novas famílias de objetos.[6]

2.1.2 Níveis de Desenvolvimento (LOD)

Os níveis de desenvolvimento, que advém do inglês *level of development* (LOD), têm o intuito de melhorar a qualidade de informação transferida entre entidades que estão a desenvolver o Projeto. O LOD de um projeto deve ser realizado consoante as necessidades dos envolvidos no mesmo. O nível de desenvolvimento é de elevada importância numa fase inicial, antes do desenvolvimento do elemento-modelo, pois é apresentado o nível de desenvolvimento mínimo que deve existir no mesmo, para que cada um dos intervenientes saiba a quantidade de informação que deve existir em cada elemento-modelo.[7]

Os níveis de desenvolvimento são apresentados desde o LOD 100 ao LOD 500, e encontram-se presentes na figura 2.2.



- O LOD 100 informa que o elemento-modelo pode encontrar-se graficamente representado como um símbolo ou outra representação genérica no Modelo. Contudo não são satisfeitos os requisitos para o LOD 200. Informações como o custo por metro quadrado, tonelage de AVAC, etc., do elemento-modelo podem ser originadas de outros Modelo-Elemento.[8]
- O LOD 200 informa que o elemento-modelo é apresentado como um sistema genérico, objeto ou um conjunto com quantidades aproximadas, forma, tamanho e orientação. Algumas informações não gráficas também podem ser inseridas no elemento-modelo.[8]
- O LOD 300 informa que o elemento-modelo é representado graficamente por um modelo como um sistema, objeto ou um conjunto de quantidades, tamanho, forma, localização e orientação. Algumas informações não gráficas também podem ser inseridas no elemento-modelo.[8]
- O LOD 350 informa que o elemento-modelo é representado graficamente por um modelo como um sistema, objeto ou um conjunto de quantidades, tamanho, forma, localização, orientação e interfaces com outros sistemas de construção. Informações não gráficas também podem ser inseridas no elemento-modelo.[8]
- O LOD 400 informa que o elemento-modelo é representado graficamente por um modelo como um sistema, objeto ou um conjunto de quantidades, tamanho, forma, localização e orientação com detalhe, fabricação, montagem e instalação. Informações não gráficas também podem ser inseridas no elemento-modelo.[8]
- O LOD 500 informa que o elemento-modelo é verificado na realidade em termos de tamanho, forma, localização, quantidade e orientação. Informações não gráficas também podem ser inseridas no elemento-modelo.[8]

2.1.3 Vantagens do uso do BIM

Com a tecnologia BIM é possível realizar atualizações da informação de um projeto e ficar acessível, de forma digital, a arquitetos, engenheiros e construtores dando uma visão geral clara do mesmo, tornando-se mais fácil a tomada de qualquer decisão. Assim, é possível aumentar a qualidade e rentabilidade dos projetos.[9]

A seguir são apresentadas 4 vantagens do uso do BIM:

- Visualização tridimensional – ajuda a tomada de decisões ao nível do projeto, e facilita a comercialização e marketing dos empreendimentos.[9]
- Gestão de alterações – quando existe alguma alteração a ser realizada, essa alteração será realizada em todas as plantas, secções, etc., minorando os erros possíveis.[9]

- Uso de modelos federados – O uso de modelos federados BIM é a união de diferentes modelos que envolvem o projeto. Esses modelos são constituídos pelos diferentes projetos das diversas especialidades, como por exemplo a arquitetura, estruturas, instalações hidráulicas, etc. Assim, dos diferentes projetos unificados resulta o modelo final completo, que por sua vez facilita a partilha de informações e a coordenação das diferentes especialidades, de modo que exista um controle de interferências entre as mesmas.[10]
- Modelação Paramétrica – Esta modelação tem como base objetos, sendo estes compostos por produtos no projeto. A modelação paramétrica dá aos objetos parâmetros e regras sobre a sua geometria e as suas propriedades. A vantagem deste tipo de modelação é que qualquer alteração de parâmetros de um objeto irá provocar ajustes nos objetos adjacentes.[5]

2.2 REVIT

O Revit, figura 2.3, é considerado uma plataforma a partir da perspetiva do *Revit Architecture*. O Revit é considerado uma das melhores plataformas BIM no mercado, em relação à arquitetura. Esta plataforma apresenta uma família de produtos, constituídos pelo *Revit Architecture*, *Revit Structure* e *Revit MEP*. [3]



Figura 2.3 – Revit (Fonte: Autodesk)

Com o Revit é possível realizar modelações de estruturas, colocar armaduras na mesma, a interoperabilidade e a obtenção de todos os documentos associados à construção do edifício em questão, tudo isto pode ser extraído desta plataforma BIM. Com esta ainda é possível introduzir outros elementos que não sejam estruturais, como por exemplo, sistemas de drenagem de águas, iluminação, AVAC, etc. Assim, após a modelação da estrutura em conjunto com as outras especialidades, o *software* irá avisar o utilizador de convergências existentes no projeto, isto é, se alguma especialidade está a sobrepor-se a outra. [11]

O Revit é um software de modelação paramétrica e suporta nativamente um conjunto de famílias de elementos estruturais (e não estruturais), tais como vigas, pilares, lajes e paredes que podem ser modificadas de forma a serem obtidos outros elementos. [11]

Existe ainda a possibilidade de criar elementos genéricos ou massas para elementos cuja forma ou tipo não se encaixa em nenhuma das categorias referidas anteriormente (vigas, pilares, lajes ou paredes). Embora nestes elementos se possa colocar armaduras, nestes casos não funcionam bem com as ferramentas automáticas de colocação de armaduras do Revit, obrigando assim a utilização do add-in Dynamo para a colocação das armaduras, sendo este um processo ainda pouco explorado e assim sendo bastante moroso. [11]

2.3 INTEROPERABILIDADE E IFC

A realização de um projeto e a construção do mesmo acaba por ser um trabalho em equipa, sendo que essa será composta por diferentes intervenientes. Estes intervenientes trabalham com programas diferentes, sendo por isso necessário realizar a comunicação entre programas de forma transparente e eficaz. A interoperabilidade é habilidade de transferir informação entre programas. Esta transferência de informação não é realizada através de cópias de ficheiros, pois isso traria imensos erros e inconsistências ao projeto. [3]

Com o uso da tecnologia BIM, a interoperabilidade é cada vez mais empregada nos projetos, isto é, os modelos realizados em plataformas BIM devem ser partilhados com todos os intervenientes do projeto de forma transparente. A figura 2.4 apresenta a ideia de projetos realizados sem o uso de tecnologia BIM com a transferência de informação e o uso do BIM com a transferência de informação.[12]

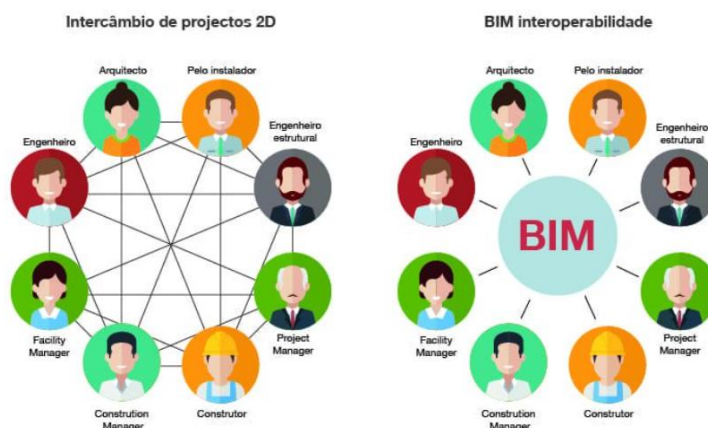


Figura 2.4 – Interoperabilidade e o BIM (Fonte: <https://utilizandobim.com/blog/interoperabilidade/>)

CAPÍTULO 2

Para garantir a interoperabilidade entre os vários *softwares* BIM é necessário usar formatos padrão para que as trocas de informação sejam eficazes, sem que haja perdas de dados do projeto. O formato que é mais usado e eficiente é o IFC que é a sigla de *Industry Foundation Classes*. [12]

O formato IFC é um formato universal, sendo este considerado bastante eficiente na transferência de informação, apesar de ainda existirem limitações no mesmo, conforme detalhado no capítulo 5. [12]

CAPÍTULO 3

CASO DE ESTUDO

3.1 DESCRIÇÃO GERAL

O caso de estudo proposto pela Blackcurrant-Engenharia consiste em uma moradia unifamiliar localizada em Lavra, concelho de Matosinhos. A figura 3.1 e 3.2 apresentam vistas tridimensionais da arquitetura da construção, sendo esta reproduzida através do modelo BIM desenvolvido na plataforma Revit.



Figura 3.1– Arquitetura da Moradia



Figura 3.2 – Arquitetura da Moradia

A moradia é constituída por três pisos, sendo que estes pisos serão designados por Piso 0, Piso 1 e Piso 2. As figuras 3.3 a 3.5 apresentam as plantas dos 3 pisos. Estas plantas estão acessíveis no anexo II.

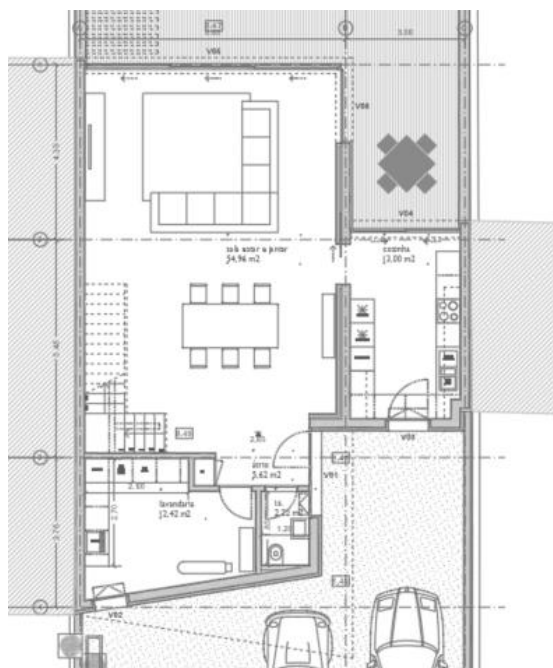


Figura 3.3 – Planta do Piso 0 (Fonte: Blackcurrant)

3.2 CONDICIONALISMOS DE ARQUITETURA

Ao nível dos aspetos geométricos, esta moradia apresenta um pormenor que muito embora se possa identificar nas figuras 3.1 e 3.2, vem realçado na figura 3.6 da planta do piso 1. Esse pormenor são as várias zonas em consola identificadas.

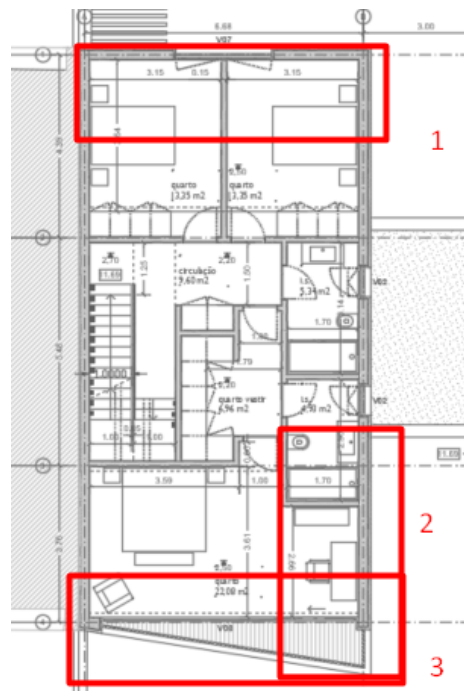


Figura 3.6 – Planta do Piso 1 (Fonte: Blackcurrant (adaptado))

A consola 1 encontra-se na fachada posterior, enquanto as consolas 2 e 3 estão situadas na fachada principal e lateral.

Outro aspeto a ter em conta será a utilização de lajes maciças para todo o edifício, isto deve-se a uma solicitação feita pelo dono de obra. No entanto, serão também usadas lajes aligeiradas de vigotas pré-esforçadas, com o intuito do exercício académico ser mais abrangente. A figura 3.7 identifica as lajes que serão aligeiradas.

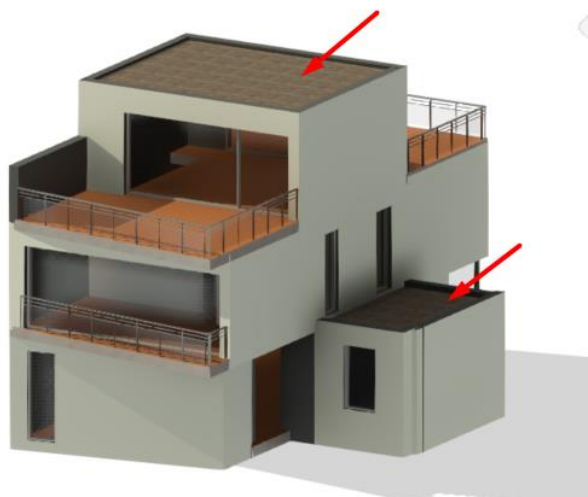


Figura 3.7 – Lajes aligeiradas

Para as lajes aligeiradas foi usado um programa de cálculo automático fornecido pela empresa FAPREL. Uma vez que este programa irá apoiar o dimensionamento das lajes aligeiradas, sendo este abordado na secção 4.4.3.

Outro aspeto a ter em conta será um desnível apresentado no piso 2, entre a zona do terraço e o interior do edifício. Esse desnível estará presente na figura 3.8, e apresenta um valor de 0,20 m.

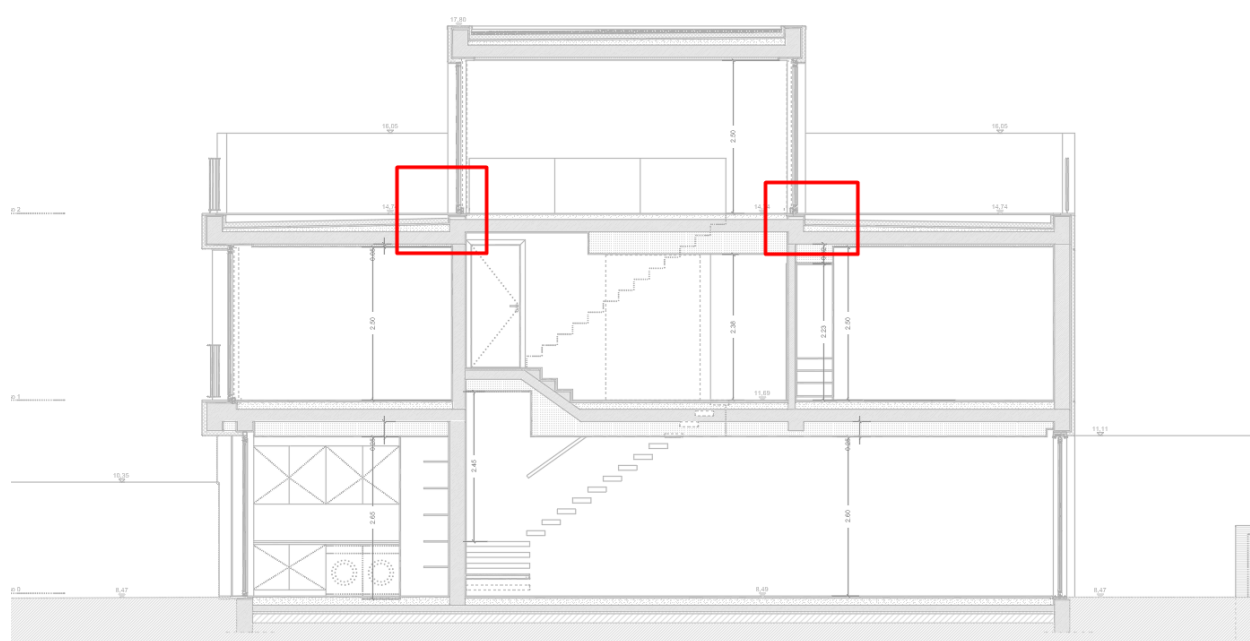


Figura 3.8 – Desnível no Piso do Terraço (Fonte: Blackcurrant)

O último aspeto a ter em conta será a utilização de escadas metálicas suspensas do piso 0 para o piso 1, sendo que do piso 1 para o piso 2 serão usadas escadas em betão armado. Inicialmente, por indicação do arquiteto, as escadas seriam todas suspensas, mas o dono da obra declinou a proposta.

CAPÍTULO 4

CYPE

O CYPE é uma plataforma que abrange vários programas de cálculo (figura 4.1) com o intuito de ajudar a elaborar projetos de engenharia. Estes projetos abrangem as várias áreas da engenharia, como por exemplo, projetos de estruturas, infraestruturas, redes elétricas, entre outros.



Figura 4.1 – CYPE (Fonte: CYPE)

Este trabalho consiste num caso de estudo de uma moradia em betão armado, para isso será usado o programa CYPECAD. Este apresenta uma interface simples tornando o programa intuitivo, metódico e de grande automatização. É um programa que permite modelar a estrutura do projeto a desenvolver e proceder à personalização e eventualmente à edição manual de armaduras dos diferentes elementos, dimensões e características. Este programa é uma excelente ferramenta para o desenvolvimento deste tipo de trabalhos mais simples em ambiente empresarial, pela rentabilidade e eficácia que proporciona.



Figura 4.2 – CYPECAD (Fonte: CYPE)

4.1 DADOS GERAIS

Após a abertura do programa CYPECAD, aparece uma janela que apresenta duas opções, essas consistem em iniciar um novo projeto ou continuar algum projeto já iniciado, neste caso, a opção a ser escolhida foi iniciar um novo projeto.

Depois de iniciar o novo projeto e nomeá-lo, aparece uma página para ser preenchida com os dados da obra. Estes dados são divididos em cinco partes:

1. Normas;
2. Betão armado;
3. Ações;
4. Perfis;
5. Coeficientes de encurvadura e ambiente;

A figura 4.3 apresenta as cinco partes ainda por preencher do caso de estudo apresentado no capítulo 3.

The image shows a screenshot of the 'Dados gerais' (General Data) window in the CYPECAD software. The window is divided into five main sections, each highlighted with a red box and a number:

- 1. Normas:** A dropdown menu showing 'Eurocódigo 2, Eurocódigos 3 e 4, Eurocódigo 5 e Eurocódigo 9'.
- 2. Betão armado:** A section for reinforced concrete properties. It includes dropdowns for 'Lajes' (C25/30), 'Fundação' (C25/30), 'Pilares' (C25/30), and 'Muros' (C25/30). It also has a field for 'Características do agregado' (Quartzito (15 mm)) and a section for 'Aço' (Steel) with dropdowns for 'Varões' (S-400) and 'Pernos' (A-4).
- 3. Ações:** A section for defining actions. It contains checkboxes for 'Com acção do vento', 'Com acção sísmica', and 'Verificar resistência ao fogo'. Below these are buttons for 'Estados limite (combinações)' and 'Acções adicionais (cargas especiais)'.
- 4. Perfis:** A section for defining profiles. It includes dropdowns for 'Laminados e compostos' (Fe360) and 'Enfomados' (Fe360). It also has sections for 'Madeira' (Wood) and 'Alumínio extrudido' (Extruded aluminum) with specific material codes.
- 5. Coeficientes de encurvadura e ambiente:** A section for defining coefficients and environment. It includes input fields for 'Pilares de betão e mistos' (fx: 1.000, fy: 1.000), 'Pilares de aço' (fx: 1.000, fy: 1.000), and 'Pilares de madeira' (fx: 1.000, fy: 1.000). It also has a section for 'Ambiente' (Environment) with a dropdown for 'Vigas' (X0 (Abertura máxima de fenda: 0.40 mm)).

Figura 4.3 – Dados Gerais (Fonte: CYPE)

Na parte 1 basta seleccionar as normas a usar, neste caso os Eurocódigos, normalmente estes já se encontram predefinidos, mas convém sempre fazer uma verificação dos mesmos.

Para a parte 2 é necessário selecionar o tipo de betão a ser usado, o próprio programa apresenta os diferentes tipos de elementos de uma estrutura onde é possível escolher diferentes tipos de betão para cada elemento. Neste caso, o tipo de betão a ser usado é o C30/37. Também nesta parte é necessário escolher o tipo de aço a ser usado, neste caso o S-400. É necessário salientar que junto à seleção do tipo de betão a ser usado na fundação, como se pode observar na figura 4.4, existe um ícone denominado por dados da fundação.

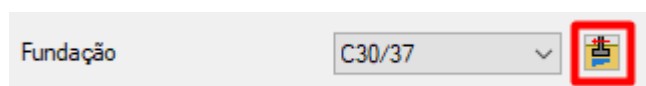


Figura 4.4 – Dados da Fundação (Fonte: CYPE)

Ao selecionar esse ícone é aberta uma nova janela. A figura 4.5 apresenta essa janela onde é necessário preencher algumas informações.

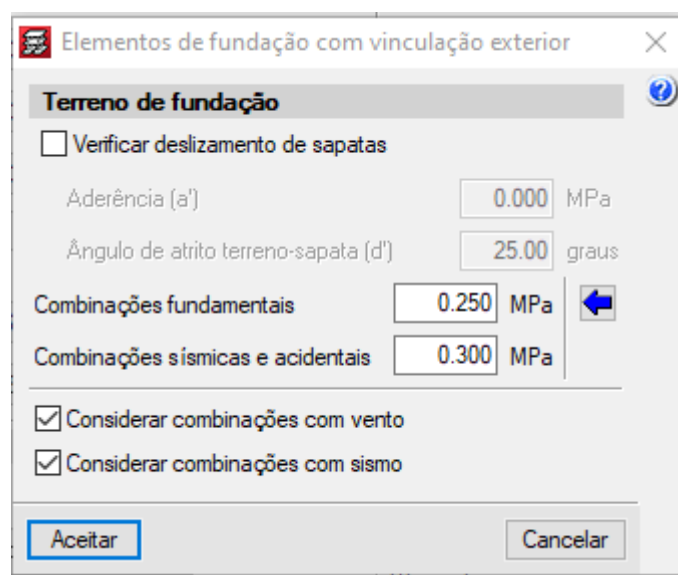


Figura 4.5 – Dados da Fundação (Fonte: CYPE)

Como não foi fornecida pelo Dono-de-Obra a solicitada caracterização do solo, a Blackcurrant contactou o empreiteiro da moradia adjacente para pelo menos obter informações expeditas ou aproximadas sobre a sua capacidade resistente. O solo será previsivelmente composto por areia muito compacta. Assim, foi decidido adotar uma resistência do terreno da ordem dos 250 kPa para combinações fundamentais e 300 kPa para combinações sísmicas e acidentais, no entanto estes valores poderão sofrer alterações com base em sondagens ao terreno a realizar no início da obra.

A parte 3 corresponde às ações presentes no edifício, isto é, cargas permanentes e sobrecargas, ações provocadas pelo vento e ainda a ação sísmica. Assim sendo, o primeiro ponto a definir são as cargas permanentes e a sobrecarga. O peso próprio dos elementos construtivos é adicionado automaticamente

pelelo programa, no entanto é necessário definir as restantes cargas permanentes (Rcp) e ainda a sobrecarga (Q). A tabela 4.1 apresenta um quadro por piso com os valores das Rcp e Q.

PISO	CATEGORIA DE UTILIZAÇÃO	Q (KN/M ²)	RCP (KN/M ²)
PISO COBERTURA	H	0,40	2,00
PISO 2	A	2,00	2,00
PISO 1	A	2,00	2,00
FUNDAÇÃO	A	0,00	0,00

Tabela 4.1 – Restantes Cargas e Sobrecarga (Fonte: CYPE)

A categoria de utilização é referenciada na NP EN 1991-1-1:2009[13] (EC1-1-1:2009) no quadro 6.1 denominado por categorias de utilização. Parte desse quadro será apresentado na figura 4.6.

Categoria	Utilização específica	Exemplos
A	Actividades domésticas e residenciais	Salas em edifícios de habitação; quartos e enfermarias de hospitais; quartos de hotéis, cozinhas e lavabos.

Figura 4.6 – Categoria de utilização (Fonte: EC1-1-1, Adaptado)

De acordo com o EC1-1-1:2009, o quadro NA-6.2 corresponde à sobrecarga em pavimentos, sobrecargas e edifícios, para a categoria A a sobrecarga presente é de 2 kN/m². [13]

Quanto à ação do vento, o processo é idêntico, isto é, ao selecionar a opção da utilização do vento aparece uma janela onde é necessário preencher mais alguma informação. Essa informação já preenchida para o caso de estudo está presente na figura 4.7.

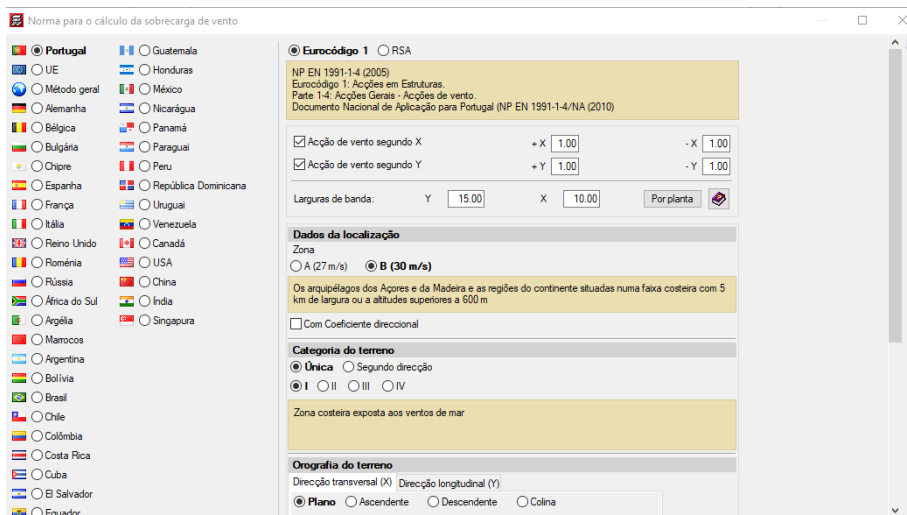


Figura 4.7 – Ação do Vento (Fonte: CYPE)

Inicialmente é necessário selecionar o país onde o projeto irá ser desenvolvido, o que neste caso é Portugal, e assim será usada a normalização do país em questão. De seguida é necessário selecionar a legislação a ser usada, neste caso é escolhida a opção do Eurocódigo 1. É necessário definir as direções de atuação do vento, neste caso serão selecionadas as duas direções. Para a localização existem duas opções a zona A e a zona B, o que de acordo com a NP EN 1991-1-4:2010[14] (EC1-1-4:2010), zona A é a generalidade do território excluindo a zona B, e a zona B é considerada pelos arquipélagos e as regiões do continente numa faixa costeira com 5 km de largura ou altitudes superiores a 600 m. [14]

No caso de estudo a moradia é em Lavra, concelho de Matosinhos, logo é selecionada a zona B. A categoria do terreno, também apresentada no EC1-1-4:2010 no quadro NA-4.1 denominado por categorias de terreno e respetivos parâmetros, é a categoria I, pois esta corresponde à zona costeira exposta aos ventos de mar. A orografia do terreno foi considerada plana.

Por fim, na terceira parte, falta selecionar a ação sísmica, e o processo torna-se idêntico ao do vento. A figura 4.8 apresenta a janela já preenchida para a ação sísmica.

The screenshot shows a software window titled "Norma para o cálculo da ação sísmica". The interface is divided into several sections:

- Country Selection:** A list of countries with radio buttons. "Portugal" is selected.
- Standard Selection:** "NP EN 1998-1 (2010)" is selected over "RSA. (Dinâmica)".
- Calculation Parameters:**
 - Fracção de sobrecarga: 0.50
 - Fracção de sobrecarga de neve: 0.00
- Structural System:** "Sistema estrutural" is set to "Irregular".
- Seismic Zoning:** "Portugal Continental" is selected. "Zona sísmica tipo 1" is set to 1.6 and "Zona sísmica tipo 2" is set to 2.5.
- Soil Type:** "Tipo de solo" is set to "B".
- Importance of the Work:** "Importância da obra" is set to "II".
- Vibration Modes:** "Número de modos de vibração que intervêm na análise" is set to "Automático, até atingir uma percentagem exigida de massa deslocada" (90%).
- Vertical Seismic Effects:** "Efeitos da componente sísmica vertical" is set to "Não considerar".

Figura 4.8 – Ação Sísmica (Fonte: CYPE)

Primeiramente é necessário selecionar o país em que o projeto será realizado e a respetiva legislação, sendo esta a NP EN 1998-1:2010 (EC8-1:2010).[15] Em segundo lugar colocar a ação sísmica segundo as duas direções, neste caso a geometria do edifício é irregular e em betão, e optou-se por um coeficiente de comportamento sísmico de valor 3,90 em ambas as direções.

Quanto ao zonamento sísmico basta carregar na seta azul presente na figura 4.8 e selecionar o distrito do Porto e o município de Matosinhos, que automaticamente o programa irá selecionar as zonas sísmicas do tipo 1 e 2 correspondentes, no entanto devem ser revistos os valores dados. Quanto ao tipo de solo, como

mencionado anteriormente, não existe grande informação, no entanto foi selecionado um tipo de solo B, que de acordo com a figura 4.9 retirada do EC8-1:2010).[15]

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

Figura 4.9 – Tipos de solo (Fonte: EC8-1:2010)

A classe de importância do edifício será a classe II, pois a figura 4.10 que reproduz a informação presente no EC8-1:2010, que menciona que a classe de importância II é para edifícios correntes, como o caso de estudo.[15]

Classe de importância	Edifícios
I	Edifícios de importância menor para a segurança pública, como por exemplo edifícios agrícolas, etc.
II	Edifícios correntes, não pertencentes às outras categorias.
III	Edifícios cuja resistência sísmica é importante tendo em vista as consequências associadas ao colapso, como por exemplo escolas, salas de reunião, instituições culturais, etc.
IV	Edifícios cuja integridade em caso de sismo é de importância vital para a protecção civil, como por exemplo hospitais, quartéis de bombeiros, centrais eléctricas, etc.

Figura 4.10 – Classe de Importância (Fonte:EC8-1:2010)

Em relação ao número de modos de vibração foi escolhido o modo automático com a percentagem de 90% de massa deslocada. Também é possível adicionar a componente sísmica vertical. Por fim obtiveram-se os espectros de resposta elástica para os dois tipos de ação sísmica presentes na figura 4.11, no entanto foi usado uma folha de cálculo, com o intuito de verificar os espectros. Essa folha é apresentada no Anexo II.

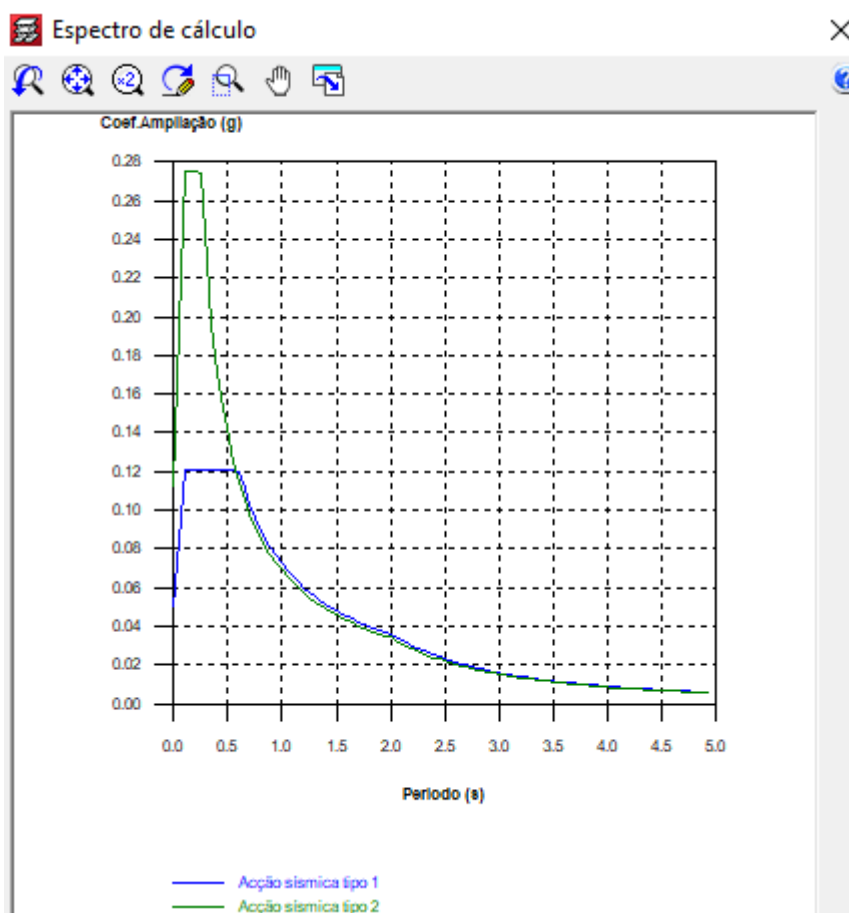


Figura 4.11 – Espectros de Cálculo (Fonte: CYPE)

Quanto à parte 4 não é necessário fazer alterações, pois não irão ser usados perfis metálicos ou elementos de madeira.

Já na parte 5 é necessário realizar uma alteração, essa consiste na alteração do ambiente, pois como este caso de estudo se situa perto do mar sem contacto direto com a água, foi classificado como classe XS1 de acordo com a NP EN 1992-1-1:2010.[16]

4.2 MODELAÇÃO NUMÉRICA

Inicialmente para ser realizada a modelação do edifício no CYPECAD é necessário colocar as plantas dos diferentes pisos num mesmo ponto de referência nas coordenadas (0,0) no programa Autocad. De seguida basta importar as diversas plantas pelo CYPECAD e inserir como “máscara” nos diversos “grupos” (designação no programa para a referência de arquitetura e pisos), deste modo já estará tudo pronto para ser iniciada a modelação do edifício.

4.2.1 Colocação dos pilares

Para iniciar a colocação de pilares é necessário ter uma ideia da planta estrutural. Essa planta foi desenvolvida em Autocad e é apresentada na figura 4.12.

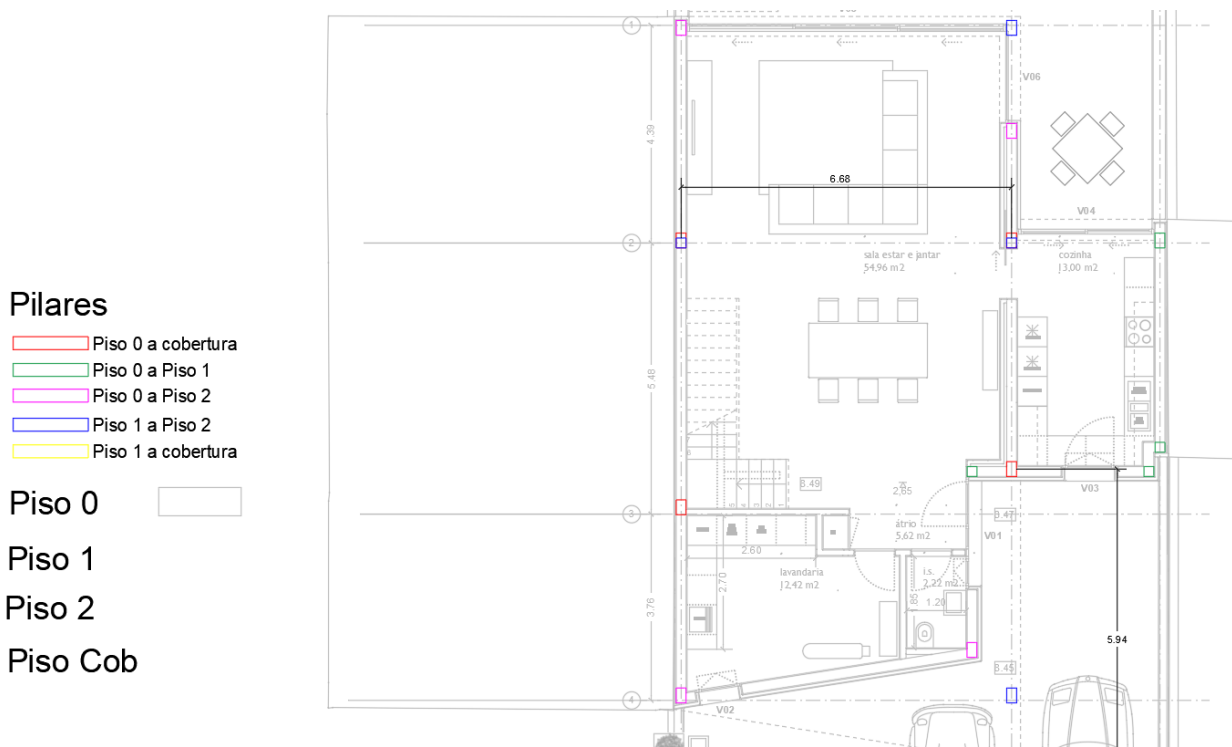


Figura 4.12 – Planta Estrutural

A planta estrutural foi desenvolvida com a Blackcurrant e é composta por um sistema de *layers*, isto é, cada grupo de pilares é representado por uma cor, como se pode observar na figura 4.12, os pilares que vão desde o piso 0 até a cobertura são representados pela cor vermelha. Todos os pisos são representados por uma *layer* independente que será ativada ou desativada consoante as necessidades.

Passando à colocação de pilares no CYPECAD, em primeiro lugar é necessário entrar no separador da entrada de pilares, como é apresentado na figura 4.13.

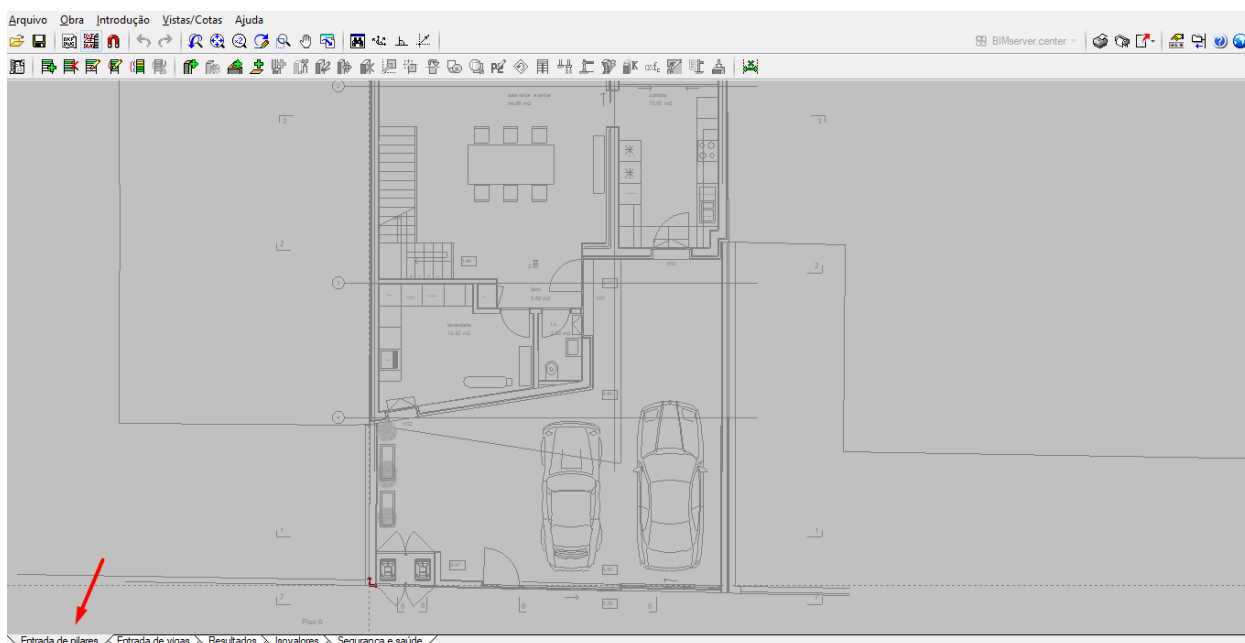


Figura 4.13 – Separador Entrada de Pilares (Fonte: CYPE, Adaptado)

Para ser colocado o primeiro pilar é necessário ir a Introdução e escolher Pilares, paredes e arranques, como mostra a figura 4.14. Após estes passos aparece a respetiva janela, que pode ser vista também na figura 4.14.

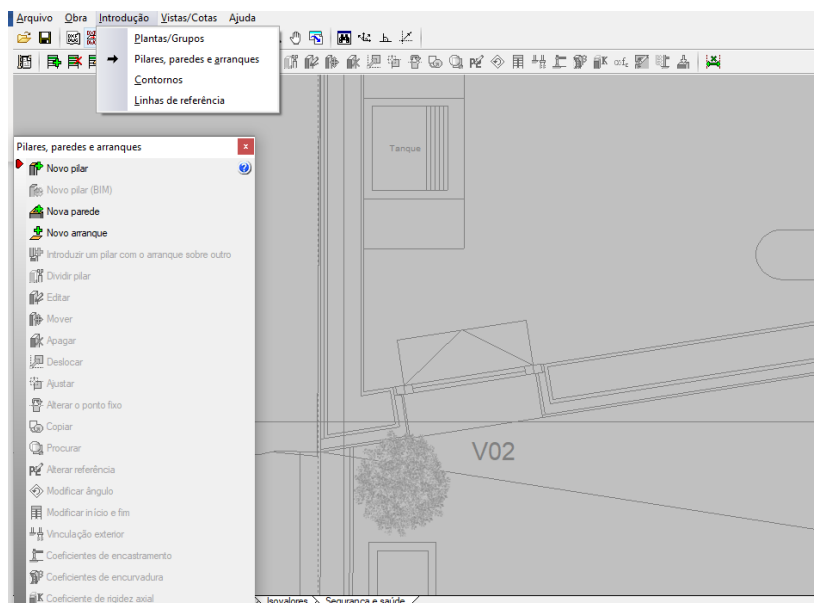


Figura 4.14 – Colocação de Pilares (Fonte: CYPE)

Ao seleccionar a opção de Novo pilar aparece uma nova janela, esta janela aparece na figura 4.15.

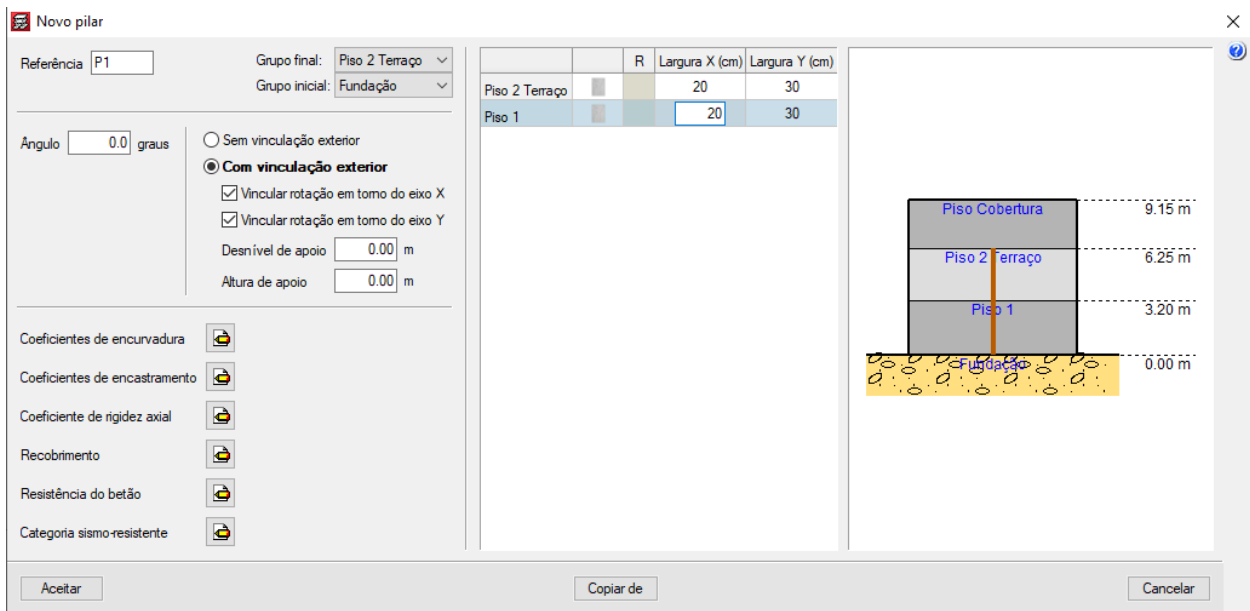


Figura 4.15 – Pilar P1 (Fonte: Cype)

É nesta janela que é possível nomear o pilar, que neste caso irá ser P1, também pode-se alterar as dimensões do pilar, nomeadamente o comprimento, a largura e a altura, e no caso o pilar irá da fundação até o piso 2, como mostra a planta estrutural na figura 4.12. Também se pode usar com ou sem vinculação ao exterior, e no caso será com vinculação ao exterior (terreno), pois terá ligação a uma fundação. Noutros casos, quando aparecerem pilares que vão do piso 1 ao piso 2, como o pilar P2 apresentado na figura 4.16, já será um pilar sem vinculação ao exterior (com apoios indiretos).

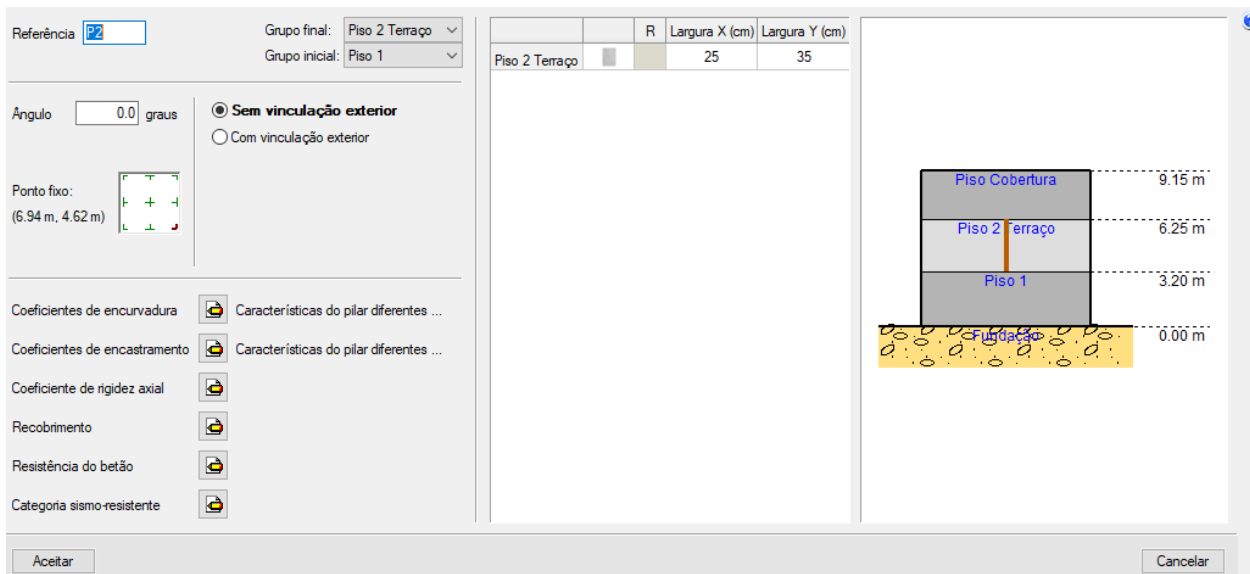


Figura 4.16 – Pilar P2 (Fonte: Cype)

Ao aceitar o pilar P1, este será colocado sobre a arquitetura na zona do seu ponto fixo, para já desajustadamente ao centro, como é apresentado na figura 4.17.

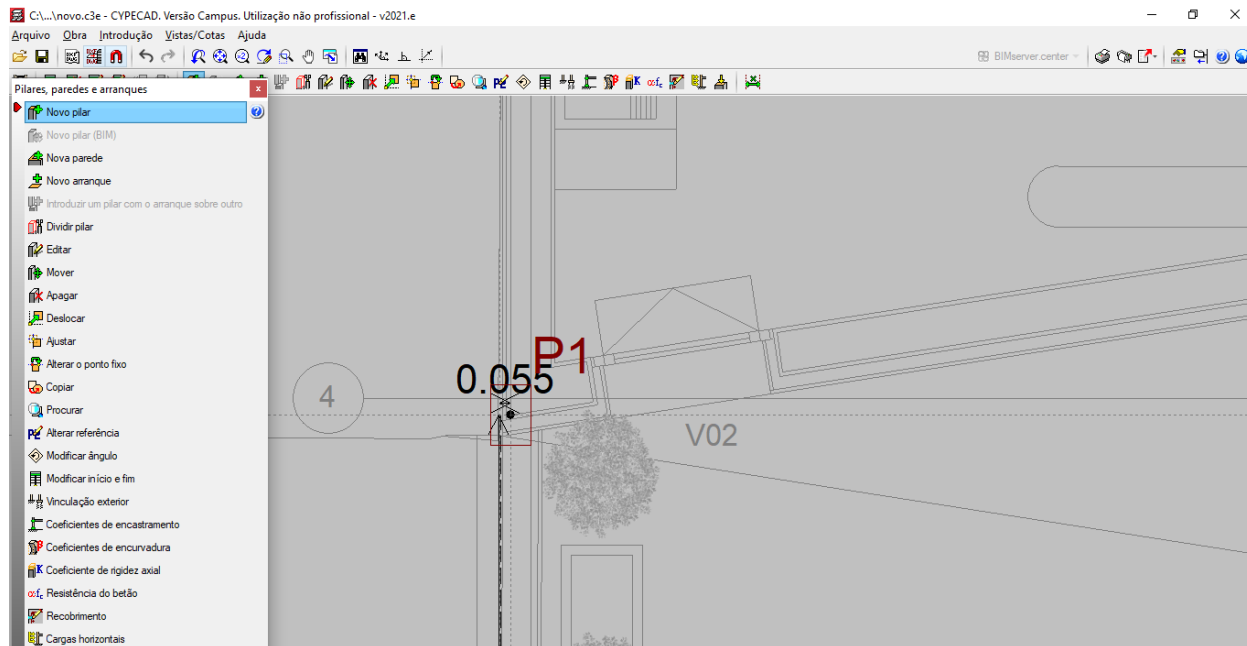


Figura 4.17 – Colocação do Pilar (Fonte: CYPE)

No entanto, o pilar P1 não se encontra dentro da parede, então é possível ajustar o pilar. Este ajustamento é realizado por quadrantes, ao seleccionar o quadrante correto, o pilar irá ficar no sítio esperado. A sua eventual alteração de secção após o dimensionamento far-se-á a partir do ponto fixo. A figura 4.18 mostra os quadrantes e a figura 4.19 apresenta o pilar na posição correta.

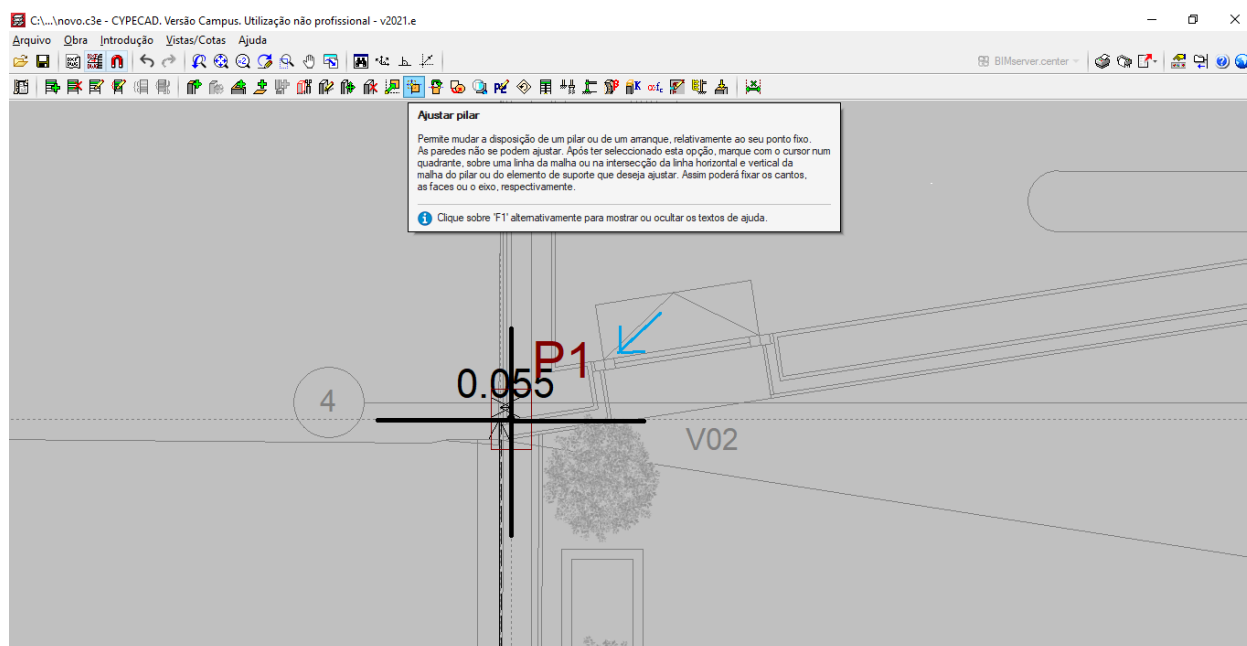


Figura 4.18 – Ajustar Pilar (Fonte: CYPE, Adaptado)

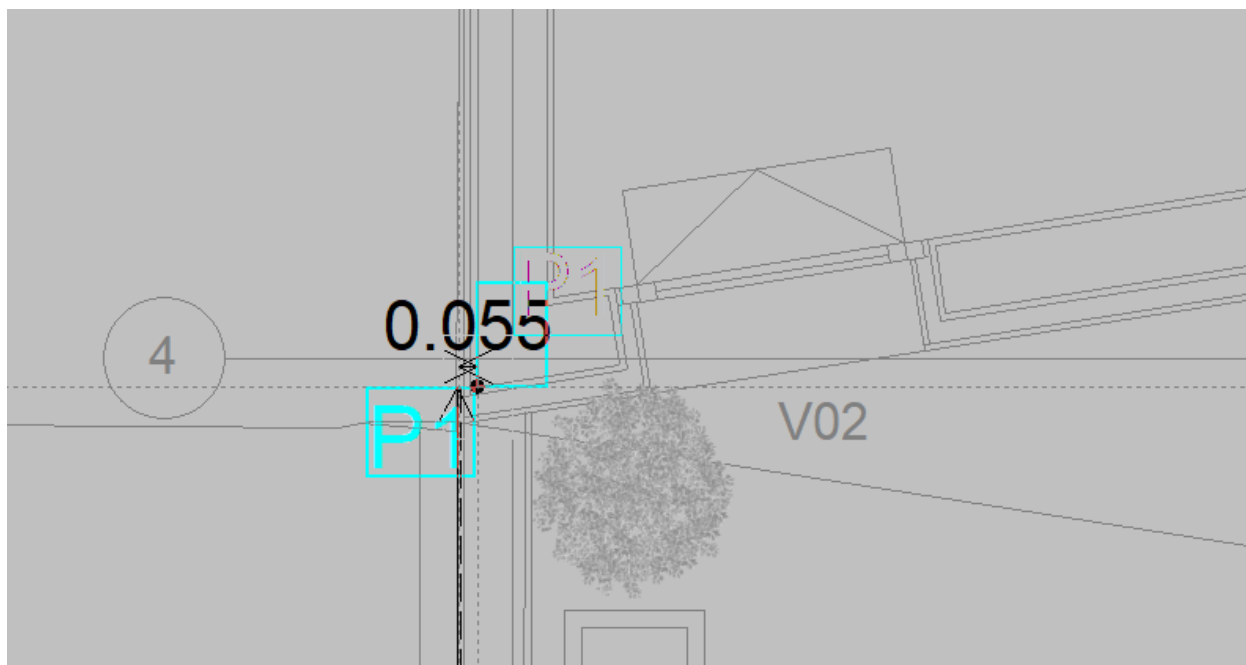


Figura 4.19 – Pilar ajustado a partir do ponto fixo (Fonte: CYPE)

O mesmo irá ser feito para os pilares restantes. Assim a figura 4.20 mostra a planta estrutural completa.

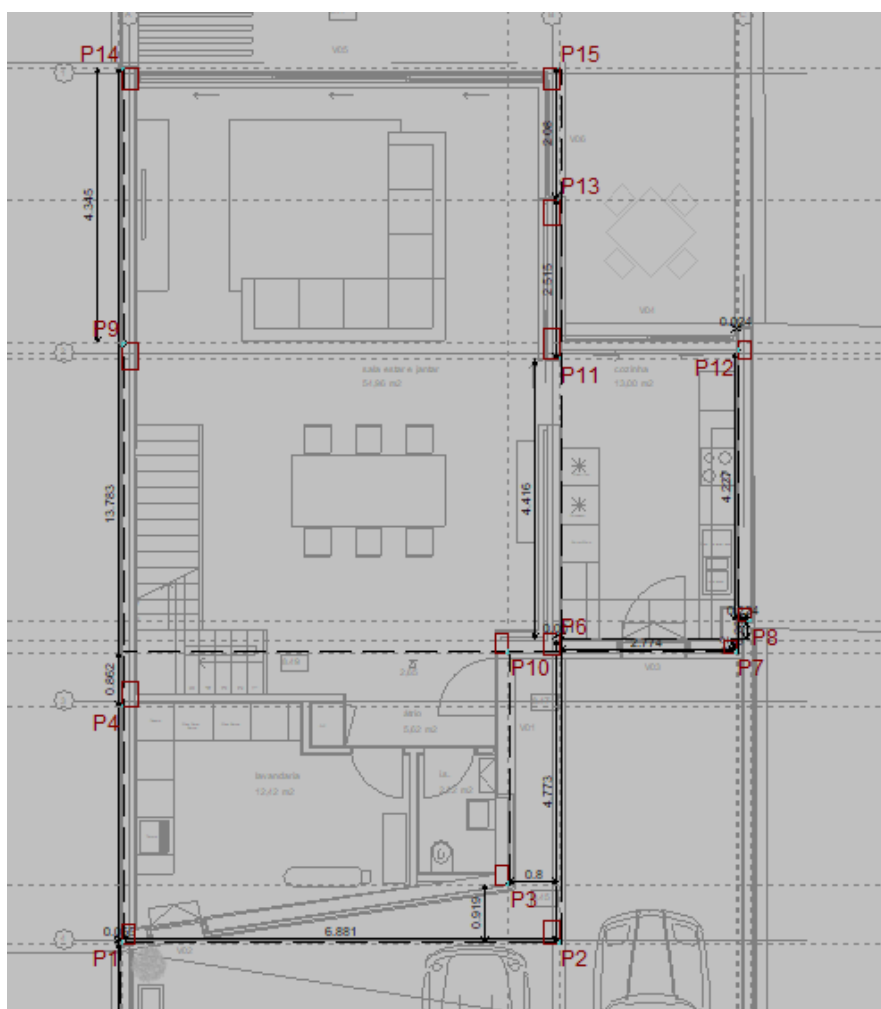


Figura 4.20 – Planta Estrutural (Fonte: CYPE)

4.2.2 Colocação de vigas

Para iniciar a colocação das vigas é necessário usar o separador denominado por Entrada de Vigas que se encontra realçado na figura 4.21. Este separador é comum aos restantes elementos, por exemplo, as lajes.

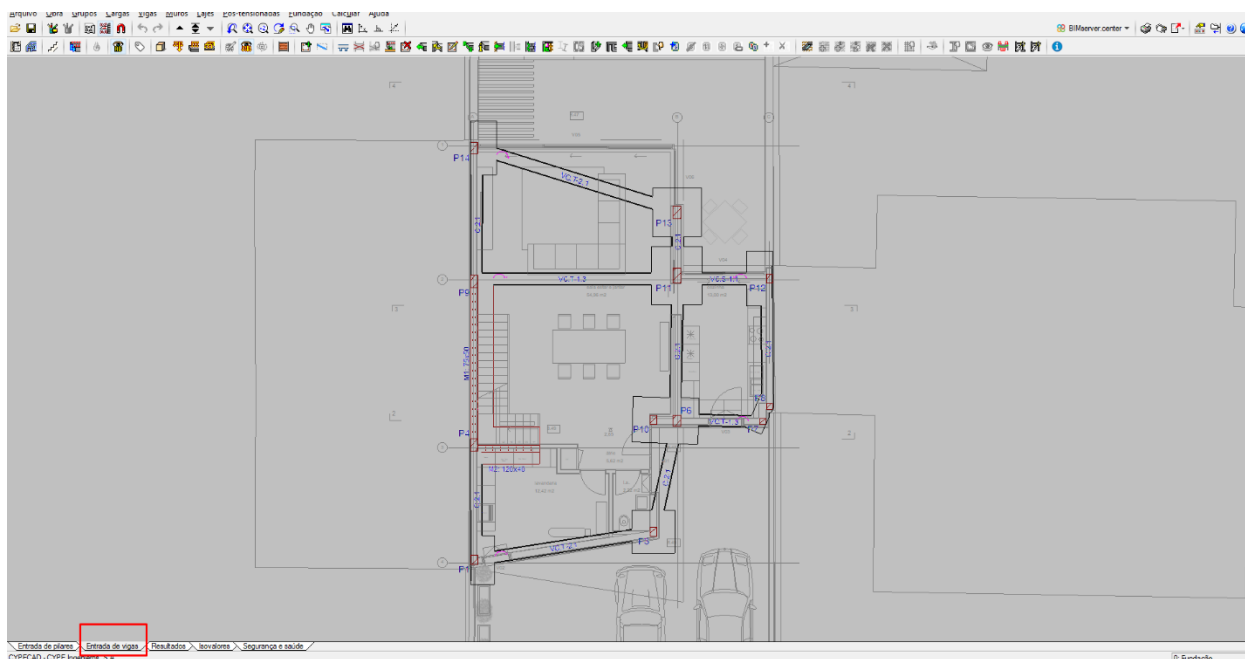


Figura 4.21 – Entrada de Vigas (Fonte: CYPE, Adaptado)

Ao abrir o separador de Entrada de vigas é possível observar na barra de ferramentas em cima os restantes elementos necessários ao projeto. Para dar início à introdução de uma viga deve-se ir a Vigas e Introdução de viga como se pode observar na figura 4.22.

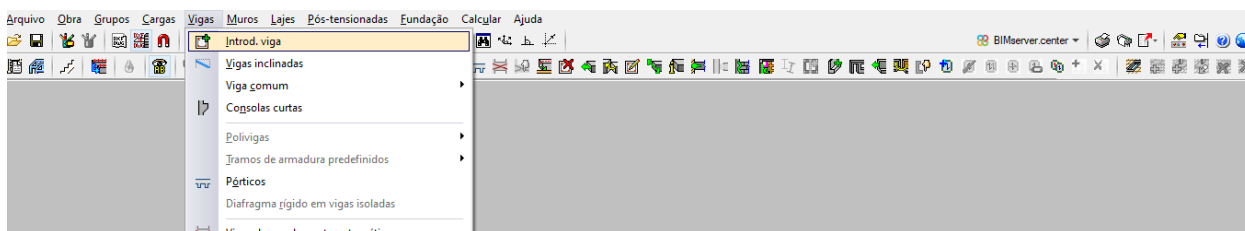


Figura 4.22 – Introdução de Viga (Fonte: CYPE)

Ao seleccionar a opção Introdução de Viga, o CYPECAD abre uma janela com vários tipos de viga, isto é, existem várias famílias de vigas, desde vigas rasas, altas, pré-esforçadas, lintéis não estruturais, vigas metálicas e até vigas em madeira. Neste caso de estudo serão usadas vigas altas. A figura 4.23 irá mostrar a variedade de famílias existente para vigas e os vários tipos de vigas altas.

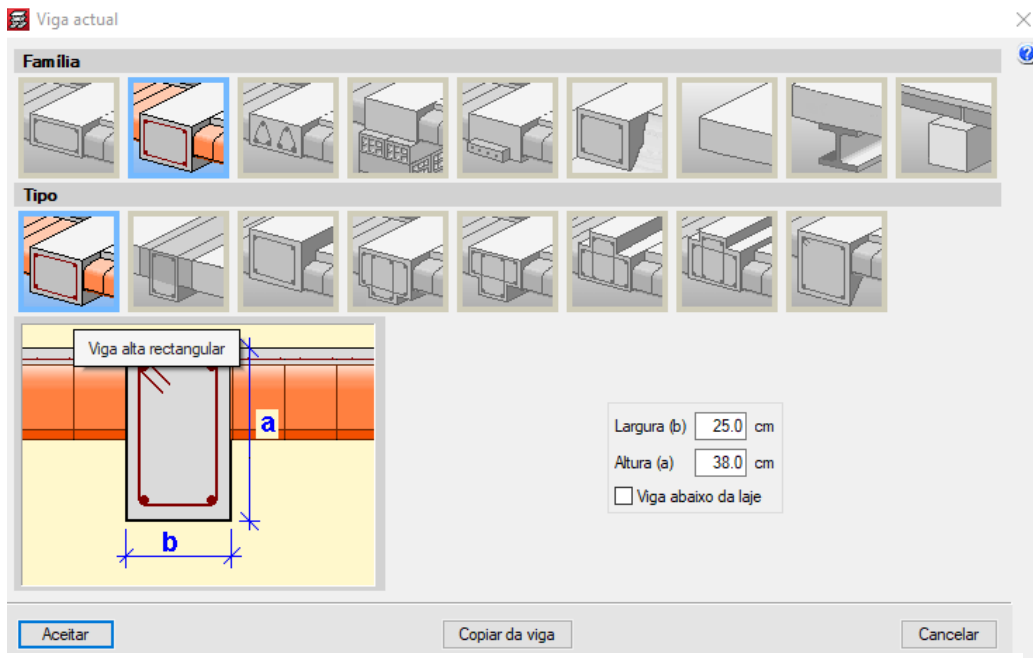


Figura 4.23 – Tipos de Viga (Fonte: CYPE)

Depois de ser seleccionada a família e o tipo da viga é necessário escolher a altura e a largura da viga. Normalmente é colocada a secção resultante do pré-dimensionamento. Quanto à largura foi decidido colocar as vigas com 25 cm de largura para todas as vigas, já a altura foi necessário fazer um cálculo inicial, este consistiu usar o maior vão presente no edifício que neste caso é 6,63 metros.

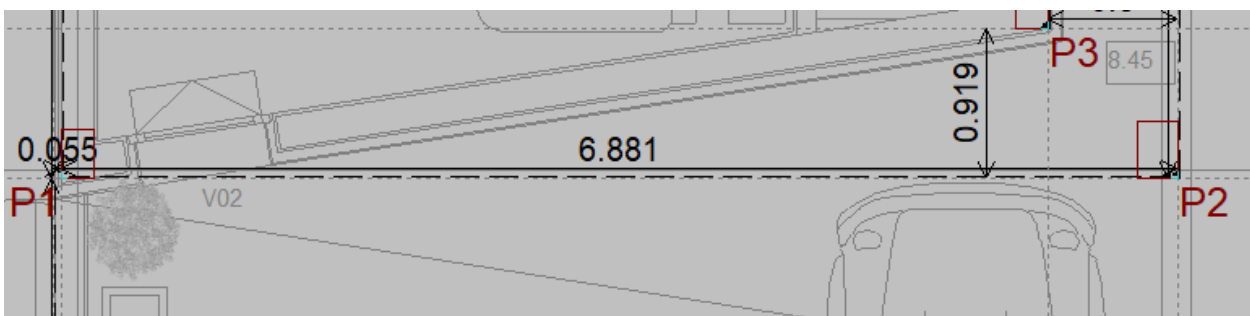


Figura 4.24 – Maior Vão (Fonte: CYPE)

O cálculo consistiu está presente na fórmula (4.1)

$$h = \frac{l}{15} , (VSA) \tag{4.1}$$

Sendo que:

- h – Altura;
- l – Maior vão.

Usando o valor de $l = 6,63 \text{ m}$, o valor de $h = 0,44 \text{ m}$. No entanto, segundo a arquitetura, a altura máxima nos cortes da arquitetura é de $0,43 \text{ m}$, como se pode observar na figura 4.25.

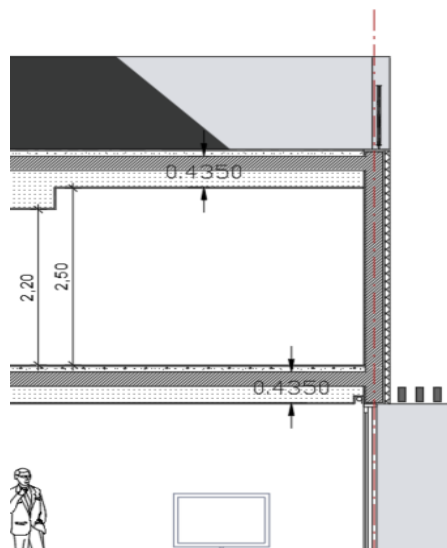


Figura 4.25 – Altura Máxima (Fonte: Arquitetura)

Assim, o valor a ser usado para a altura das principais vigas será os $0,43 \text{ metros}$, de modo a não condicionar a arquitetura, contudo, caso seja mesmo necessário, o arquiteto será contactado para eventuais ajustes. Nas zonas da cobertura as vigas acabaram por ter de ter uma altura de $0,48 \text{ m}$ devido à arquitetura. Também no piso 2, as vigas dos terraços foram reduzidas para $0,38 \text{ m}$, em consequência de um desnível na arquitetura presente na figura 3.8. Por fim, as vigas da cobertura da cozinha sofreram igualmente modificações de altura e algumas em largura, mais adaptadas ao seu carregamento. A altura, também condicionada pela arquitetura, corresponde a $0,33 \text{ m}$ e as larguras de $0,25$ e $0,20 \text{ m}$.

Com a altura e a largura escolhida, já é possível iniciar o processo de colocação de vigas, é um processo simples, pois basta seleccionar o pilar onde inicia-se a viga e o pilar onde acaba a viga. A figura 4.26 mostra a colocação da viga.

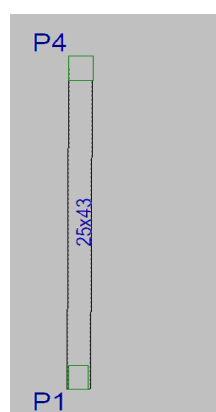


Figura 4.26 – Viga (Fonte: CYPE)

Após estes passos irá ser aberta uma nova janela, como mostra a figura 4.31. A janela apresenta vários tipos de lajes, como por exemplo, lajes fungiformes, lajes mistas, lajes de vigotas, lajes maciças e mais algumas opções presentes na figura 4.29.

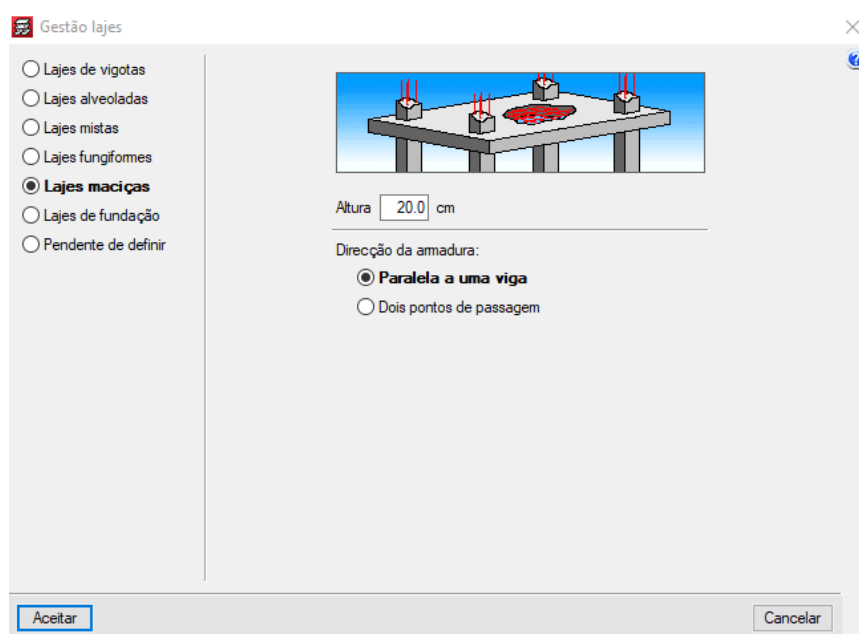


Figura 4.29 – Escolha do Tipo de Laje (Fonte: CYPE)

Depois de ser selecionado o tipo de laje é necessário colocar a altura da mesma, sendo esta de 0,20 m, como mostra a figura 4.31. Esta altura de laje deveu-se aos cortes presentes na arquitetura, mas ainda condicionada ao cálculo. Por fim é selecionada uma viga para que as armaduras lhe sejam paralelas e perpendiculares. Resumindo, selecionamos a zona em que irá ser colocada a laje e uma viga adjacente. As figuras 4.30 e 4.31 mostram as lajes colocadas nos pisos 1 e 2.

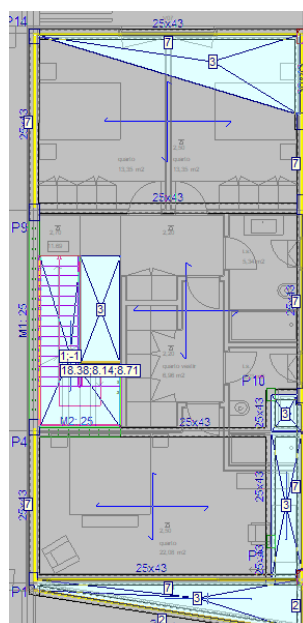


Figura 4.30 – Lajes Maciças do Piso 1 (Fonte: CYPE)

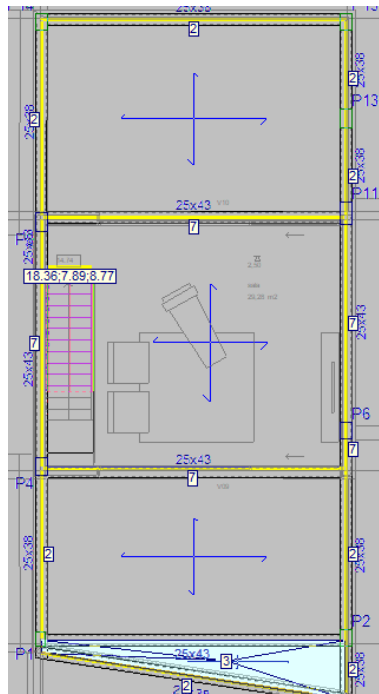


Figura 4.31 – Lajes Maciças do Piso 2 (Fonte: CYPE)

No entanto, nas zonas de vão de escadas existem aberturas, e para serem realizadas as aberturas é necessário por vezes colocar um limite de largura zero. Para isso, no menu de vigas (Figura 4.22), devemos seleccionar a família de Lintel não estrutural (ou limite) e, por exemplo, o tipo Lintel não estrutural ou limite de largura zero, isto é observado na figura 4.32.

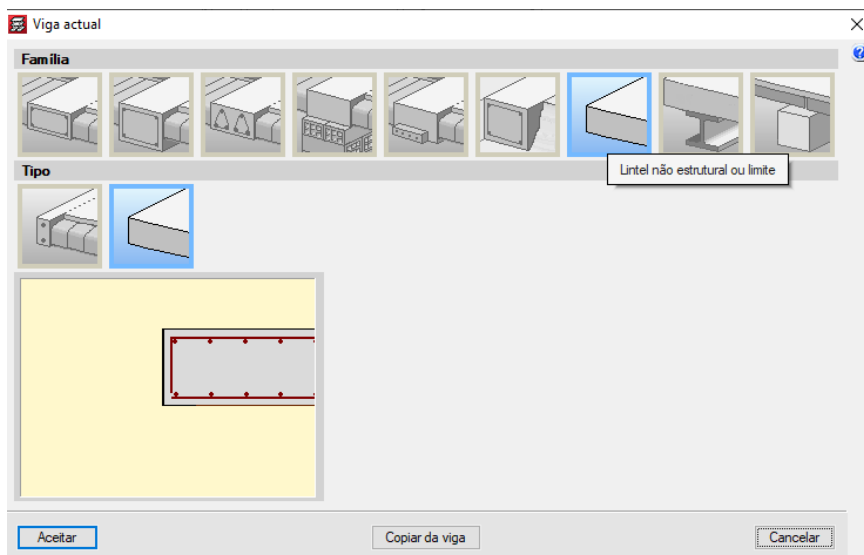


Figura 4.32 – Limite de Largura Zero (Fonte: CYPE)

Após este passo deve-se desenhar esse limite na zona de vãos sem laje, e assim definir uma abertura, como mostra a figura 4.33.

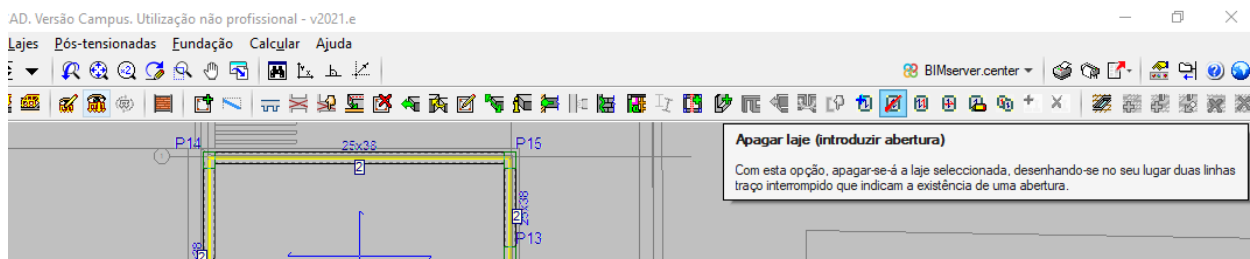


Figura 4.33 – Introdução de Abertura (Fonte: CYPE)

Para as lajes aligeiradas foi usado o programa de cálculo do fabricante (FAPREL). O uso do programa será apresentado na secção 4.3. Neste momento será apresentado a colocação das lajes de vigota. O processo acaba por ser idêntico, mas será selecionada a opção de lajes de vigotas, onde será necessário criar uma nova laje de vigotas, como indicado na figura 4.34.

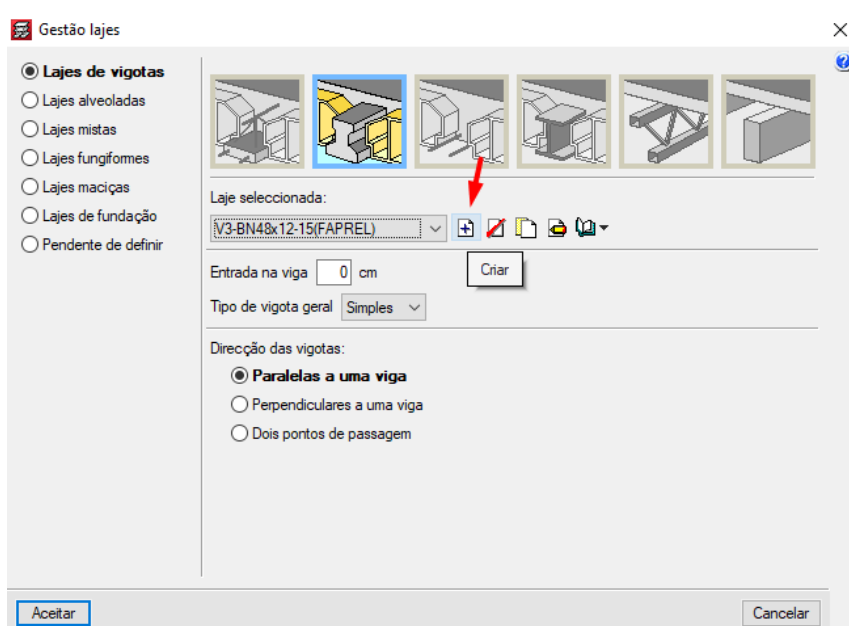


Figura 4.34 – Laje de Vigotas (Fonte: CYPE)

O processo de criação de uma laje de vigotas baseia-se nas dimensões da laje, estas dimensões são apresentadas no programa da FAPREL. Assim, as figuras 4.35 e 4.36 apresentam as duas lajes aligeiradas das coberturas, sendo que a da figura 4.35 corresponde à cobertura da cozinha e a da figura 4.36 representa a cobertura do último piso.

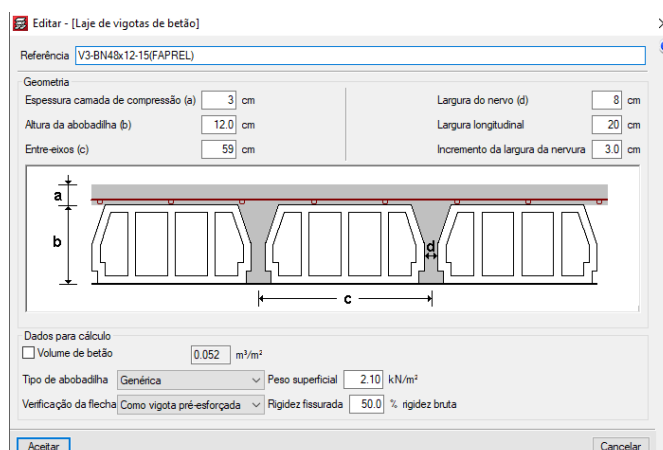


Figura 4.35 – Laje de Vigotas da Cobertura da Cozinha (Fonte: CYPE)

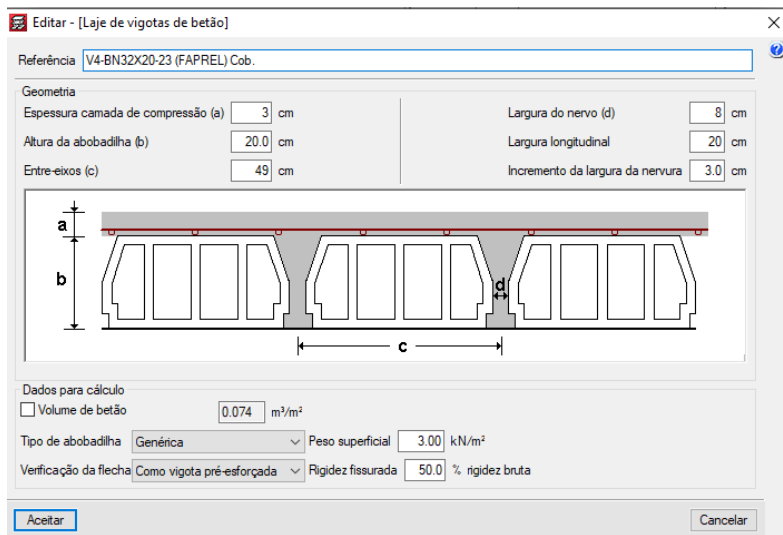


Figura 4.36 – Laje de Vigotas da Cobertura do Último Piso (Fonte: CYPE)

Finalmente só falta a colocação da laje, sendo este um processo idêntico ao das lajes maciças. Contudo, na figura 4.34 a direção das vigotas está paralela a uma viga. Assim, ao colocar a laje deve-se selecionar a viga adjacente, no nosso caso e normalmente, a de menor vão. Contudo, é necessário ter em atenção outro aspeto, sendo esse relacionado com o coeficiente de encastramento. Este coeficiente de encastramento vem como defeito o valor de 1,0, mas as vigotas encontram-se simplesmente apoiadas, logo o valor tem de ser alterado para 0,0.

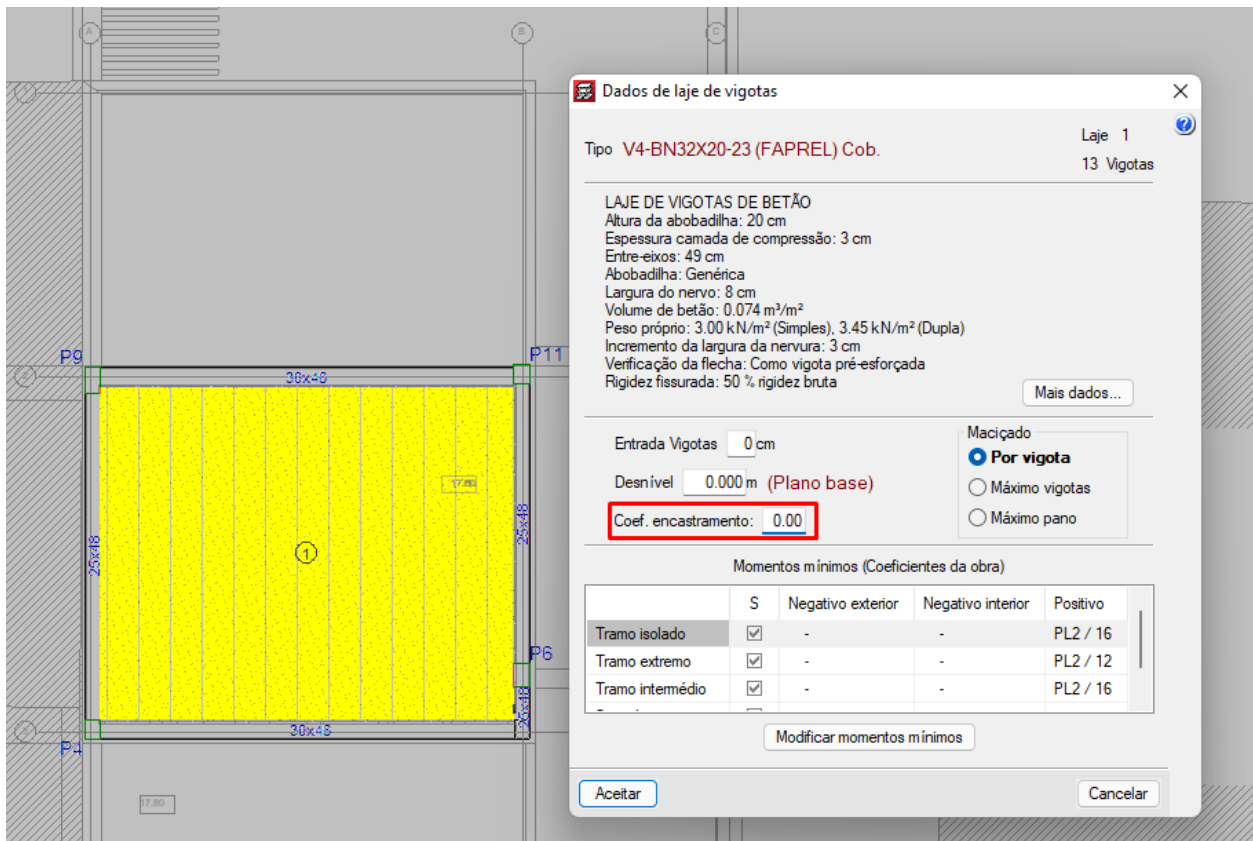


Figura 4.37 – Alteração do Coeficiente de Encastramento (Fonte: CYPE)

4.2.4 Muro

Como mencionado no capítulo 3, as escadas do piso 0 ao piso 1 serão suspensas, para isso foi idealizado realizar um muro em betão armado. Este muro terá como objetivo sustentar as escadas ao longo da ligação dos dois pisos, de forma que estas sejam encastradas no muro. Para isso será necessário introduzir um muro em formato de L. A introdução de um muro é idêntica aos processos anteriores, sendo que a figura 4.38 apresenta esse processo.

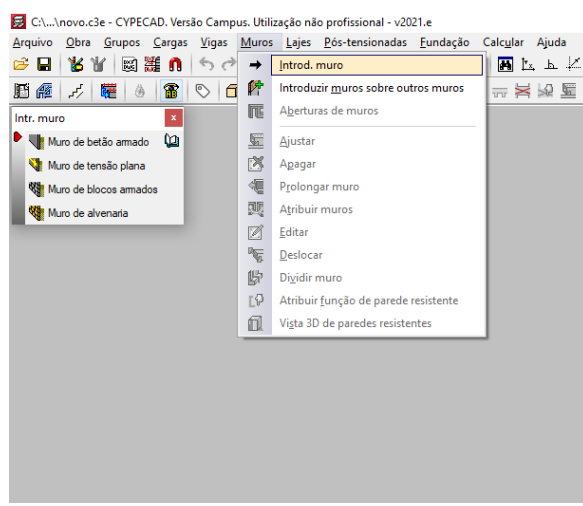


Figura 4.38 – Introdução de Muro (Fonte: CYPE)

Ao seleccionar a opção muro de betão armado é aberta uma janela. O muro terá como espessura 0,25 m. No entanto, o CYPECAD não consegue reproduzir um muro em L, pelo que será necessária a realização de dois muros. A figura 4.39 apresenta as janelas já preenchidas para os dois muros.

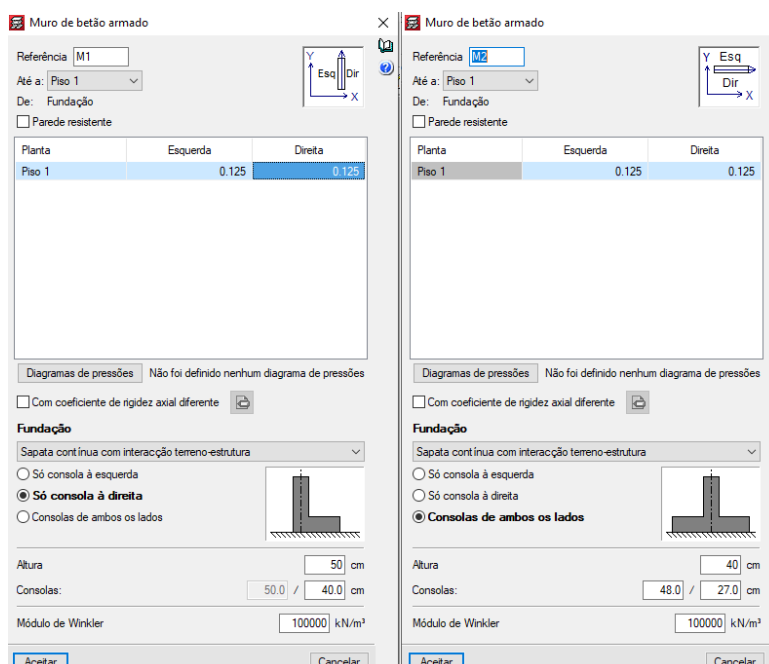


Figura 4.39 – Colocação dos Muros (Fonte: CYPE)

Por fim basta aceitar os dois muros. A figura 4.40 apresenta os muros já colocados. É necessário salientar que os pilares embebidos no muro devem-se encontrar sem vinculação ao exterior, já que a sua fundação será a do muro.

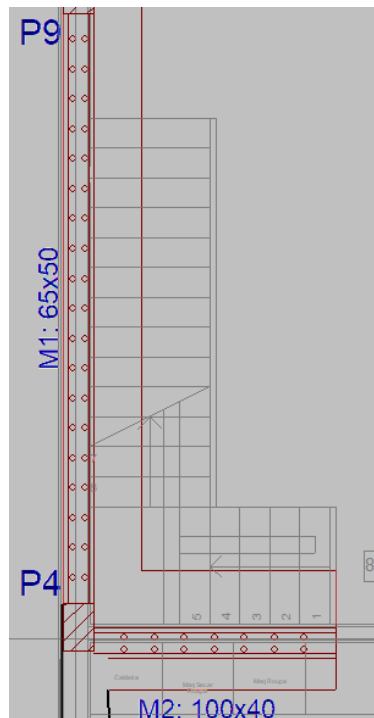


Figura 4.40 – Muro já colocado (Fonte: CYPE)

4.2.5 Escada

Conforme já mencionado no capítulo 3, as escadas que ligam o piso 1 ao piso 2 serão em betão armado. Na sua modelação é necessário seleccionar o símbolo das escadas e seleccionar um novo núcleo de escadas, como apresenta a figura 4.41.

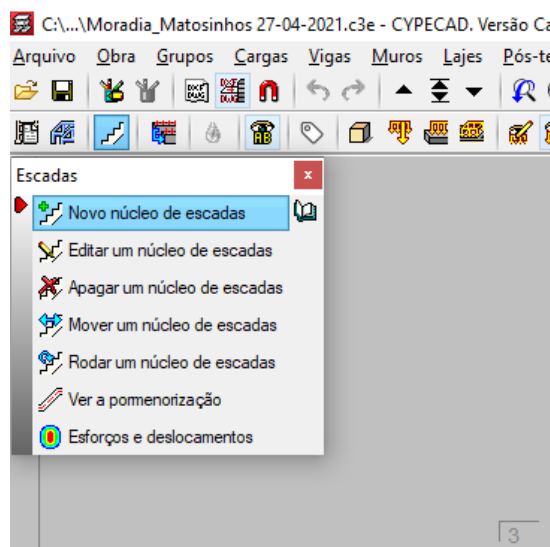


Figura 4.41 – Introdução de Escadas (Fonte: CYPE)

Ao ser selecionada a opção de novo núcleo de escadas, o programa abre uma janela que inclui dois separadores, sendo estes os dados do núcleo de escadas e os tramos. Primeiramente, seleciona-se os dados do núcleo de escadas que se preenche com os dados necessários. Estes dados integram as dimensões do degrau, a rotação existente, sendo esta à direita, se o último degrau presente faz parte da laje de piso ou não e ainda as cargas existentes. A figura 4.42 mostra os dados já preenchidos.

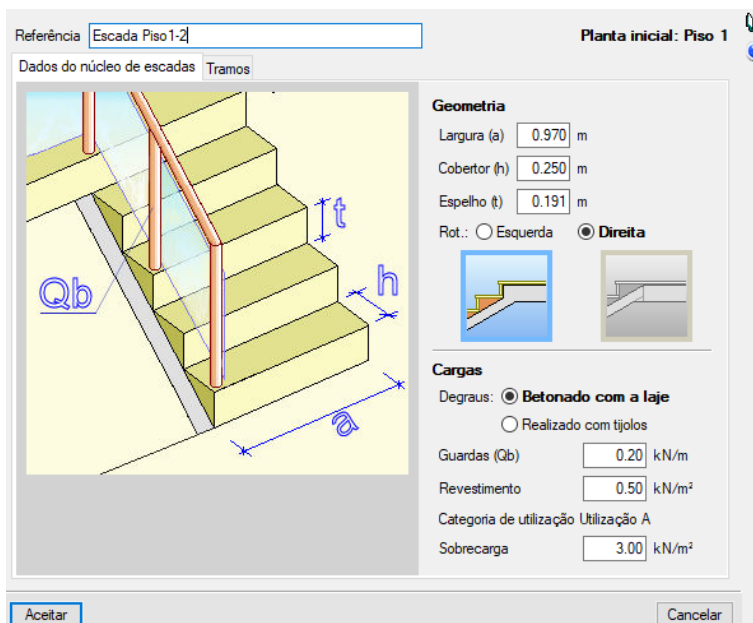


Figura 4.42 – Dados do Núcleo de escadas (Fonte: CYPE)

Quanto ao separador denominado tramos, é necessário selecionar a tipologia de escadas presente o que neste caso será a opção realçada na figura 4.43. Esta opção terá de ser editada para o caso de estudo apresentado.

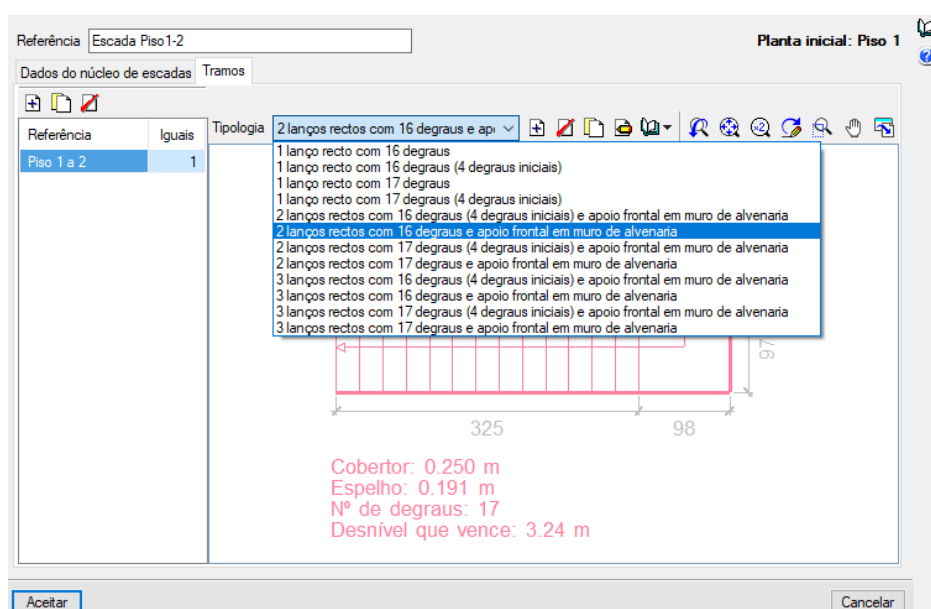


Figura 4.43 – Tipologia de escadas (Fonte: CYPE)

Ao ser selecionar a opção de edição da tipologia de escadas é aberta uma nova janela, sendo esta apresentada na figura 4.44. Esta edição consiste na alteração dos lanços, neste caso são lanços retos. Também pode ser alterada a quantidade de lanços precisos, o que neste caso são dois, sendo estes editados ao nível do número de degraus. As larguras da abertura das escadas e do patamar têm de ser alteradas. Por fim, o patamar pode ser apoiado ou livre, e neste último caso o patamar não estará apoiado. Por último, com todas as opções revistas, deve-se aceitar e colocar as escadas na respetiva localização.

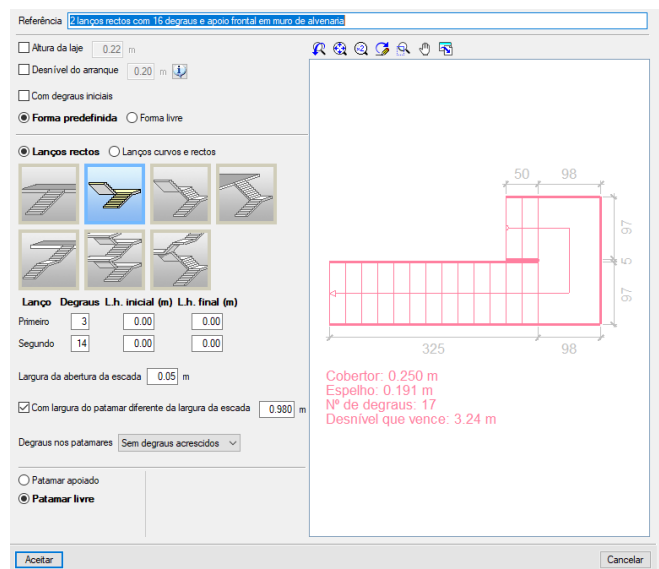


Figura 4.44 – Tramos das escadas (Fonte: CYPE)

4.2.6 Fundações

As fundações são o último aspeto a ter em conta em relação à geometria. Para colocar uma sapata num único pilar é necessário ir a Fundação, elementos de fundação e de seguida iniciar uma nova fundação, como apresenta a figura 4.45.

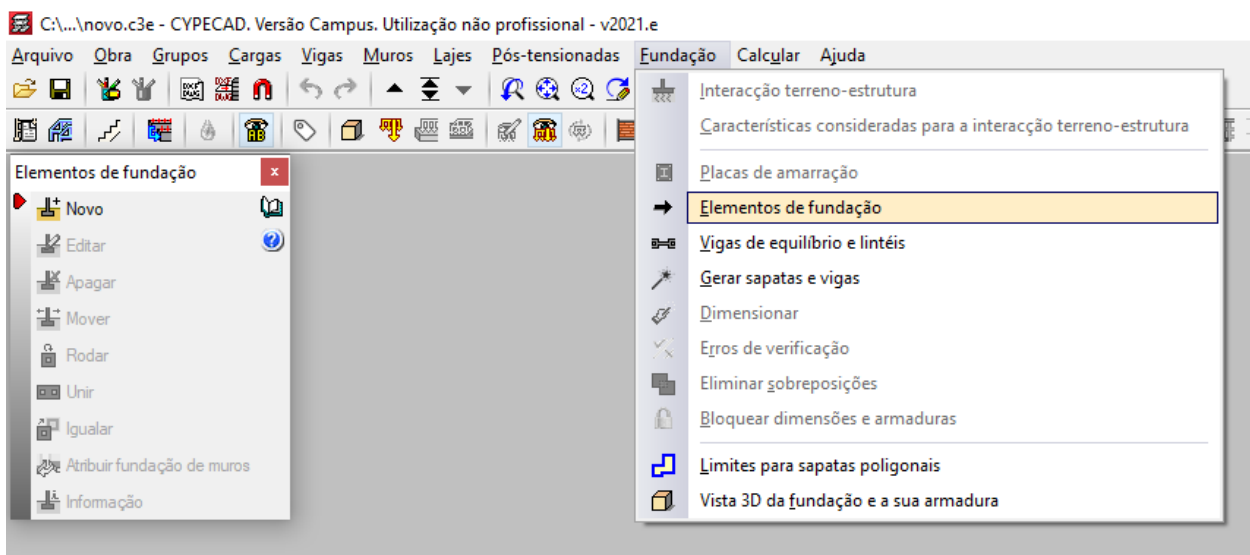


Figura 4.45 – Iniciar a Colocação de Sapata (Fonte: CYPE)

De seguida aparece uma nova janela para a definição de uma fundação, como mostra a figura 4.46. Nessa nova janela pode-se escolher entre uma fundação de um só pilar ou de múltiplos pilares. Neste caso de estudo irão aparecer os dois tipos de elementos, mas só vai ser apresentado a colocação de uma sapata de betão armado para o pilar P1.

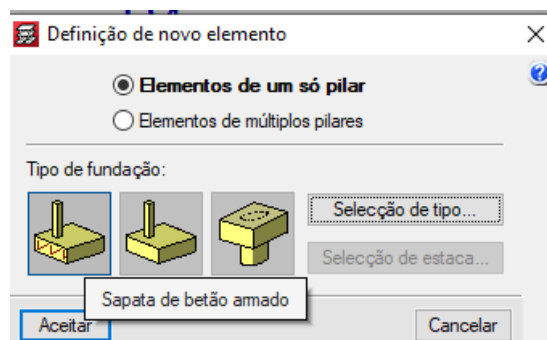


Figura 4.46 – Definição de uma Sapata (Fonte: CYPE)

Por fim é necessário selecionar o pilar P1 e ter o cuidado de colocar a sapata excêntrica, de modo a não ocupar o terreno vizinho. A figura 4.47 apresenta a sapata do pilar P1.

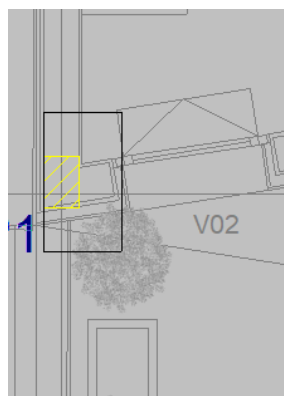


Figura 4.47 – Sapata do Pilar P1 (Fonte: CYPE)

Contudo, é ainda necessário colocar vigas de equilíbrio ou lintéis a unir as diferentes sapatas. Para isso, deve-se ir a fundação, vigas de equilíbrio e lintéis, de seguida seleciona-se a opção de introdução de uma viga, como mostra a figura 4.48.

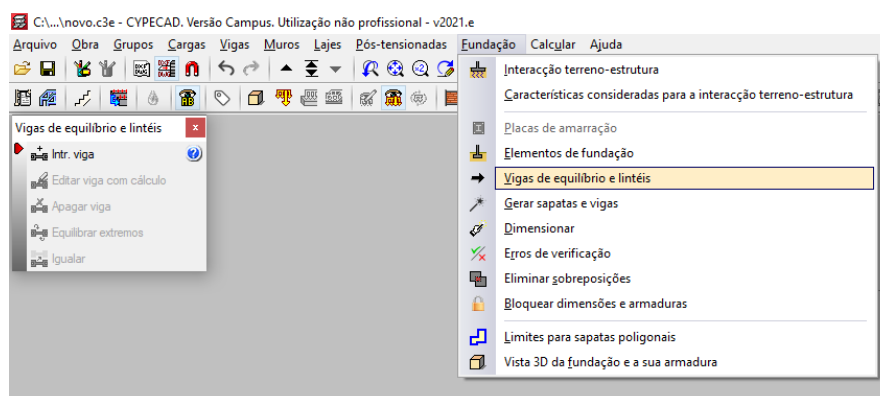


Figura 4.48 – Introdução de uma viga de equilíbrio e lintéis (Fonte: CYPE)

De seguida aparece uma nova janela onde se seleccionou, neste caso, a opção de viga de equilíbrio automático, como mostra a figura 4.49. Por fim aceita-se e ligam-se as fundações. Caso haja equilíbrio a fazer, em vez de um lintel surgirá uma viga de equilíbrio.

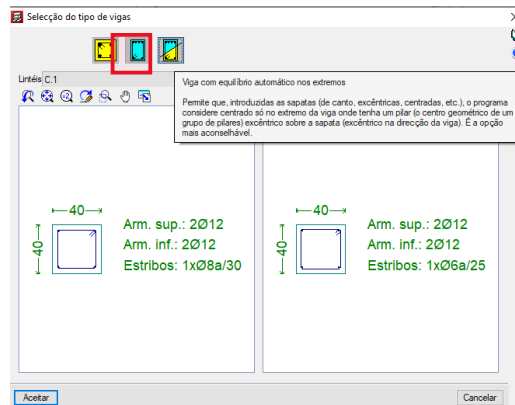


Figura 4.49 – Viga de Equilíbrio Automático (Fonte: CYPE)

Finalmente, a figura 4.50 apresenta a planta da fundação com todas as sapatas colocadas e vigas de equilíbrio e lintéis.

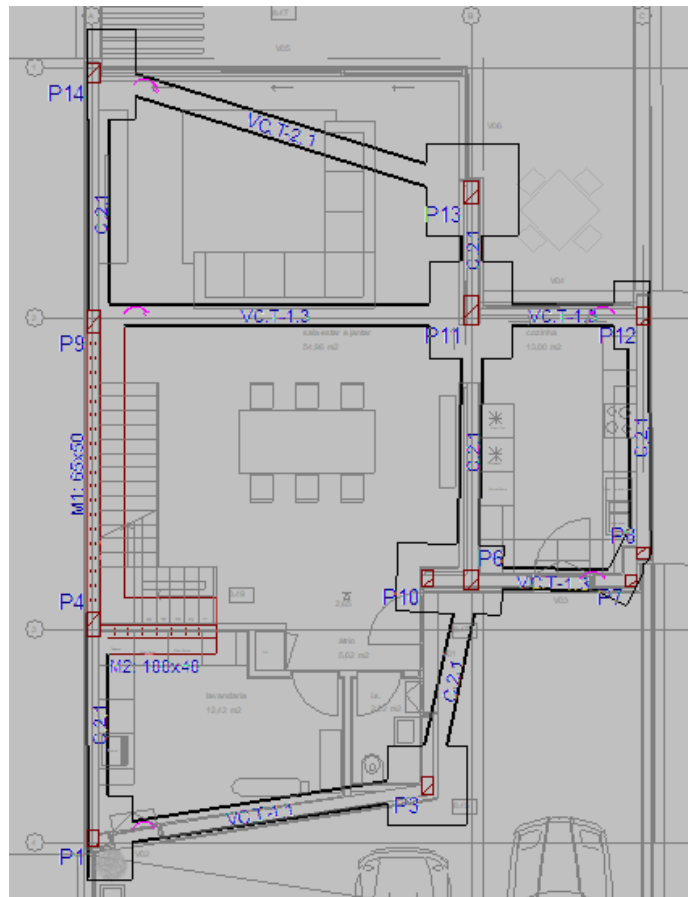


Figura 4.50 – Planta da Fundação (Fonte: CYPE)

4.2.7 Visualização 3D

O CYPECAD apresenta uma opção que possibilita ver a estrutura do edifício em três dimensões, como se pode observar na figura 4.51.

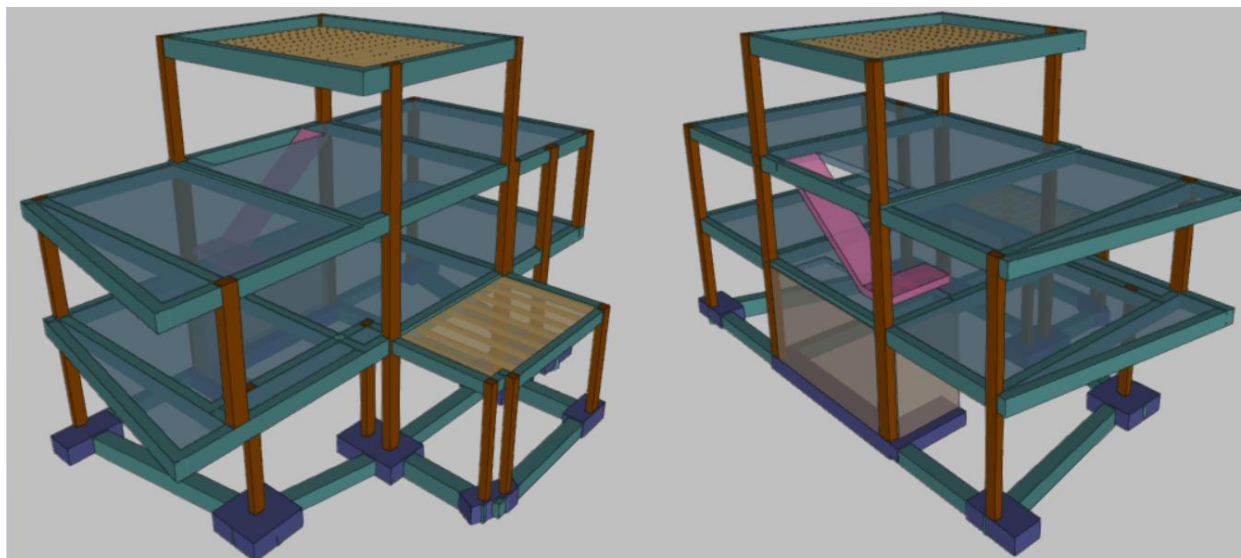


Figura 4.51 – Estrutura em 3D (Fonte: CYPE)

4.3 CARGAS ADICIONAIS

Após a modelação da geometria da estrutura é necessário adicionar algumas cargas, isto é, no subcapítulo 4.1, mais precisamente na tabela 4.1, é apresentado que todos os pisos apresentam uma sobrecarga de utilização, o peso próprio e as restantes cargas permanentes por metro quadrado, como por exemplo, as paredes divisórias e revestimentos.

No entanto existem cargas que não estão contabilizadas automaticamente nem por grupo, como por exemplo, o acréscimo de peso das fachadas não contabilizado no respetivo grupo. Ao muro de suporte, foi também contabilizado o esforço devido aos degraus encastrados presentes do piso 0 ao piso 1.

Por fim na zona das coberturas que estão no mesmo grupo que os pisos intermédios também foram realizadas alterações, neste caso, no telhado da cozinha foi retirado o excesso de sobrecarga. Na tabela 4.2 irão ser apresentadas as alterações dos carregamentos.

	CARGA PERMANENTE	SOBRECARGA
FACHADAS	+7 kN/m	—
MURO DE SUPORTE	+1 kN/m ²	+1 kN/m ²
COBERTURA	—	-1,6 kN/m ²

Tabela 4.2 – Alterações de Carregamento

4.4 RESULTADOS

Para os resultados dos elementos será apresentado um elemento de cada tipo. Esses elementos serão previamente identificados e de seguida as alterações necessárias.

4.4.1 Pilar

O pilar identificado é o P1, que já foi visto na secção de modelação. Na figura 4.52 está apresentado o pilar P1 e na figura 4.53 a solução gerada pelo programa.

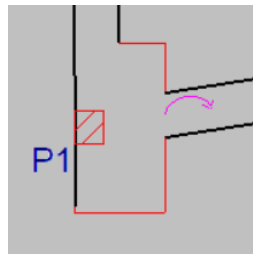


Figura 4.52 – Pilar P1 (Fonte: CYPE)

Edição da armadura

Pilar	Posição	Dimensão X (cm)	Dimensão Y (cm)	Armadura longitudinal				Armadura transversal		As/Asc (%)
				Cartos	Face X	Face Y	Estribos	Separação		
Piso 2 Terraço	6.2m	20	30	4	Ø16	0	4	Ø16	20	2.7
Piso 1	3.2m	25	30	4	Ø12	2	Ø12	4	Ø12	15
Fundação	0m			4	Ø12	2	Ø12	4	Ø12	3

Resumo das verificações

Pilar	Posição	Dipo.	Arm.	Verificações			Aprov. (%)	Combinação	Vet.	Esforços desfavoráveis				Referências		Eq.	Com.	
				Q (%)	N.M (%)	Dipo. S.				N	My	Gx	Oy	My	My			
P1	3.2m	N.A.	N.A.	12.6	143.4	N.A.	✓	1.35 PP+1.35 RP+1.05 Ga+1.5 Vi+Xacc-1	Q.N.M	157.4	-17.8	-46.8	-26.4	-10.6	-17.8	-42.3	✓	
	Est. Superior	✓	✓	32.6	75.7	N.A.	✓	1.35 PP+1.35 RP+1.05 Ga+1.5 Vi+Xacc-1	Q.N.M	330.3	18.6	44.1	-24.3	-4.5	10.6	35.0	✓	
	Est. Inferior	✓	✓	32.6	64.5	N.A.	✓	1.35 PP+1.35 RP+1.05 Ga+1.5 Vi+Xacc-1	Q.N.M	335.8	-10.2	-41.7	-24.3	-4.5	-2.0	-32.4	✓	

Figura 4.53 – Solução para o pilar P1 (Fonte: CYPE)

Como se pode observar na figura 4.52, o pilar P1 encontra-se realçado a vermelho, o que indica que está com algum problema. Ao editar o pilar P1 é aberta uma janela, como mostra a figura 4.53., também se pode observar os pisos em que este pilar não verifica a segurança estrutural. As verificações e segurança não cumpridas são apresentadas na figura 4.54.

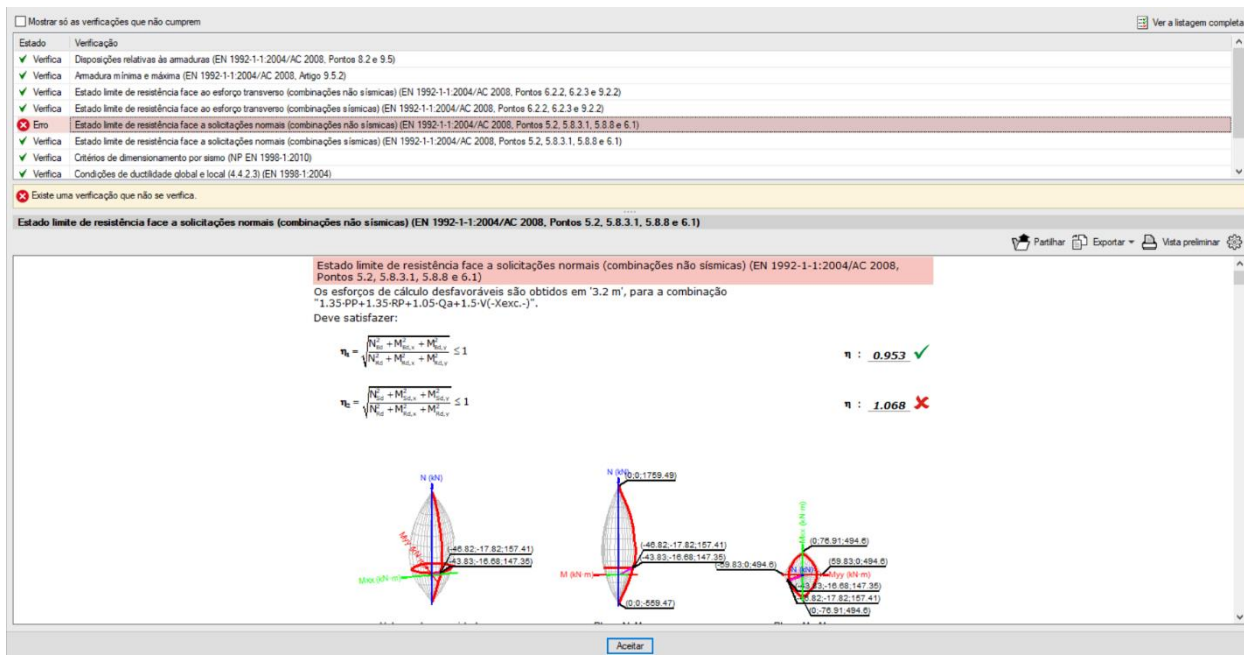


Figura 4.54 – Verificação não cumprida (Fonte: CYPE)

Este pilar não verifica a segurança relativamente ao estado limite último de resistência face a solicitações não sísmicas, o programa ainda apresenta todo o cálculo efetuado e os pontos do Eurocódigo que não são verificados. O cumprimento deste pilar consistiu na alteração de armaduras, sendo que essa alteração é realizada na edição de armaduras apresentada na figura 4.53. Assim, o pilar já verificado é apresentado na figura 4.55.

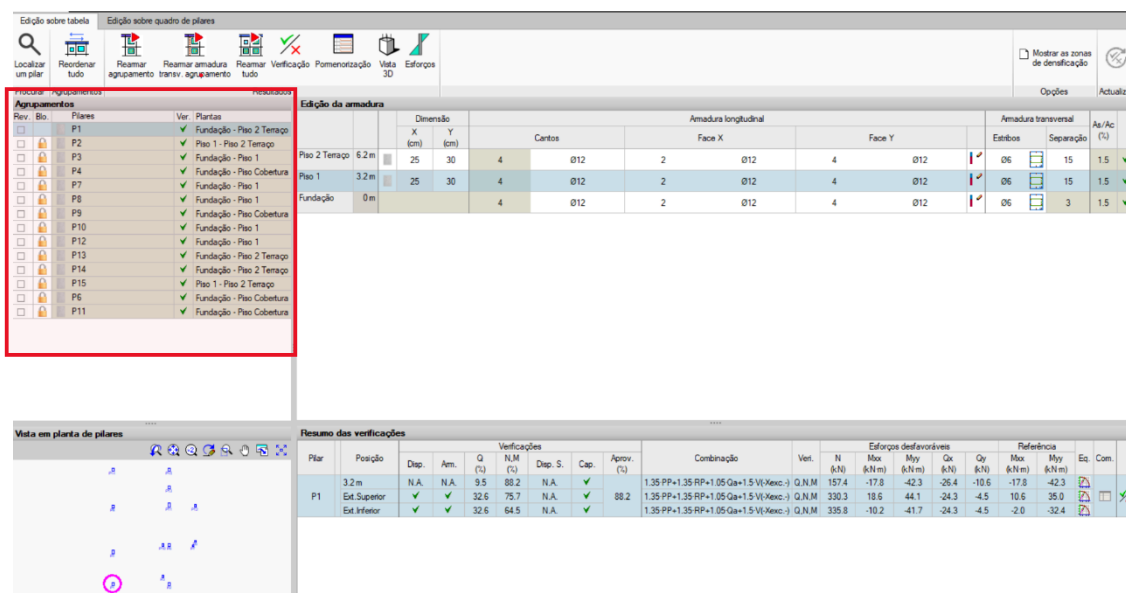


Figura 4.55 – Verificação cumprida (Fonte: CYPE)

CAPÍTULO 4

Por fim, na zona dos agrupamentos, realçada na figura 4.55, deve-se bloquear as armaduras escolhidas, pois, caso não sejam bloqueadas e se pretenda calcular novamente a estrutura, as soluções irão ser alteradas.

4.4.2 Vigas

Passando às vigas, a viga selecionada foi a viga V1 do Piso 1, esta viga pertence à fachada principal do edifício, como mostra a figura 4.56.

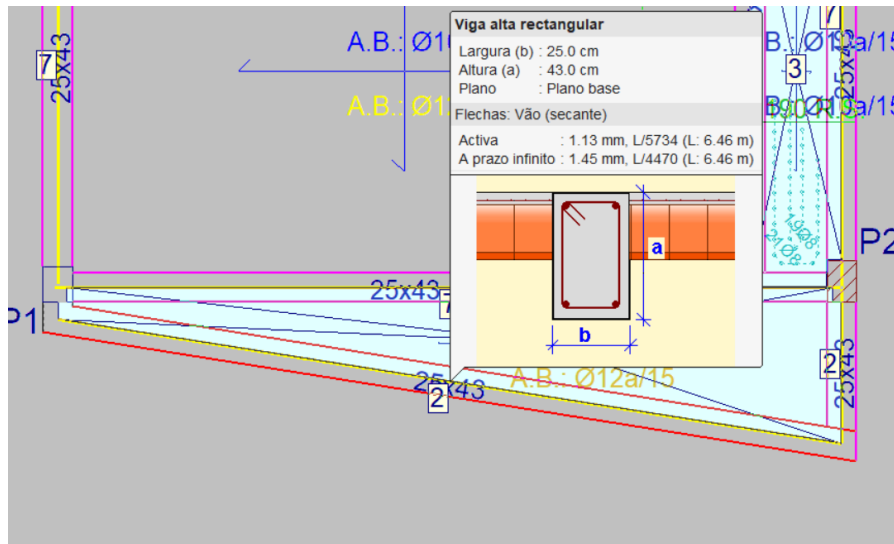


Figura 4.56 – Viga V1 (Fonte: CYPE)

Esta viga encontra-se realçada a vermelho (à semelhança do pilar) e assim deve-se ser editada, com o intuito de analisar os erros existentes e por sua vez corrigi-los. Na figura 4.57 é apresentada a janela de edição da viga, onde são assinalados os erros existentes.

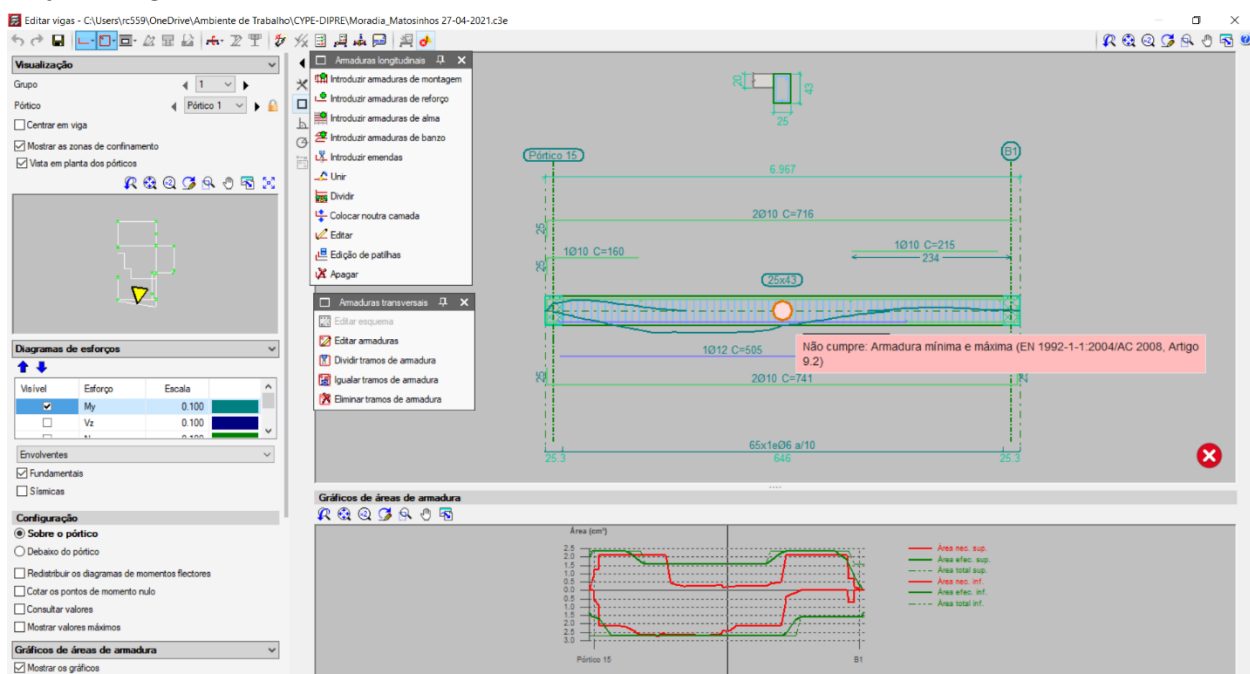


Figura 4.57 – Erros na viga V1 (Fonte: CYPE)

O erro apresentado para a viga V1 é o não cumprimento da armadura mínima e máxima. Isto é, os valores de área de armadura são apresentados através de gráficos como o apresentado na figura 4.57. Esses gráficos apresentam a área de armadura necessária a vermelho e a área de armadura existente a verde. Na figura 4.58 é possível observar dois gráficos, sendo o primeiro referente às armaduras longitudinais e o segundo às transversais.

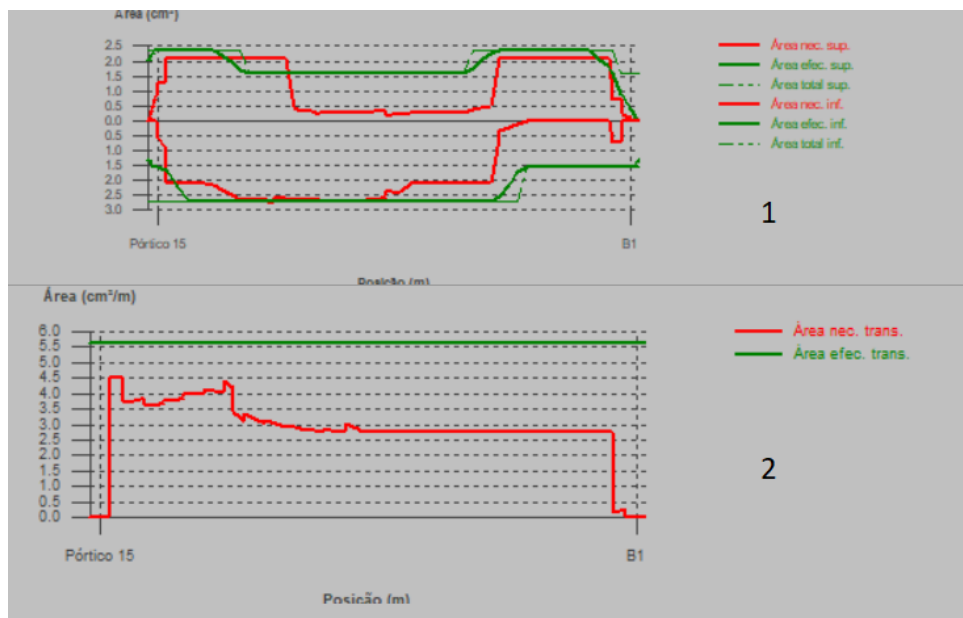


Figura 4.58 – Gráficos de Área de Armadura (Fonte: CYPE)

Como se pode observar na figura 4.58, o gráfico 1 apresenta certas zonas em que a área efetiva de armadura não é suficiente em relação à área necessária, daí o erro apresentado. Quanto ao gráfico 2 a área efetiva de armadura é suficiente, logo não será preciso realizar qualquer alteração. A figura 4.59 apresenta a alteração de armadura realizada, que consistiu na alteração do diâmetro da armadura existente.

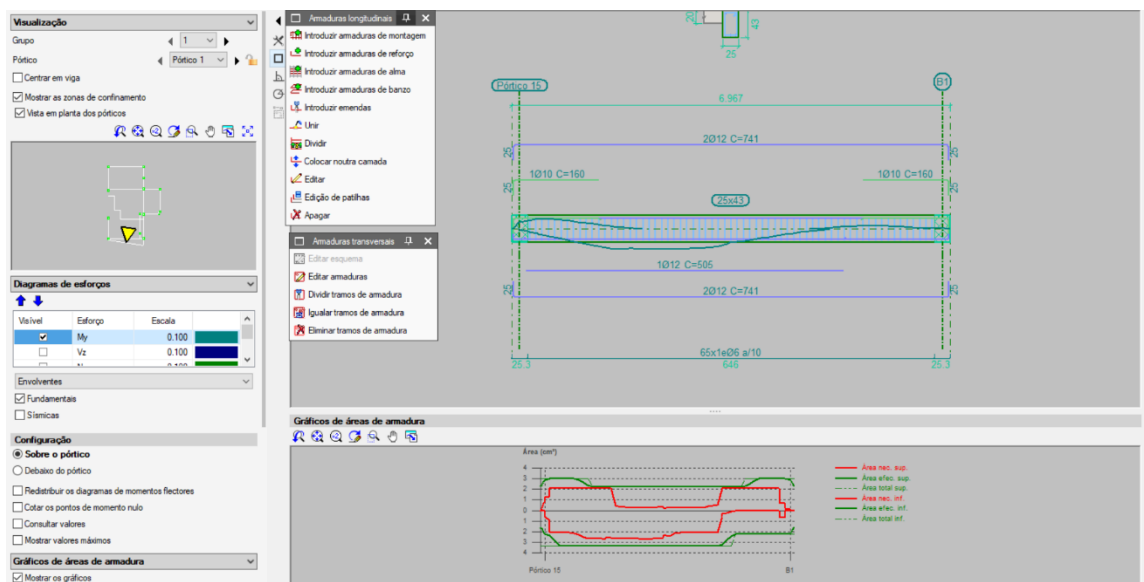


Figura 4.59 – Solução final da Viga V1 (Fonte: CYPE)

4.4.3 Lajes

No caso de estudo existem dois tipos de lajes, lajes maciças e lajes aligeiradas. Quanto às lajes maciças, o CYPECAD tem a opção de considerar uma armadura base. Este conceito de armadura base consiste na colocação de uma armadura em cruz de uma ponta à outra de cada laje, tanto na face inferior como na face superior, sendo que o programa irá introduzir reforços de armadura em zonas mais esforçadas. A figura 4.60 apresenta uma laje com a armadura base já colocada.

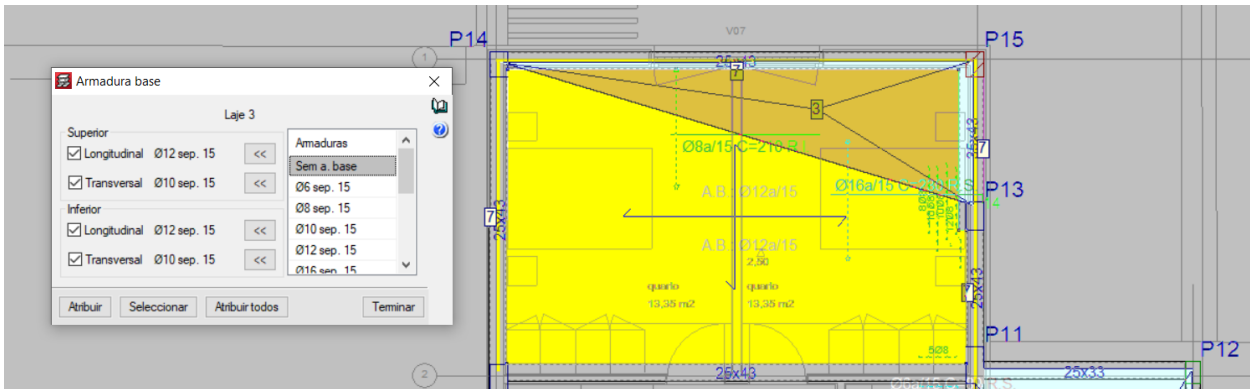


Figura 4.60 – Armadura Base na Laje 3 (Fonte: CYPE)

Na figura 4.60 é possível observar a armadura base nas duas direções na janela “Armadura base”, já na planta do piso só se encontram ligadas as armaduras longitudinais com os devidos reforços na mesma direção. Também se pode observar armadura de punçoamento em volta do pilar P13.

Para as lajes aligeiradas, como mencionado anteriormente, foi usado o programa da FAPREL. O programa da FAPREL envolve o preenchimento de um formulário base, sendo este composto pelos materiais, como o aço e betão, carregamentos existentes, as condições de apoio, que neste caso será simplesmente apoiado. A partir deste momento programa começa a ver qual é a laje que preenche os requisitos. Na figura 4.61 é apresentado um exemplo para laje de cobertura da cozinha.

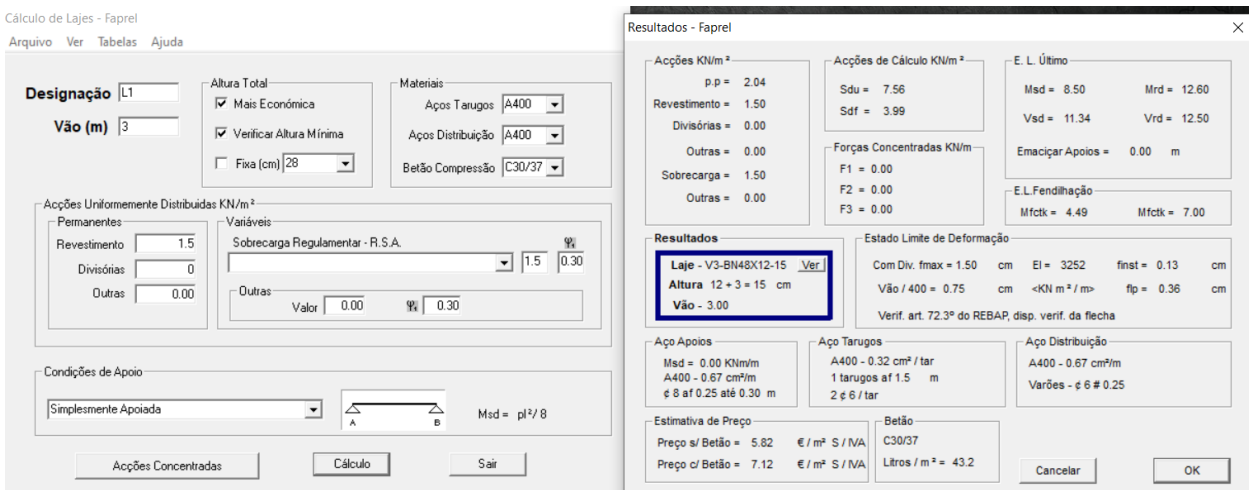


Figura 4.61 – Dimensionamento da Laje de Cobertura da Cozinha (Fonte: FAPREL)

4.4.4 Muro

Quanto ao muro, como mencionado anteriormente, apesar de ser um muro em forma de L, o programa reconhece como dois muros. Ao ser analisado o muro M1, sendo este o maior, não apresentou qualquer tipo de erro, no entanto deverá ser visto, com o intuito de verificar as soluções das armaduras. O muro M1 apresenta as soluções de armaduras apresentadas na tabela 4.3.

		ARMADURAS À ESQUERDA	ARMADURAS À DIREITA
M1	Horizontal	Ø12//0,15	Ø12//0,15
	Vertical	Ø12//0,15	Ø12//0,15

Tabela 4.3 – Armaduras do Muro M1

Assim a figura 4.62 mostra estas soluções de armadura, contudo poderiam ter existido algumas alterações pontuais a serem resolvidas. Caso existisse problemas iriam aparecer pontos vermelhos no muro presente na figura 4.62 e ainda o fator de cumprimento seria inferior a 100%. Para a resolução desses problemas existiam dois processos, sendo o primeiro alterar toda a armadura ou realizar pequenos reforços, sendo esses apresentados nos relatórios gerados pelo CYPECAD.

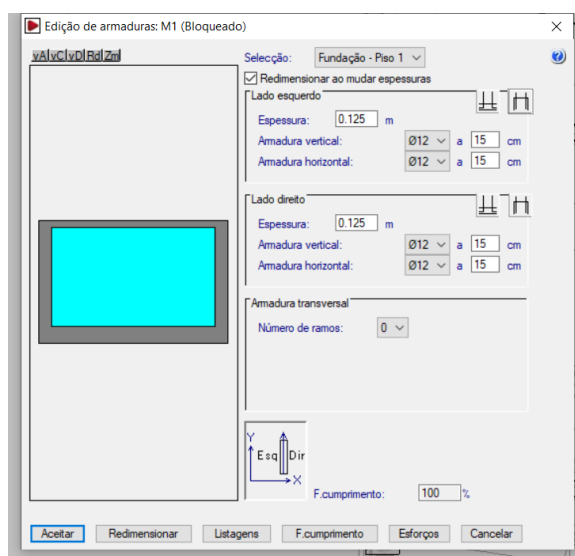


Figura 4.62 – Armaduras do Muro M1 (Fonte: CYPE)

4.4.5 Escada

Quanto às lajes de escadas em betão armado, estas foram geradas no CYPECAD e o próprio programa não apresentou qualquer problema, assim foram apresentadas as armaduras para as mesmas, sendo que estas estão apresentadas na tabela 4.4 com o auxílio da figura 4.63.

SECÇÃO	FACE	DIÂMETRO	ESPAÇAMENTO	NÚMERO DE VARÕES
A-A	Superior	Ø10	//0,20	6
A-A	Inferior	Ø10	//0,20	6
A-A	Inferior	Ø10	//0,20	6
B-B	Superior	Ø10	//0,20	6
B-B	Inferior	Ø10	//0,20	6
C-C	Superior	Ø10	//0,20	6
C-C	Superior	Ø10	//0,20	6
C-C	Inferior	Ø10	//0,20	6
D-D	Superior	Ø8	//0,15	6
D-D	Inferior	Ø8	//0,15	6
E-E	Superior	Ø8	//0,15	28
E-E	Inferior	Ø8	//0,15	30

Tabela 4.4 – Armaduras das Escadas

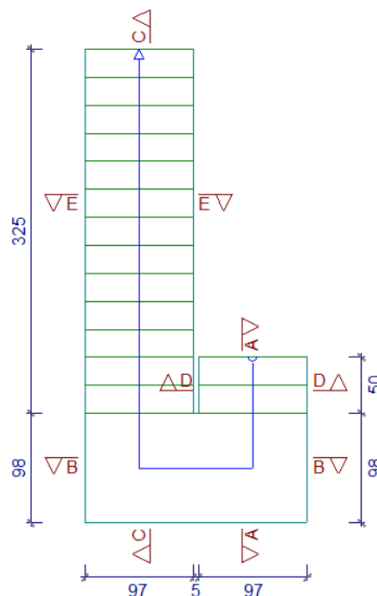


Figura 4.63 – Cortes de Escadas (Fonte: CYPE)

4.4.6 Fundação

Em relação à fundação, a figura 4.64 apresenta a fundação do pilar P1. Sendo que esta encontra-se realçada a vermelho, isto deve-se ao não cumprimento de uma verificação de segurança.

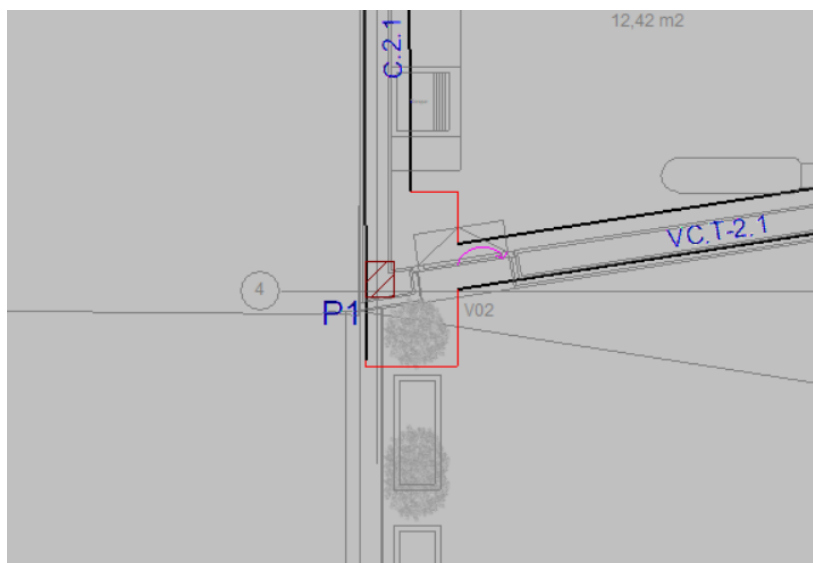


Figura 4.64 – Fundação do Pilar P1 (Fonte: CYPE)

Quanto ao problema associado à não verificação da fundação, este consiste na tensão do terreno, como mostra a figura 4.65, sendo esta associada à tensão média nas combinações fundamentais.

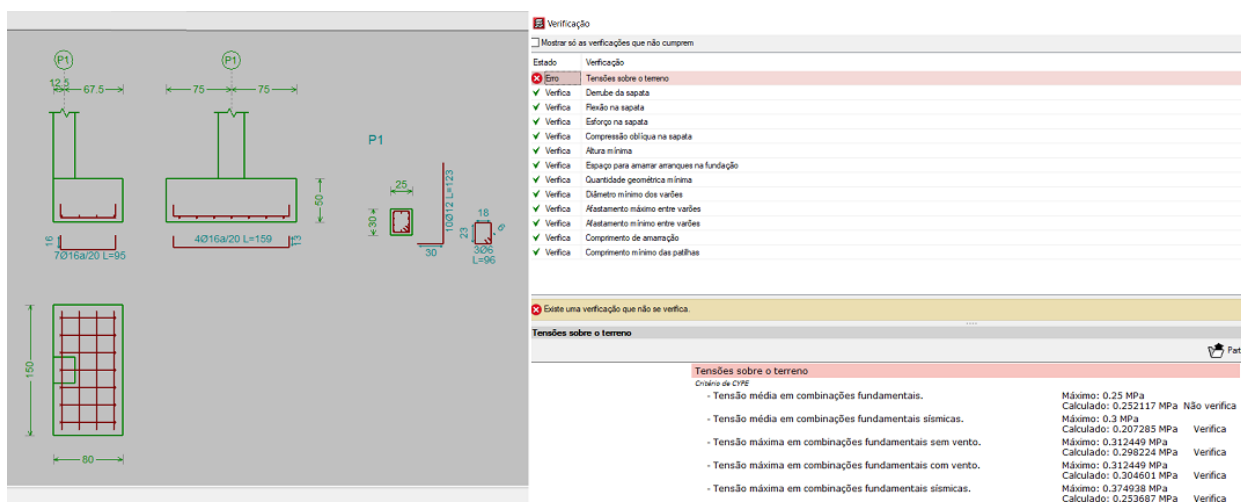


Figura 4.65 – Não Verificação da Fundação (Fonte: CYPE, Adaptado)

CAPÍTULO 4

Apesar de o valor máximo e o calculado serem valores muito próximos, teve que se realizar alterações nesta fundação. Estas tiveram por base a alteração das dimensões da fundação e da armadura. A figura 4.65 apresenta a alteração de dimensão da fundação e posteriormente a sua verificação.

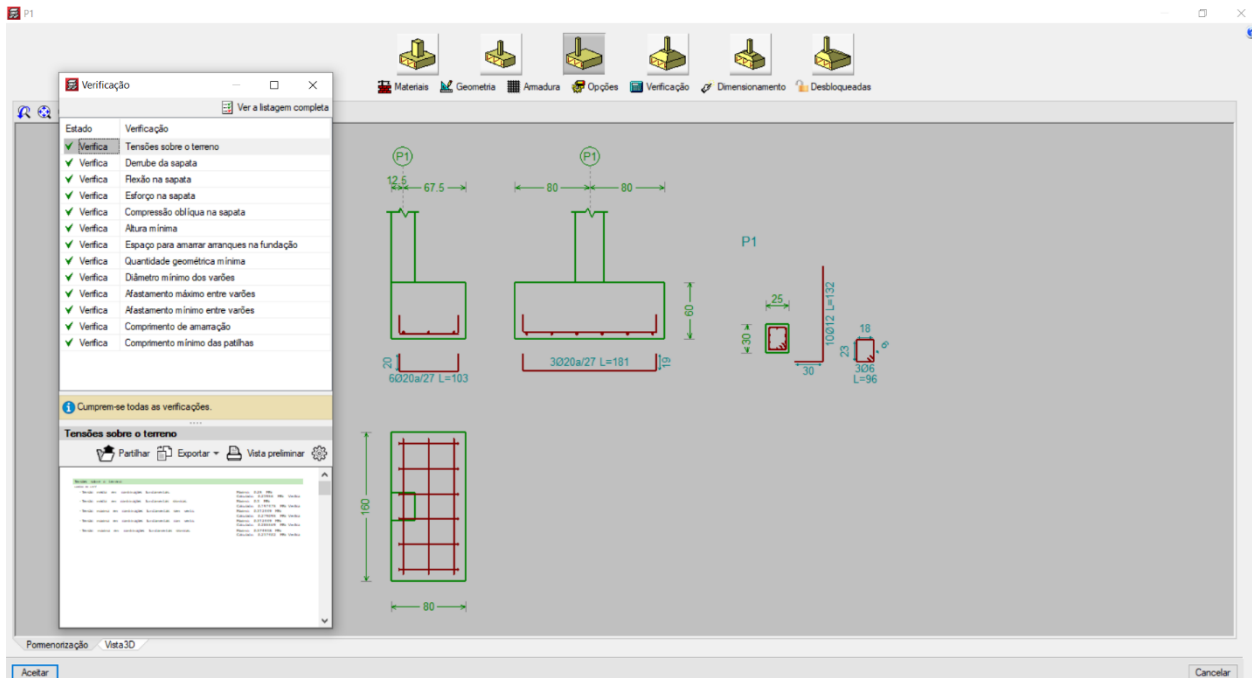


Figura 4.66 – Alteração da Dimensão da Fundação (Fonte: CYPE)

No entanto, também foram alteradas as armaduras manualmente, de modo a ser usado, por exemplo, um diâmetro inferior ao gerado pelo programa. A figura 4.67 apresenta as novas armaduras da fundação em questão.

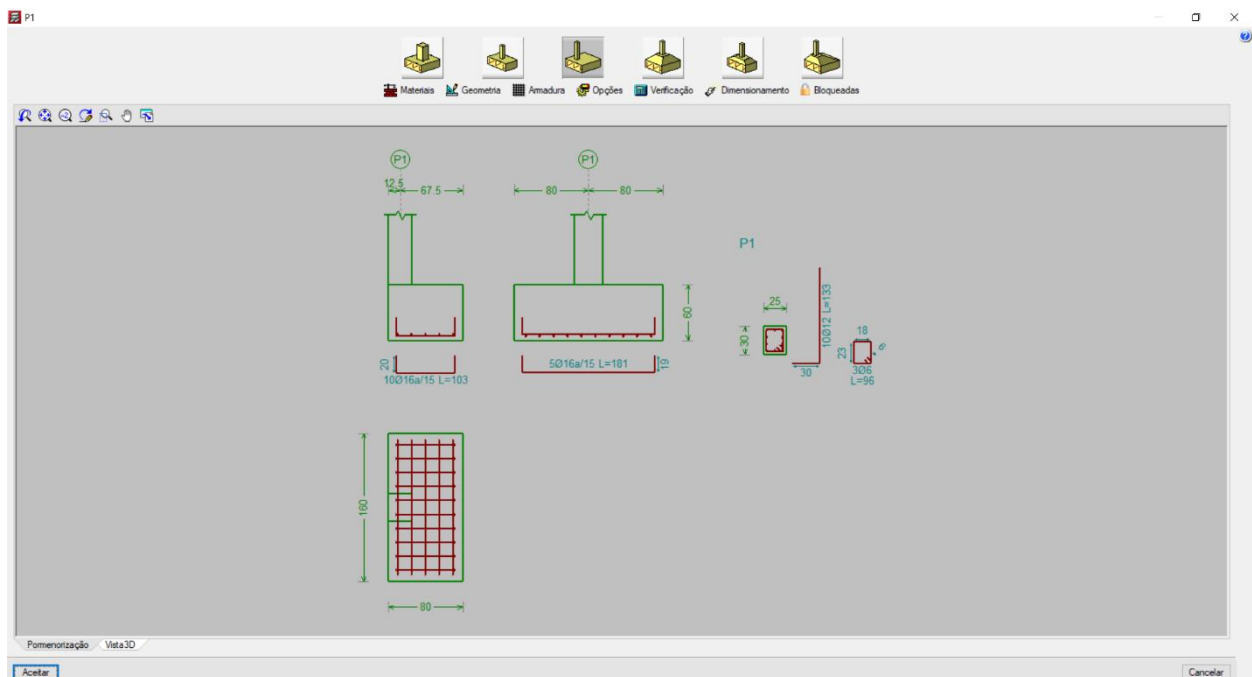


Figura 4.67 – Alteração da Armaduras da Fundação (Fonte: CYPE)

CAPÍTULO 5

INTEROPERABILIDADE CYPE-REVIT

A interoperabilidade consiste na troca de informação entre programas, neste caso entre o programa de cálculo de estruturas CYPECAD, e a plataforma de modelação BIMRevit. Essa troca de dados consistiu na criação de um ficheiro IFC e relatórios sobre o projeto em causa. Para ter conhecimento do que foi transferido, necessitou-se de abrir o ficheiro IFC com a plataforma BIM. Ao ser aberto o ficheiro IFC, na plataforma de modelação BIM apareceu a estrutura modelada no CYPECAD, como mostra a figura 5.1.

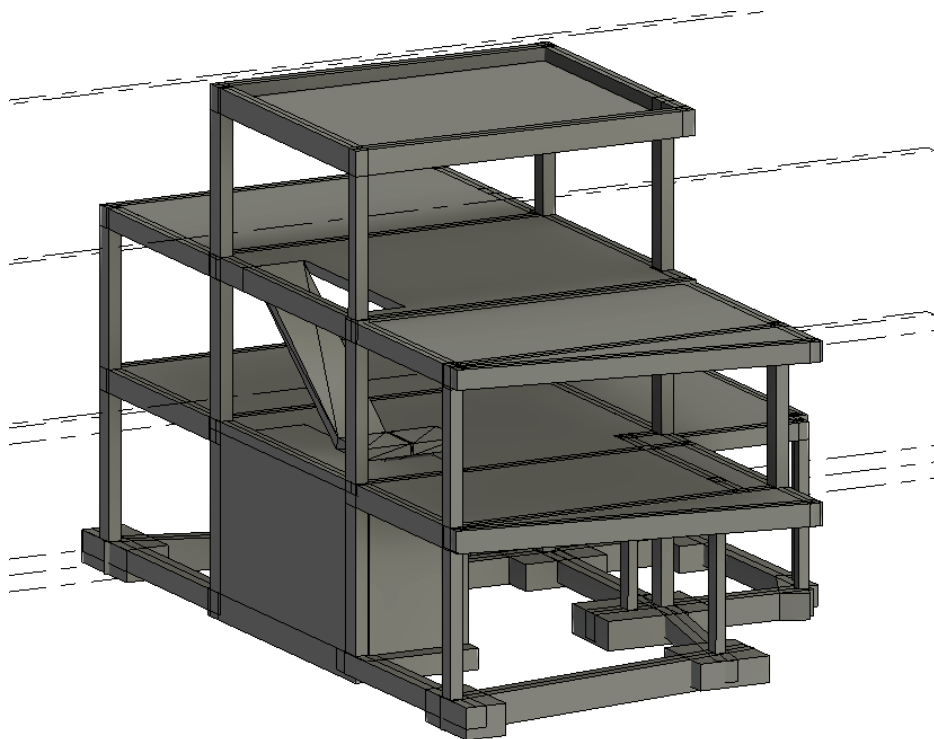


Figura 5.1 – Resultado da abertura do IFC (Fonte: Revit)

Ao ser observada a estrutura na plataforma de modelação BIM, não foi visível a informação sobre as armaduras, o que seria expectável, pois não existe conhecimento sobre a transferência de armaduras entre o CYPECAD e o Revit.

Assim, existem duas opções, a primeira consiste em ir elemento a elemento e colocar as armaduras de forma manual, com as próprias ferramentas do Revit. A segunda opção consiste em reproduzir as armaduras através da interface de programação Dynamo e, tentado automatizar o processo. A segunda opção é mais viável, pois seria impensável ir elemento a elemento e colocar as armaduras, uma vez que poderia originar erros ao projeto e seria necessário muito tempo.

5.1 TABELAS

Como mencionado anteriormente, o CYPECAD produz relatórios sobre o projeto. Estes relatórios incluem toda a informação sobre o projeto, desde as combinações de ações, deformações, e até resultados de armaduras. Esses resultados de armaduras são apresentados em formato de tabelas num documento Word.

O grande objetivo do uso dessas tabelas é que com a extensão Dynamo seja possível fazer uma leitura das mesmas, e conseqüentemente, seja possível colocar as armaduras automaticamente na plataforma de modelação BIM.

A figura 5.2 apresenta parte de uma tabela retirada dos relatórios do CYPECAD, sendo esta referente aos pilares.

Armadura de pilares											
Betão: C30/37											
Pilar	Geometria			Armaduras						Aprox. (%)	Estado
	Planta	Dimensões (cm)	Tramo (m)	Varões			Armaduras transversais				
				Cantos	Face X	Face Y	Quantidade (%)	Descrição ⁽¹⁾	Separação (cm)		
P1	Piso 2 Terraço	25x30	3.20/5.77	4Ø12	2Ø12	4Ø12	1.51	1eØ6+X2rØ6	15	88.9	Verifica
	Piso 1	25x30	0.00/2.77	4Ø12	2Ø12	4Ø12	1.51	1eØ6+X2rØ6	15	88.9	Verifica
	Fundação	-	-	4Ø12	2Ø12	4Ø12	1.51	1eØ6+X2rØ6	-	65.4	Verifica
P2	Piso 2 Terraço	25x35	3.20/5.77	4Ø16	-	2Ø16	1.38	1eØ6	20	32.5	Verifica
	Piso 1	-	-	4Ø16	-	2Ø16	1.38	1eØ6	-	32.5	Verifica
P3	Piso 1	20x30	0.00/2.77	4Ø16	-	2Ø12	1.72	1eØ6	15	92.2	Verifica
	Fundação	-	-	4Ø16	-	2Ø12	1.72	1eØ6	-	92.2	Verifica
P4	Piso Cobertura	25x30	6.25/8.92	4Ø20	2Ø16	2Ø16	2.75	1eØ6	20	99.3	Verifica
	Piso 2 Terraço	25x40	3.20/5.82	4Ø20	-	6Ø20	3.14	1eØ6+X1rØ6	25	97.0	Verifica
	Piso 1	25x40	0.00/2.77	4Ø20	2Ø20	4Ø20	3.14	1eØ6+X2rØ6	25	71.6	Verifica
	Fundação	-	-	4Ø20	2Ø20	4Ø20	3.14	1eØ6+X2rØ6	-	8.1	Verifica

Figura 5.2 – Exemplo de tabela (Fonte: CYPE)

As restantes tabelas estão apresentadas no anexo III, incluído a tabela completa da figura 5.2.

5.2 DYNAMO

O Dynamo é conhecido como uma extensão do Revit, mas pode ser adquirido à parte e ser executado como *Sandbox*, de forma independente. Assim, o Dynamo é descrito como uma ferramenta de programação, que é apresentada como uma programação visual[17], como se pode ver na figura 5.3.

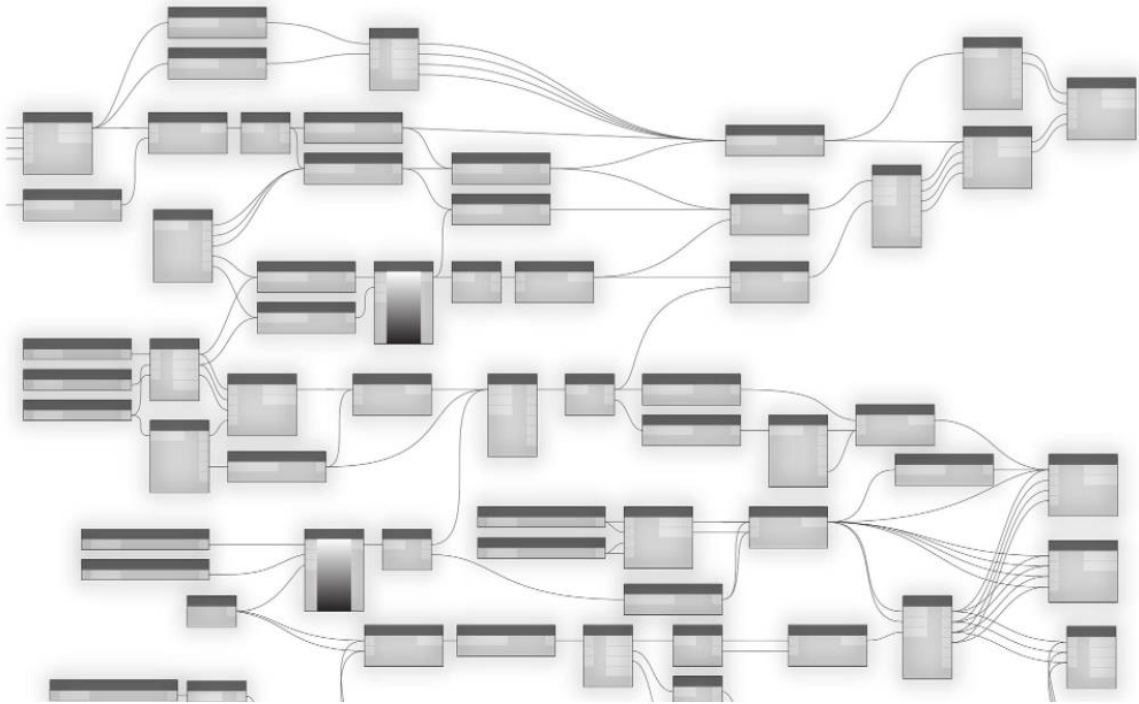


Figura 5.3 – Programação Visual (Fonte: Dynamo Primer)

Este tipo de programação gráfica, como se pode observar na figura 5.3, é composto por caixas, designadas por nós, sendo que estes ligam-se através de fios, assim torna-se mais fácil ter a noção do que está a acontecer no código. Caso haja algum erro ou aviso o nó acaba por ser realçado, ou pela cor amarela caso seja um aviso, ou pela cor vermelha caso seja um erro. O objetivo desta programação é tornar o processo de código mais fácil ao utilizador, de forma a ser abrangido para mais utilizadores, apesar de ser uma programação com facilidade na sua compreensão, acaba por ter que haver uma lógica na mesma, se não haverá erros. A figura 5.4 apresenta um código real.

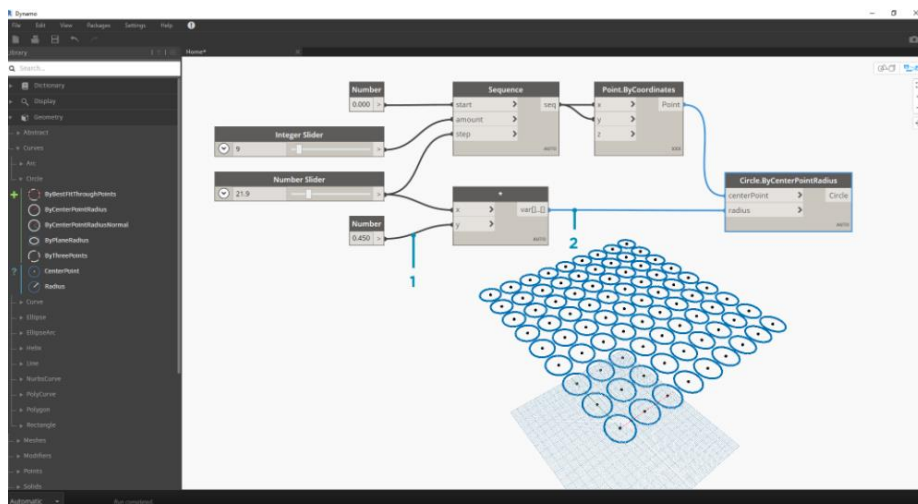


Figura 5.4 – Exemplo de Programação Visual (Fonte: Dynamo Primer)

Neste caso de estudo, como já foi mencionado, será necessário reproduzir as armaduras no Dynamo. Para isso é necessário usar os elementos que vieram do CYPE. Esses elementos foram o IFC, que já foi importado para o Revit, e os relatórios em formato Word.

O Dynamo trabalha através de nós e fios. Existem uma variedade de nós, sendo que, há nós que conseguem conectar-se com ficheiros em formato Word ou Excel. Uma vez que era necessário que o Dynamo consiga ler as tabelas presentes nos relatórios, trabalhar com o Word não era a forma de transferência de dados mais simples. Assim torna-se mais fácil transferir a informação em tabelas para o Excel copiando as mesmas.

Assim, o Dynamo irá utilizar a informação geométrica do Revit e a informação do Excel, deste modo já se torna possível a comunicação entre o CYPE e o Revit. A figura 5.5 apresenta um esquema da interação destes programas.

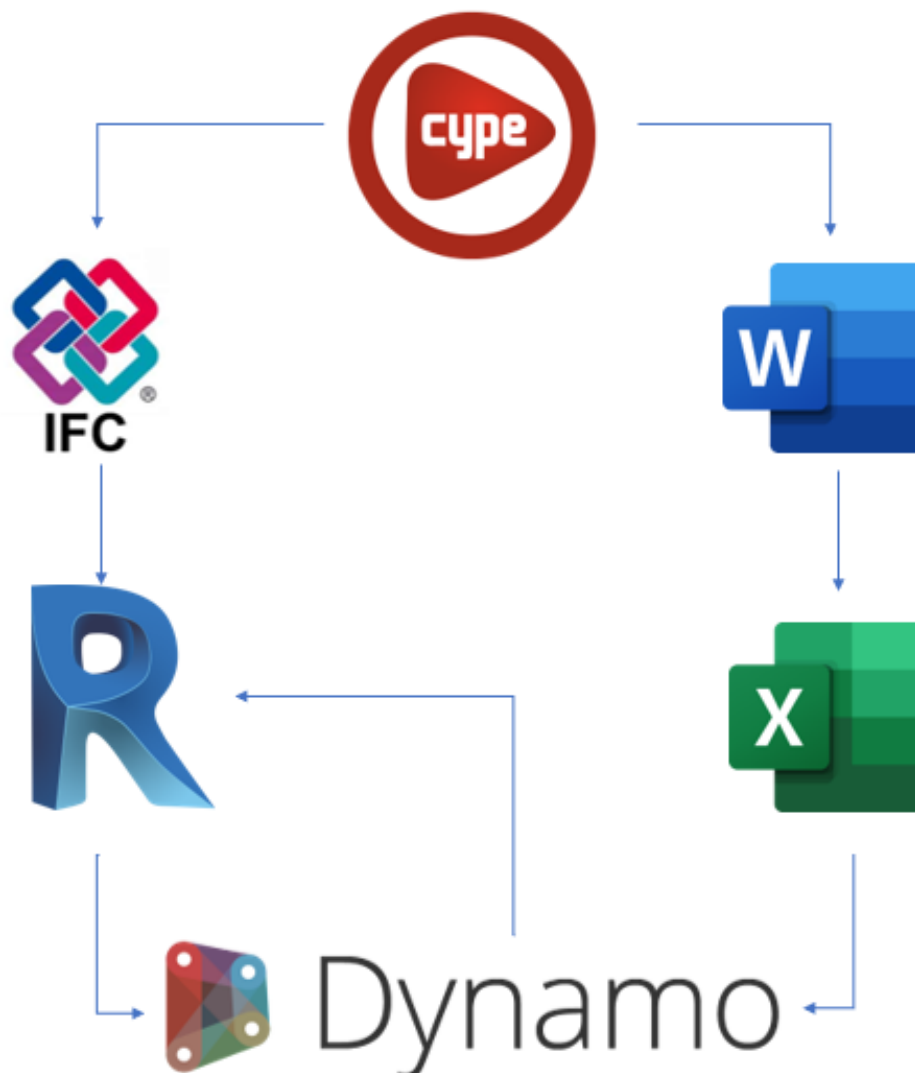


Figura 5.5 – Esquema de Iteração dos Programas Usados

Na figura 5.6 apresenta-se um caso prático do código desenvolvido em Dynamo para a transferência da informação dos pilares e a automatização do detalhamento das suas armaduras.

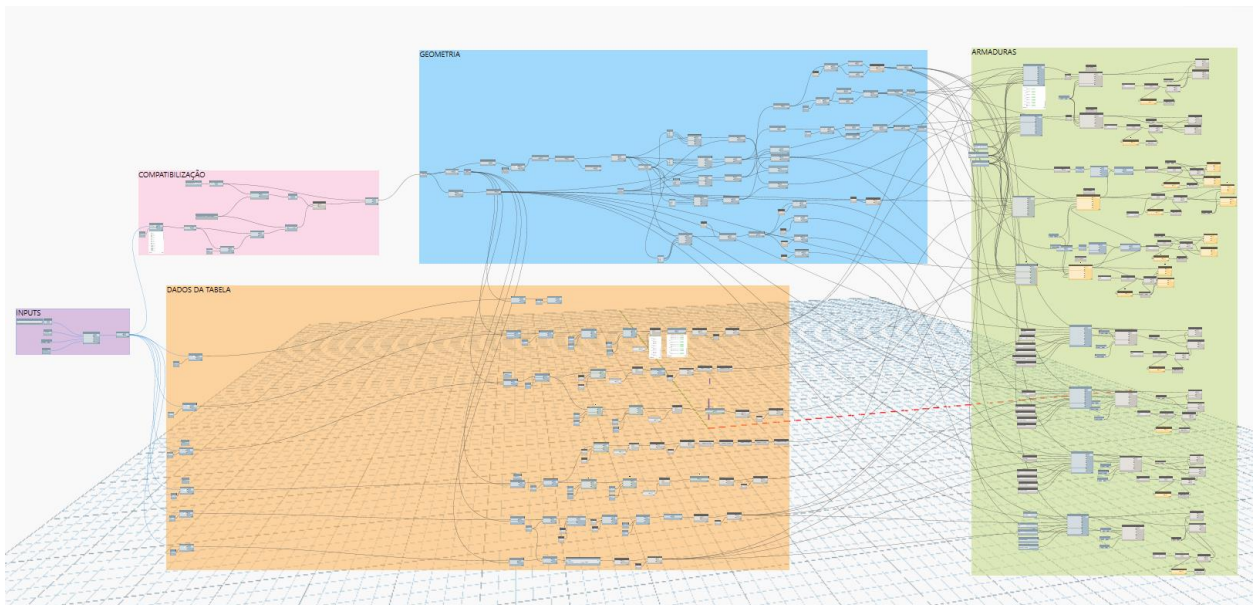


Figura 5.6 – Código para Automatizar o Desenho de Armaduras

Como se pode observar na figura 5.6, o código para os pilares encontra-se dividido por grupos. Esses grupos são representados por um título que indica o objetivo desse grupo.

O primeiro grupo, denominado por *Inputs* é referente ao que é necessário introduzir no grupo, a figura 5.7 apresenta uma imagem mais aproximada do grupo. Neste grupo é preciso inserir o *File Path*, sendo este ficheiro de Excel com as tabelas, e ainda indicar o nome da folha e a dimensão da tabela.

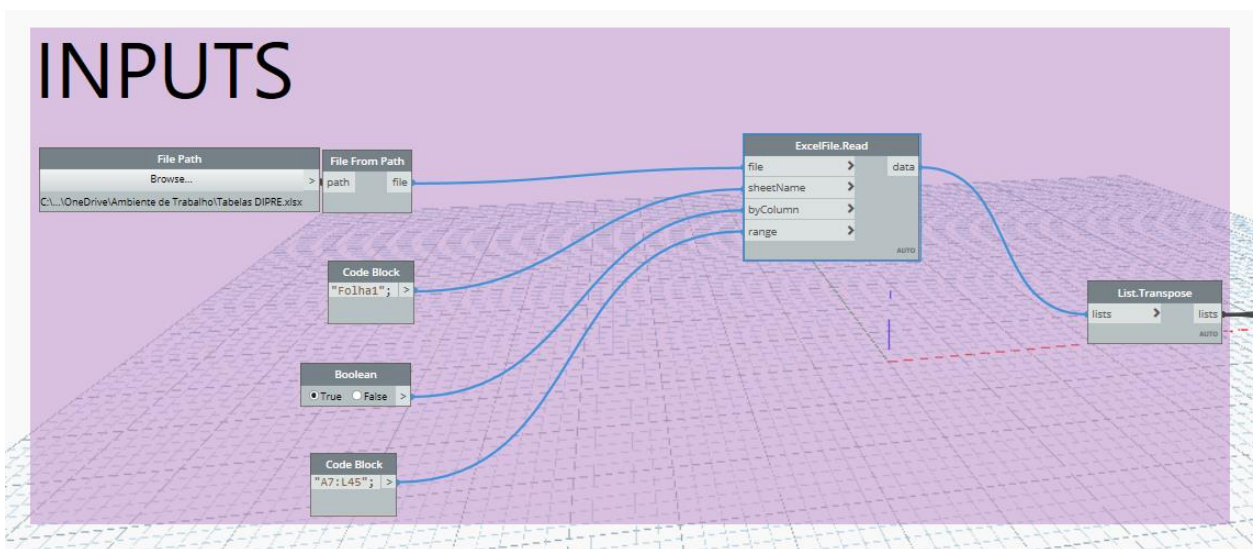


Figura 5.7 – Grupo de *Inputs*

O segundo grupo a ser apresentado é o denominado por Compatibilização, a figura 5.8 expõe esse grupo.

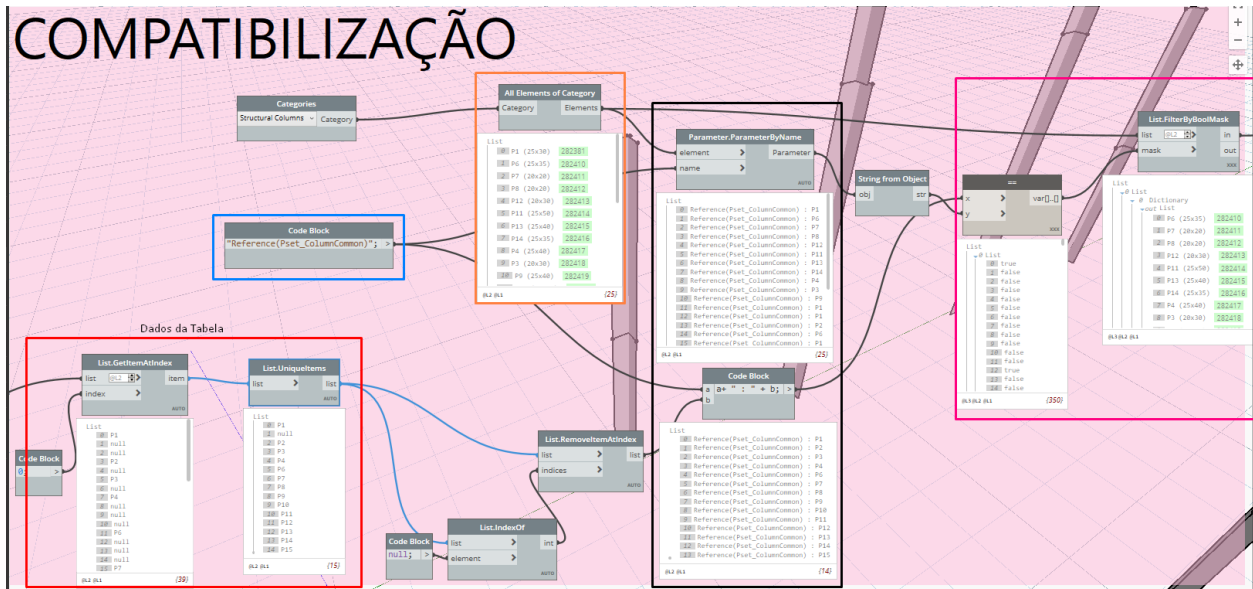


Figura 5.8 – Grupo de Compatibilização

Este grupo denomina-se por compatibilização, pois tem como principal objetivo criar uma igualdade entre os elementos presentes na tabela e os elementos presentes na plataforma de modelação BIM, isto é, o pilar P1 na tabela tem que corresponder ao pilar P1 no Revit.

Assim, de acordo com a figura 5.8, é possível observar pequenos conjuntos de nós realizados em retângulos coloridos. O primeiro conjunto é o conjunto vermelho, que se refere aos dados da tabela, isto é, os nomes dos pilares, como se pode ver na tabela de armaduras de pilares no anexo III. De seguida, é possível observar-se o conjunto laranja. Este conjunto destaca todos os elementos que se identificam como pilares na plataforma de modelação BIM. Em seguida, é possível reparar no conjunto azul. Este conjunto é composto por uma referência, sendo essa um parâmetro do IFC, a figura 5.9 apresenta esse parâmetro.

Properties	
DirectShapeType 952	
Structural Columns (1) Edit Type	
Constraints	
Room Bounding	<input checked="" type="checkbox"/>
Materials and Finishes	
Structural Material	
Structural	
Rebar Cover	Rebar Cover 1 <0' - 1">
Estimated Reinforcement Volume	344.23 in ³
Dimensions	
Volume	
Identity Data	
Image	
Comments	
Mark	
Phasing	
Phase Created	Project Completion
Phase Demolished	None
IFC Parameters	
IfcGUID	1Ttsrx9q1FHfNyw7c9hjRp
IfcName	P1 (25x30)
IfcDescription	Rectangular. Betão armado
IfcMaterial	C30/37
IfcExportAs	IfcColumnType.COLUMN
ObjectTypeOverride	25x30
IfcSpatialContainer	Piso 1
IfcPropertySetList	"Pset_ColumnCommon" Qto_ColumnBas...
Reference(Pset_ColumnCommon)	P1
LoadBearing(Pset_ColumnCommon)	<input checked="" type="checkbox"/>
Length(Qto_ColumnBaseQuantities)	3.0000 m

Figura 5.9 –Parâmetro do IFC

É através desse parâmetro é possível criar a igualdade desejada. Para isso foi necessário adicionar essa referência aos dois conjuntos anteriormente vistos. Essa adição teve como resultado o conjunto a preto.

Por fim, o último conjunto é o rosa. Esse conjunto apresenta dois nós, sendo que o primeiro é um nó de igualdade, este nó tem como objetivo comparar os valores dos dois nós do conjunto a preto. Caso seja evidenciada a igualdade, o nó representará o valor verdadeiro, caso a igualdade não se cumpra, o resultado será falso. Assim, o segundo nó terá o intuito de filtrar os diferentes elementos, isto é, será usada a lista de elementos do conjunto laranja e terá como filtro a igualdade vista anteriormente.

O terceiro grupo é o grupo referente aos dados da tabela, a figura 5.10 apresenta este grupo.

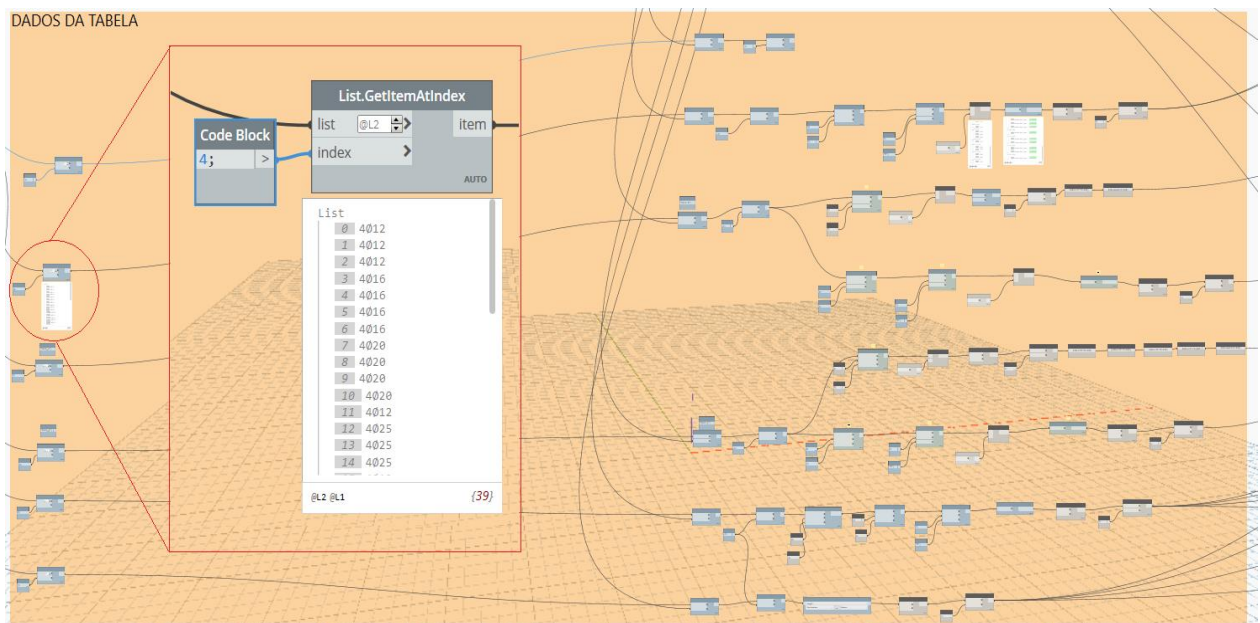


Figura 5.10 – Grupo dos Dados da Tabela

Como se pode observar na figura 5.9, existe um nó realçado. Este nó apresenta alguns dados retirados da tabela de armaduras dos pilares, esses dados consistem no número de varões de canto e o respetivo diâmetro dos mesmos. Como se pode observar no anexo III, na tabela de pilares. É a partir destes dados que será possível tirar a informação necessária para preencher os nós que serão vistos mais à frente no grupo das armaduras.

Essa informação consiste nos diâmetros e números de varões por face de pilar. Como mencionado anteriormente, este exemplo diz respeito só aos pilares, contudo noutros elementos, como por exemplo fundações ou muro de suporte, não foram usados o número de varões, mas sim o distanciamento entre os mesmos.

Assim, o quarto grupo a ser visto é o grupo da geometria, a figura 5.11 apresenta esse grupo.

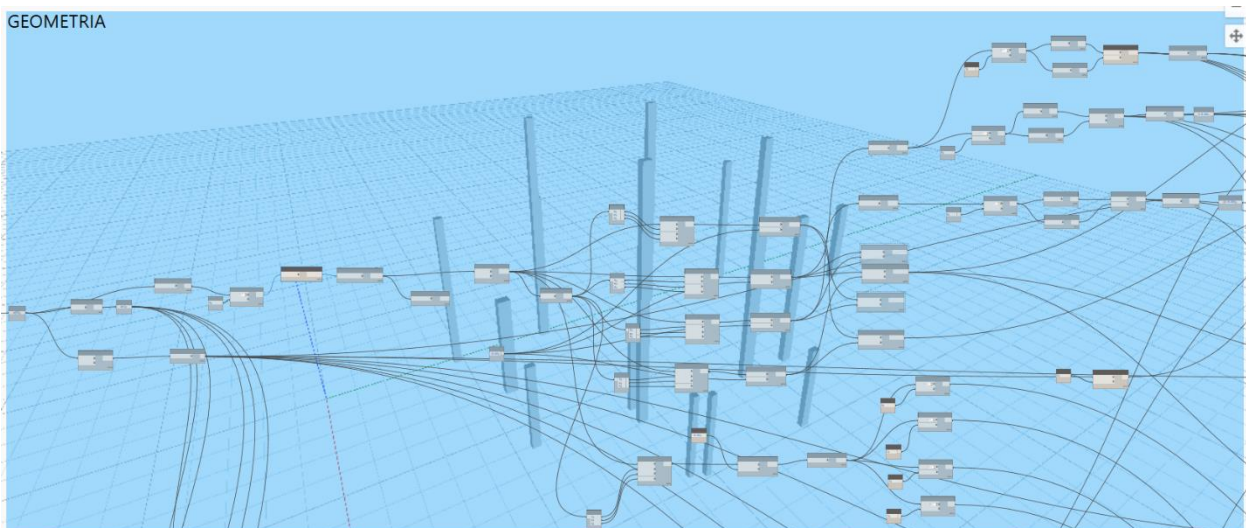


Figura 5.11 – Grupo da Geometria

A figura 5.11 apresenta o grupo da geometria, sendo que este grupo advém do grupo da compatibilização. É neste grupo que é importada a informação da geometria do Revit para o Dynamo. Na figura 5.11, na parte de trás do código, é possível observar-se a geometria dos pilares do modelo. A figura 5.12 apresenta de forma mais perceptível a geometria dos pilares.

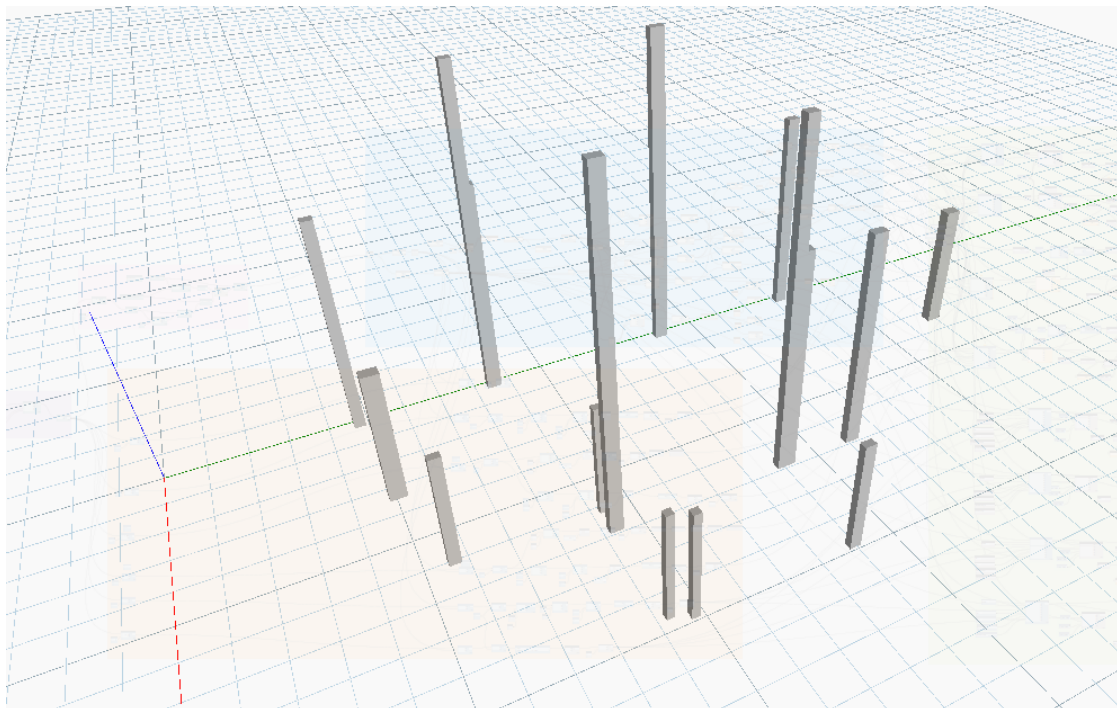


Figura 5.12 – Geometria dos Pilares

É com a geometria dos pilares que se torna possível o detalhamento das armaduras, isto é, com a intersecção das faces dos pilares resultam linhas. Essas linhas são denominadas por *curves*. A figura 5.13

apresenta uma figura com a intersecção de duas faces, do pilar P1, após ter sido realizado um *offset* das mesmas. Este *offset* tem o objetivo a existência de um recobrimento de armaduras.

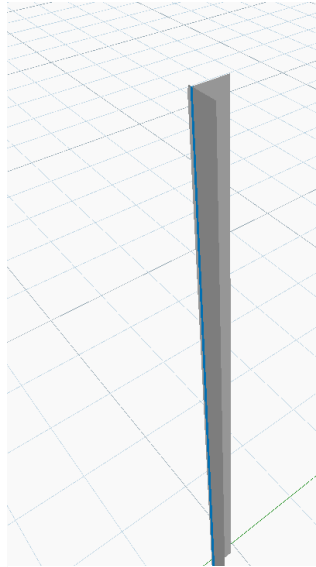


Figura 5.13 – Curve

Assim, com esta intersecção era fácil criar outras intersecções e assim criar as quatro *curves* que iriam ter como base as armaduras dos quatro cantos. Porém não foi isso que aconteceu, apenas foram desenvolvidas duas *curves* através de intersecções, sendo essas apresentadas na figura 5.14.

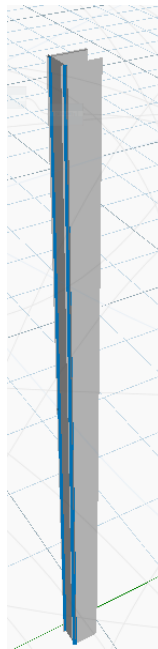


Figura 5.14 – Intersecções desenvolvidas

Desta forma, com estas duas intersecções e com os nós que irão ser apresentados no grupo das armaduras, foi possível criar as armaduras de canto dos pilares e das duas faces.

Por fim, o último grupo é apresentado pela figura 5.15.



Figura 5.15 – Grupo das Armaduras

Este grupo pode ser dividido em duas partes, como mostra figura 5.15, sendo que a primeira parte representa as armaduras principais dos pilares nas faces e cantos, já a segunda parte é referente às cintas dos pilares, sendo que todos os diâmetros e números de varões vêm da tabela de Excel.

A este grupo está ligado o grupo da geometria e ainda o grupo dos dados da tabela. É neste grupo que foi realizado a conversão das *curves*, mencionadas no grupo da geometria, em varões de armadura. A figura 5.16 apresentará em pormenor dois nós que tem o intuito de fazer essa conversão.

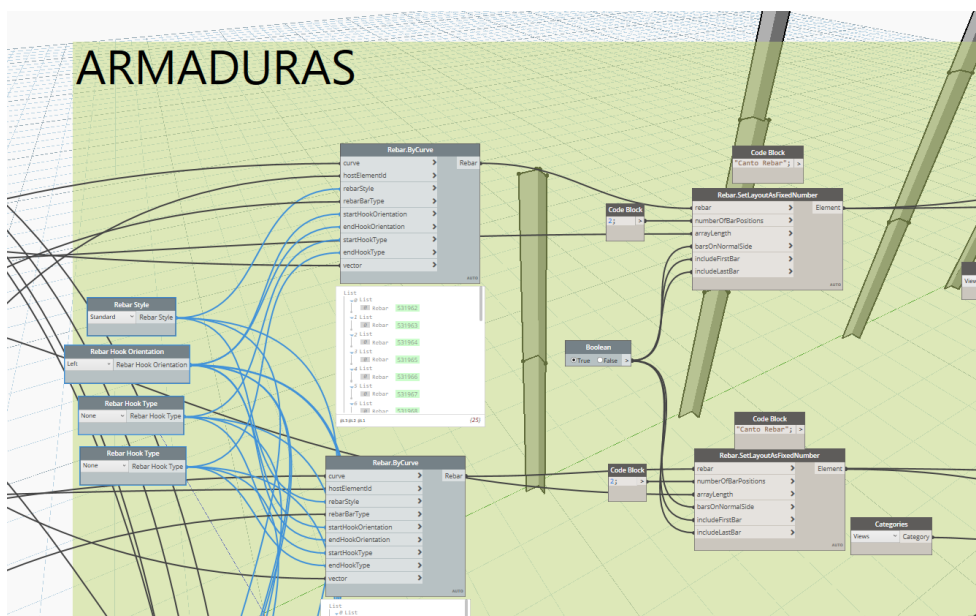


Figura 5.16 – Conversão de *curves* em armadura

A figura 5.16 apresenta dois nós denominados por *Rebar.ByCurve*, sendo que a estes dois estão ligados outros de forma a criar a conversão das duas *curves* apresentadas na figura 5.14, assim pode-se concluir que estes dois nós estão na origem do detalhamento das armaduras de canto dos pilares. A estes nós também se ligam os diâmetros obtidos no grupo de dados da tabela, o tipo de varão, isto é, se o objetivo do varão é ser uma cinta ou um varão longitudinal, também se conecta o tipo de amarração do varão, também designado por *hook*. E por fim, o vetor normal à direção da armadura.

Assim, ao realizar a execução do código criado, este irá colocar as armaduras na plataforma de modelação BIM de forma automática. A figura 5.17 apresenta o resultado das armaduras nos pilares após a execução do código.

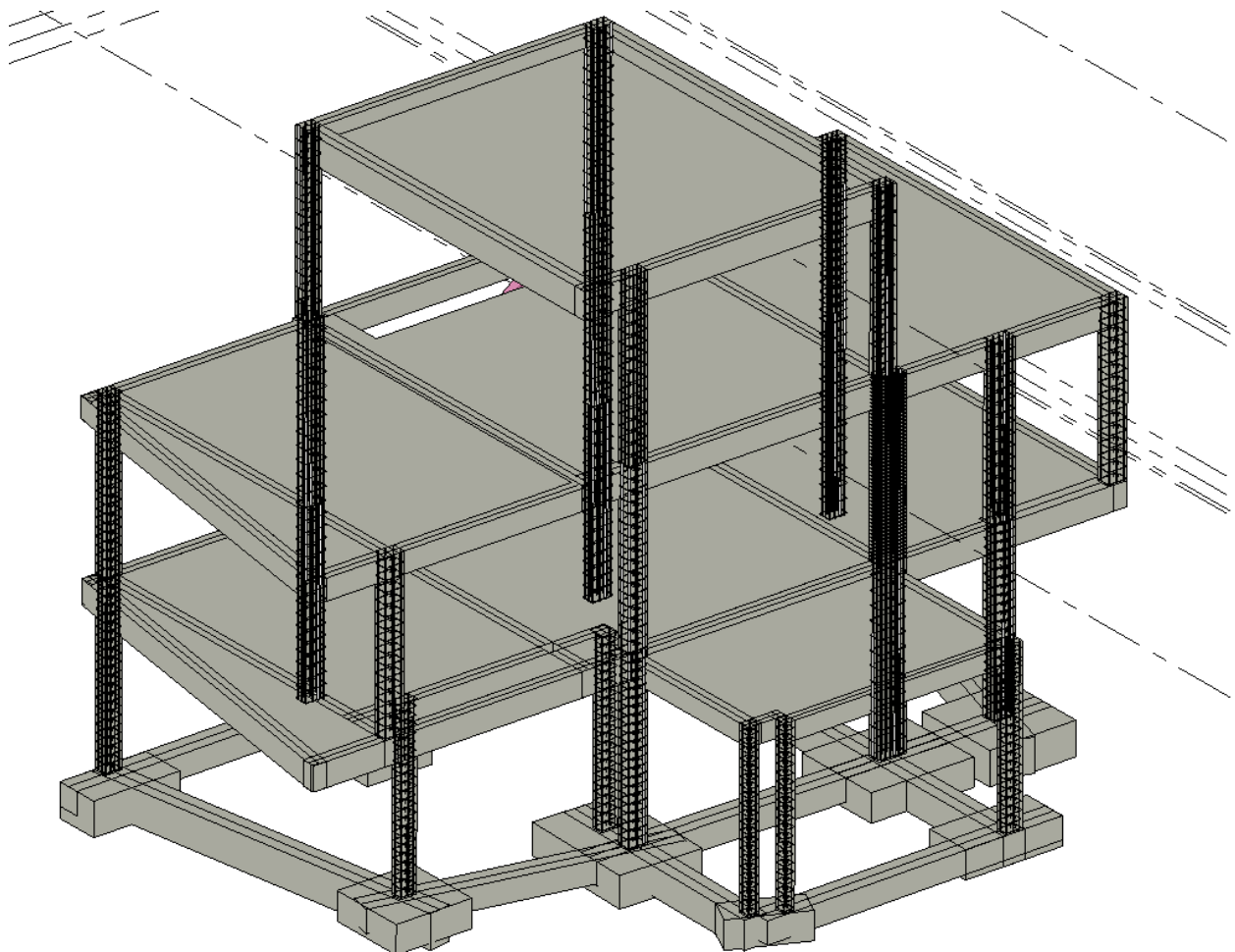


Figura 5.17 – Representação tridimensional das Armaduras dos Pilares

Assim, foram realizados vários *scripts* com códigos semelhantes ao dos pilares, mas com resultados diferentes, isto é, a organização dos códigos é a mesma, mas os elementos são diferentes assim como as tabelas. Por fim, a figura 5.18 apresenta as armaduras de vários elementos da estrutura resultado da aplicação dos vários *scripts* desenvolvidos em Dynamo.

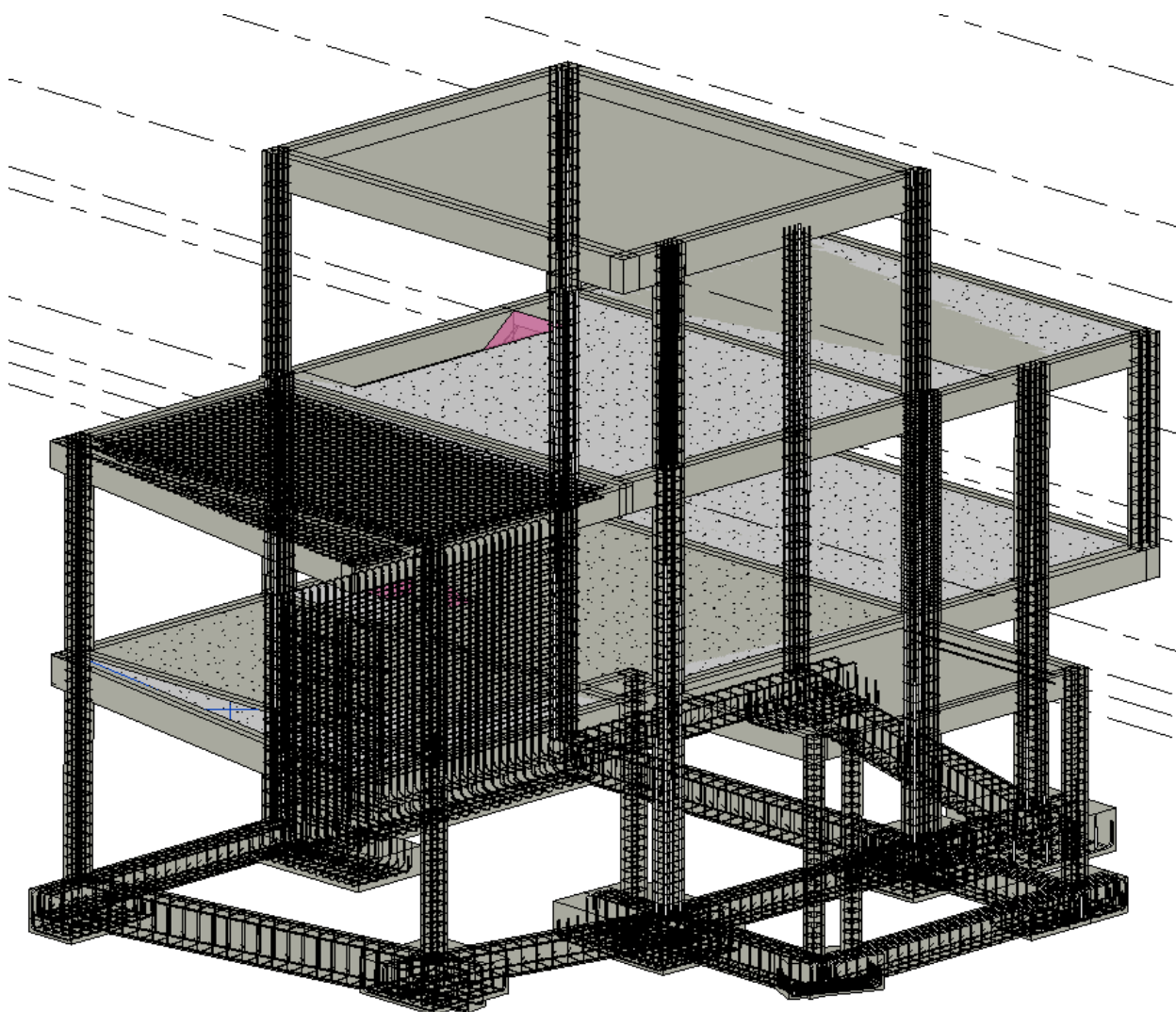


Figura 5.18 – Representação tridimensional das Armaduras de vários elementos estruturais do projeto

Como se pode observar na figura 5.13, ainda faltam as armaduras das vigas, isto deve-se ao facto de não existir uma tabela com esses dados.

Também é possível observar que nem todas as lajes apresentam as armaduras, isto deve-se ao facto de elas não estarem visíveis, no entanto encontram-se dentro da laje.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho consistiu em duas partes, sendo a primeira parte o desenvolvimento de um projeto de estruturas de uma moradia, que foi desenvolvido em ambiente empresarial na Blackcurrant. A segunda parte consistiu no desenvolvimento de automatização do processo de colocação de armaduras.

Primeiramente, este trabalho baseou-se num caso de estudo apresentado pela empresa, onde foi apresentado o programa de cálculo CYPECAD, que pertence à plataforma CYPE. Foi neste programa que foi desenvolvido todo o projeto de estruturas, assim o objetivo proposto foi cumprido, pois desenvolveu-se todo o projeto desde a modelação do caso de estudo até os resultados finais. De seguida, foi realizada a transferência de toda a informação vinda do CYPECAD, sendo essa composta por um ficheiro de extensão IFC, que foi transferido para o Revit, e os relatórios com tabelas de armaduras em formato Word, sendo que, estas tabelas foram transferidas para o Excel.

A seguir, foi desenvolvido um procedimento com o intuito de automatizar o processo de colocação de armaduras no projeto. Este processo deve-se ao facto do ficheiro IFC, depois de executado na plataforma de modelação BIM não transferir os volumes de armadura desenvolvidos no processo anterior. Assim, através da ferramenta Dynamo e dos relatórios do projeto foi desenvolvido um processo de interoperabilidade. Este objetivo foi proposto pelo Professor Diogo Ribeiro e foi cumprido com o apoio do Engenheiro Rui Gavina.

6.1 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Ao realizar este trabalho foi possível perceber que ainda existe muitos aspetos a ter em conta, como por exemplo uma colaboração com a empresa que representa o CYPE em Portugal, de modo a ser possível criar tabelas de armaduras para as vigas, com o intuito de desenvolver um código para a automatização do detalhamento das armaduras das vigas. Também seria necessário o melhoramento dos próprios códigos, com o intuito de serem mais genéricos e aplicáveis a qualquer tipo de projeto em betão armado. Também era de interesse desenvolver um código relacionado com a estrutura metálica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

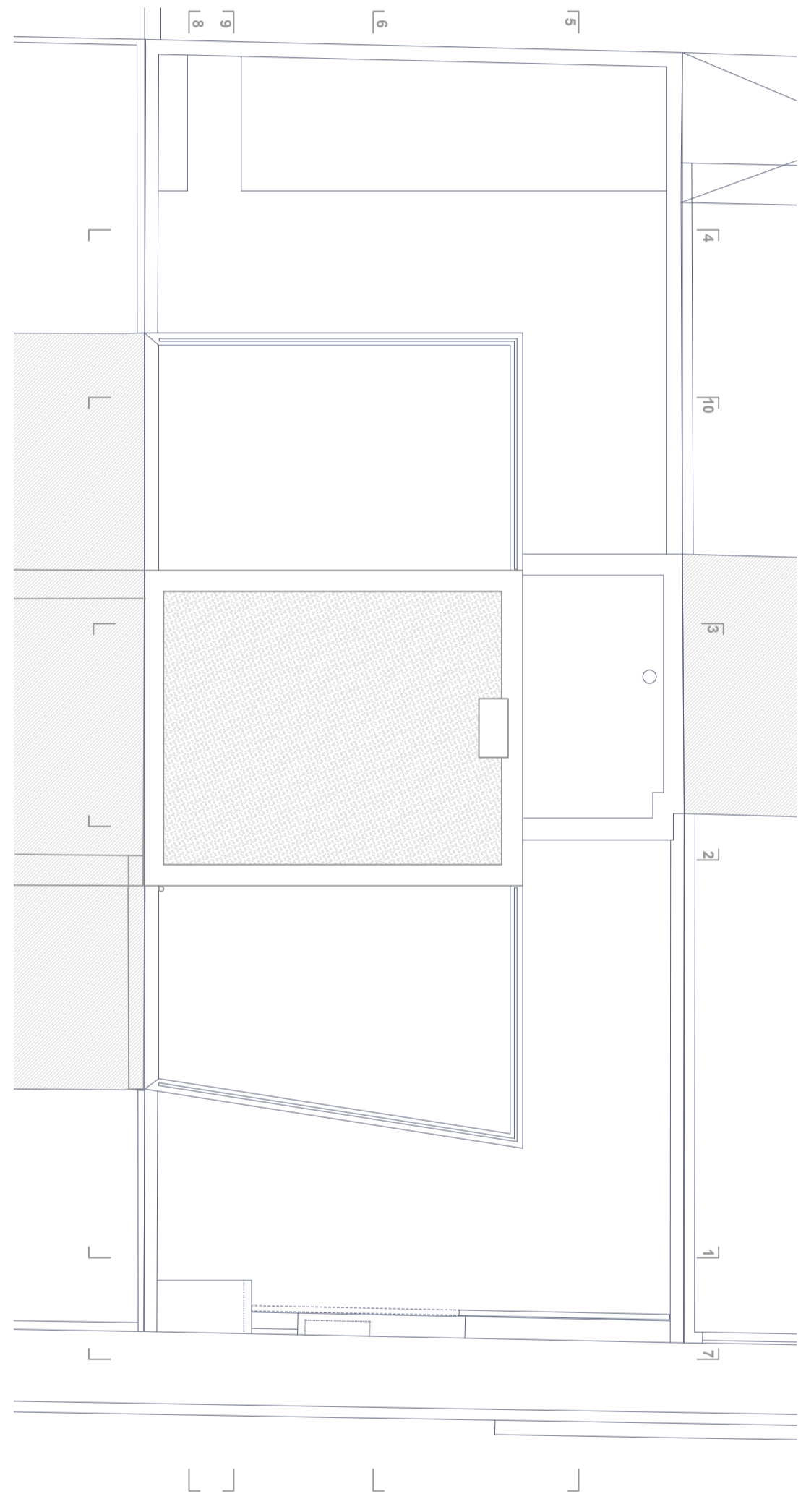
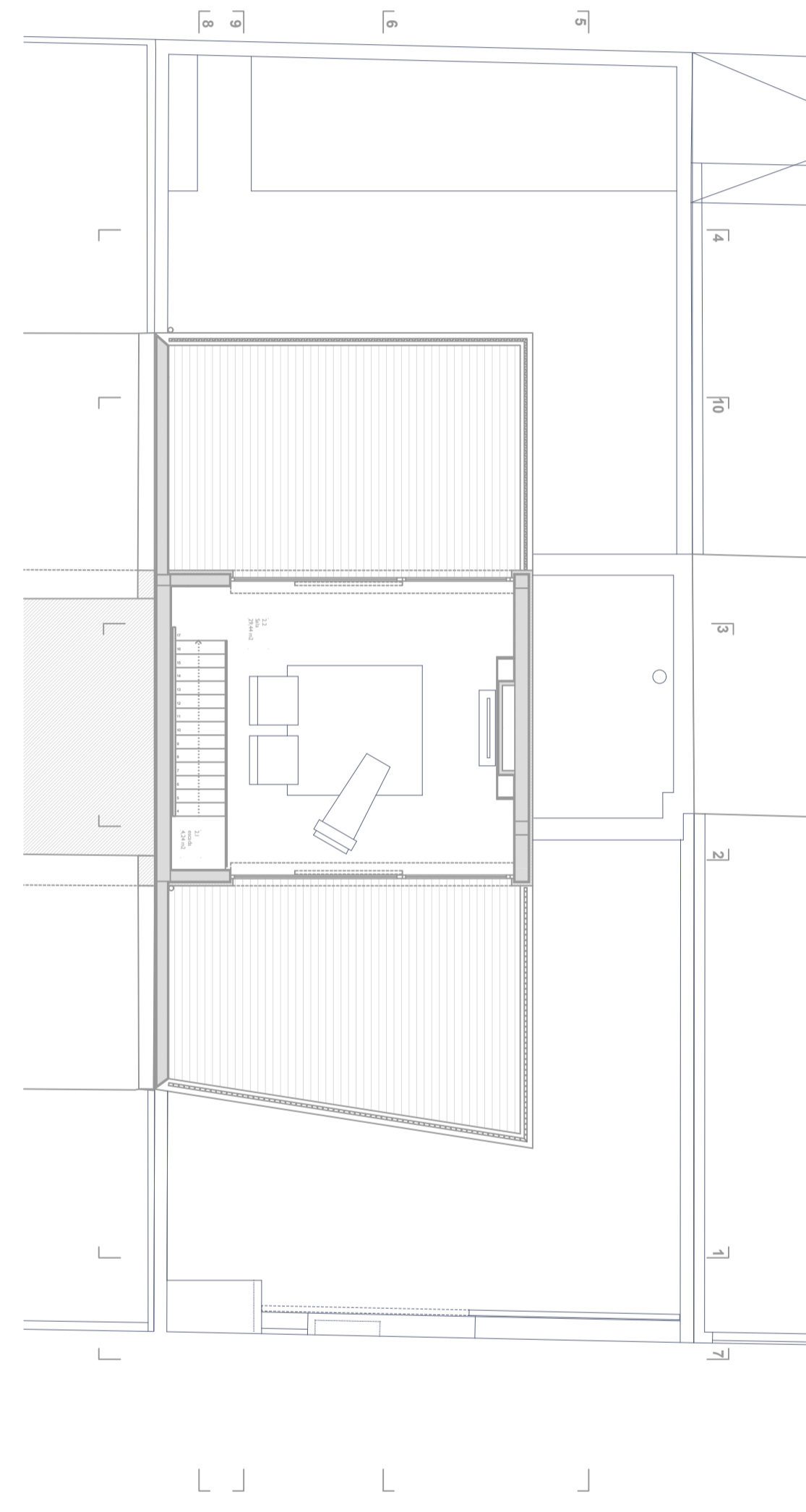
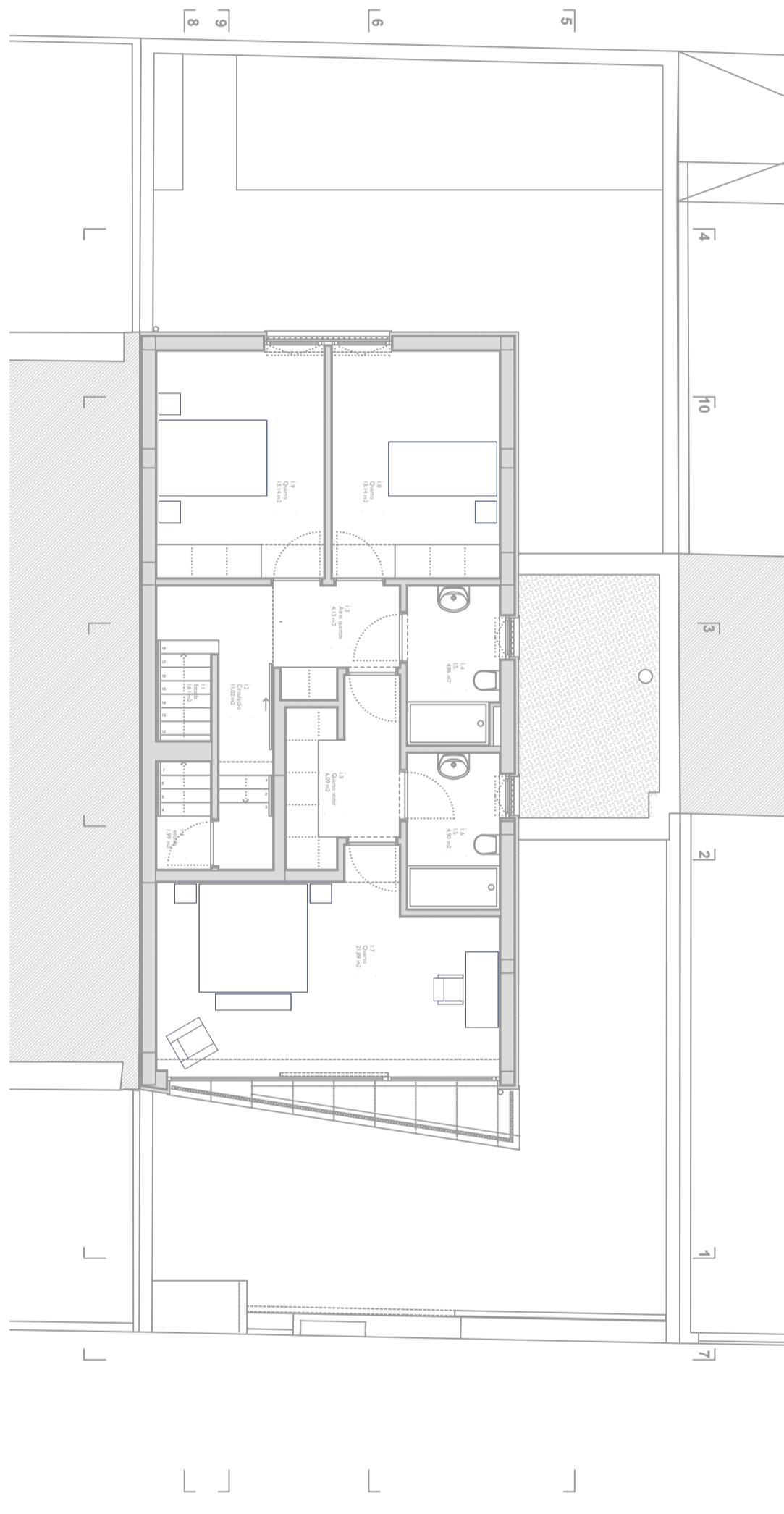
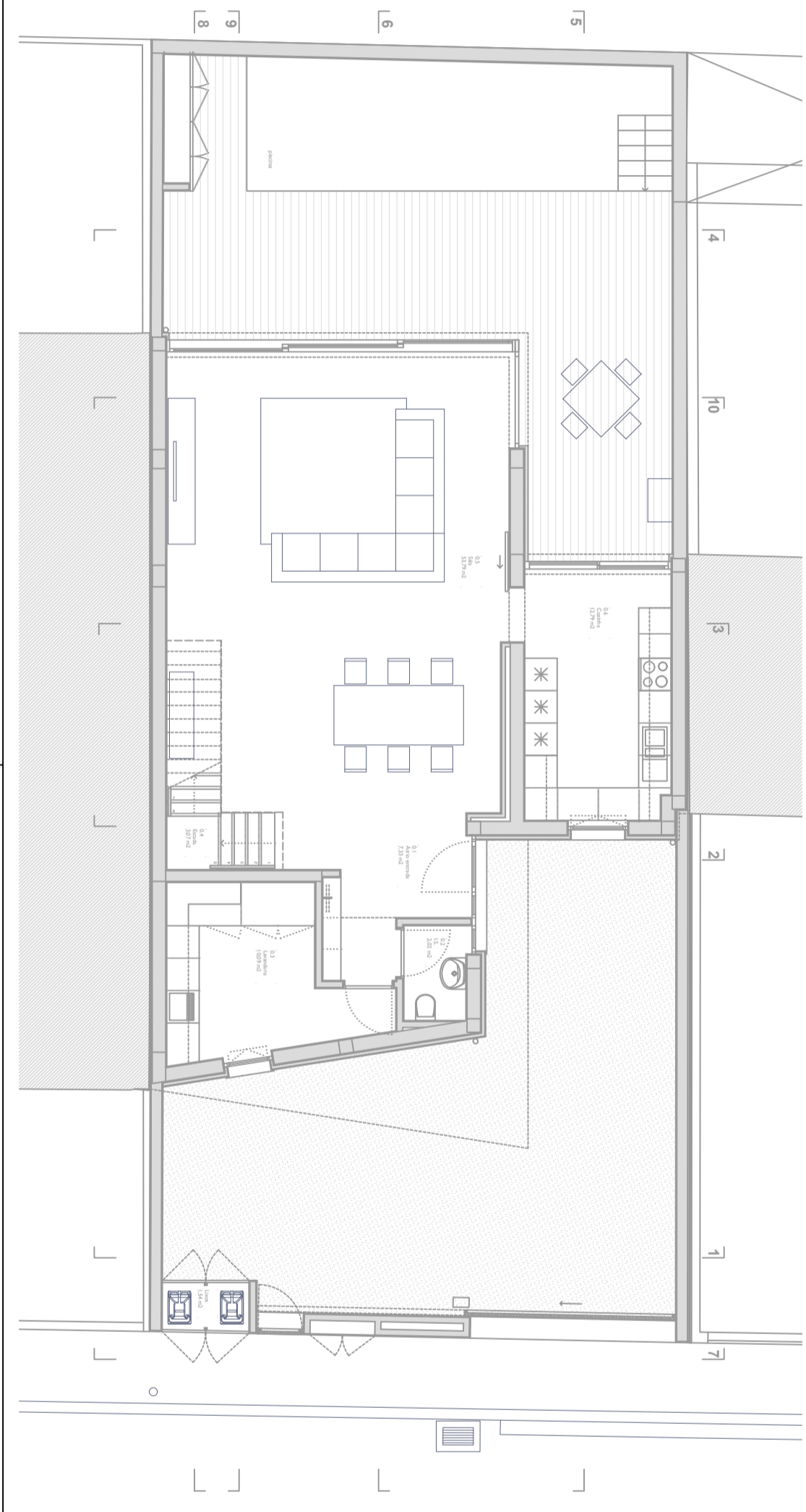
- [1] P. Amorim and S. Amorim, “Blackcurrant Engenharia-Arquitetura.” <http://www.blackcurrant.pt/>.
- [2] Margarida Magalhães Borges, “Bim Modelling Automation on Reinforcement Detailing of Slabs,” Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2018.
- [3] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook*. .
- [4] A. Cardoso, B. Maia, D. Santos, J. Neves, and M. Martins, “BIM: O que é? Mestrado Integrado em Engenharia Civil,” no. 120501027, p. 27, 2012, [Online]. Available: https://paginas.fe.up.pt/~projfeup/cd_2012_13/files/REL_12MC08_01.PDF.
- [5] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, “Manual de BIM.” p. 503, 2014.
- [6] Bilbus, “The BIM Object Library explainedes.” <https://biblus.accasoftware.com/en/the-bim-object-library-explained/>.
- [7] I. F. do V. Gonçalves, “Aplicação do bim ao projeto de estruturas,” *Tese Mestr.*, 2014.
- [8] American Institute of Architects, “Building Information Modeling Protocol Form G202-2013,” pp. 1–33, 2014.
- [9] A. Sharafutdinova, “BIM in practice,” Saimaa University of Applied Sciences Technology, 2015.
- [10] Bilbus, “Modelos federados BIM,” 2021. <https://biblus.accasoftware.com/ptb/modelos-federados-bim-confira-o-que-sao-que-saoao/>.
- [11] R. Pinto, “APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM AO PROJETO DE PONTES - CASO PRÁTICO,” Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2016.
- [12] F. A. P. Lopes, “DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE ESTRUTURA DE UM EDÍFICIO COM RECURSO AO BIM,” Universidade do Algarve, 2018.
- [13] I.-I. P. da Qualidade, “NP EN 1991-1-1:2009, Acções gerais, Pesos volúmicos, Pesos Próprios, Sobrecargas em Edifícios.” 2009.
- [14] I.-I. P. da Qualidade, “NP EN 1991-1-4:2010, Acções gerais, Acções do vento.” 2010.
- [15] I.-I. P. da Qualidade, “NP EN 1998-1:2010 - Projecto de estruturas para resistência aos sismos,

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios,” vol. 2007, no. Idi. pp. 1–57, 2008.

- [16] I.-I. P. da Qualidade, “NP EN 1992-1-1:2010 - Projecto de estruturas de betão, Regras gerais e regras para edifícios.” 2010.
- [17] *O Dynamo Primer*. 2019.

ANEXO I- PLANTAS



"Reproduz fielmente as peças desenhadas constantes do suporte digital respetivo"

RO	30-04-2021	Emissão Inicial Licenciamento	Rui Martins	Pedro Amorim	-
Revisão	Data	Descritivo	Executou	Verificou	Aprovou



Número: 15620 AAG 02 PL-RO
Data: 30-04-2021

REQUERENTE: - MORADA DA OBRA: -

OBRA: Habitação Unifamiliar Fase: Licenciamento Projeto: Pedro Amorim Substituído por: Rui Martins
4

PROJETO: Abastecimento de Águas DESIGNAÇÃO: Plantas piso 0, 1, 2 e cobertura Traçado da rede predial de abastecimento de águas Escala: 1/100

ANEXO II-ESPECTROS DE CÁLCULO

Localização no País: **Continente**

Localidade: **Matosinhos**

Código do Município: 1308

Tipo de terreno: **B**

Descrição: Depósitos de areia muito compacta, de seixo (cascalho) ou de argila muito rijas, com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros, caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas com a profundidade

Classe de importância: **II**

Descrição: Edifícios correntes, não pertencentes às outras categorias.

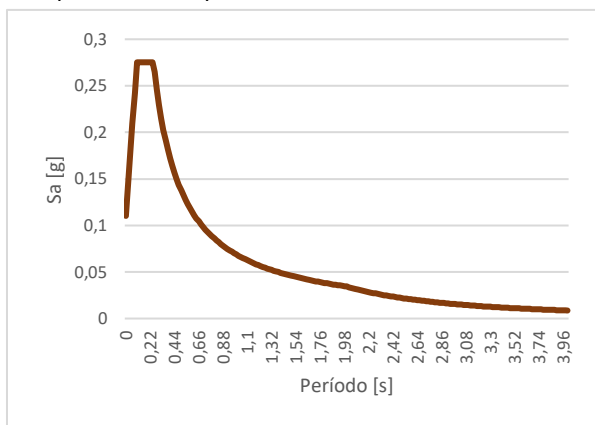
ξ (%): **5**

η : **1** (3.6)

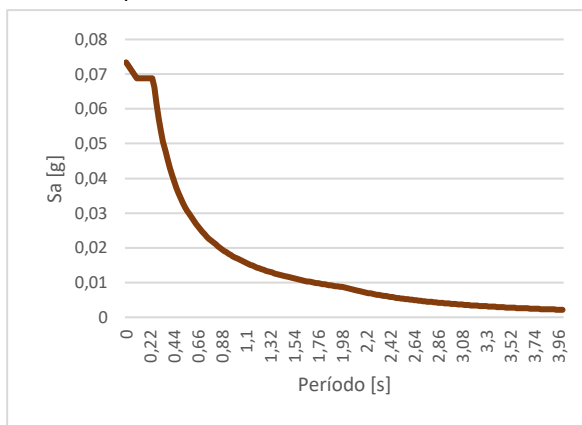
Ação sísmica: **Tipo 2**

q : **4** (5.2.2.2)

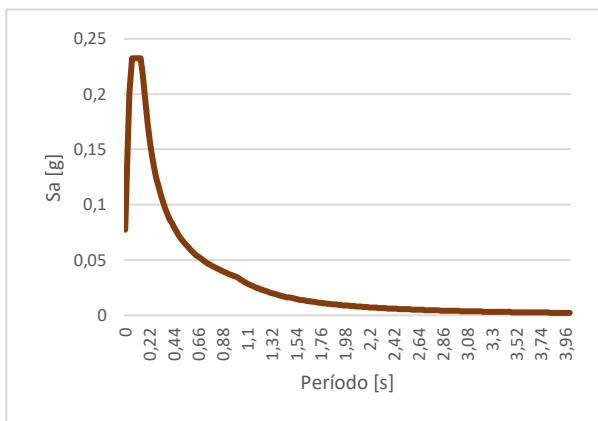
Espectro de Resposta Elástico - Horizontal



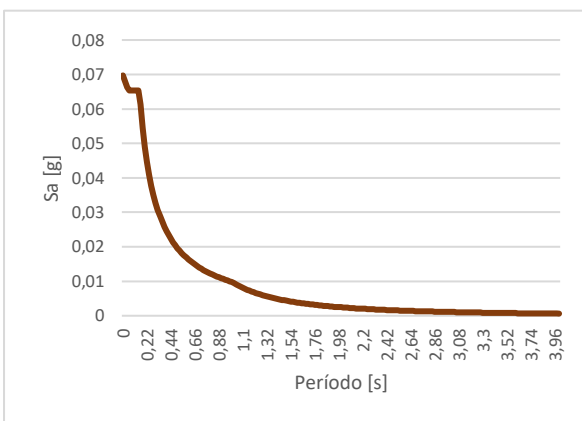
Espectro de Cálculo - Horizontal



Espectro de Resposta Elástico - Vertical



Espectro de Cálculo - Vertical



ANEXO III – TABELAS DE ARMADURA

Tabela de Armaduras de Pilares

Betão: C30/37

Pilar	Geometria			Armaduras						Aprov. (%)	Estado
	Planta	Dimensões (cm)	Tramo (m)	Varões			Armaduras transversais				
				Cantos	Face X	Face Y	Quantidade (%)	Descrição ⁽¹⁾	Separação (cm)		
P1	Piso 2 Terraço	25x30	3.20/5.77	4Ø12	2Ø12	4Ø12	1.51	1eØ6+X2rØ6	15	88.9	Verifica
	Piso 1	25x30	0.00/2.77	4Ø12	2Ø12	4Ø12	1.51	1eØ6+X2rØ6	15	88.9	Verifica
	Fundação	-	-	4Ø12	2Ø12	4Ø12	1.51	1eØ6+X2rØ6	-	65.4	Verifica
P2	Piso 2 Terraço	25x35	3.20/5.77	4Ø16	-	2Ø16	1.38	1eØ6	20	32.5	Verifica
	Piso 1	-	-	4Ø16	-	2Ø16	1.38	1eØ6	-	32.5	Verifica
P3	Piso 1	20x30	0.00/2.77	4Ø16	-	2Ø12	1.72	1eØ6	15	92.2	Verifica
	Fundação	-	-	4Ø16	-	2Ø12	1.72	1eØ6	-	92.2	Verifica
P4	Piso Cobertura	25x30	6.25/8.92	4Ø20	2Ø16	2Ø16	2.75	1eØ6	20	99.3	Verifica
	Piso 2 Terraço	25x40	3.20/5.82	4Ø20	-	6Ø20	3.14	1eØ6+X1rØ6	25	97.0	Verifica
	Piso 1	25x40	0.00/2.77	4Ø20	2Ø20	4Ø20	3.14	1eØ6+X2rØ6	25	71.6	Verifica
	Fundação	-	-	4Ø20	2Ø20	4Ø20	3.14	1eØ6+X2rØ6	-	8.1	Verifica
P6	Piso Cobertura	25x35	6.25/8.92	4Ø12	2Ø12	6Ø12	1.55	1eØ6+X1rØ6	15	97.9	Verifica
	Piso 2 Terraço	25x35	3.20/5.82	4Ø25	-	2Ø16	2.70	1eØ8	20	98.7	Verifica
	Piso 1	25x35	0.00/2.77	4Ø25	-	2Ø16	2.70	1eØ8	20	-	Verifica
	Fundação	-	-	4Ø25	-	2Ø16	2.70	1eØ8	-	62.8	Verifica
P7	Piso 1	20x20	0.00/2.77	4Ø12	-	-	1.13	1eØ6	15	84.1	Verifica
	Fundação	-	-	4Ø12	-	-	1.13	1eØ6	-	84.1	Verifica
P8	Piso 1	20x20	0.00/2.77	4Ø12	-	-	1.13	1eØ6	15	52.6	Verifica
	Fundação	-	-	4Ø12	-	-	1.13	1eØ6	-	52.6	Verifica
P9	Piso Cobertura	25x40	6.25/8.92	4Ø20	-	4Ø16	2.06	1eØ6+X2rØ6	20	100.0	Verifica
	Piso 2 Terraço	25x40	3.20/5.82	4Ø20	-	6Ø20	3.14	1eØ6+X1rØ6	25	93.2	Verifica
	Piso 1	25x40	0.00/2.77	4Ø20	2Ø20	4Ø20	3.14	1eØ6+X2rØ6	25	86.4	Verifica
	Fundação	-	-	4Ø20	2Ø20	4Ø20	3.14	1eØ6+X2rØ6	-	11.8	Verifica
P10	Piso 1	20x30	0.00/2.77	4Ø12	-	-	0.75	1eØ6	15	85.9	Verifica
	Fundação	-	-	4Ø12	-	-	0.75	1eØ6	-	85.9	Verifica
P11	Piso Cobertura	25x30	6.25/8.92	4Ø20	2Ø20	2Ø20	3.35	1eØ6	25	96.4	Verifica
	Piso 2 Terraço	25x50	3.20/5.82	4Ø20	2Ø20	8Ø20	3.52	1eØ6+X4rØ6	6	99.7	Verifica
	Piso 1	25x50	0.00/2.77	4Ø20	2Ø20	8Ø20	3.52	1eØ6+X2rØ6	25	92.0	Verifica
	Fundação	-	-	4Ø20	2Ø20	8Ø20	3.52	1eØ6+X2rØ6	-	51.0	Verifica
P12	Piso 1	20x30	0.00/2.77	4Ø12	-	2Ø12	1.13	1eØ6	15	98.9	Verifica
	Fundação	-	-	4Ø12	-	2Ø12	1.13	1eØ6	-	98.9	Verifica
P13	Piso 2 Terraço	25x40	3.20/5.82	4Ø20	2Ø12	4Ø16	2.29	1eØ6+X2rØ6	15	74.4	Verifica
	Piso 1	25x40	0.00/2.77	4Ø25	2Ø16	2Ø20	2.99	1eØ8+X1rØ8	20	69.7	Verifica
	Fundação	-	-	4Ø25	2Ø16	2Ø20	2.99	1eØ8	-	64.9	Verifica
P14	Piso 2 Terraço	25x35	3.20/5.82	4Ø20	-	4Ø20	2.87	1eØ6+X2rØ6	25	97.0	Verifica
	Piso 1	25x35	0.00/2.77	4Ø20	2Ø12	4Ø20	3.13	1eØ6+X2rØ6	15	98.3	Verifica
	Fundação	-	-	4Ø20	2Ø12	4Ø20	3.13	1eØ6+X2rØ6	-	83.1	Verifica
P15	Piso 2 Terraço	25x35	3.20/5.82	4Ø16	-	2Ø16	1.38	1eØ6	20	47.3	Verifica
	Piso 1	-	-	4Ø16	-	2Ø16	1.38	1eØ6	-	47.3	Verifica

Notas:

⁽¹⁾ e = estribo, r = ramo⁽²⁾ Não verifica: 'Condições de ductilidade global e local (4.4.2.3)'

Tabela de Armaduras de Fundações		
Referências	Geometria	Armadura
P1	Sapata rectangular excêntrica Largura inicial X: 10.0 cm Largura inicial Y: 80.0 cm Largura final X: 70.0 cm Largura final Y: 80.0 cm Largura sapata X: 80.0 cm Largura sapata Y: 160.0 cm Altura: 60.0 cm	X: 10Ø16a/15 Y: 5Ø16a/15
P3	Sapata rectangular excêntrica Largura inicial X: 70.0 cm Largura inicial Y: 70.0 cm Largura final X: 70.0 cm Largura final Y: 70.0 cm Largura sapata X: 140.0 cm Largura sapata Y: 140.0 cm Altura: 50.0 cm	X: 7Ø16a/20 Y: 7Ø16a/20
P11	Sapata rectangular excêntrica Largura inicial X: 85.0 cm Largura inicial Y: 105.0 cm Largura final X: 80.0 cm Largura final Y: 85.0 cm Largura sapata X: 165.0 cm Largura sapata Y: 190.0 cm Altura: 50.0 cm	X: 9Ø16a/20 Y: 8Ø16a/20
P12	Sapata rectangular excêntrica Largura inicial X: 75.0 cm Largura inicial Y: 90.0 cm Largura final X: 10.0 cm Largura final Y: 90.0 cm Largura sapata X: 85.0 cm Largura sapata Y: 180.0 cm Altura: 50.0 cm	X: 9Ø16a/20 Y: 4Ø16a/20 X: 9Ø16a/20 Y: 4Ø16a/20
P13	Sapata rectangular excêntrica Largura inicial X: 82.5 cm Largura inicial Y: 85.0 cm Largura final X: 77.5 cm Largura final Y: 75.0 cm Largura sapata X: 160.0 cm Largura sapata Y: 160.0 cm Altura: 60.0 cm	X: 6Ø20a/25 Y: 6Ø20a/25
P14	Sapata rectangular excêntrica Largura inicial X: 10.0 cm Largura inicial Y: 90.0 cm Largura final X: 75.0 cm Largura final Y: 85.0 cm Largura sapata X: 85.0 cm Largura sapata Y: 175.0 cm Altura: 60.0 cm	X: 11Ø16a/15 Y: 5Ø20a/15
P7-P8	Sapata rectangular excêntrica Área restante: 0.71 m ² Largura inicial X: 67.5 cm Largura inicial Y: 13.3 cm Largura final X: 67.5 cm Largura final Y: 41.7 cm Largura sapata X: 135.0 cm Largura sapata Y: 55.0 cm Altura: 50.0 cm	X: 6Ø16a/20 Y: 3Ø16a/20 X: 6Ø16a/20 Y: 3Ø16a/20
P6-P10	Sapata rectangular excêntrica Largura inicial X: 107.5 cm Largura inicial Y: 75.1 cm Largura final X: 107.5 cm Largura final Y: 74.9 cm Largura sapata X: 215.0 cm Largura sapata Y: 150.0 cm Altura: 55.0 cm	X: 9Ø16a/15 Y: 14Ø16a/15
M1	Consola à esquerda: 0.0 cm Consola à direita: 50.0 cm Largura total: 75.0 cm Altura da sapata: 50.0 cm	Inferior Longitudinal: Ø16a/20 Inferior Transversal: Ø16a/20
M2	Consola à esquerda: 57.8 cm Consola à direita: 37.2 cm Largura total: 120.0 cm Altura da sapata: 40.0 cm	Inferior Longitudinal: Ø16a/25 Inferior Transversal: Ø12a/15

Tabela de Armaduras de Vigas de Equilíbrio		
Viga	Dimensões	Armadura
Viga 3	Largura: 40.0 cm Altura: 40.0 cm	Superior: 2Ø16 Inferior: 2Ø16 Alma: Estribos: 1xØ8a/25
Viga 4	Largura: 40.0 cm Altura: 40.0 cm	Superior: 2Ø16 Inferior: 2Ø16 Alma: Estribos: 1xØ8a/25
Viga 5	Largura: 40.0 cm Altura: 60.0 cm	Superior: 4Ø20 Inferior: 3Ø12 Alma: 1x2Ø12 Estribos: 1xØ8a/20
Viga 6	Largura: 40.0 cm Altura: 50.0 cm	Superior: 4Ø16 Inferior: 3Ø16 Alma: 1x2Ø12 Estribos: 1xØ8a/20
Viga 7	Largura: 40.0 cm Altura: 40.0 cm	Superior: 2Ø16 Inferior: 2Ø16 Alma: Estribos: 1xØ8a/25
Viga 8	Largura: 40.0 cm Altura: 40.0 cm	Superior: 2Ø16 Inferior: 2Ø16 Alma: Estribos: 1xØ8a/25
Viga 9	Largura: 40.0 cm Altura: 60.0 cm	Superior: 4Ø20 Inferior: 3Ø12 Alma: 1x2Ø12 Estribos: 1xØ8a/20
Viga 10	Largura: 40.0 cm Altura: 50.0 cm	Superior: 4Ø16 Inferior: 3Ø16 Alma: 1x2Ø12 Estribos: 1xØ8a/20
Viga 11	Largura: 40.0 cm Altura: 40.0 cm	Superior: 2Ø16 Inferior: 2Ø16 Alma: Estribos: 1xØ8a/25
Viga 12	Largura: 40.0 cm Altura: 50.0 cm	Superior: 4Ø16 Inferior: 4Ø16 Alma: 1x2Ø12 Estribos: 1xØ8a/20
Viga 13	Largura: 40.0 cm Altura: 40.0 cm	Superior: 2Ø16 Inferior: 2Ø16 Alma: Estribos: 1xØ8a/25

Tabela de Armaduras dos Muros de Suporte			
Muro	Direção	Armaduras à esquerda	Armaduras à direita
M1	Horizontal	Ø12a/15	Ø12a/15
	Vertical	Ø12a/15	Ø12a/15
M2	Horizontal	Ø12a/20	Ø12a/20
	Vertical	Ø12a/20	Ø12a/20

Tabela de Armaduras de Lajes					
Laje	Armadura Longitudinal (Major)		Armadura Transversal		
Piso 1	Laje 1	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 20	1Ø12a/15 1Ø10a/15	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 20	1Ø10a/15 1Ø10a/15
	Laje 3	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 20	1Ø12a/15 1Ø12a/15	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 20	1Ø10a/15 1Ø10a/15
	Laje 4	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 20	1Ø10a/15 1Ø10a/15	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 20	1Ø10a/15 1Ø10a/15
	Laje 5	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 20	1Ø10a/15 1Ø10a/15	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 20	1Ø10a/15 1Ø10a/15
	Laje 6	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 20	1Ø12a/15 1Ø10a/15	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 20	1Ø12a/15 1Ø10a/15
	Laje 7	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 15	Não se coloca Não se coloca	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 15	Não se coloca Não se coloca
	Laje 8	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 20	1Ø12a/15 1Ø10a/15	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 20	1Ø12a/15 1Ø10a/15
	Laje 1	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 20	1Ø12a/15 1Ø10a/15	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 20	1Ø10a/15 1Ø10a/15
Piso 2	Laje 2	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 22	1Ø10a/15 1Ø8a/15	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 22	1Ø10a/15 1Ø8a/15
	Laje 3	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 20	1Ø10a/15 1Ø8a/15	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 20	1Ø10a/15 1Ø12a/15
	Laje 4	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 20	1Ø12a/15 1Ø8a/15	Armadura Base Inferior Armadura Base Superior Altura: 20	1Ø10a/15 1Ø10a/15

