



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE COMPARATIVA DO DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA DE  
BETÃO ARMADO, COM A UTILIZAÇÃO DE PROGRAMAS DE  
CÁLCULO ESTRUTURAL  
(CYPECAD 2018, ROBOT STRUCTURAL ANALYSES E SAP 2000)

Trabalho de Licenciatura submetido ao Departamento de Engenharia Civil para  
obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Civil

Autor: Donaldo Francisco José de Jesus  
Supervisora: Eng<sup>a</sup>. Alexandra Neves

Maputo, Novembro de 2022



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE COMPARATIVA DO DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA DE  
BETÃO ARMADO, COM A UTILIZAÇÃO DE PROGRAMAS DE  
CÁLCULO ESTRUTURAL  
(CYPECAD 2018, ROBOT STRUCTURAL ANALYSES E SAP 2000)

Trabalho de Licenciatura submetido ao Departamento de Engenharia Civil para  
obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Civil

Autor: Donaldo Francisco José de Jesus

Aprovado por:

---

Supervisora: Eng<sup>a</sup>. Alexandra Neves

Maputo, Novembro de 2022

## Termo de entrega do trabalho

Eu, Donaldo Francisco José De Jesus, estudante da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, no curso de Licenciatura em Engenharia Civil, declaro, por minha honra, que o trabalho que submeto, como requisito para aquisição do grau de Licenciatura na Universidade Eduardo Mondlane, é original, exclusivamente da minha autoria, e nunca antes foi apresentado em nenhuma instituição de ensino superior para qualquer que seja o efeito. Todas as fontes consultadas estão convenientemente identificadas ao longo do mesmo.

Maputo, Novembro de 2022

---

(Donaldo Francisco José De Jesus)

# Dedicatórias

---

Dedico este trabalho:

Ao meu Deus, pois acredito que, sem ele não chegaria até aqui.

Agradecer à minha maravilhosa família, por todo apoio directo e indirecto, por nunca deixarem de acreditar no meu potencial, e por disporem de recursos para que tal se concretizasse.

A todos meus amigos, por estarem sempre presentes para partilhar cada momento, as alegrias e as tristezas, sem vocês não chegaria até aqui.

# Agradecimentos

---

A execução deste trabalho, contou com apoio directo e indirecto de várias individualidades, que seria imprescindível deixar ficar os meus solenes agradecimentos.

- A Deus em primeiro lugar pela vida;
- À minha família, que sempre esteve presente, apoiando directamente e indirectamente, em especial ao meu pai por ter sempre acreditado em mim.
- Aos meus amigos e colegas, por estarem presentes durante todo o meu percurso académico.
- Aos meus professores, desde a escola primária até à universidade. Obrigado por me terem dado as bases necessárias, para que pudesse chegar onde cheguei. Em especial à minha supervisora Alexandra Neves, que, com muita paciência e disponibilidade me acompanhou.

Muito obrigado!

# Resumo

---

O presente trabalho de licenciatura, tem como objectivo, fazer a comparação dos resultados do dimensionamento de uma estrutura de betão armado, obtidos com recurso a três programas de cálculo estruturais, nomeadamente Cypecad, Robot Structural Analyses e Sap2000.

Considerou-se para o caso de estudo, um edifício residencial de quatro pisos, onde para as mesmas secções dos elementos estruturais, e as mesmas condições de carregamento, foram feitas a modelação, o cálculo estrutural, e análise dos resultados, de forma a comparar os três programas de cálculo automático.

Foi feita a análise comparativa dos resultados de cálculo, com base na selecção de alguns elementos estruturais, nomeadamente, uma sapata, um pilar, uma viga, uma laje, caixa de escadas e caixa de elevador. Foram comparados aspectos relacionados com, o processamento de dados, comportamento estrutural, consumo de materias e detalhamento do projecto.

# Índice

---

1.	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	GENERALIDADES .....	1
1.2	OBJECTIVOS .....	2
1.2.1	Objectivo Geral .....	2
1.2.2	Objectivo específico .....	2
1.3	METODOLOGIA .....	2
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	3
2.	Revisão bibliográfica .....	4
2.1	ANÁLISE COMPARATIVA DO DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA DE BETÃO ARMADO, COM A UTILIZAÇÃO DE PROGRAMAS DE CÁLCULO ESTRUTURAL .....	4
2.2	DESCRIÇÃO DOS PROGRAMAS .....	5
2.2.1	Cypecad .....	5
2.2.2	Robot Structural Analysis Professional .....	6
2.2.3	Sap 2000 .....	7
3.	DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO .....	8
3.1	DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO .....	8
3.2	CONCEPÇÃO ESTRUTURAL .....	9
3.2.1	Acções a considerar .....	10
3.2.2	Acção do vento .....	11
3.2.3	Combinações .....	18
3.3	PRÉ-DIMENSIONAMENTO .....	19
4.	MODELAÇÃO ESTRUTURAL .....	22
	INTRODUÇÃO .....	22
4.1	CYPECAD 2018 .....	22
4.2	ROBOT STRUCTURAL ANALYSES .....	32
4.3	SAP 2000 .....	42
5.	ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS .....	49
	INTRODUÇÃO .....	49
6.	CONCLUSÕES .....	59
6.1	RECOMENDAÇÕES .....	60

# Lista de figuras

---

Figura 1-Modelo 3D do caso de estudo, (do programa Archicad).....	8
Figura 2-Forma do diagrama de pressão do vento, [6]. .....	15
Figura 3-Zonas de pressão [6]. .....	16
Figura 4-Tela inicial do Cypecad, (do programa Cypecad). .....	22
Figura 5- Tela descritiva dos tipos de introdução da obra, (do Cypecad).....	22
Figura 6-Introdução dos dados gerais da obra, (do Cypecad). .....	23
Figura 7- Edição das plantas, (do Cypecad). .....	23
Figura 8- Edição de grupos, (do Cypecad).....	24
Figura 9- Gestão das vistas da máscara, (do Cypecad). .....	24
Figura 10- Introdução de pilares, (do Cypecad). .....	25
Figura 11- Modelo 3D, da introdução dos pilares, (do Cypecad). .....	25
Figura 12-Introdução da caixa de elevador, (do Cypecad).....	26
Figura 13-Modelo 3D de pilares e caixa de elevador, (do Cypecad).....	26
Figura 14-Definição do tipo de viga, (do Cypecad). .....	27

Figura 15-Gestão das lajes, (do Cypecad).....	27
Figura 16-Edição do núcleo de escadas e tramos da escada respectivamente, (do Cypecad). ....	28
Figura 17- Definição dos elementos de fundação, (do Cypecad).....	28
Figura 18-Tela (do Cypecad), para definição dos parâmetros da acção do vento, (do Cypecad). ....	29
Figura 19-Direções do vento, (do Cypecad).....	29
Figura 20-Combinações para estados limites de serviço, retirados (do Cypecad).....	30
Figura 21-Combinações para estados limites últimos, (do Cypecad).....	30
Figura 22- Preferências de trabalho, (do Robot). ....	31
Figura 23-Submenu Preferências, (do Robot Structural Analysis) .....	32
Figura 24- Definição dos eixos estruturais,                      Figura 25- Modelo 3D dos eixos estruturais, (do Robot). ....	33
Figura 26-Definição das secções adoptadas, (do Robot).....	33
Figura 27- Secções dos pilares, e vigas, (do Robot).....	34
Figura 28-Definição dos elementos de casca, (do Robot).....	34
Figura 29-Definição dos apoios, (do Robot).....	35
Figura 30- Pilares introduzidos, (do Robot).....	35
Figura 31-Seleção do apoio a ser aplicado na estrutura, (do Robot) .....	36
Figura 32-Introdução da viga, (do Robot). ....	36

Figura 33-Planta de vigas, (do Robot).	
Figura 34-Modelo 3D de vigas e pilares, (do Robot).....	37
Figura 35-Introdução da caixa de elevador, (do Robot).      Figura 36-Modelo 3D de vigas, pilares      fundações, e a caixa de elevador, (do Robot). .....	37
Figura 37-Parâmetros a considerar na modelação da escada, (do Robot). .....	38
Figura 38-Parâmetros a considerar na introdução das lajes, (do Robot). .....	38
Figura 39-Tipos de Carga, (do Robot). .....	39
Figura 40-Definição das cargas, (do Robot).....	39
Figura 41-Simulação da acção de vento, (do Robot). Figura 42- Direcção X da actuação do vento, (do Robot). .....	40
Figura 43-Combinação manual das acções, (do Robot). .....	40
Figura 44- Seleção do novo modelo, (do Sap2000).      Figura 45-Tela de seleção da opção "Rede only" ,(do Sap 2000).....	41
Figura 46-Escolha da unidade métrica, (do Sap2000). .....	42
Figura 47-Definição dos dados da grelha, (do programa Sap2000).....	42
Figura 48-Definição das propriedades do aço da classe (S 400), e do betão da classe C25/30 respectivamente, (do programa Sap2000) .....	43
Figura 49-Propriedades das secções, (do programa Sap2000).....	43
Figura 50-Propriedades das barras, (do programa Sap2000).....	44
Figura 51-Áreas das secções, (do programa Sap2000).....	44
Figura 52-Configuração dos apoios, (do programa Sap2000). .....	45
Figura 53-Tela de definição das acções actuantes na estrutura, ( do Sap2000).	46

Figura 54-Tela de definição das cargas, (do Sap2000). .....	46
Figura 55-Laje com cargas superficiais aplicadas, (do Sap2000). .....	46
Figura 56-Definição dos parâmetros para a acção do vento, (do Sap2000). .....	47
Figura 57-Combinação das cargas, (do Sap2000).....	47

# Lista de tabelas

---

Tabela 1-Diferença entre os programas de cálculo automático, relativamente às análises feitas, métodos utilizados e estruturas dimensionadas. ....	8
Tabela 2-Resumo das acções permanentes e variáveis.....	11
Tabela 3-Categoria do terreno e correspondentes parâmetros de rugosidade [6] .....	12
Tabela 4-Coefficientes de pressão para paredes verticais de edifícios de planta retangular [6]. ....	16
Tabela 5-Pressões obtidas para o alçado lateral esquerdo e lateral direito .....	16
Tabela 6-Pressões obtidas para o alçado principal e posterior.....	17
Tabela 7-Designação dos elementos estruturas, em cada programa de cálculo automático .....	48
Tabela 8-Comparação do tempo de processamento dos dados de cálculo .....	49
Tabela 9-Comparação dos valores das reacções de apoio. ....	49
Tabela 10-Comparação dos valores dos esforços do pilar do quarto piso.....	50
Tabela 11-Comparação dos momentos flectores máximos da viga .....	51
Tabela 12-Comparação dos valores dos momentos.....	52
Tabela 13--Comparação dos momentos atuantes nas escadas. ....	53
Tabela 14-Comparação dos momentos da caixa de elevador. ....	53
Tabela 15-Comparação dos valores da deformada estrutura .....	54
Tabela 16-Comparação das áreas das armaduras necessárias. ....	55

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 GENERALIDADES

O avanço tecnológico dos computadores, potencializados sobre tudo na década 90, é proporcional à evolução de programas de cálculo automático de estruturas. Para tal, é necessário alguma atenção no uso destes programas e grande atenção na análise dos resultados obtidos. [1]

O mau conhecimento do funcionamento e das aplicações do programa de cálculo automático pode levar, muitas vezes, ao erro nos resultados obtidos, resultando numa estrutura mal dimensionada, que não esteja preparada para absorver as cargas nela aplicadas, ou seja uma estrutura subdimensionada, e noutros casos pode induzir a uma estrutura sobredimensionada, tornando o projecto antieconómico.

É assim, imprescindível ao engenheiro projetista, bem como os engenheiros recém-formados que almejem abraçar a área, que conheçam bem o funcionamento dos programas de cálculo, suas aplicações, suas funções, capacidades, vantagens e desvantagens relativas entre si.

Assim sendo, o presente trabalho, realizado para obtenção do grau de licenciatura em engenharia civil, aborda o tema que incide na comparação dos resultados obtidos no dimensionamento de uma estrutura de betão armado, recorrendo a diferentes programas de cálculo, nomeadamente Cypecad, Robot Structural Analyses e Sap2000.

## 1.2 OBJECTIVOS

### 1.2.1 Objectivo Geral

O presente trabalho tem como objectivo geral, comparar os resultados obtidos no dimensionamento de uma estrutura de betão armado, com utilização de programas de cálculo (Cypecad 2018, Robot Structural Analyses e Sap 2000), com vista a identificar as possíveis causas da disparidade nos resultados obtidos.

### 1.2.2 Objectivo específico

- Modelação e dimensionamento de um edifício de betão armado, de quatro pisos, mediante o uso de Cypecad 2018, Robot Structural Analyses e Sap 2000;
- Apresentação dos resultados;
- Comparação de aspectos relacionados com:

-Processamento de Dados;

-Comportamento estrutural, (Esforços e deformações);

-Consumo de materiais;

-Detalhamento do Projecto.

## 1.3 METODOLOGIA

No presente trabalho, para poder-se comparar os resultados e chegar-se as conclusões apresentadas, recorreu-se a três programas de cálculo estrutural automático, Cypecad 2018, Robot Structural Analyses, e Sap 2000, para poder fazer a modelação e o dimensionamento da estrutura. Para o auxílio da modelação recorreu-se a vídeos aulas. A revisão bibliográfica, foi baseada em pesquisas bibliográficas sendo elas, dissertações e artigos de internet.

## 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está organizado em 6 capítulos, de forma a alcançar os objectivos previstos. O primeiro capítulo corresponde a introdução, definição dos objectivos, metodologia e organização do trabalho, de seguida, os restantes capítulos são do desenvolvimento e conclusões do trabalho, com enfoque a responder os objectivos previstos no presente trabalho.

No capítulo 2, são descritos e caracterizados os programas de cálculo automático em questão. Serão apresentadas suas principais características.

No capítulo 3, é descrito o caso de estudo, é apresentada a solução estrutural adoptada, é feita a escolha dos materiais, o pré-dimensionamento dos elementos estruturais, a definição das cargas e as combinações das acções usadas.

No capítulo 4, é feita apresentação das hipóteses de modelação, em cada um dos programas ilustrando-se, de forma mais clara possível, o passo a passo da modelação em cada um dos programas.

No capítulo 5, é feita a análise comparativa dos resultados obtidos com base nos parâmetros de modelação, processamento de dados, comportamento estrutural, consumo de materiais, e o detalhamento do projecto.

O capítulo 6, foi feita a discussão dos resultados obtidos no dimensionamento da estrutura, as conclusões e as recomendações.

O trabalho inclui, na parte final, a apresentação da bibliografia usada para realização do trabalho. E por fim, são apresentados os anexos do trabalho.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ANÁLISE COMPARATIVA DO DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA DE BETÃO ARMADO, COM A UTILIZAÇÃO DE PROGRAMAS DE CÁLCULO ESTRUTURAL

Uma análise comparativa, é um método de pesquisa, colecta e análise de informações que envolve a comparação de dois ou mais processos, documentos, conjunto de dados ou outros objectos para obter razões validas na explicação de diferenças ou semelhanças. (18)

No cenário atual, a maioria dos engenheiros civis utilizam programas que contemplam o método das grelhas, pois existem alguns fatores que o tornam mais favorável no mercado, por exemplo: facilidade de manuseio do programa e custo para aquisição. Vale ressaltar que o engenheiro deverá conhecer suas particularidades, bem como aceitar que as soluções oriundas de outros métodos e programas podem ser mais eficazes. [8]

O surgimento da evolução de programas de cálculo automático de estruturas permite economia de tempo na análise estrutural, onde a rapidez e qualidade são decisivos e indispensáveis nos dias de hoje. Quanto aos programas utilizados, estes permitem aos projetistas de estruturas uma economia de tempo enorme no estudo e análise de estruturas, em outras palavras, estes tipos de programas permitem fazer pequenas alterações de modo a otimizar soluções de uma forma prática e rápida. [9]

## 2.2 DESCRIÇÃO DOS PROGRAMAS

### 2.2.1 Cypecad

O Cypecad é um programa de cálculo automático, que foi concebido pela empresa “Cypecad Ingenieros S.A”, a primeira versão do programa apareceu no ano de 1983, e funcionava apenas em ambiente MS-DOS (Microsoft disk operating system). Em 1997 apareceu a primeira versão em ambiente Windows, e tem sido melhorado continuamente.[1]

Este programa foi concebido para projectos de betão armado e misto. A introdução dos dados é simples, o programa apresenta os menus de forma sequencial e intuitiva, proporcionando uma fluidez na introdução dos dados

Com o Cypecad podem-se obter desenhos das dimensões das armaduras de laje, vigas, pilares, paredes, muros, fundações e escadas, bem como as listagens de dados e resultados do cálculo.

A análise das solicitações, acontece através de um cálculo espacial em 3d, por métodos matriciais de rigidez, considerando todos elementos que definem a estrutura: pilares, paredes, vigas e lajes. [2]

Para todos os estados de carga, realiza-se um cálculo estático (excepto quando se considerarem acções dinâmicas de sismo, em cujo caso se utiliza a análise modal espectral) e supõe-se um comportamento linear dos materiais, isto é, um cálculo de primeira ordem, com vista à obtenção de deslocamentos e esforços.

O programa permite, efectuar a análise sísmica através do método dinâmico modal espectral. A estrutura discretiza-se em elementos tipo barra (pilares e vigas), grelha (lajes) e elementos finitos triangulares (muros).

Os elementos finitos são constituídos por seis nós, localizados nos vértices e nos pontos médios dos lados, com seis graus de liberdade, cada um. A sua forma é triangular. O programa cria automaticamente a malha do muro, em função das suas dimensões, geometria, aberturas, com refinamento em zonas críticas, o que reduz a dimensão dos elementos nas proximidades de ângulos, bordos e singularidades.

O programa apresenta como resultados os diagramas de esforços, os deslocamentos verticais, as quantidades de armaduras e a pormenorização das armaduras. Relativamente aos diagramas de esforços, o programa apresenta o diagrama de momentos flectores, de momentos torsores, de esforço transversal e de esforço transversal total. [1]

### 2.2.2 Robot Structural Analysis Professional

Inicialmente designado de Robot Millenium, este programa foi criado durante a tese de doutoramento de André Niznik, em 1983 no Instituto Francês de Engenharia Civil de Toulouse, França. Em 1985 começou a ser comercializado pela empresa Francesa “Robot Diffusion” tendo sido criado em 2000 a versão em ambiente Windows - Robot Millenium.[3]

A Autodesk Robot Structural Analysis é um programa de cálculo automático, destinado à análise estrutural com interface tridimensional. Utiliza o método dos elementos finitos, e permite efetuar análises lineares e não-lineares estáticas e dinâmicas. Possibilita ainda, a realização de verificações regulamentares, com base nos vários códigos de construção que dispõe na sua base de dados, dos quais se podem destacar os Eurocódigos, bem como, o fornecimento de informações para o dimensionamento das estruturas, como por exemplo, quantidades de armadura a dispor nos elementos.

A modelação estrutural, é então caracterizada principalmente por três tipos de objectos: “Bars” (barras), “Panels” (painéis) e “Nodes” (nós). Nos elementos “Bars” (pilares ou vigas) é possível definir a geometria e o material (betão, aço, madeira, etc...).

Os elementos “Panels”, podem ser divididos em vários elementos finitos, no qual a malha e o nível de refinamento podem ser efectuados automaticamente pelo programa, em função de inputs do utilizador, ou personalizada pelo utilizador. [3]

### 2.2.3 Sap 2000

O programa foi desenvolvido na Universidade da Califórnia, em Berkeley, através do trabalho de pesquisa de Edward L. Wilson. Em 1975 Ashraf Habibullah criou a “CSI Computers & Structures, inc.”, empresa que viria a comercializar o programa. O Sap 2000 é um programa de análise estrutural com interface tridimensional. [1]

Utiliza o método dos elementos finitos, permitindo efetuar análises lineares e não-lineares estáticas e dinâmicas. Possibilita ainda a realização de verificações regulamentares com base nos vários códigos de construção que dispõe na sua base de dados, dos quais se podem destacar os Eurocódigos, bem como o fornecimento de informações para o dimensionamento das estruturas, como por exemplo, quantidades de armadura a dispor nos elementos.

É caracterizada principalmente por três tipos de objetos: “Frame” (barras), “Area” (áreas) e “Joint” (nós), nos elementos “Frame” (pilares ou vigas) é possível definir a geometria e o material (betão, aço, madeira, etc...). Os elementos “Area” podem ser divididos em vários elementos finitos.

Os resultados da análise, são apresentados através de mapas ou através de diagramas. Porém estes podem ser consultados através de tabelas com a descrição detalhada dos valores nodais. O sap 2000 permite a visualização da deformada da estrutura em 3D. [1]

Na tabela 1, são mostradas as diferenças desses programas, relativamente as análises possíveis em cada um deles, o método que cada programa utiliza e as estruturas dimensionadas em cada um dos programas.

	Análises feitas	Método utilizado	Estruturas dimensionadas
Cypecad	Análise sísmica; Análise modal espectral; Análise estática; Análise linear	Método das grelhas; Método dos elementos finitos.	Edifícios, armazéns em estrutura metálica.
Robot	Análise modal; Análise harmónica; Análise não linear; Análise sísmica; Análise de espectro estático.	Elementos finitos	Pontes, barragens, estruturas industriais, edifícios, estruturas marítimas.
Sap 2000	Análise dinâmica; Análise linear; Análise não linear.	Elementos finitos	Pontes, barragens, estruturas industriais, edifícios, estruturas marítimas.

*Tabela 1-Diferença entre os programas de cálculo automático, relativamente às análises feitas, métodos utilizados e estruturas dimensionadas.*

### 3. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

#### 3.1 DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO

O caso de estudo é projecto de um edifício residencial com 4 pisos, fruto de um trabalho didático efectuado. Sendo que, possui a arquitetura necessária para análise que se pretende fazer. O projecto está previsto para uma zona urbana. O projecto de arquitetura é composto pelo primeiro piso com uma área de 134.67 m<sup>2</sup> que é mesma área dos restantes pisos. Como ilustra a figura 1.



*Figura 1-Modelo 3D do caso de estudo, (do programa Archicad).*

O edifício residencial compõe-se de 4 pisos tipos, no anexo A 1.1, apresentam-se os compartimentos. O edifício residencial possui uma caixa de escada, uma caixa de elevador, e na cobertura possui um depósito de água em betão armado. Como se pode observar no anexo A 1.2.

Nos anexos A 1.3 e A 1.4, apresentam-se os alçados, respetivamente o alçado frontal, alçado lateral direito, alçado lateral esquerdo e o alçado Posterior.

### 3.2 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

A estrutura será porticada nas duas direcções com núcleos de rigidez (caixa de escadas e caixa de elevador). As normas adotadas no presente trabalho, são apresentadas da seguinte forma:

Betão: Eurocódigo 2: Projecto de Estruturas de Betão (Portugal)

Aço: Eurocódigo 3 e 4:projecto de estrutura de Aço (Portugal)

Estrutura do edifício em betão armado, a sua concepção estrutural resulta da análise conjunta do projecto de arquitetura e engenharia, tendo sempre em consideração aqueles

que são os limites impostos pela arquitetura, procurando a otimização da estrutura, bem como o cumprimento dos regulamentos e dos critérios de segurança.

Quanto aos materiais usados, temos:

Classe do betão- Para todos elementos estruturais da obra: *C25/30*.

Classe do aço-Para todos elementos estruturais das obra: *A400NR*;  $f_{yk} = 400 \text{ Mpa}$  [5].

Recobrimentos:

5,0 cm fundações;

3,0 cm nos restantes elementos estruturais;

Considerou-se a tensão de cedência do solo, 250kpa.

### 3.2.1 Acções a considerar

O edifício está sujeito a acções horizontais e verticais, acções estas que podem ter carácter permanente ou variável. Para as acções permanentes, teve-se em conta as características dos materiais e os seus pesos próprios, sendo que o peso próprio é calculado automaticamente pelos programas. Definiram-se as cargas permanentes relativas a revestimentos, paredes divisórias, cobertura de zinco, e o depósito de água.

Para as acções variáveis presentes no edifício, nomeadamente as sobrecargas, teve-se em conta a regulamentação do RSA (Regulamento de Segurança e Acções para Estrutura de Edifícios e Pontes) [5].

Com excepção do rés-do-chão, pelo facto de se considerar a laje apoiada no solo, ou em meio deformável, todos valores considerados para cargas permanentes e variáveis estão apresentados na tabela 2.

	Pisos do edifício					
	1º Piso	2º Piso	3º Piso	4º Piso	Cobertura	Escadas
Revestimento( $kN/m^2$ )	0.5	0.50	0.50	0.50		1
Paredes divisórias ( $kN/m^2$ )	1.8	1.8	1.8	1.8		
Platibanda( $kN/m^2$ )					0.35	
Depósito de Água( $kN/m^2$ )					1.10	
Cobertura de Zinco ( $kN/m^2$ )					0.20	
Guarda corpos ( $kN/m^2$ )						0.154
Sobrecarga de Utilização ( $kN/m^2$ )	2	2	2	2	1	3

*Tabela 2-Resumo das acções permanentes e variáveis.*

### 3.2.2 Acção do vento

O cálculo da acção do vento, foi possível através das considerações do Eurocódigo 1 parte1-4 [6], esta acção, actua directamente na forma de pressão sobre as superfícies

exteriores, causando uma subpressão a barlavento e uma sucção a sotavento. Também actua indirectamente sobre as superfícies interiores. O procedimento adoptado foi:

1. Valor básico de referência do vento  $v_{b,o}$

Segundo o Eurocódigo 1 [6], consideram-se duas zonas A e B. Na zona A considera-se toda generalidade do território, excepto as regiões pertencentes a zona B. Na zona B considera-se os arquipélagos dos Açores e da Madeira e regiões do continente situadas numa faixa costeira de 5 Km de largura ou altitudes superiores a 600m.

Considerou-se a localização do presente edifício a zona A, com o valor de  $v_{b,o}$  27m/s .

2. Valor de referência da velocidade do vento  $v_b$

$$v_b = C_{dir} \times C_{season} \times v_{b,o} \quad (1)$$

Onde:

$v_b$  — Valor de referência da velocidade do vento, definido em função da direcção do vento e da época do ano a uma altura de 10 m acima da superfície de um terreno de categoria III;

$C_{dir}$  — Coeficiente de direcção;

$C_{season}$  — Coeficiente de sazão;

$v_{b,o}$  — Valor básico da velocidade de referência do vento.

Segundo o Eurocódigo 1 Parte 1-4 [6], o valor recomendado para  $C_{dir}$  e para  $C_{season}$  é de 1.0, estando sujeito a alterações de acordo com os anexos nacionais de cada país.

Portanto, tem-se que o valor base é igual ao valor de referência:

$$v_b = v_{b,0} \quad (2)$$

### 3. Cálculo do coeficiente de rugosidade, $C_r$ ,

Este valor, depende da altura do edifício acima do solo e da categoria do terreno, como se pode verificar na Tabela 3:

<i>Categoria de terreno</i>	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
<i>0 Mar ou zona costeira exposta aos ventos de mar</i>	<i>0,003</i>	<i>1</i>
<i>I Lagos ou zona plana e horizontal com vegetação negligenciável e livre de obstáculos</i>	<i>0,01</i>	<i>1</i>
<i>II Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separações entre si de, pelo menos, 20 vezes a sua altura</i>	<i>0,05</i>	<i>2</i>
<i>III Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo: aldeias, zonas suburbanas, florestas permanentes)</i>	<i>0,3</i>	<i>5</i>
<i>IV Zona na qual pelo menos 15 % da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15 m</i>	<i>1,0</i>	<i>10</i>

*Tabela 3-Categoria do terreno e correspondentes parâmetros de rugosidade [6].*

Para

$$Z_{min} \leq Z \leq Z_{máx}: \quad (3)$$

$$C_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (4)$$

Para  $Z \leq Z_{min}$ :

$$C_r(z) = C_r(Z_{min}) \quad (5)$$

$$k_r = 0.19 \times \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} \quad (6)$$

Onde:

$Z_{min}$  e  $Z_0$  – dependem da categoria do terreno tipo III, sendo os seus valores respectivamente, 5m e 0.3m;

$Z_{o,II}$  – considerado 0,05;

$Z_{m\acute{a}x}$  – considerado 200 m.

O edifício do caso em estudo tem altura constante de 14m.

Assim sendo, obtiveram-se os seguintes valores:

$$Kr = 0.2154$$

$$Cr(z) = 0,828$$

Através das expressões (6) e (4) respectivamente.

#### 4. Cálculo da velocidade média

O cálculo da velocidade média foi considerada para uma altura de 14m, através da expressão (7),

$$Vm(z) = Cr(z) \times C0(z) \times vb \quad (7)$$

Considerando o coeficiente de orografia 1 segundo o eurocodigo1 1-4, obtivemos:

$$Vm(z) = 22,36 \text{ m/s}$$

#### 5. Cálculo da intensidade da turbulência à altura z, $Iv(z)$ ,

Este cálculo foi realizado através das expressões (8) e (9):

$$Iv(z) = \sigma v / vm(z) \quad (8)$$

$$\sigma v = Kr \times vb \times kI \quad (9)$$

$$Iv(z) = 0.260$$

Onde:

$kI$  – Coeficiente de turbulência, considerado 1.0;

A intensidade da turbulência à altura z é de 0.260.

#### 6. Pressão dinâmica de pico à altura z, $qp(z)$

Esta pressão foi calculada, com base na expressão (10).

$$q_p(z) = [1 + 7 s I_v(z)] \times 0.5 \times \rho \times v_m^2(z) \quad (10)$$

Onde:

$\rho$  – Massa volúmica do ar, dependente da altitude, temperatura e pressão atmosférica da região. O valor recomendado pelo Eurocódigo 1 1-4 é 1.25 kg/m<sup>3</sup>.

Através da expressão 10, obteve-se para a pressão dinâmica de pico o valor de 0.881 KPa.

O sétimo passo é o cálculo da pressão exterior, através da expressão (11):

$$W_e = q_p(z_e) * C_{pe} \quad (11)$$

Onde:

$(z_e)$  – Altura de referência para a pressão exterior;

$C_{pe}$  – Coeficiente de pressão exterior.

A altura de referência, a ter em conta no cálculo da pressão exterior é definida de acordo com o Eurocódigo 1, considerando as dimensões do edifício, h e b, altura e largura que pode ser na direcção x ou y, como ilustrado na figura 2.

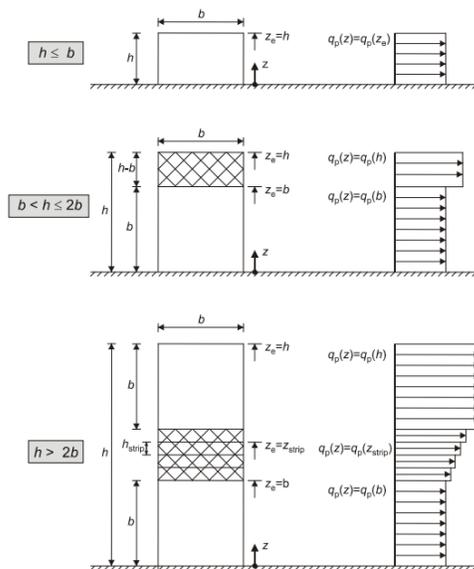


Figura 2-Forma do diagrama de pressão do vento, [6].

Sendo os valores de:

$h=14\text{m}$

$b_x=9.90\text{m}$

$b_y=16.70\text{m}$

Através da figura 2 é possível concluir-se ainda que, dependendo da relação da altura com a largura, poderá ser necessário, a consideração da pressão exterior de forma distinta ao longo da altura, no entanto, uma vez que a altura do edifício é inferior à largura da fachada na direcção y, neste caso, encontra-se no caso 1. E para a direcção x a consideração da pressão exterior se dá para duas hipóteses,  $Z_e=b$  e  $Z_e=h$ , caso 2 .

Logo de seguida, calculou-se o valor de “e” para saber quais zonas de pressão seriam consideradas para os coeficientes, sendo que o segundo caso apresentado, considera os valores das zonas, A,B,D,E.

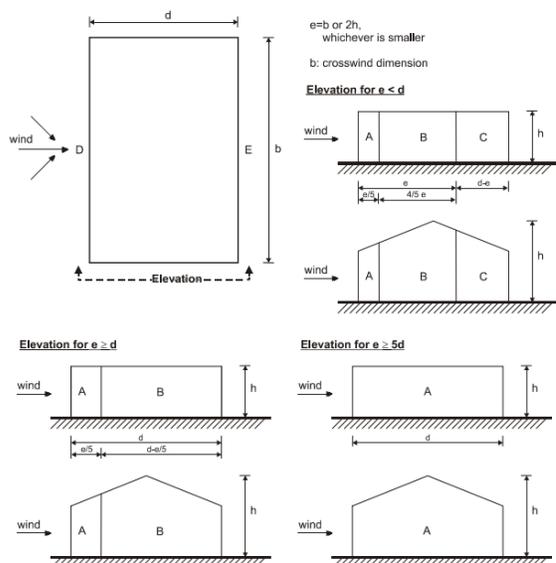


Figura 3-Zonas de pressão [6].

Com base na tabela 4, foi possível a extração dos valores dos coeficientes de pressão exterior com base no Eurocódigo.

Zona	A		B		C		D		E	
$h/d$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$								
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Tabela 4-Coeficientes de pressão para paredes verticais de edifícios de planta retangular [6].

Zona	A	B	D	E
$C_{pe, 10}$	-1.200	-0.800	0.800	-0.520
We (Kn/m <sup>2</sup> )	-1.057	-0.705	0.705	-0.458
Cpi 1	0.200	0.200	0.200	0.200
Cpi 2	-0.300	-0.300	-0.300	-0.300
Wi 1	0.176	0.176	0.176	0.176
Wi 2	-0.264	-0.264	-0.264	-0.264
Pressões totais 1	<b>-1.233</b>	<b>-0.881</b>	0.529	<b>-0.634</b>
Pressões totais 2	-0.793	-0.705	<b>0.969</b>	-0.194

Tabela 5-Pressões obtidas para o alçado lateral esquerdo e lateral direito.

Zona	A	B	D	E
Cpe, 10	-1.200	-0.800	0.778	-0.457
We (Kn/m <sup>2</sup> )	-1.057	-0.969	0.685	-0.403
Cpi 1	0.200	0.200	0.200	0.200
Cpi 2	-0.300	-0.300	-0.300	-0.300
Wi 1	0.176	0.176	0.176	0.176
Wi 2	-0.264	-0.264	-0.264	-0.264
Pressões totais 1	<b>-1.233</b>	<b>-0.881</b>	0.509	-0.579
Pressões totais 2	-0.793	-0.705	<b>0.950</b>	-0.138

*Tabela 6-Pressões obtidas para o alçado principal e posterior.*

Onde:

Cpe, 10-Coeficiente de pressão exterior, utilizadas para superfícies de área igual a 10m<sup>2</sup> ou superior

We- Pressão exterior sobre os alçados do edifício;

Cpi 1- Coeficiente de pressão interior igual a (+0.2);

Cpi 2- Coeficiente de pressão interior igual a (-0.3);

Wi 1- Pressão interior, correspondente ao coeficiente interior, +0.2;

Wi 2-Pressão interior, correspondente ao coeficiente interior, -0.3;

Pressões totais 1- Soma vectorial da We e Wi 1.

Pressões totais 2- Soma vectorial da We e Wi 2.

Os ventos actuantes sobre a cobertura não foram calculados, pelo facto de o edifício possuir uma platibanda que minimiza tais efeitos sobre a estrutura da cobertura em chapas de zinco.

### 3.2.3 Combinações

No dimensionamento da estrutura, de acordo com o definido no Eurocódigo 0 [7], foram consideradas as seguintes combinações:

Estados limites últimos:

$$Ed = \sum_{j \geq 1} \gamma G_j . G_{kj} + \gamma Q_{1,1} . Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma Q_i . \Psi_{0i} . Q_{ki} \quad (12)$$

Estas limites de serviço

Combinações frequentes

$$Ed = \sum_{j \geq 1} \gamma G_{kj} + \Psi_{1,1} \gamma Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma \Psi_{2,i} . Q_{ki} \quad (13)$$

Combinações quase-permanentes

$$Ed = \sum_{j \geq 1} \gamma G_{kj} + \sum_{i > 1} \gamma \Psi_{2,i} . Q_{ki} \quad (14)$$

Onde:

G<sub>k</sub> - Acção permanente;

Q<sub>k</sub> - Acção variável;

γ<sub>G</sub> – Coeficiente parcial de segurança das acções permanentes;

γ<sub>Q,1</sub> – Coeficiente parcial de segurança da acção variável principal;

γ<sub>Q,i</sub> – Coeficiente parcial de segurança das acções variáveis de acompanhamento;

Ψ<sub>p1</sub> – Coeficiente de combinação da acção variável principal;

Ψ<sub>ai</sub> – Coeficiente de combinação das acções variáveis de acompanhamento.

### 3.3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Depois de definida a concepção estrutural do edifício, realizou-se o pré-dimensionamento dos elementos estruturais, de forma a obter as dimensões mais próximas das suas secções.

O Pré-dimensionamento de cada um dos elementos estruturais foi feito de forma simplificada, baseado no estado limite de deformação, para que se pudesse chegar a dimensões mais próximas dos elementos estruturais.

- Lajes: A altura da laje maciça armada nas duas direcções pode ser calculada pela expressão 1:

$$h = L/(30 \text{ a } 35), \quad (1)$$

Considerou-se L/30.

Onde: h – altura da laje;

L – Maior largura da laje (m):

Assim, tendo a maior largura da laje de 3.48 m, a espessura da laje maciça será de 11,6 cm, considerando-se uma espessura uniforme em todos painéis de 12cm.

➤ Pilares: Para o pré-dimensionamento dos pilares, teve-se em consideração o pilar com maior área de influência sendo este o mais solicitado. Como ilustra o anexo A 1.5.

Pré-dimensionamento devido ao  $N_{sd}$

$$N_{sd} = A_{inf} \times Q_{sd} \quad (2)$$

$$Q_{sd} = 1.35 \times ((Q_{sd2} - 4) + (Q_{sd5})) \quad (3)$$

$$Q_{sd} = 1.35 \times (3 \times (P.p + S.c + P.paredes e Rev.) + (P.p + S.c + P.reservatorio + Cobertura Zinco + P.paredes))$$

$$Q_{sd} = 1.35 \times (3 \times (3 + 2 + 2.30) + (3 + 1 + 1.10 + 0.20 + 0.35))$$

$$Q_{sd} = 37.19 \text{ KN/m}^2$$

$$N_{sd} = 5.70 \times 37.19$$

$$N_{sd} = 212 \text{ KN}$$

$$N_{sd} = 0,85 \times f_{cd} \times A_c + f_{syd} \times A_s; \text{ seja } A_s = 0,01A_c \quad (4)$$

$$L = 0,20m$$

$$\Rightarrow 212 = 0,85 \times 16,7 \times 10^3 \times 0,20 \times C + 0,01 \times 0,20 \times C \times 348 \times 10^3$$

$$\Rightarrow C = 0,0560m \text{ usaremos } \Rightarrow C = 0,20m$$

$$= 0,15m$$

$$\Rightarrow 212 = 0,85 \times 16,7 \times 10^3 \times 0,15 \times C + 0,01 \times 0,15 \times C \times 348 \times 10^3$$

$$\Rightarrow C = 0,074m \Rightarrow C = 0,20m$$

$\Rightarrow$  seja:

$$L = 0,20m \text{ e } C = 0,20 \text{ m}$$

$$L = 0,15m \text{ e } C = 0,20$$

Onde:

$N_{sd}$  - Esforço axial de compressão;

$A_{inf}$  - Área de influência do pilar;

$Q_{sd}$  - Somatório das cargas superficiais da laje em todos pavimentos considerados para o dimensionamento do pilar;

$Q_{sd}(2 - 4)$  - Somatório das cargas superficiais da laje do segundo ao quarto pavimento;

$Q_{sd}(5)$  - Carga superficial da laje de cobertura.

- Vigas: As vigas foram pré-dimensionadas utilizando a expressão 5, que calcula a altura mínima dependendo do comprimento entre apoios:

$$h_{viga} \geq L / (10 \text{ a } 14) \quad (5)$$

Onde: L - Comprimento entre apoios (m);

Com base nas plantas arquitectónicas, o maior comprimento entre apoios é de 4.53 m, assim sendo teremos que:

$$h_{viga} \geq 4.53 / (10 \text{ a } 14)$$

$$h_{viga} \geq 4.53 / 13$$

$$h_{viga} \geq 0.348 \text{ (considerou-se o valor da altura igual a } 0.35m)$$

$$h_{viga} = 0.35m$$

Teremos  $b=0.20$  e  $h=0.35$

- Escadas e elevador: considerou-se espessuras de 27cm e 20cm para a laje da escada e a da caixa de elevador respectivamente, tendo em consideração que, a laje da escada está em consola na zona do patamar.

## 4. MODELAÇÃO ESTRUTURAL

### INTRODUÇÃO

No capítulo quatro, foi realizada a modelação da estrutura nos três programas de cálculo estrutural, partindo da definição das unidades de medida, materiais a serem empregues, secções dos elementos estruturais, aplicações das acções consideradas para o edifício em questão, a introdução da estrutura, e por fim o cálculo automático para geração dos resultados.

#### 4.1 CYPECAD 2018

A modelação do edifício de 4 pisos no Cypecad 2018, segue os seguintes procedimentos:

##### 1. Abertura da tela inicial do programa

Ao clicar no ícone do programa Cypecad, é aberta a tela inicial do programa como ilustra na figura 4.

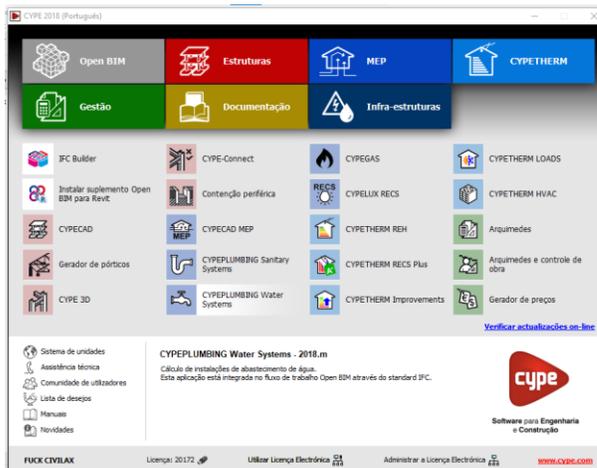


Figura 4-Tela inicial do Cypecad, (do programa Cypecad).

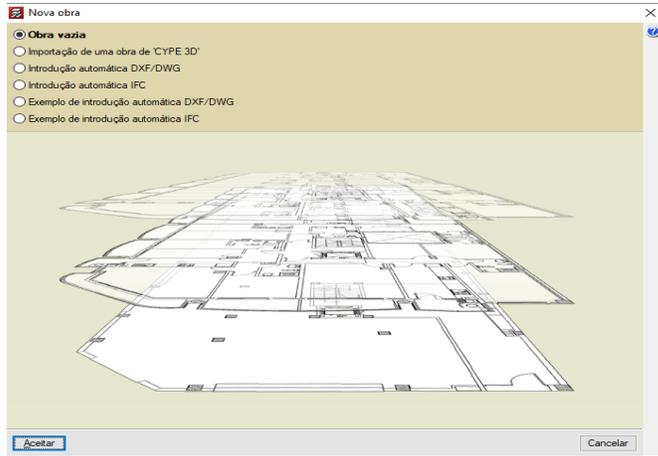


Figura 5- Tela descritiva dos tipos de introdução da obra, (do Cypecad).

## 2. Introdução dos dados gerais

De seguida, procede-se à introdução dos dados gerais da obra, onde são inseridas as normas para cada material a ser usado, betão, aço, alumínio, madeira, etc. São definidas também as classes do betão para diversos elementos estruturais, bem como a classe do aço. São definidas as acções, do vento, bem como as combinações que serão feitas no cálculo, como é ilustrado na figura 6.

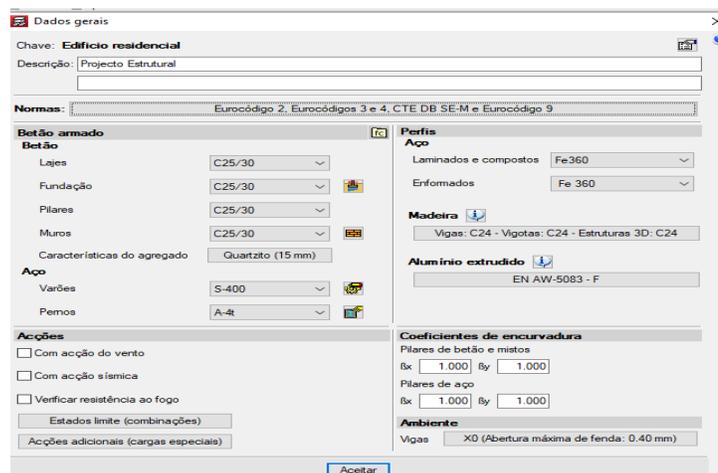


Figura 6-Introdução dos dados gerais da obra, (do Cypecad).

Salientar que, é na introdução dos dados da obra que define-se os diâmetros das armaduras a considerar nos elementos estruturais e os seus respectivos comprimentos.

### 3. Editar plantas

Neste menu, é possível definir a cota da planta de fundação e as alturas entre os pisos, com base no projecto arquitectónico, como é mostrado na figura 7.

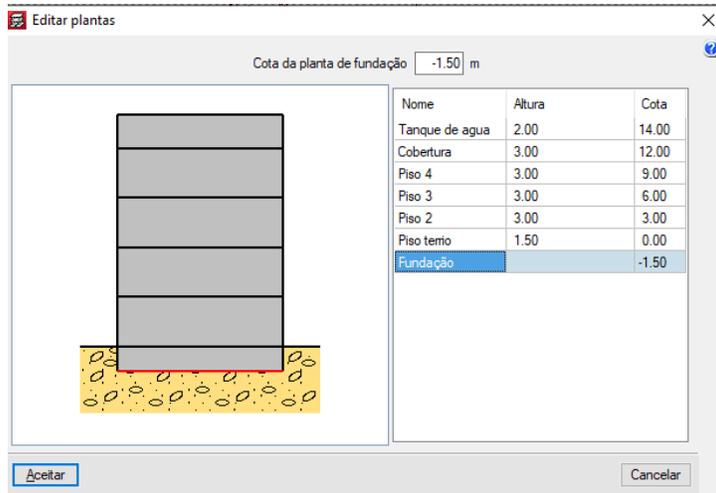


Figura 7- Edição das plantas, (do Cypecad).

### 4. Editar grupos

Neste menu apresentam-se as categorias de utilização, descrição das sobrecargas, bem como as cargas permanentes que podem ser introduzidas, bem como editadas com excepção do peso próprio que é considerado automaticamente pelo programa. Como ilustra a figura 8.

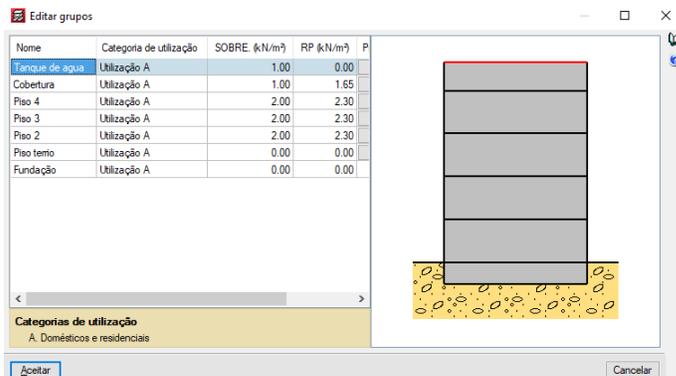


Figura 8- Edição de grupos, (do Cypecad).

## 5. Gestão de vista de máscaras

Neste menu, é possível importar ficheiros DWG ou DXF do *Autocad* ou do *Archicad*, para facilitar introdução dos pilares e consequentemente das vigas e restantes elementos estruturais.

Após importar o ficheiro DWG ou DXF, é preciso definir a origem de coordenadas, ajustar a escala da máscara e fazer a correspondência dos grupos ou pisos com as correspondentes máscaras. Como ilustra a figura 9.

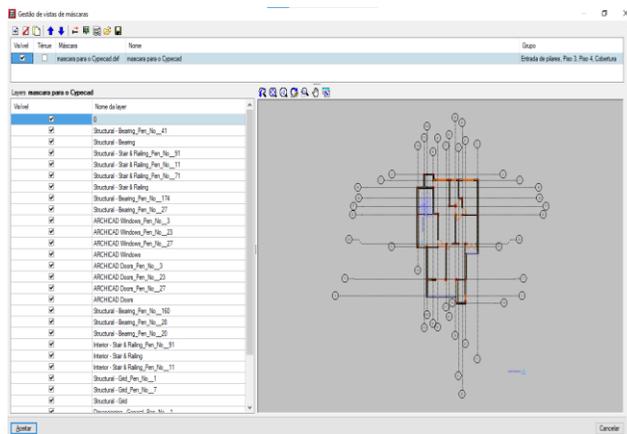


Figura 9- Gestão das vistas da mascara, (do Cypecad).

## 6. Introdução de pilares

Terminados os passos anteriores, segue-se a introdução dos pilares, a mesma foi realizada no submenu “Novo pilar”, onde podemos definir o grupo inicial e final do pilar, se este vai ou não possuir vinculação exterior e atribuir as dimensões geométricas.

Os coeficientes de encurvadura, encastramento e rigidez axial, são definidos pelas normas consideradas nos dados da obra, bem como os recobrimentos e a resistência do betão. Como ilustra a figura 10.

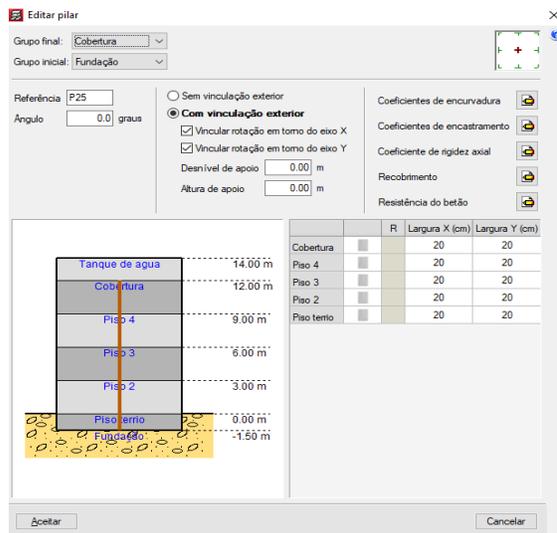


Figura 10- Introdução de pilares, (do Cypecad).

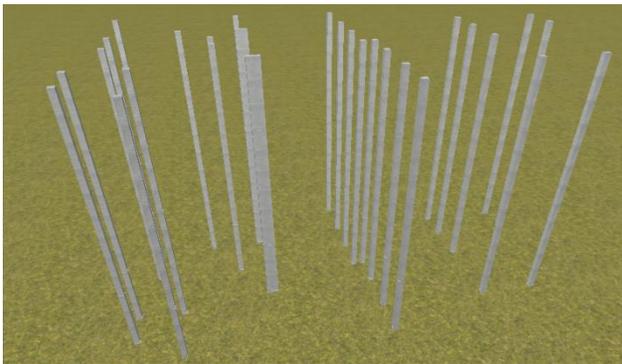


Figura 11- Modelo 3D, da introdução dos pilares, (do Cypecad).

## 7. Introdução da caixa de elevador

A introdução da caixa de elevador foi feita recorrendo ao submenu “Nova parede”, definiu-se o grupo final e inicial da caixa de escada, introduziu-se os comprimentos dos lados medidos de eixo a eixo, as dimensões das paredes e o seu ponto de inserção. Como ilustra a figura 12.

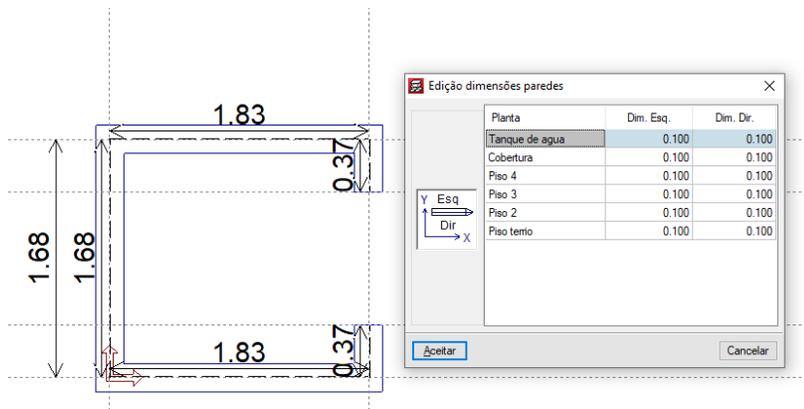


Figura 12-Introdução da caixa de elevador, (do Cypecad).

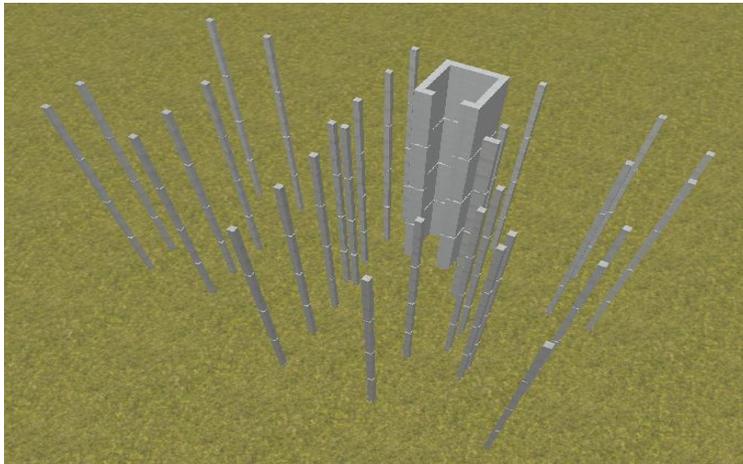


Figura 13-Modelo 3D de pilares e caixa de elevador, (do Cypecad).

## 8. Introdução das vigas

As vigas, foram lançadas recorrendo ao submenu “introdução de Vigas”. Aqui definiu-se a família e o tipo de viga, bem como as dimensões já determinadas no pré-dimensionamento. Como ilustra a figura 14.

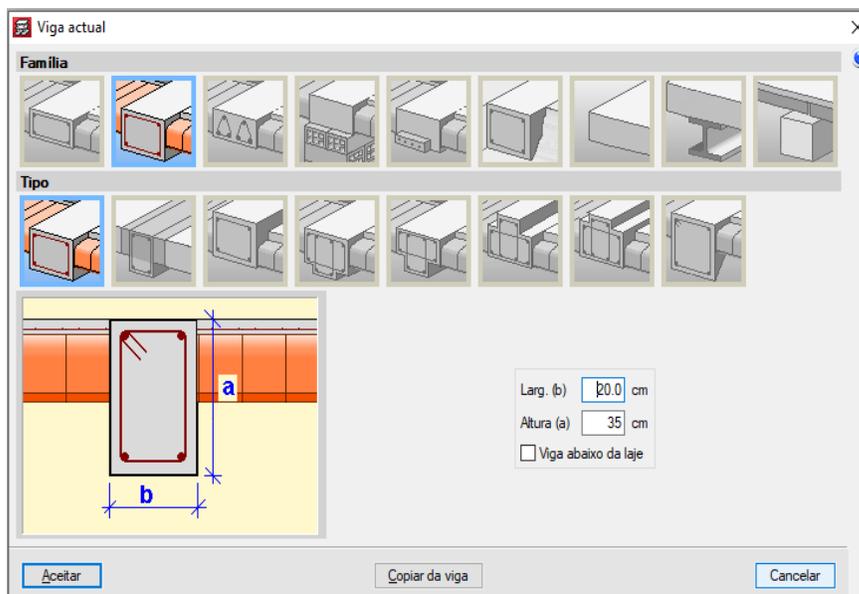


Figura 14-Definição do tipo de viga, (do Cypecad).

No anexo A 7.1, é apresentada a modelação das vigas em 3D.

## 9. Introdução das lajes

As lajes foram modeladas recorrendo ao submenu “introduzir laje”, tendo em consideração as dimensões definidas no pré-dimensionamento. De salientar que as lajes definidas para o presente cálculo, foram lajes maciças como apresentadas na figura 15.



Figura 15-Gestão das lajes, (do Cypecad).

No anexo A 7.2, é apresentada a modelação da laje em 3D.

## 10. Introdução das escadas

Após a introdução de todos elementos estruturais com excepção das sapatas isoladas, procede-se à introdução das escadas recorrendo ao submenu “escadas”, sendo considerada a espessura da lajeta e do patamar de 27 cm por conta da consola da escada após o primeiro lanço, ou seja, na zona do patamar. A introdução das escadas é ilustrada a figura 16.

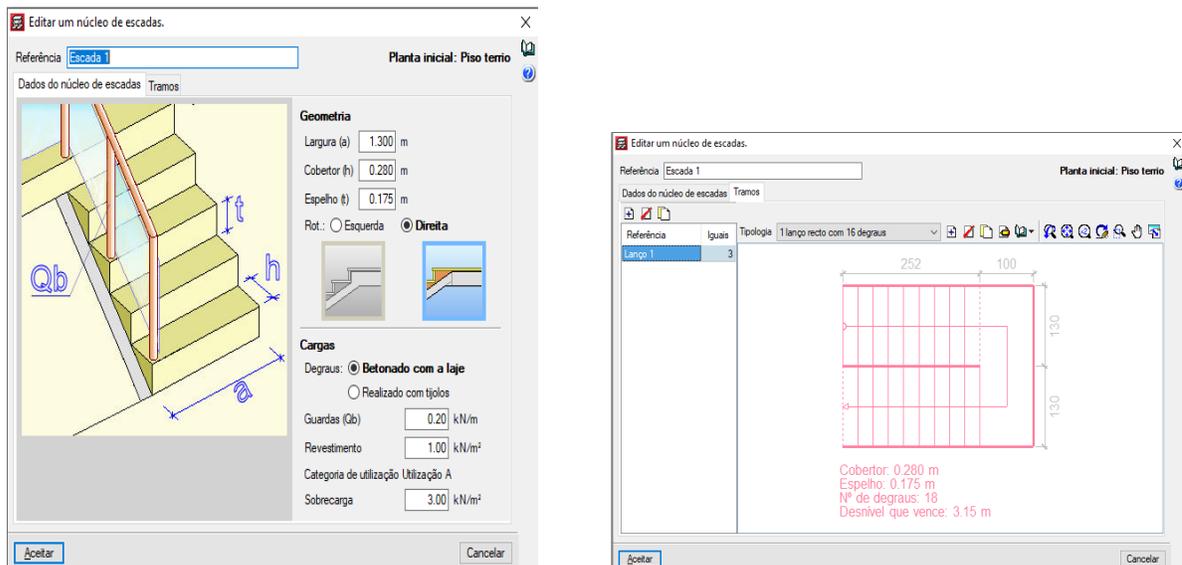


Figura 16-Edição do núcleo de escadas e tramos da escada respectivamente, (do Cypecad).

## 11. Introdução de elementos de fundação

A introdução dos elementos de fundação, procede-se através do submenu “elementos de fundação” que permite introduzir sapatas Isoladas, corridas, conjuntas, vigas de equilíbrio e lintéis. Como ilustra a figura 17.

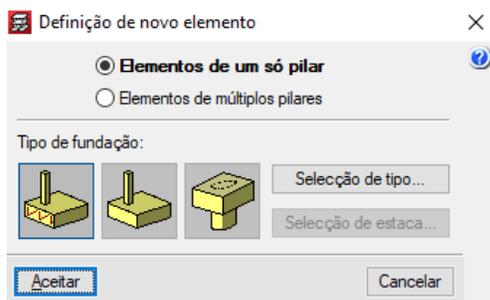


Figura 17- Definição dos elementos de fundação, (do Cypecad).

Terminada a modelação da estrutura do projecto arquitectónica obteve-se um modelo 3D como é ilustrado no anexo A 7.3.

## 12. Acção do vento

A introdução da carga do vento, foi segundo o Eurocódigo 1 [6], exige a aplicação dos coeficientes de forma, larguras da banda, zona onde será implantado o edifício, coeficiente de forma, categoria do terreno, a sua orografia e os coeficientes de pressão exterior. Como ilustra a figura 18.

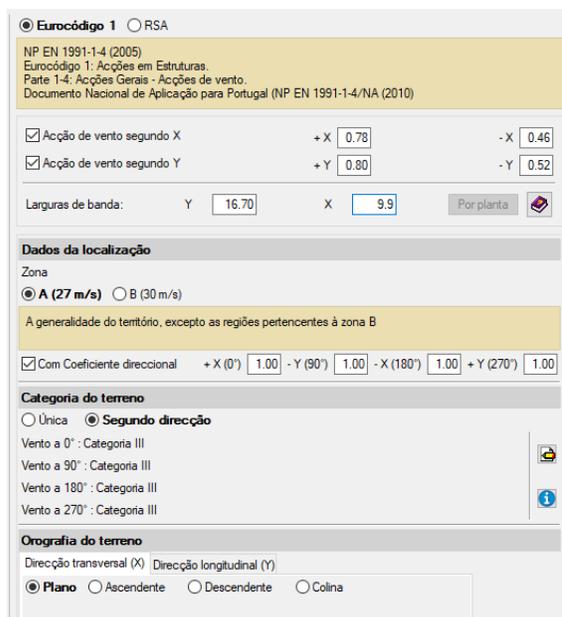


Figura 18-Tela (do Cypecad), para definição dos parâmetros da acção do vento, (do Cypecad).

A direcção considerada para os ventos do cálculo é mostrada na figura 19.

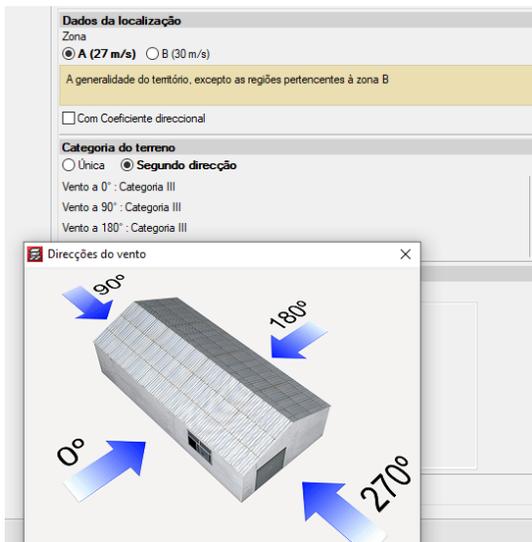


Figura 19-Direções do vento, (do Cypecad).

### 13. Combinações

No programa foram geradas automaticamente 18 combinações para os estados limites de serviço, sendo que para os estados limites últimos foram geradas 52 combinações, como ilustram as figuras 20 e 21.

Comb.	RP	RP	Qe	V(+X exc.+)	V(+X exc.-)	V(-X exc.+)	V(-X exc.-)	V(+Y exc.+)	V(+Y exc.-)	V(-Y exc.+)	V(-Y exc.-)
1	1.000	1.000									
2	1.350	1.350									
3	1.000	1.000	1.500								
4	1.350	1.350	1.500								
5	1.000	1.000	1.500								
6	1.350	1.350	1.500								
7	1.000	1.000	1.050	1.500							
8	1.350	1.350	1.050	1.500							
9	1.000	1.000	1.500	0.900							
10	1.350	1.350	1.500	0.900							
11	1.000	1.000		1.500							
12	1.350	1.350		1.500							
13	1.000	1.000	1.050	1.500							
14	1.350	1.350	1.050	1.500							
15	1.000	1.000	1.500	0.900							
16	1.350	1.350	1.500	0.900							
17	1.000	1.000			1.500						
18	1.350	1.350			1.500						
19	1.000	1.000	1.050		1.500						
20	1.350	1.350	1.050		1.500						
21	1.000	1.000	1.500		0.900						
22	1.350	1.350	1.500		0.900						
23	1.000	1.000				1.500					
24	1.350	1.350				1.500					
25	1.000	1.000	1.050			1.500					
26	1.350	1.350	1.050			1.500					
27	1.000	1.000	1.500			0.900					
28	1.350	1.350	1.500			0.900					
29	1.000	1.000					1.500				
30	1.350	1.350					1.500				
31	1.000	1.000	1.050				1.500				
32	1.350	1.350	1.050				1.500				
33	1.000	1.000	1.500				0.900				
34	1.350	1.350	1.500				0.900				
35	1.000	1.000						1.500			
36	1.350	1.350						1.500			
37	1.000	1.000	1.050					1.500			
38	1.350	1.350	1.050					1.500			
39	1.000	1.000	1.500					0.900			
40	1.350	1.350	1.500					0.900			
41	1.000	1.000							1.500		
42	1.350	1.350							1.500		
43	1.000	1.000	1.050							1.500	
44	1.350	1.350	1.050							1.500	
45	1.000	1.000	1.500							0.900	
46	1.350	1.350	1.500							0.900	
47	1.000	1.000									1.500
48	1.350	1.350									1.500
49	1.000	1.000	1.050								1.500
50	1.350	1.350	1.050								1.500
51	1.000	1.000	1.500								0.900
52	1.350	1.350	1.500								0.900

Figura 20-Combinações para estados limites de serviço, retirados (do Cypecad).

Comb.	PP	RP	Qa	V(+X exc.+)	V(+X exc.-)	V(-X exc.+)	V(-X exc.-)	V(+Y exc.+)	V(+Y exc.-)	V(-Y exc.+)	V(-Y exc.-)
1	1.000	1.000									
2	1.000	1.000	1.000								
3	1.000	1.000		1.000							
4	1.000	1.000	1.000	1.000							
5	1.000	1.000			1.000						
6	1.000	1.000	1.000		1.000						
7	1.000	1.000				1.000					
8	1.000	1.000	1.000			1.000					
9	1.000	1.000					1.000				
10	1.000	1.000	1.000				1.000				
11	1.000	1.000						1.000			
12	1.000	1.000	1.000					1.000			
13	1.000	1.000							1.000		
14	1.000	1.000	1.000						1.000		
15	1.000	1.000								1.000	
16	1.000	1.000	1.000							1.000	
17	1.000	1.000									1.000
18	1.000	1.000	1.000								1.000

Figura 21-Combinações para estados limites últimos, (do Cypecad).

## 4.2 ROBOT STRUCTURAL ANALYSES

Relativamente ao segundo programa, o seu manuseamento foi auxiliado por alguns vídeos no *youtube* para um melhor desempenho durante a modelação. Para a modelação do caso de estudo, seguiram-se os seguintes procedimentos:

### 1. Preferências do trabalho

Neste passo inicial foram definidos parâmetros como, unidades de medida e formatos, unidade das secções, unidades das forças e restantes parâmetros usados no projecto. Fez-se a definição das propriedades dos materiais, códigos do projecto, ou seja, as normas usadas para cada tipo de material a ser empregue no projecto, como ilustra a figura 22.

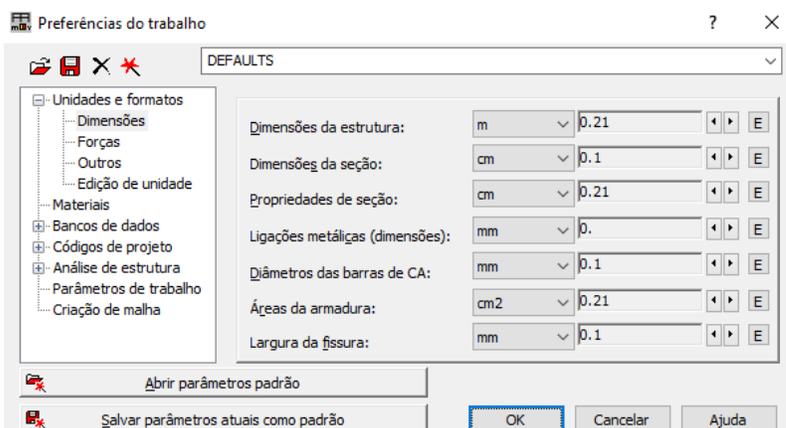


Figura 22- Preferências de trabalho, (do Robot).

## 2. Preferências

Neste segundo passo, foram definidos alguns aspectos relevantes, tais como, Idioma a usar, parâmetros gerais, parâmetros de visualização, configuração da área de trabalho, menu, barra de ferramentas e parâmetros de impressão, como ilustra a figura 23.

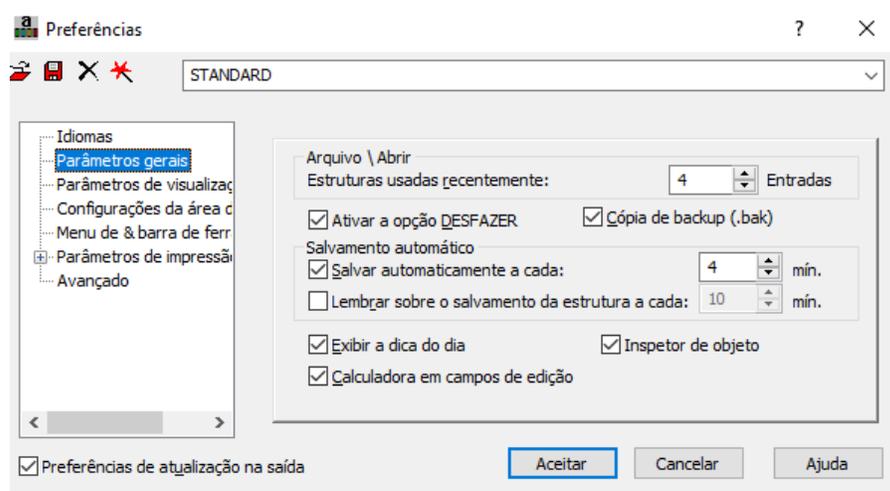


Figura 23-Submenu Preferências, (do Robot Structural Analysis).

## 3. Definição dos eixos estruturais

Para uma introdução mais precisa, definiram-se os eixos estruturais, com base na planta de eixos dos pilares do *Archicad*, e definiram-se as distâncias dos eixos que facilitaram inicialmente o lançamento dos pilares, a caixa de elevador e demais elementos estruturais.

Para tal efeito, recorreu-se à ferramenta “definição do eixo” que é uma tela para definir os eixos estruturais, como mostra a figura 24 e 25.

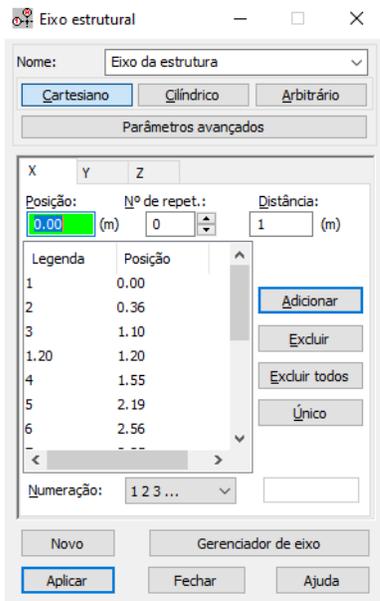


Figura 24- Definição dos eixos estruturais, (do Robot).

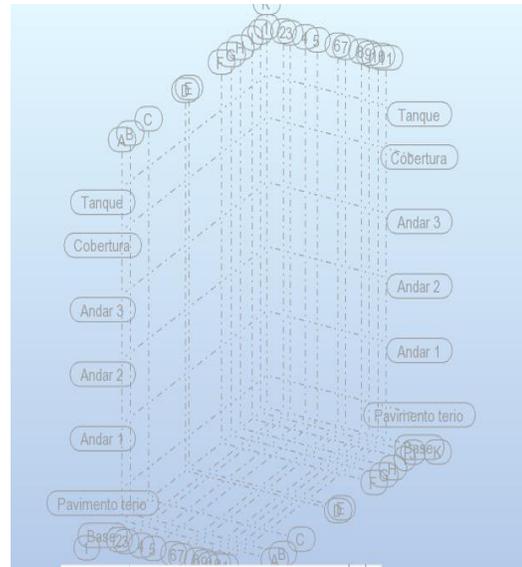


Figura 25- Modelo 3D dos eixos estruturais, (do Robot).

#### 4. Definição das secções dos elementos estruturais

Neste passo, foram definidas todas as dimensões das secções a serem usadas na modelação da estrutura no Robot.

##### a. Elementos de barra (vigas e pilares)

Definiram-se os elementos de barra com base no submenu “secções de barras”, onde foram inseridos os valores das suas dimensões obtidas com base no pré-dimensionamento, como ilustra a figura 26.

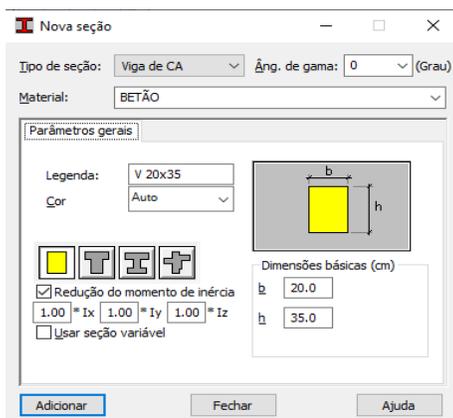


Figura 26-Definição das secções adoptadas, (do Robot).

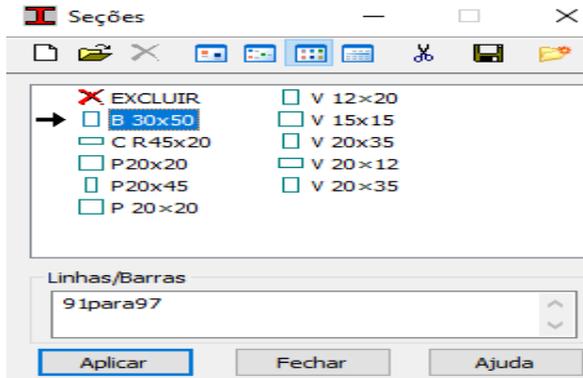


Figura 27- Seções dos pilares, e vigas, (do Robot).

b. Elementos de Casca (caixa de elevador, escadas e lajes)

Definiram-se as espessuras dos elementos considerados de casca, nomeadamente a laje, as escadas e a caixa de elevador, com base, no submenu “novas espessuras”, como é ilustrado na figura 28.

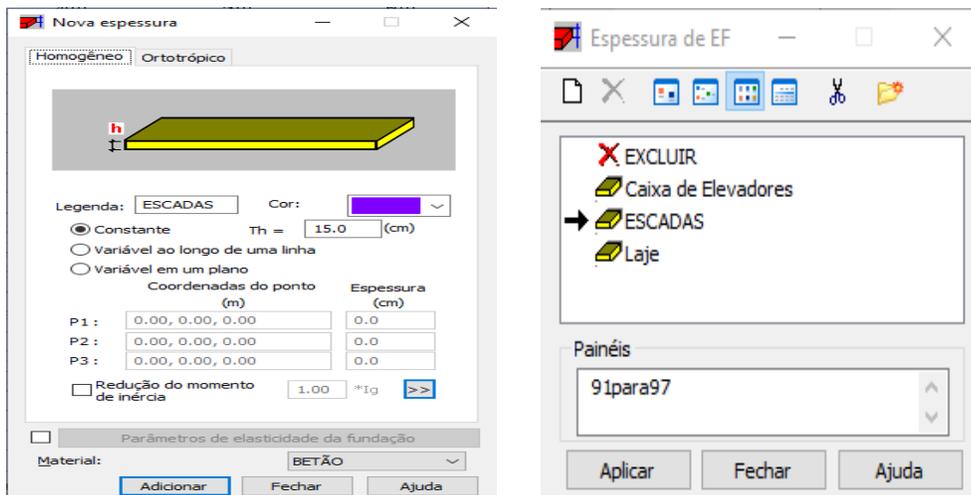


Figura 28-Definição dos elementos de casca, (do Robot).

### c. Apoios

Os apoios foram definidos com base no submenu “Apoio”, localizado à direita da tela (do Robot). Ao clicar neste menu é-se dirigido a uma opção de criar um novo apoio. No presente caso, foram restringidos todos movimentos de translação e de rotação, como ilustra a figura 29.

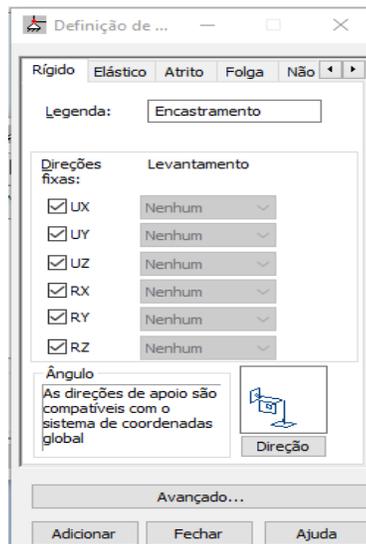


Figura 29-Definição dos apoios, (do Robot).

## 5. Introdução dos elementos estruturais

### a. Elementos de barra (vigas e pilares)

Os pilares foram introduzidos com base no menu “modelo da estrutura”, e submenu “colunas”, a sua inserção é ilustrada na figura 30. O Robot automaticamente gera os apoios que devem ser posteriormente alterados.

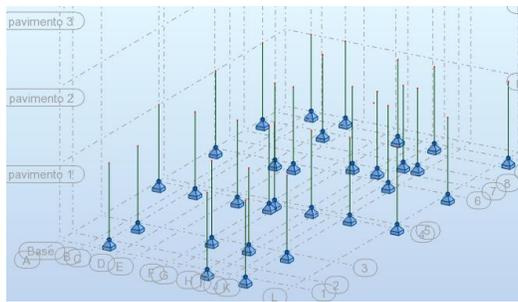


Figura 30- Pilares introduzidos, (do Robot).

b. Introdução dos apoios

Depois de definidos os apoios, pode-se introduzir os mesmos, seleccionando os pilares na planta de fundação e com base no submenu “Apoios”, seleccionar o apoio pretendido e inserir o apoio sob os pilares no nível da fundação, como pode-se observar na figura 31.

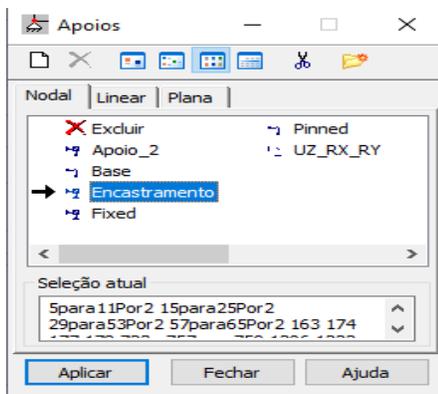


Figura 31-Seleção do apoio a ser aplicado na estrutura, (do Robot).

As vigas foram introduzidas no menu “modelo da estrutura”, e no submenu “vigas”, com as secções correspondentes ao pré-dimensionamento, sendo que a sua inserção é ilustrada na figura 32.

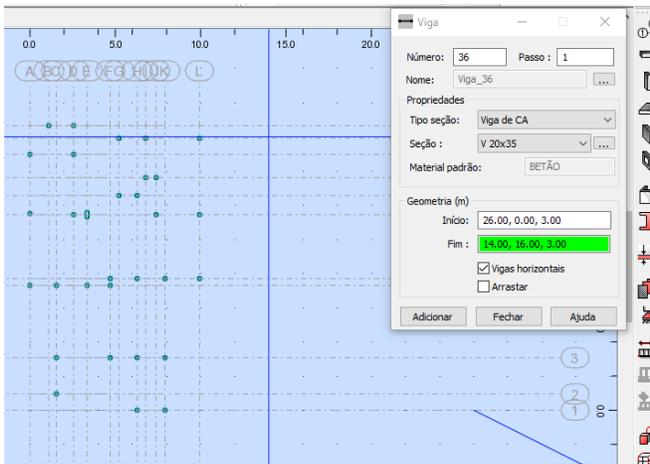


Figura 32-Introdução da viga, (do Robot).

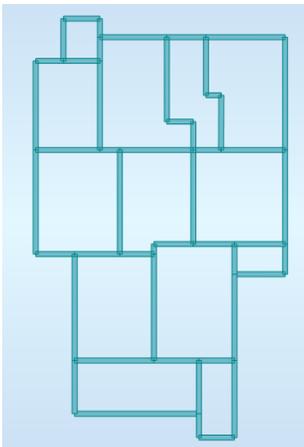


Figura 33-Planta de vigas, (do Robot).

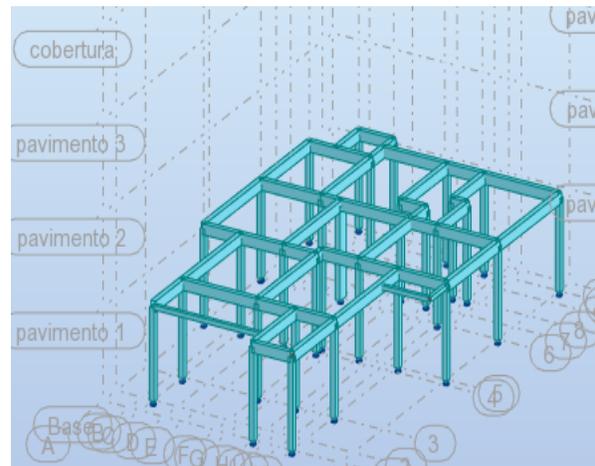


Figura 34-Modelo 3D de vigas e pilares, (do Robot).

c. Elementos de casca (caixa de elevador, escadas e lajes)

Para a introdução da caixa de elevador, recorreu-se ao menu “modelo da estrutura” no submenu “paredes”, como é ilustrado na figura 35.

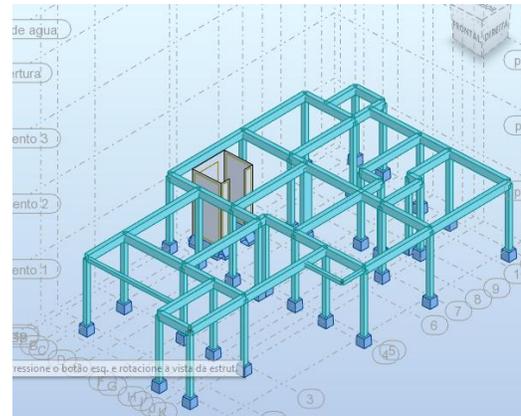
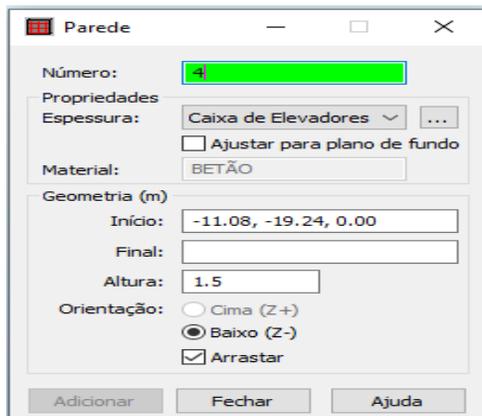


Figura 35-Introdução da caixa de elevador, (do Robot).

Figura 36-Modelo 3D de vigas, pilares fundações, e a caixa de elevador, (do Robot).

As escadas foram introduzidas no menu “modelo da estrutura”, submenu “piso”, os lanços considerados oblíquos e os patamares na horizontal, como ilustra a figura 37.

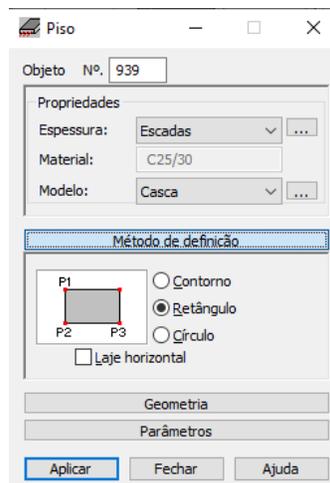


Figura 37-Parâmetros a considerar na modelação da escada, (do Robot).

As lajes das escadas, foram introduzidas com ajuda do submenu “piso”, mas tendo em consideração o modelo diafragma rígido, para garantir a distribuição uniforme das acções laterais do edifício, como ilustra a figura 38.

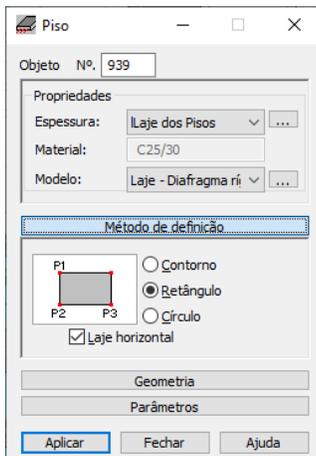


Figura 38-Parâmetros a considerar na introdução das lajes, (do Robot).

Após a introdução dos painéis da laje das escadas, foram copiados os conteúdos do piso térreo para os restantes pisos, tendo como resultado o ilustrado no anexo 7.4.

## 6. Acções permanentes e sobrecarga

Para definição das cargas permanentes e sobrecargas, acedeu-se ao menu “cargas” e submenu “tipos de carga”. Sendo consideradas cargas mortas para todas as cargas permanentes, cargas ativas para as sobrecargas, como mostra a figura 39.

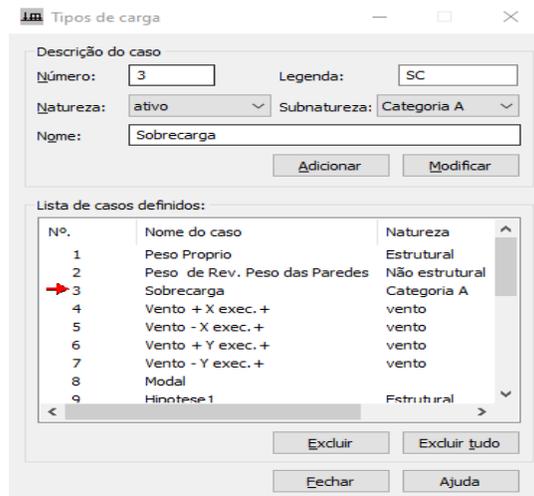


Figura 39-Tipos de Carga, (do Robot).

De seguida, as cargas definidas foram aplicadas com base no submenu “definição das cargas”. Escolheu-se o tipo de carga a aplicar e de seguida colocamos o valor da carga e aplicamos no elemento em questão. Como pode ilustrar a figura 40.

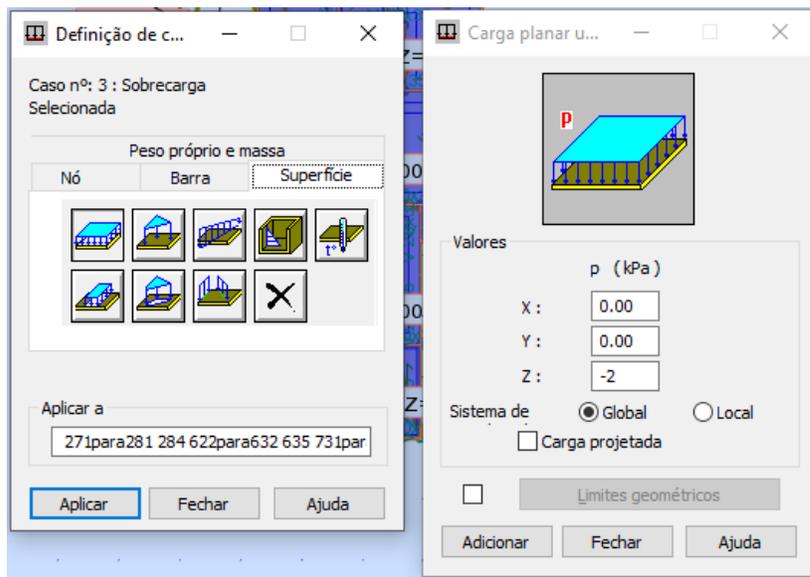


Figura 40-Definição das cargas, (do Robot).

## 7. Acção do vento

A acção do vento é gerada automaticamente, através do menu “cargas”, submenu “simulação das cargas do vento”. Foram colocados valores da velocidade e direcções actuantes do vento como mostra a figura 41 e 42.

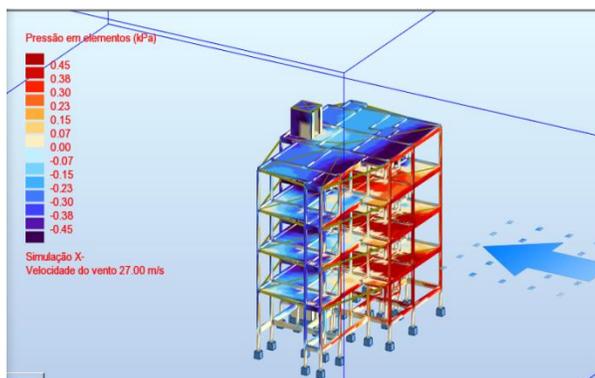
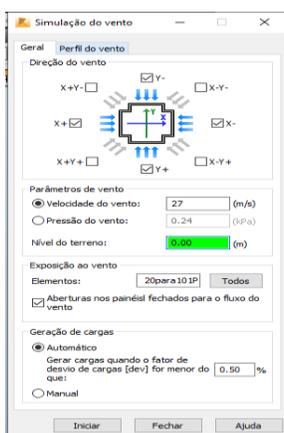


Figura 41-Simulação da acção de vento, (do Robot).

Figura 42- Direcção X da actuação do vento, (do Robot).

## 8. Combinação das acções

As combinações das acções foram feitas manualmente, considerando algumas combinações mais críticas, geradas no Cypecad automaticamente, para análise no presente trabalho.

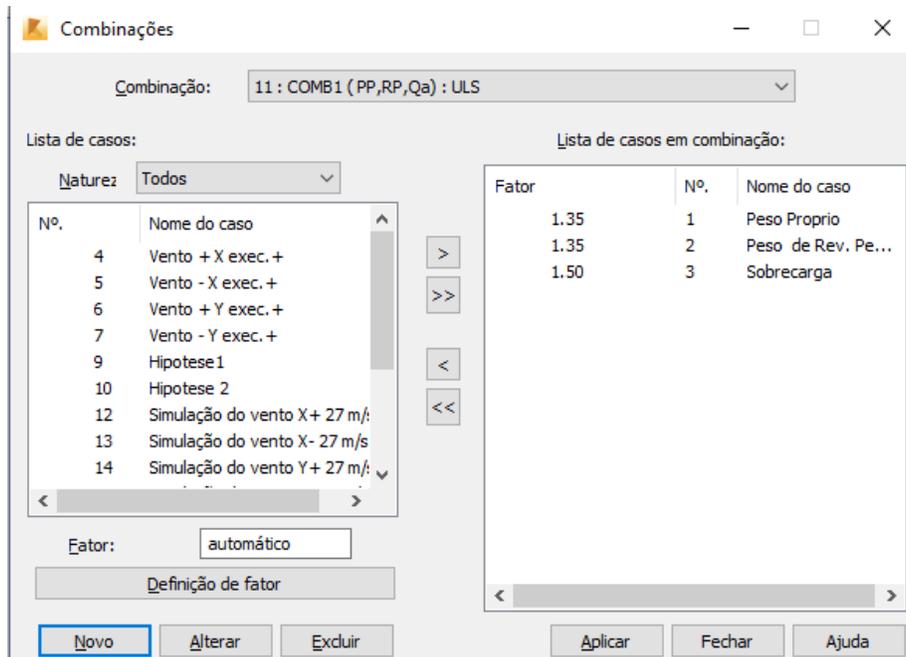


Figura 43-Combinação manual das acções, (do Robot).

## 4.3 SAP 2000

O processo de modelação, através deste programa de cálculo automático, foi feito com ajuda de vídeo aulas, uma vez que o programa estivesse sendo usado pela primeira vez para modelação de uma estrutura em betão armado. Esta modelação foi feita com base nos seguintes procedimentos:

### 1. Novo modelo

O primeiro passo no Sap 2000, é a definição de um novo modelo para início da modelagem, é a opção ilustrada na figura 44.

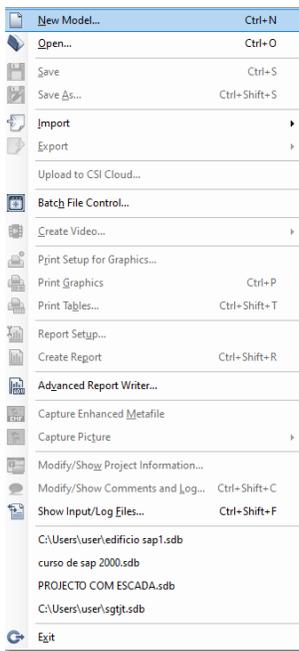


Figura 44- Seleção do novo modelo, (do Sap2000).

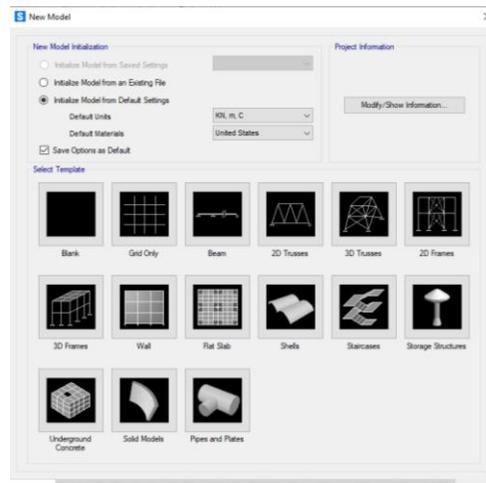


Figura 45-Tela de seleção da opção "Rede only", (do Sap2000).

Após clicar na opção novo modelo, é-se direcionado a uma tela onde escolheu-se o template “rede only”, como ilustra figura 45.

## 2. Configurar a unidade de medida

As unidades de medidas, foram configuradas no canto inferior direito para as unidades internacionais, como apresentado na figura 46.

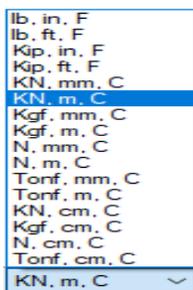


Figura 46-Escolha da unidade métrica, (do Sap2000).

## 3. Definir dados do sistema de grelha

Definimos o sistema de grelha, clicando em “Edit grid data”, e definimos as coordenadas dos eixos da grelha, como é ilustrado na figura 47.

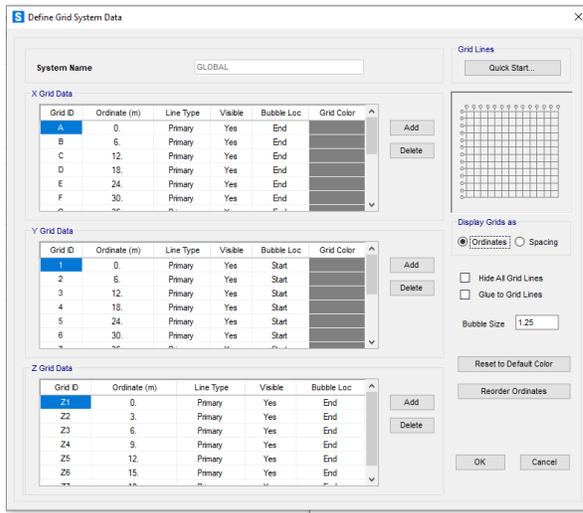


Figura 47-Definição dos dados da grelha, (do programa Sap2000).

#### 4. Definição dos materiais

Definiu-se os materiais, através do menu “define”, clicando em “materials” onde foram definidas as propriedades dos materiais, aço e betão de acordo com a norma pré-definida para os três programas, como é ilustrada na figura 48.

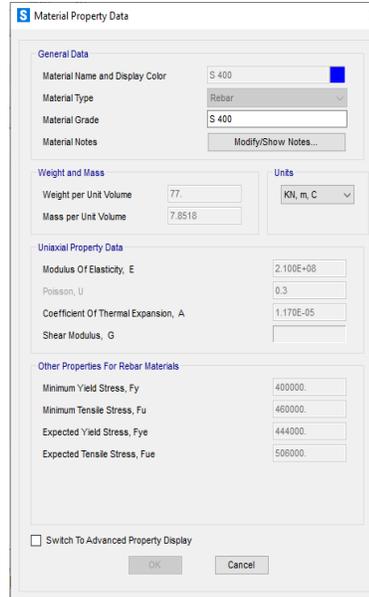


Figura 48-Definição das propriedades do aço da classe (S 400), e do betão da classe C25/30 respectivamente, (do programa Sap2000).

## 5. Propriedades da secção

Na propriedade da secção, foram definidas as secções para os elementos de barras “frame section” e “area sections”, sendo que “frame sections” corresponde aos pilares e vigas e “area sections” corresponde a lajes, caixa de elevador, e as escadas, como ilustra a figura 49.

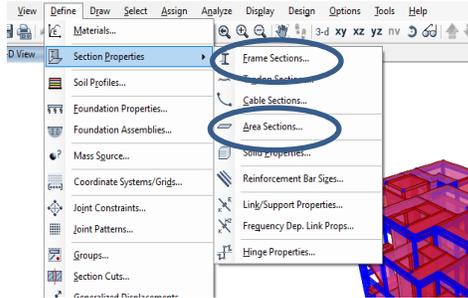


Figura 49-Propriedades das secções, (do programa Sap2000).

As propriedades das barras, são apresentadas na figura 50.

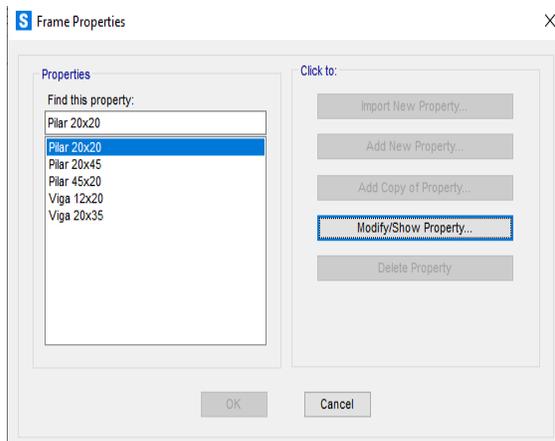


Figura 50-Propriedades das barras, (do programa Sap2000).

Da mesma forma as propriedades das áreas “área sections” foram definidas na figura 51.

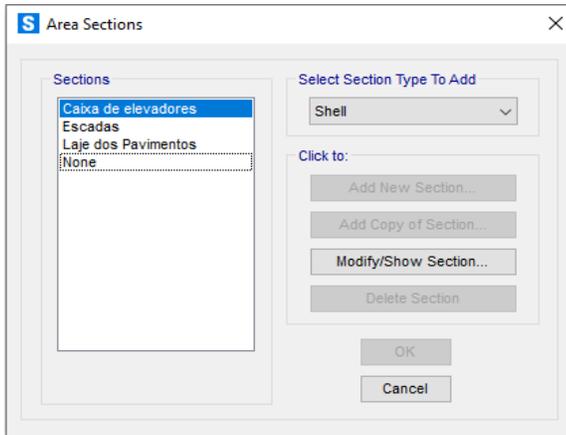


Figura 51-Áreas das secções, (do programa Sap2000).

## 6. Configuração dos apoios

Para configuração dos apoios usados na estrutura, foi utilizado o menu “Assign”, para se poder aceder a “joins” e, em “restrains”, definir os apoios, como mostra a figura 52.

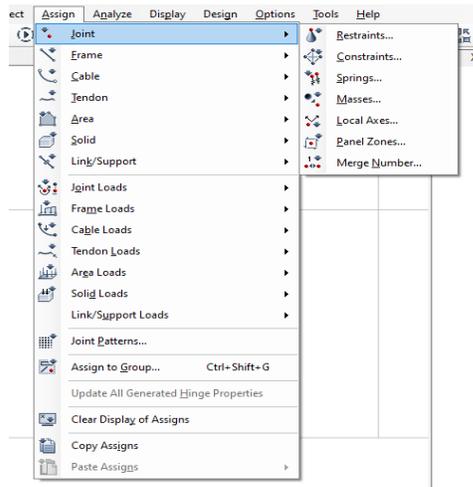


Figura 52-Configuração dos apoios, (do programa Sap2000).

## 7. Modelação

Após definição das propriedades dos materiais, e a configuração dos apoios, foi feita a modelação propriamente dita, onde inicialmente foram introduzidos os pilares, com a altura correspondente ao nível da cobertura, como ilustra o anexo 7.5.

Após a modelação dos pilares, foram modeladas as vigas do nível do rés-do-chão, e com o comando replicar, foram copiadas para os restantes pisos, como ilustra o anexo 7.6.

Foram modelados posteriormente os apoios, e os elementos de área, respectivamente, a caixa de elevador, as escadas e, finalmente, as lajes dos pisos. Tendo-se em consideração que, as escadas e a laje dos pisos foram modeladas no nível do rés-do-chão e replicados para os restantes pisos, e a caixa de elevador, foi inserida verticalmente sobre os eixos yz e xz, como ilustra o anexo 7.7.

## 8. Acções permanentes e sobrecarga

Para definição das cargas permanentes, e as sobrecargas, acedeu-se ao menu “define”, submenu “load patterns”, e aberto a tela ilustrada da figura 68 foram definidas as cargas permanentes e as cargas variáveis, sendo que o peso próprio leva um “self weight multiplier” de “1” e as restantes acções leva o valor de “0”, como é claramente ilustrada na figura 53.

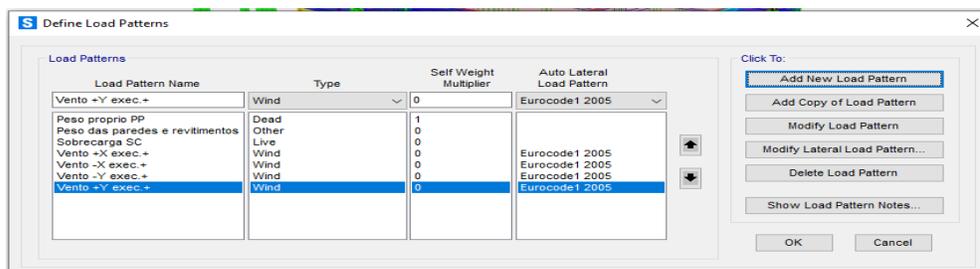


Figura 53-Tela de definição das acções actuanes na estrutura, ( do Sap2000).

Após a definição das cargas, as mesmas foram aplicadas sobre a estrutura através do menu “assign”, submenu “Area loads,” e escolher “uniform to frame”, sendo assim aberta a tela ilustrada na figura 54:

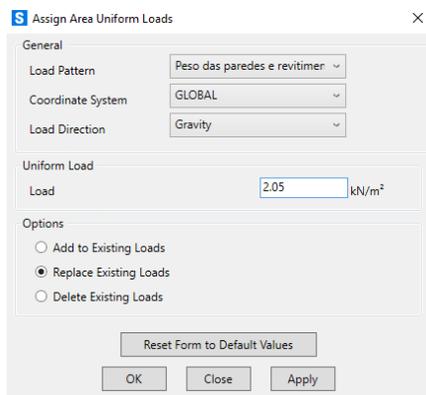


Figura 54-Tela de definição das cargas, (do Sap2000).

Aqui é escolhido o tipo de carga, o sistema de coordenadas, a direcção da carga e o seu respectivo valor. Após, fez-se a aplicação nos correspondentes elementos estruturais, como é mostrado na figura 55.

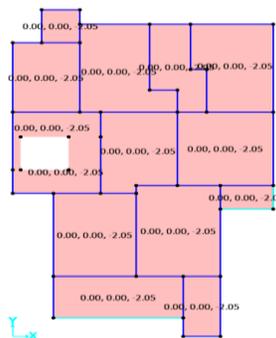


Figura 55-Laje com cargas superficiais aplicadas, (do Sap2000).

## 9. Acção do vento

Para a definição da acção do vento, foram seguidos os seguintes passos, submenu “define” e, escolher a opção ” load patterns”, e clicar na opção “modify lateral load pattern” e na tela apresentada na figura 56 foram introduzidos todos os dados correspondentes as considerações feitas no cálculo da acção do vento.

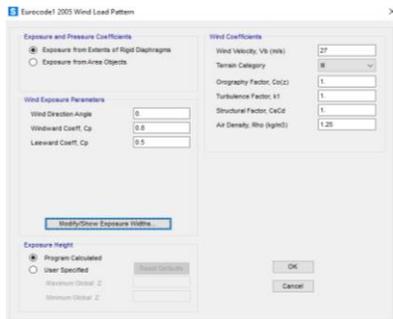


Figura 56-Definição dos parâmetros para a acção do vento, (do Sap2000).

## 10. Combinação das acções

Foi possível combinar as acções através do menu “define”, de seguida o submenu “load combinations” , clicar em “add new combination” e com os respectivos coeficientes de majoração e minoração, combinar as acções, como ilustra a figura 57.

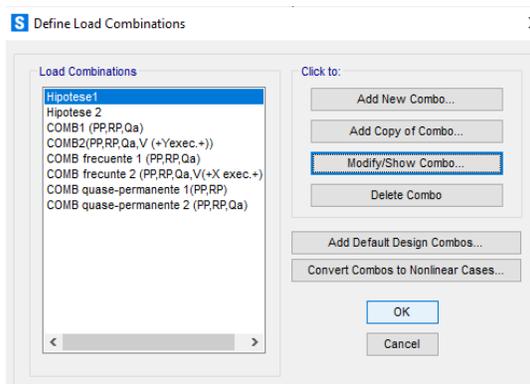


Figura 57-Combinação das cargas, (do Sap2000).

## 5. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS

### INTRODUÇÃO

Neste capítulo, é feita a análise comparativa dos resultados obtidos nos três programas de cálculo, tendo em conta que foram adoptadas as mesmas normas, as mesmas secções e propriedades das secções, mesmas condições de carregamento e mesmas combinações das acções envolvidas no cálculo estrutural. A análise comparativa baseou-se em 4 aspectos nomeadamente:

- Tempo de processamento de dados;
- Comportamento estrutural, (esforços e deformações);
- Consumo de materiais;
- Detalhamento do projecto.

De forma a comparar os resultados obtidos do dimensionamento da estrutura, foram selecionados elementos estruturais mais solicitados. As suas designações em cada um dos programas de cálculo automático são apresentadas na tabela 7.

<b>Cypecad</b>	<b>Robot</b>	<b>Sap2000</b>
Fundação do pilar 10	Fundação da barra 185	Fundação da barra 101
Pilar 10	Barra 185	Barra 101
Viga 33 do 4º Piso	Viga 754	Viga 274
Laje do 4º Piso	Laje do 4º Piso	Laje do 4º Piso
Escadas	Escadas	Escadas
Caixa de elevador	Caixa de Elevador	Caixa de Elevador

*Tabela 7-Designação dos elementos estruturas, em cada programa de cálculo automático.*

De salientar que, os elementos estruturais considerados para a análise comparativa, para além de serem os elementos mais solicitados, são também resultado de uma análise dos diversos elementos estruturais e os seus devidos resultados, isso para que se pudesse torná-los elementos representativos e evitar uma considerável disparidade com os resultados dos elementos considerados, e tendo consequentemente uma conclusão questionável.

## 5.1 TEMPO DE PROCESSAMENTO DE DADOS

Relativamente ao tempo de processamento dos dados de cálculo, os três programas apresentam resultados diferentes, como ilustrado nos anexos A 3.1, A 3.2 e A 3

Programa	Tempo decorrido no processamento dos dados de cálculo	Diferenças
Cypecad	00:04:09	Cypecad Vs Robot (92.05%)
Robot Structural Analises	00:00:20	Cypecad Vs Sap200 (90.84%)
Sap 2000	00:00:23	Robot Vs Sap2000 (13.16%)

*Tabela 8-Comparação do tempo de processamento dos dados de cálculo.*

Dos resultados colhidos nos anexos A 3.1, A 3.2 e A 3.3, e resumidas na tabela 8, constatou-se uma ligeira diferença entre os dois programas de elementos finitos, Robot e Sap 2000, numa variação percentual não superior a de 14%. Já no caso contrário, (do Cypecad) e os dois programas de elementos finitos, a variação percentual do tempo de processamento foi considerável, sendo superior a 90%, como é indicado na tabela 8.

## 5.2 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

### 5.2.1 Elementos estruturais

#### 5.2.1.1 Fundação

##### 5.2.1.1.1 Esforços

O dimensionamento das fundações, depende principalmente das reações obtidas nos apoios da estrutura. Foram usadas as combinações dos estados limites últimos, para obtenção dos esforços, que de seguida são comparados e analisados.

Os esforços considerados para análise são, o esforço axial, e o momento nas duas direcções, x e y. Como ilustrados nos anexos A 4.1, A 4.2 e A 4.3.

Programa	Esforços		
	N(KN)	Mx(KNm)	My(KNm)
Cypecad	199.01	0.27	0.09
Robot	215.91	0.34	0.03
Sap 2000	201.285	1.081	0.061
Diferença (Cypecad Vs Robot)	7.83%	20.59%	66.67%
Diferença (Cypecad Vs Sap2000)	1.13%	75.02%	32.22%
Diferença (Robot Vs Sap 2000 )	6.77%	68.55%	50.82%

*Tabela 9-Comparação dos valores das reações de apoio.*

Nota-se que, com os resultados apresentados nos anexos A 4.1, A 4.2 e A 4.3, e resumidos na tabela 9, o esforço axial não apresenta grandes variações nos três programas, tendo no Robot o seu maior valor relativamente aos outros programas. Já no caso do momento em X, no Sap2000 constatou-se um valor maior do momento em x relativamente aos outros programas, com uma variação percentual superior a 75%. E, no caso do momento em Y as variações são ligeiras como é ilustrado na tabela 9.

## 5.2.1.2 Pilar

### 5.2.1.2.1 Esforços

A obtenção dos esforços determinantes no dimensionamento dos pilares, provém das acções actuantes inicialmente nas lajes, que de seguida são transferidas para as vigas, e posteriormente descarregadas sobre os pilares. Sendo que, os esforços de compressão do pilar provêm das acções verticais aplicadas à estrutura, e os esforços causadores dos momentos são essencialmente as acções horizontais, que no presente caso de estudo refere-se a acção do vento.

Pela complexidade dos resultados, fez-se a análise do pilar mais solicitado na secção de cota correspondente ao quarto piso, para o esforço axial, e momentos na direcção X e Y.

Programa	Esforços		
	N	Mx	My
Cypecad	89.3	-0.37	-1.39
Robot	96.29	-2.11	-0.13
Sap 2000	89.59	-0.79	-1.39
Diferença (Cypecad Vs Robot)	7.26%	82.46%	90.65%
Diferença (Cypecad Vs Sap2000)	1.74%	53.16%	0.00%
Diferença ( Robot Vs Sap 2000 )	8.87%	62.56%	90.65%

*Tabela 10-Comparação dos valores dos esforços do pilar do quarto piso.*

Nota-se que, com os resultados apresentados nos anexos A 4.4, A 4.5 e A 4.6, e resumidos na tabela 10, o esforço axial não apresenta grandes variações nos três

programas, tendo no Robot o seu maior valor relativamente aos outros programas. Já no caso do momento em “X”, no Robot constatou-se um valor considerável relativamente aos outros programas, com uma variação percentual de 82.46% e 62.56% no Cypecad e Sap2000 respectivamente. E, no caso do momento em Y, Cypecad e Sap2000 apresentam uma igualdade nos momentos, ficando o Robot com o menor valor do momento.

### 5.2.1.3 Viga

#### 5.2.1.3.1 Esforços

As acções que causam os esforços na viga 33 do quarto piso (designação do cypecad), a mais solicitada, são transmitidas das lajes para as vigas. Sendo o esforço condicionante no dimensionamento da viga, o momento máximo na direcção y (Mmax.y) positivo e negativo, foi o mesmo considerado para as comparações em questão.

Programa	Esforços	
	Mmax.y (Positivo)	Mmax.y (Negativo)
Cypecad	6.36	13.39
Robot	15.84	28.99
Sap 2000	2.95	6.31
Diferença (Cypecad Vs Robot)	59.85%	53.81%
Diferença (Cypecad Vs Sap2000)	53.62%	52.88%
Diferença (Robot Vs Sap 2000 )	81.38%	78.23%

*Tabela 11-Comparação dos momentos flectores máximos da viga.*

Pelos resultados da tabela 11, nota-se que o Robot possui os maiores valores do momento positivo e negativo, precedido (do Cypecad) e na última posição o Sap2000 com as correspondentes variações percentuais apresentadas na tabela 11.

#### 5.2.1.4 Laje

##### 5.2.1.4.1 Esforços

Diferentemente da viga, as acções verticais são absorvidas pelas lajes (laje do quarto piso), como cargas superficialmente distribuídas. Considerou-se o momento em x e em y, positivo e negativos máximos, como esforços condicionantes no seu dimensionamento. Como ilustrado os esforços nos anexos A 4.10, A 4.11, A 4.12, A 4.13, A 4.14, A 4.15 e A 4.16.

Programa	Esforços			
	Mmax.x (Positivo)	Mmax.x (Negativo)	Mmax.y (Positivo)	Mmax.y (Negativo)
Cypecad	2.1	1.6	4.2	7.6
Robot	3	5.72	5.35	21.22
Sap 2000	2.94	2.52	4.03	9.89
Diferença (Cypecad Vs Robot)	30.00%	72.03%	21.50%	64.18%
Diferença (Cypecad Vs Sap2000)	28.57%	36.51%	4.05%	23.15%
Diferença (Robot Vs Sap 2000 )	2.00%	55.94%	24.67%	53.39%

*Tabela 12-Comparação dos valores dos momentos.*

Com base nos resultados da tabela 12, nota-se que o momento máximo em torno de y negativo apresenta uma grande dispersão, pelo facto do valor no Robot ser mais elevado relativamente ao Cypecad, e no caso do momento máximo na direcção x negativo, o Robot também apresentar um valor elevado relativamente ao Cypecad, com um percentual de 72.03%. E nos restantes casos constata-se variações percentuais ligeiras.

#### 5.2.1.5 Escadas

##### 5.2.1.5.1 Esforços

Os esforços actuantes sobre as escadas resultam das acções aplicadas a este elemento, sendo elas as acções permanentes e as acções variáveis. Nesta análise considerou-se os momentos em x e em y.

Os diagramas destes esforços, são apresentados nos anexos A 4.17, A 4.18, A 4.19 e A 4.20, que permitirão a sua análise e comparação, que recai sobre um ponto crítico do mesmo elemento.

Programa	Esforços	
	Mmax.x (Negativo)	Mmax.y (Negativo)
Cypecad	1.5	0.43
Robot	45.82	6.35
Sap 2000	50.74	20
Diferença (Cypecadca Vs Robot)	96.73%	93.23%
Diferença (Cypecad Vs Sap2000)	97.04%	97.85%
Diferença (Robot Vs Sap 2000 )	9.70%	68.25%

*Tabela 13--Comparação dos momentos atuantes nas escadas.*

No caso das escadas, nota-se os valores máximos no programa Sap2000, e valores mínimos no programa Cypecad. Como são ilustradas na tabela 13.

#### 5.2.1.6 Caixa de elevador

##### 5.2.1.6.1 Esforços

No caso da caixa de elevador, os esforços verticais são causados pelo seu peso próprio essencialmente, e os momentos são causados pelas acções horizontais. Serão comparados os momentos na direcção x bem como na direcção y para os três programas de cálculo estrutural.

Programa	Esforços	
	Mmax.x (Negativo)	Mmax.y (Negativo)
Cypecad	0.05	0.28
Robot	0.05	0.25
Sap 2000	0.01	0.31
Diferença (Cypecadca Vs Robot)	0.00%	10.71%
Diferença (Cypecad Vs Sap2000)	80.00%	9.68%
Diferença (Robot Vs Sap 2000 )	80.00%	19.35%

*Tabela 14-Comparação dos momentos da caixa de elevador.*

Para o caso da caixa de escadas, os três programas, não apresentam grandes diferenças nos seus resultados, constatando-se que o Cypecad e o Robot apresentam os mesmos valores para o momento máximo negativo na direcção x. Como é ilustrado na tabela 14.

## 5.2.2 Estrutura como um todo

### 5.2.2.1 Deformada

A deformada de uma estrutura resulta da actuação de cargas, causando alteração das posições relativas dos seus pontos. Os valores da deformada resultaram da combinação para estados limites de serviço, as quase permanentes envolvendo PP, RP, Qa. As deformadas nos três programas são ilustradas nos anexos A 4.26, A 4.27 e A 4.28.

Programa	Deformada
	Deformação (mm)
Cypecad	2.24
Robot	2.43
Sap 2000	2.2
Diferença (Cypecad Vs Robot)	8.20%
Diferença (Cypecad Vs Sap2000)	1.79%
Diferença (Robot Vs Sap 2000)	9.84%

*Tabela 15-Comparação dos valores da deformada estrutura.*

Com base na tabela resumo, podemos notar que os valores máximos das deformadas, ocorrem nos mesmos pontos da estrutura para os três programas, sendo os valores obtidos aproximados, como apresentados na tabela 15.

### 5.3 CONSUMO DE MATERIAIS

Neste subcapítulo, foi feita a análise comparativa das áreas necessárias de armaduras, para cada programa de cálculo estrutural, para a viga 33 do quarto piso (designação do Cypecad), de iguais dimensões, parâmetros considerados com base nas mesmas normas, e as mesmas condições de carga. Os resultados desta análise são ilustrados nos anexos A 5.1, A 5.2 e A 5.3.

Programa		Área da secção do varão (cm <sup>2</sup> )		
		X=1.25m	X=2.5m	X=3.77m
Cypecad	As,sup	1.18	0	1.59
	As,Inf	0.24	1.18	1.18
Robot	As,sup	0.33	0	0.45
	As,Inf	0.42	1.271	0.274
Sap2000	As,sup	0.74	0.256	0.58
	As,Inf	0.404	0.384	0.289
Diferença (Cypecad Vs Robot)	As,sup	72%	0%	72%
	As,Inf	43%	7%	77%
Diferença (Cypecad Vs Sap2000)	As,sup	37%	100%	64%
	As,Inf	41%	67%	76%
Diferença (Robot Vs Sap2000)	As,sup	55%	100%	22%
	As,Inf	4%	70%	5%

*Tabela 16-Comparação das áreas das armaduras necessárias.*

Na tabela 16, são apresentados os resultados e as suas variações percentuais relativamente aos resultados obtidos para cada programa, quer para as áreas superiores como inferiores de aço da viga 33 do quarto piso (designação do cypecad). Nota-se que o Cypecad, apresenta valores mais avultados para armadura superior, como mostra a tabela 16, e o Sap2000 para o caso da secção de maior momento positivo, apresenta um valor de área de armadura, que difere nos restantes programas por ser de valor igual zero.

#### 5.4 DETALHAMENTO DO PROJECTO

Os detalhes construtivos guiam o construtor no processo de execução em obra, dando uma melhor compreensão do projecto. O Cypecad, e o Robot, apresentam detalhes construtivos, com excepção (do Sap2000) onde é necessário desenhar os detalhes num programa auxiliar (Autocad ou Archicad).

Nos desenhos incluídos nos anexos A 6.1 e A 6.2, constatou-se que os programas Cypecad e Robot, não diferem muito no que concerne aos detalhes construtivos. Ambos apresentam elementos estruturais quer na longitudinal, quer na transversal, e respectivas escalas, assim como as dimensões. Também apresentam as propriedades dos materiais, nomeadamente a classe do aço e do betão.

O robot contém certas informações adicionais como a classe de exposição, diâmetro máximo do agregado, densidade e diâmetro médio do agregado.

## 6. CONCLUSÕES

É muito frequente que os engenheiros que entrem em gabinetes de projectos, tenham a tendência de usar o aprendido na academia. No entanto, como já mencionado na introdução, o objectivo deste trabalho foi direccionado aos engenheiros recém-formados que almejam ser projectistas de estruturas, bem como os engenheiros já actuando na área.

O Cypecad, apresenta um maior tempo no processamento dos dados, em termos de comportamento estrutural possui maioritariamente esforços reduzidos para as fundações pilares e as lajes. Quanto a armadura necessária, este programa apresenta valores mais elevados que os outros mesmo apresentando menores valores de esforços. Permite também obter os desenhos automaticamente, o que permite mais projectos em menos tempo

O Robot e o Sap2000, apresentam o praticamente o mesmo tempo de processamento de dados, sendo os mesmos programas de elementos finitos, e em termos de comportamento estrutural, no que concerne aos esforços, o Robot apresenta maior esforço para as fundações, o pilar, a viga, laje e a deformada da estrutura, relativamente ao Sap2000.

A armadura necessária no Robot, não difere muito (do Sap2000), e o quanto aos desenhos, o Robot apresenta automaticamente, com uma qualidade menor que o Cypecad sendo preciso ser alvo de algumas edições, diferentemente (do Sap2000) onde os desenhos devem ser feitos com auxilio do Archicad ou Autocad.

É necessário ter em conta que, os resultados obtidos nunca poderiam ser iguais uma vez que os modelos são diferentes. No tempo de processamento, devido a quantidade de plantas existentes, o Cypecad levou maior tempo relativamente aos restantes programas. Em termos de esforços, os programas de elementos finitos apresentam maioritariamente esforços semelhantes, contrariamente ao método das grelhas, uma vez que o método de elementos finitos permite refinar as malhas para se chegar a um resultado mais preciso, sendo que os seus resultados variam de acordo com o número de elementos finitos.

## 6.1 RECOMENDAÇÕES

No âmbito do presente trabalho realizado, é proposta a seguinte linha de investigação futura:

- **Comparação dos resultados do cálculo, com a consideração da acção sísmica nos programas de cálculo estrutural (Cypecad 2018, Robot Structural Analyses e Sap 2000).**

Tendo em consideração que o sismo é um fenómeno natural e que a sua imprevisibilidade é elevada, o cálculo das acções sísmicas é de extrema importância.

É também necessário compreender de forma clara, como esta acção se comporta em cada um dos programas de cálculo estrutural.

# Bibliografia

---

- [1] TAVARES, T. A. (2013). *Análise comparativa de modelos de cálculo automático no âmbito do projecto de estruturas*. Porto: Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.
- [2] CYPECAD Ingenieros, S. (s.d.). *CYPECAD – Manual do utilizador (Memória de cálculo)*.
- [3] Sebastião, L. J. (2019). *Análise comparativa entre dois programas de Cálculo*. Leiria: Instituto Politécnico de Leiria – Escola Superior de Tecnologia e Gestão.
- [4] RSA -Regulamento de Segurança e Acções para Estrutura de Edifícios e Pontes.
- [5] NP-EN 1992-1-2 – Eurocódigo 2: Projecto de Estruturas de Betão; Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios, ICS -91.080.40
- [6] NP-EN 1991-1-4 - Eurocódigo 1:Acção em Estruturas Parte 1-4:Acções Gerais – Acção do Vento, ICS – 91.010.30.
- [7] NP-EN 1990 –Eurocódigo 0 :Bases para o Projecto de Estruturas.
- [8]- NEVES, L. R. (2018) . *Análise numérica comparativa entre o método dos elementos finitos e o método das grelhas na análise estrutural do elemento laje*. Brasil: instituto federal de educação, ciência e tecnologia de goiás–ifg campus aparecida de goiânia departamento de áreas académicas curso de bacharelado em engenharia.
- [9]- MAJOR, H. F (2016). *Projeto de estrutura de Betão armado – Análise comparativa de dois softwares*. Escola Superior de Tecnologia e Gestão Leiria.

## **Páginas da web**

- (8).[www.youtube.be/zYa4nDsu8Xs](https://www.youtube.be/zYa4nDsu8Xs) 17 de fevereiro de 2022.
- (9).[www.help.autodesk.com/view/RSAPRO/2021/ENU/?guid=GUID-BBD123CE-F76B-47B0-B549-C2CB099688E3](https://www.help.autodesk.com/view/RSAPRO/2021/ENU/?guid=GUID-BBD123CE-F76B-47B0-B549-C2CB099688E3) 16 de fevereiro de 2022.
- (10)..[www.youtube.be/feRzQWRTuYI](https://www.youtube.be/feRzQWRTuYI) 20 de Janeiro de 2022.
- (11).[www.youtu.be/b6zBAIRcJ5I](https://www.youtu.be/b6zBAIRcJ5I) 20 de Janeiro de 2022.
- (12).[www.youtu.be/7HNjWe2Dokg](https://www.youtu.be/7HNjWe2Dokg) 20 de Janeiro de 2022.

- (13).[www.youtu.be/IZi7rV0Qimk](http://www.youtu.be/IZi7rV0Qimk) 20 de Janeiro de 2022.
- (14).[www.youtu.be/kkVgzQ9oYbA](http://www.youtu.be/kkVgzQ9oYbA) 22 de Janeiro de 2022.
- (15).[www.youtu.be/zzGuvGBsUaQ](http://www.youtu.be/zzGuvGBsUaQ) 22 de Janeiro de 2022.
- (16).[www.youtu.be/JroqEumdNX0](http://www.youtu.be/JroqEumdNX0) 2 de fevereiro de 2022.
- (17).[www.multiplus.com/ programa/sap2000/m%C3%B3dulos-e-recursos/index.html](http://www.multiplus.com/programa/sap2000/m%C3%B3dulos-e-recursos/index.html) 15 de Março de 2022.
- (18).[www.questionpro.com/blog/pt-br/analise-comparativa-para-o-crescimento-do-seu-negocio/amp/](http://www.questionpro.com/blog/pt-br/analise-comparativa-para-o-crescimento-do-seu-negocio/amp/)

# Anexos

---

Anexo 1- Plantas do edifício.

Anexo 2- Desenhos estruturais.

Anexo 3- Telas de cálculo da obra.

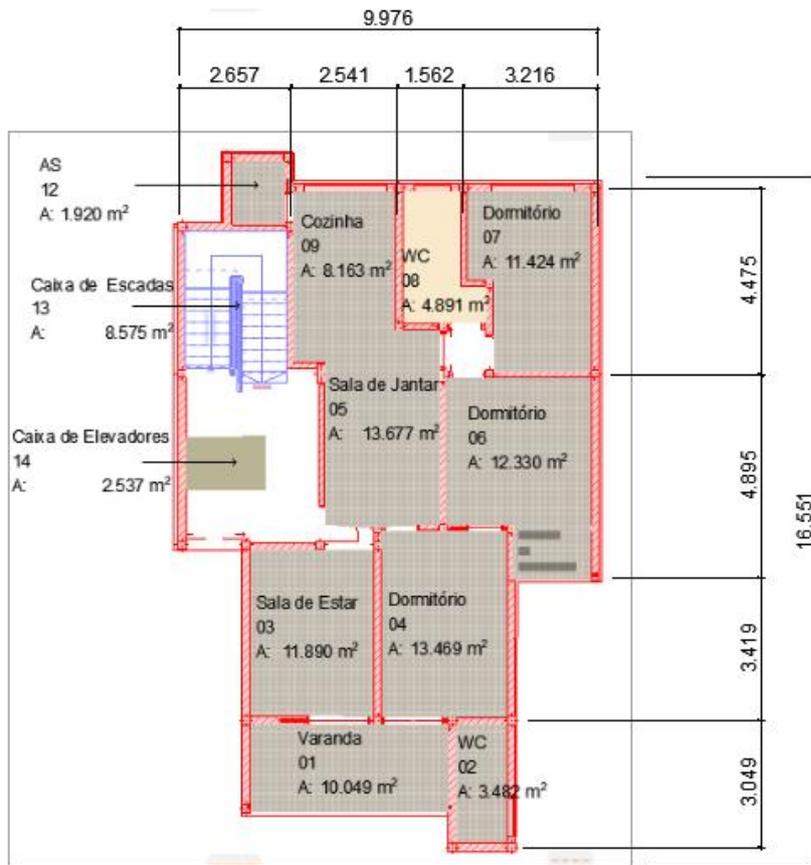
Anexo 4 - Esforços nos elementos estruturais.

Anexo 5- Áreas necessárias e efectivas de armaduras da viga.

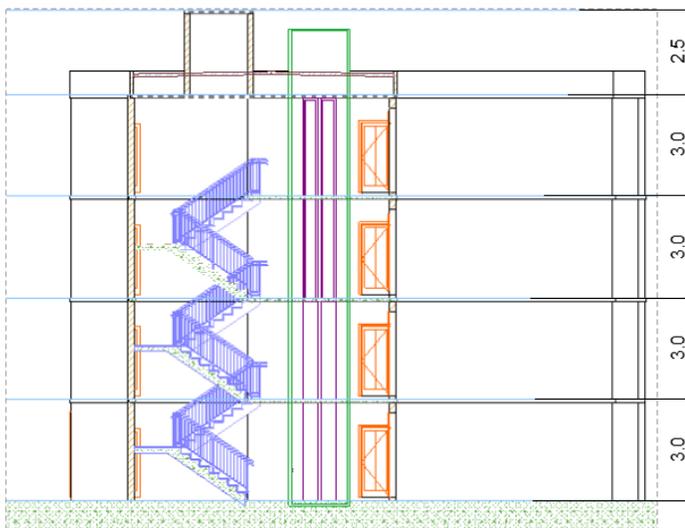
Anexo 6 - Pormenores construtivos da viga.

Anexo 7- Modelos 3D.

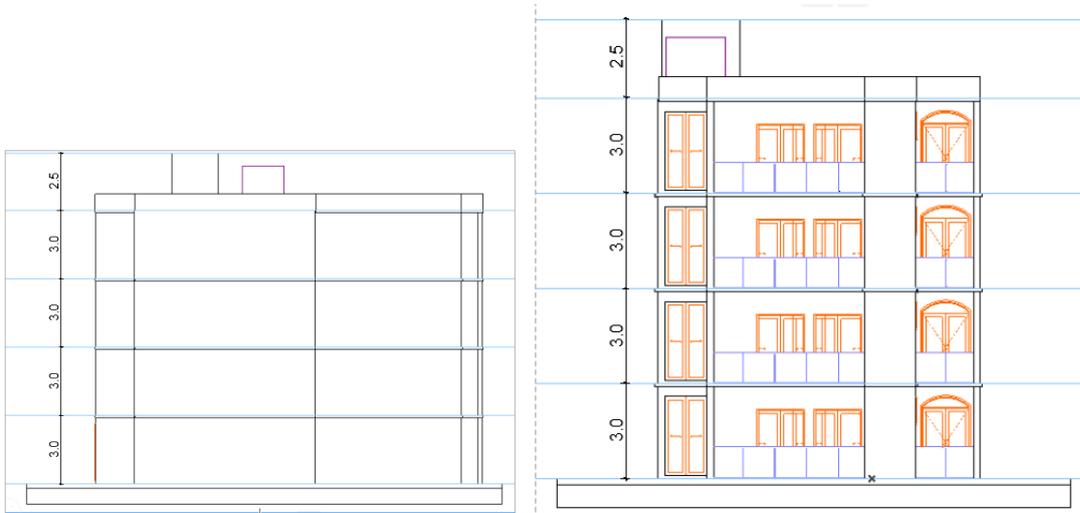
Anexo 1- Plantas do edifício.



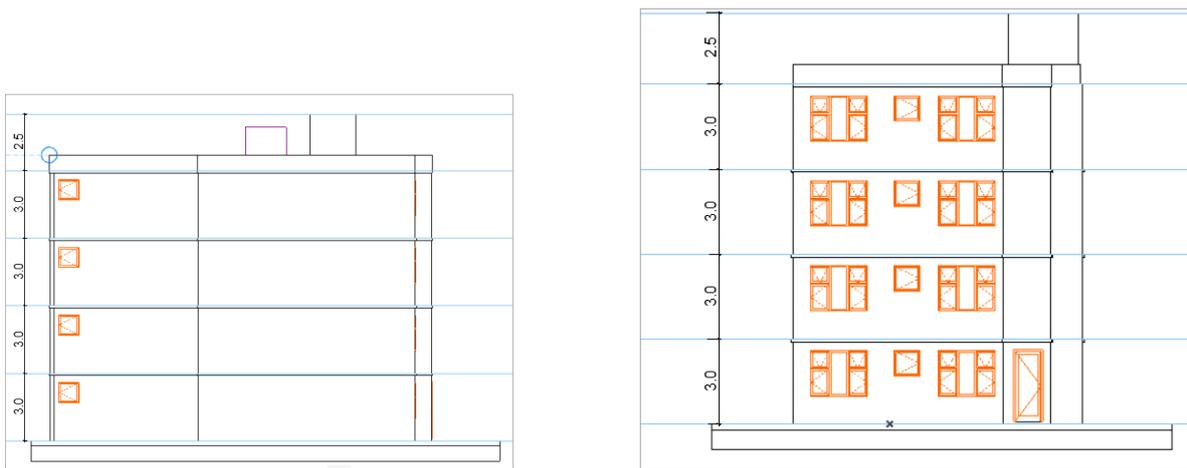
Anexo 1.1- Planta do rés-do-chão, (do programa Archicad).



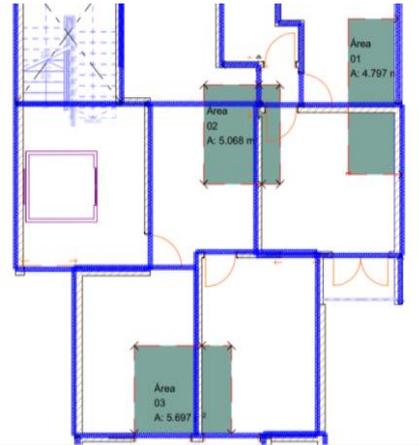
Anexo 1.2 -Corte A-A ilustrando a caixa de elevador e a caixa de escadas, (do programa Archicad).



Anexo 1.3-Alçado frontal e alçado lateral direito, (do programa Archicad).



Anexo 1.4 - Alçado lateral esquerdo e alçado posterior, respectivamente, (do programa Archicad).

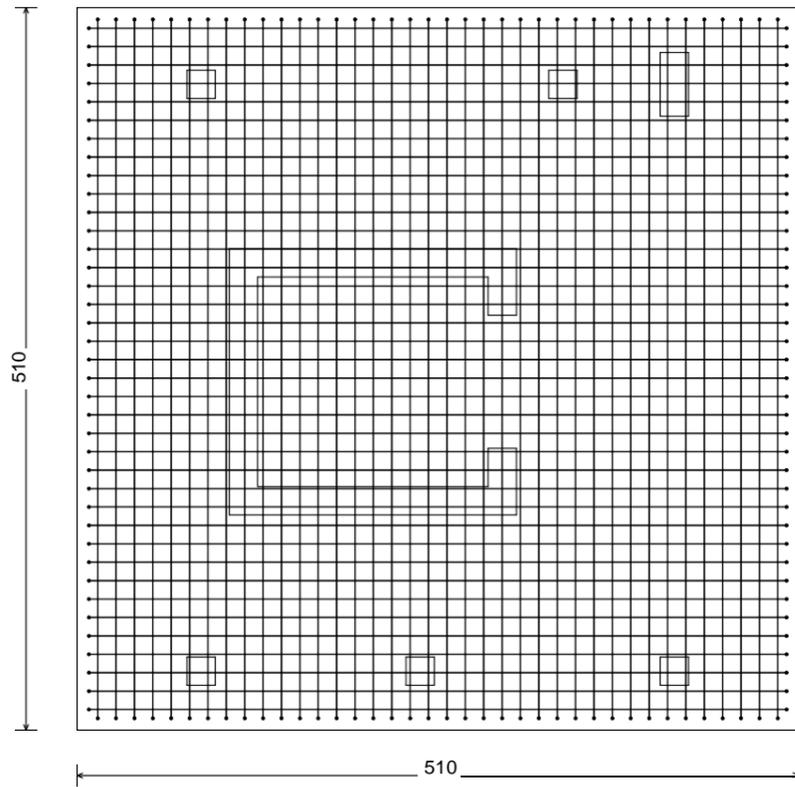
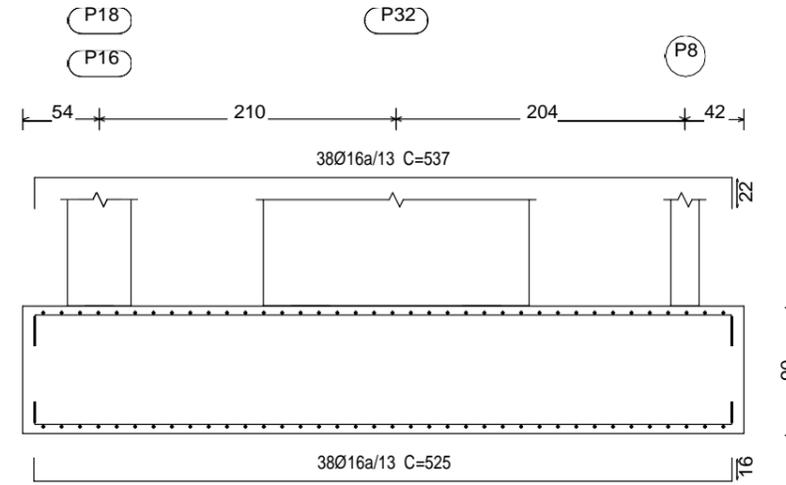
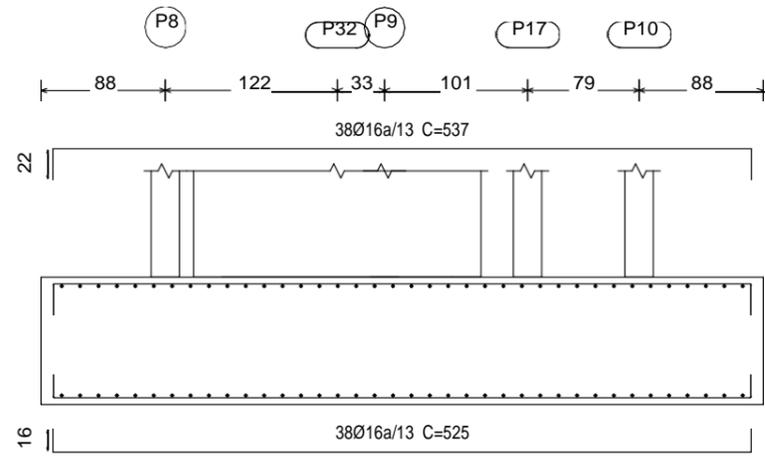


Anexo 1.5 -Planta de área de influência de pilares mais solicitadas, (do programa Archicad).

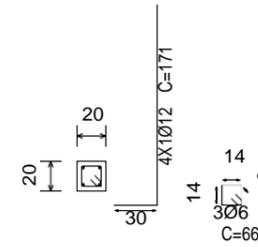
Anexo 2- Desenhos  
estruturais.

# SAPATA DO PILAR 10

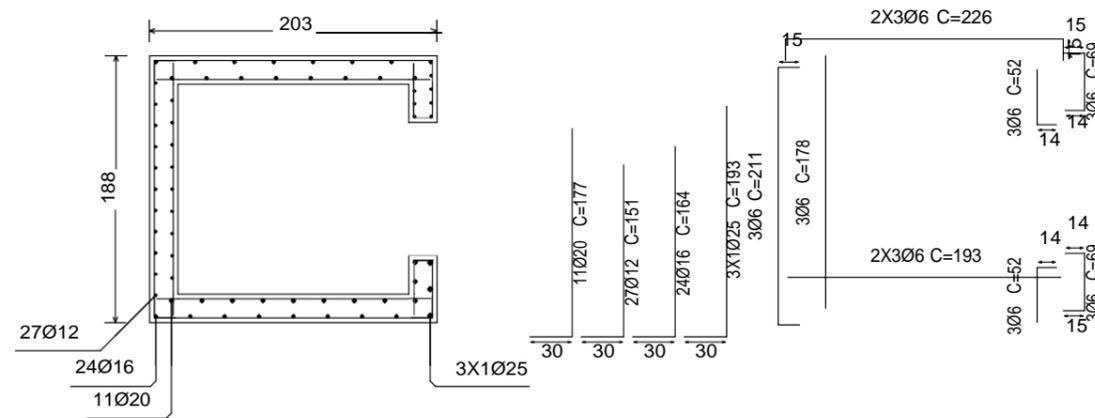
(P8-P9-P10-P16-P17-P18-P32)



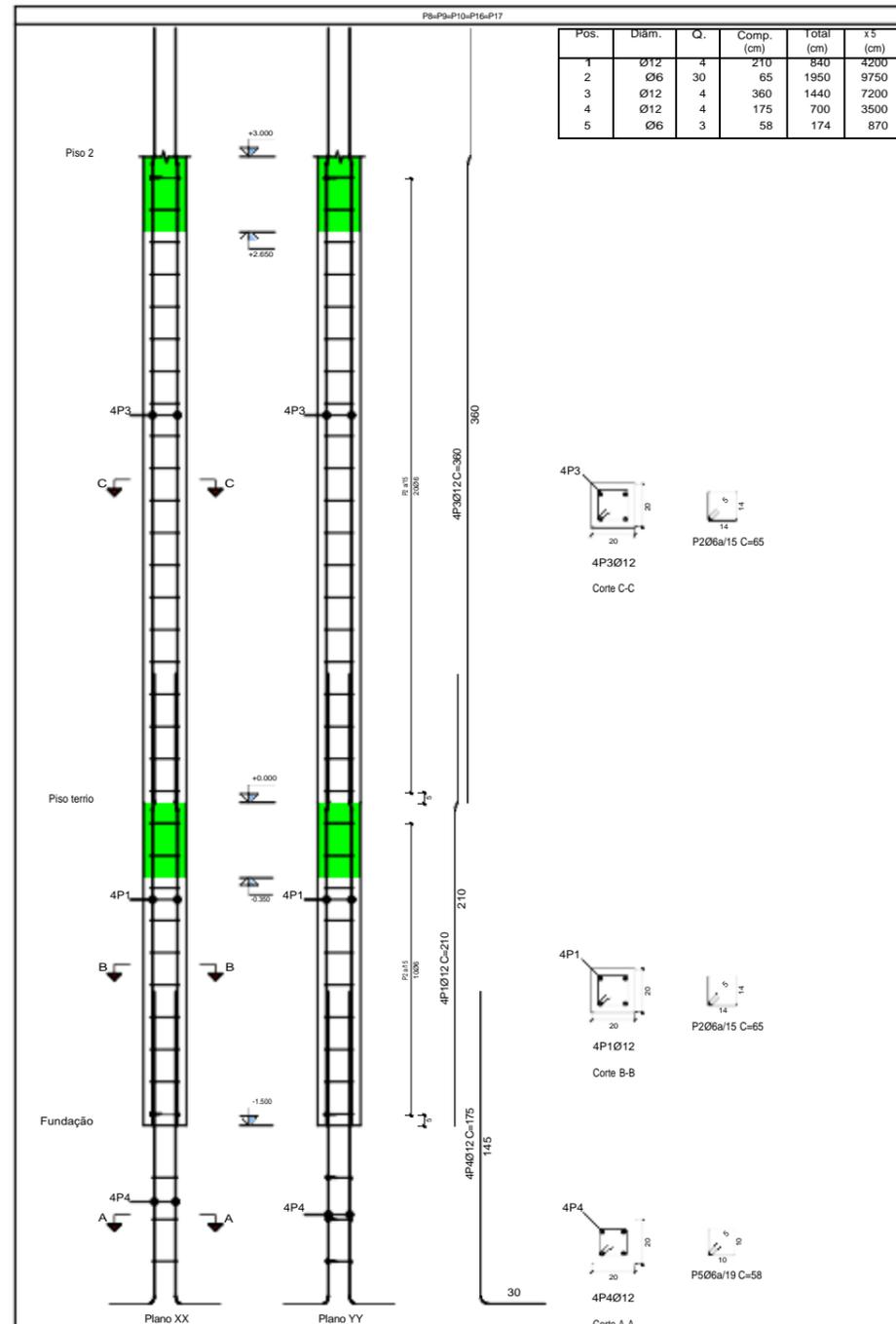
P10



P32

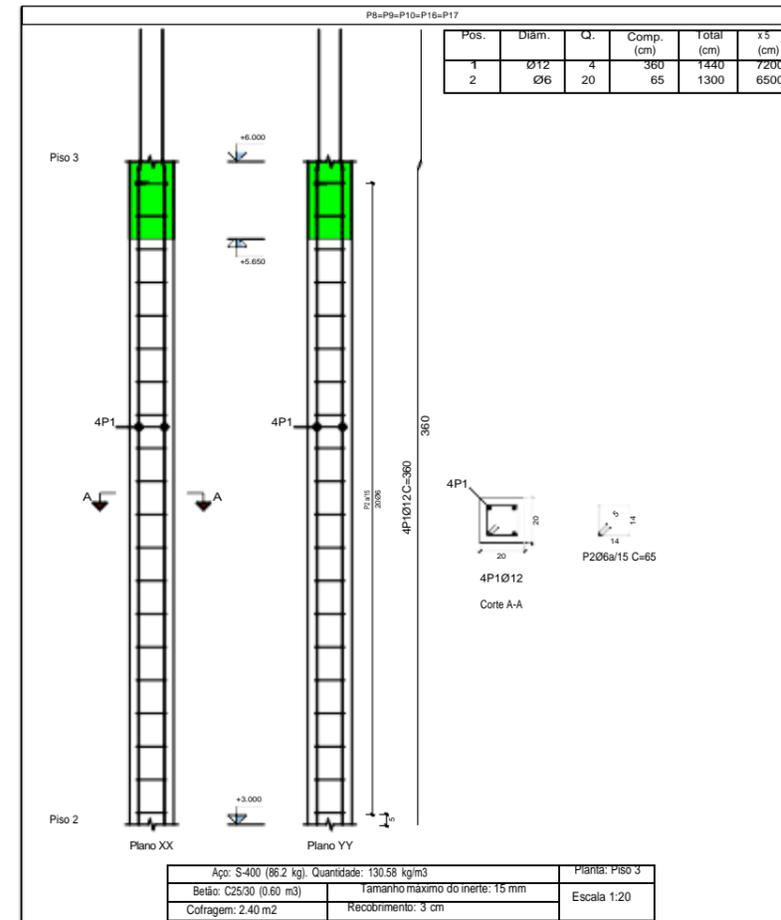


# ARMADURAS DO PILAR 10



Pilares que nascem no Piso térreo e terminam na Cobertura  
 Betão: C25/30  
 Aço em varões: S-400  
 Aço em estribos: S-400

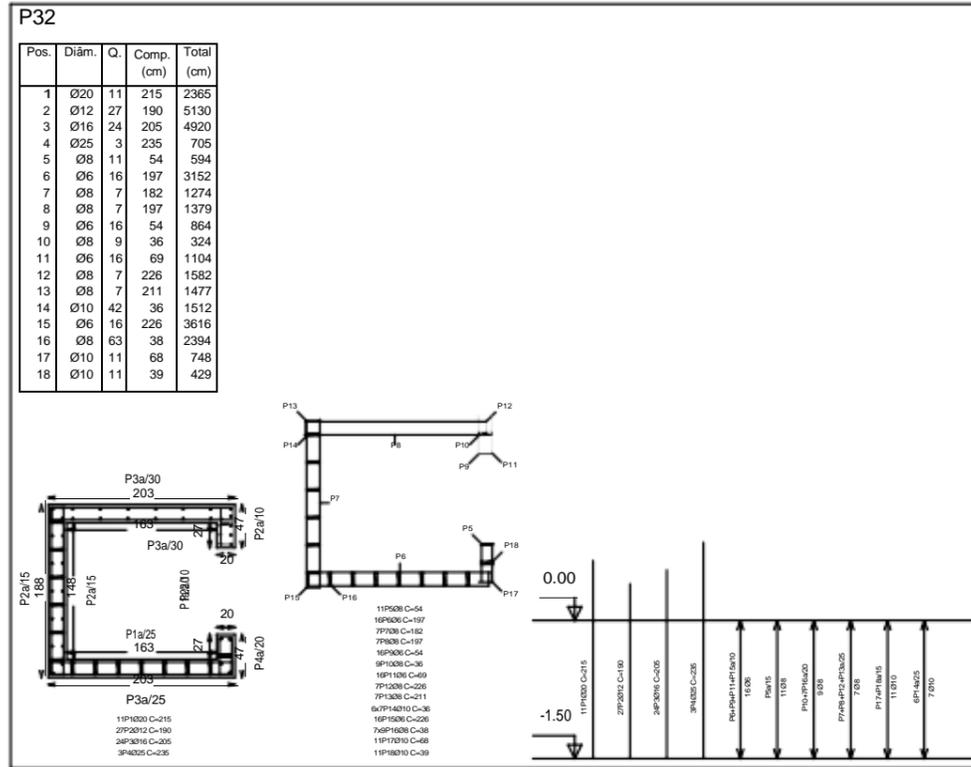
Elemento	Pos.	Diâm.	Q.	Esquema (cm)	Comp. (cm)	Total (cm)	S-400 (kg)	
P8-P9-P10-P16-P17	1	Ø12	4	147	60	210	840	7.5
	2	Ø6	30	14	65	1950	4.3	
	3	Ø12	4	297	60	360	1440	12.8
	4	Ø12	4	145	60	175	700	6.2
	5	Ø6	3	58	14	58	174	0.4
Total+10%							34.3	171.5
P8-P9-P10-P16-P17	1	Ø12	4	297	60	360	1440	12.8
	2	Ø6	20	14	65	1300	2.9	
Total+10%							17.3	86.5
Ø6: 41.5								
Ø12: 218.5								
Total: 258.0								



Planta	Dimensão (cm)	Betão		Armaduras S-400			Quantidade (kg/m³)
		Tipo: C25/30	Recobrimento: 3 cm	Longitudinal (kg)	Estribos (kg)	Total +10 % (kg)	
Piso 2	20x20	0.60	2.40	12.8	2.9	17.3	26.17
Piso térreo	0.30	1.20	1.20	7.5	1.4	9.8	28.67
Total (x5)		4.50	18.00	101.2	21.6	135.5	27.33

Aço: S-400 (66.2 kg)	Quantidade: 130.58 kg/m³	Planta: PISO 3
Betão: C25/30 (0.60 m³)	Tamanho máximo do inerte: 15 mm	Escala: 1:20
Cofragem: 2.40 m²	Recobrimento: 3 cm	

# ARMADURAS DA CAIXA DE ELEVADOR



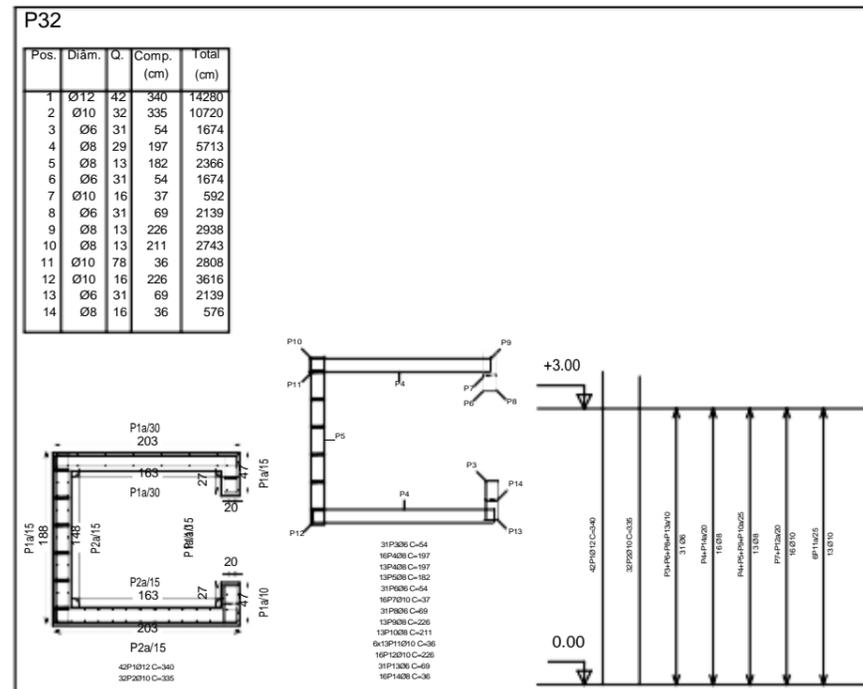
Pilares que terminam em Piso terrio  
 Betão: C25/30  
 Aço: S-400  
 Escala: 1:50

Elemento	Pos.	Diâm.	Q.	Comp. (cm)	Total (cm)	Total (kg)
P32	1	Ø12	42	340	14280	126.8
	2	Ø10	32	335	10720	66.1
	3	Ø6	31	54	1674	3.7
	4	Ø8	29	197	5713	22.5
	5	Ø8	13	182	2366	9.3
	6	Ø6	31	54	1674	3.7
	7	Ø10	16	37	592	3.6
	8	Ø6	31	69	2139	4.7
	9	Ø8	13	226	2938	11.6
	10	Ø8	13	211	2743	10.8
	11	Ø10	78	36	2808	17.3
	12	Ø10	16	226	3616	22.3
	13	Ø6	31	69	2139	4.7
	14	Ø8	16	36	576	2.3
Total					340.3	
Ø6						18.5
Ø8						62.1
Ø10						120.2
Ø12						138.5
Total						340.3

Elemento	Pos.	Diâm.	Q.	Comp. (cm)	Total (cm)	Total (kg)
P32	1	Ø20	11	215	2365	21.2
	2	Ø12	27	190	5130	45.5
	3	Ø16	24	205	4920	77.7
	4	Ø25	3	235	705	27.2
	5	Ø8	11	54	594	2.3
	6	Ø6	16	197	3152	7.0
	7	Ø8	7	182	1274	5.0
	8	Ø8	7	197	1379	5.4
	9	Ø6	16	54	864	1.9
	10	Ø8	9	36	324	1.3
	11	Ø6	16	69	1104	2.4
	12	Ø8	7	226	1582	6.2
	13	Ø8	7	211	1477	5.8
	14	Ø10	42	36	1512	9.3
15	Ø6	16	226	3616	8.0	
16	Ø8	63	38	2394	9.4	
17	Ø10	11	68	748	4.6	
18	Ø10	11	39	429	2.6	
Total					307.9	
Ø6						21.2
Ø8						38.9
Ø10						18.2
Ø12						50.1
Ø16						85.5
Ø20						64.1
Ø25						28.9
Total						307.9

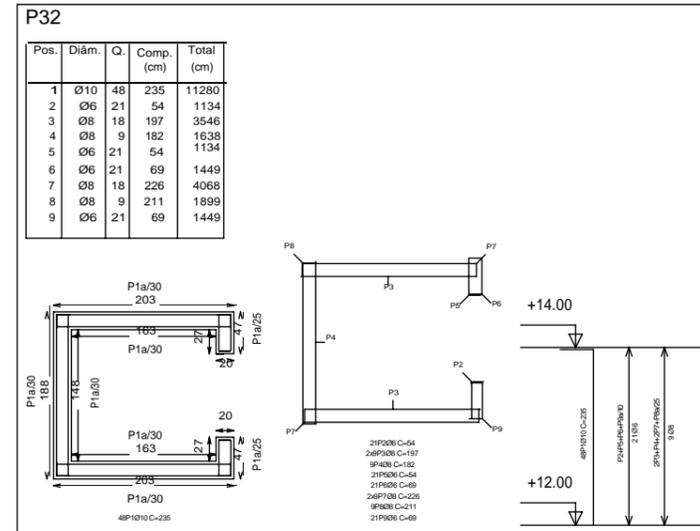
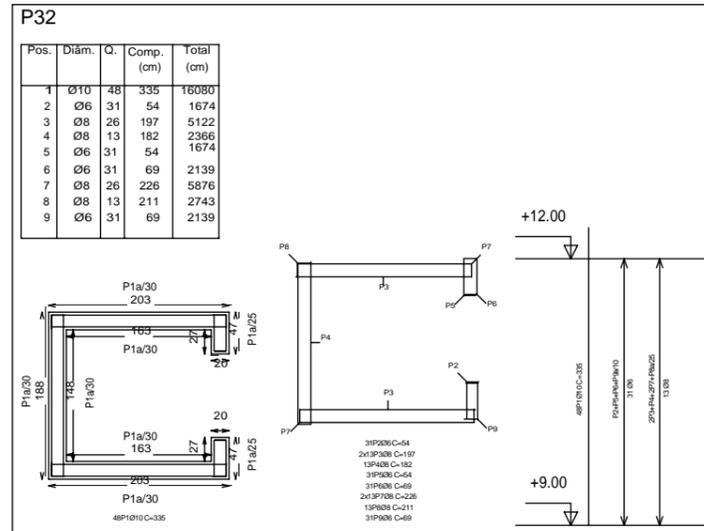
Resumo Aço	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Piso terrio			
Paredes			
S-400 Ø6	87.4	21	
Ø8	90.2	39	
Ø10	26.9	18	
Ø12	51.3	50	
Ø16	49.2	85	
Ø20	23.7	64	
Ø25	7.1	30	307

Resumo Aço	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Piso 2			
Paredes			
S-400 Ø6	76.3	19	
Ø8	143.4	62	
Ø10	177.4	120	
Ø12	142.8	139	340



Pilares que terminam em Piso 2  
 Betão: C25/30  
 Aço: S-400  
 Escala: 1:50

# ARMADURAS DA CAIXA DE ELEVADOR



Elemento	Pos.	Diâm.	Q.	Comp. (cm)	Total (cm)	Peso (kg)
P32	1	Ø10	48	335	16080	62.5
	2	Ø6	31	54	1674	2.5
	3	Ø8	26	197	5122	14.0
	4	Ø8	13	182	2366	6.5
	5	Ø6	31	54	1674	2.5
	6	Ø6	31	69	2139	3.2
	7	Ø8	26	226	5876	16.1
	8	Ø8	13	211	2743	7.5
	9	Ø6	31	69	2139	3.2
Total P32						137.5

Elemento	Pos.	Diâm.	Q.	Comp. (cm)	Total (cm)	Peso (kg)
P32	1	Ø10	48	235	11280	59.1
	2	Ø6	21	54	1134	3.7
	3	Ø8	18	197	3546	20.2
	4	Ø8	9	182	1638	7.3
	5	Ø6	21	54	1134	3.7
	6	Ø6	21	69	1449	4.7
	7	Ø8	18	226	4068	23.2
	8	Ø8	9	211	1899	10.9
	9	Ø6	21	69	1449	4.7
Total P32						137.5

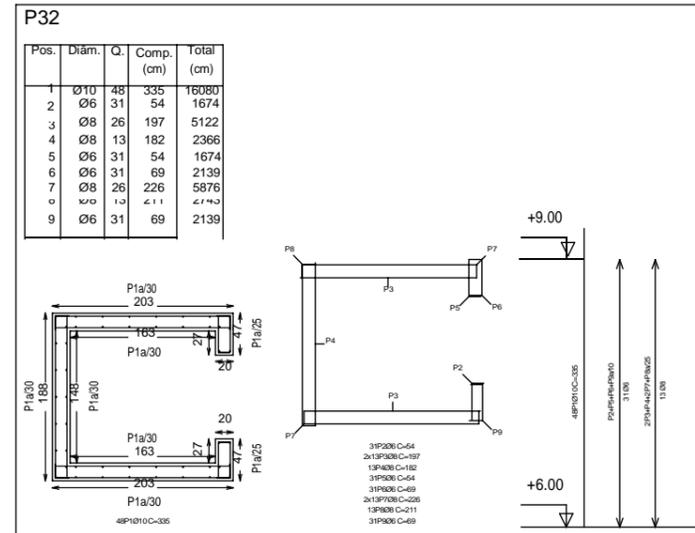
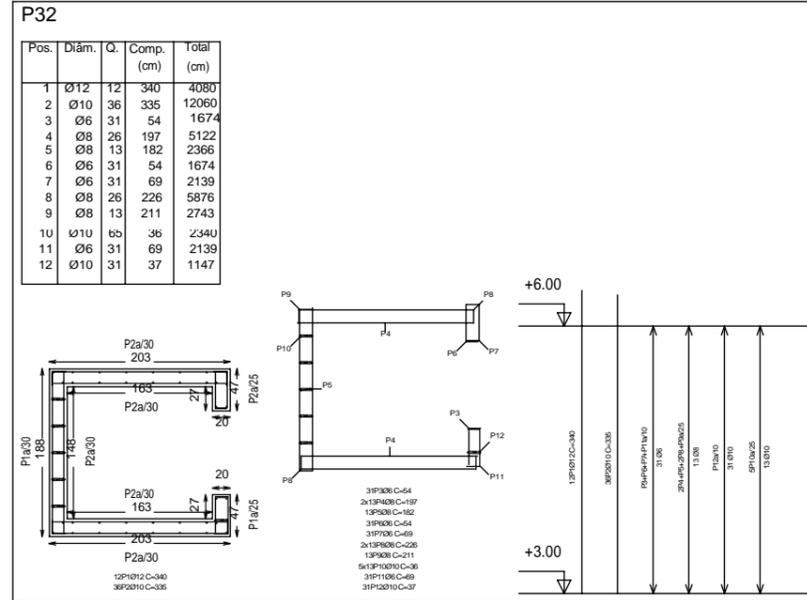
Pilares que terminam em Cobertura  
 Betão: C25/30  
 Aço: S-400  
 Escala: 1:50

Resumo Aço	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Tanque de agua	51.7	13	
Paredes	111.5	48	
S-400 Ø6	112.8	77	138

Resumo Aço	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Cobertura	76.3	19	
Paredes	161.1	70	
S-400 Ø6	160.8	109	198

Pilares que terminam em Tanque de agua  
 Betão: C25/30  
 Aço: S-400  
 Escala: 1:50

# ARMADURAS DA CAIXA DE ELEVADOR



Elemento	Pos.	Diâm.	Q.	Comp. (cm)	Total (cm)	Total S-400 (kg)
P32	1	Ø10	48	335	16080	96.1
	2	Ø6	31	54	1674	3.7
	3	Ø8	26	197	5122	20.2
	4	Ø8	13	182	2366	9.3
	5	Ø6	31	54	1674	3.7
	6	Ø6	31	69	2139	4.7
	7	Ø8	26	226	5876	23.2
	8	Ø8	13	211	2743	10.8
	9	Ø6	31	69	2139	4.7
Total					107.3	

Elemento	Pos.	Diâm.	Q.	Comp. (cm)	Total (cm)	Total S-400 (kg)
P32	1	Ø12	12	340	4080	36.2
	2	Ø10	36	335	12060	74.4
	3	Ø6	31	54	1674	3.7
	4	Ø8	26	197	5122	20.2
	5	Ø8	13	182	2366	9.3
	6	Ø6	31	54	1674	3.7
	7	Ø6	31	69	2139	4.7
	8	Ø8	26	226	5876	23.2
	9	Ø8	13	211	2743	10.8
	10	Ø10	36	36	1296	14.4
	11	Ø6	31	69	2139	4.7
	12	Ø10	31	37	1147	7.1
Total					233.6	

Ø6	69.8
Ø10	105.5
Ø12	39.8
Total	233.6

Resumo Aço	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Piso 3 Paredes			
S-400 Ø6	76.3	19	
Ø8	161.1	70	
Ø10	155.5	105	
Ø12	40.8	40	234

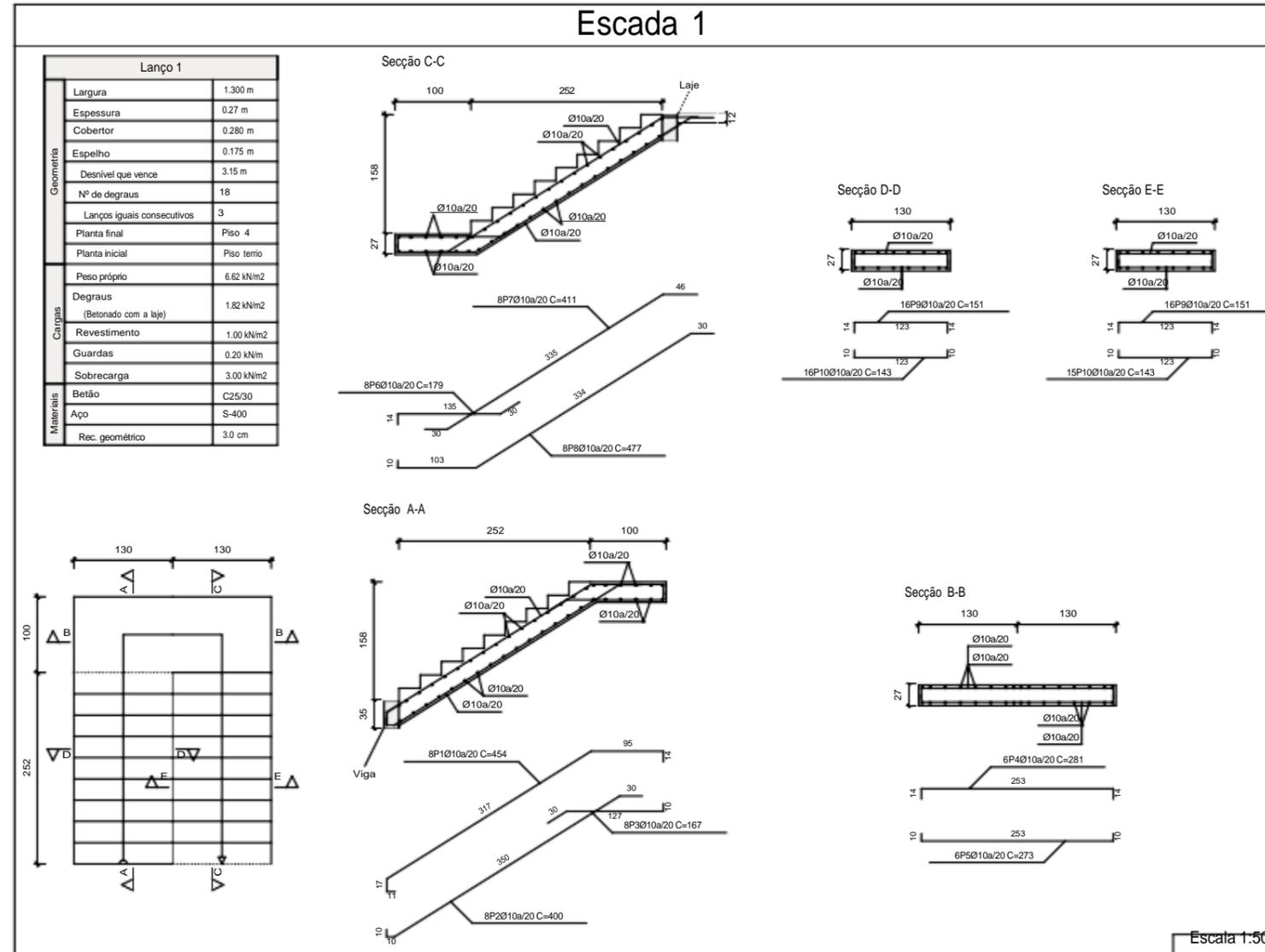
Resumo Aço	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Piso 4 Paredes			
S-400 Ø6	76.3	19	
Ø8	161.1	70	
Ø10	160.8	109	198

Pilares que terminam em  
 Piso 3  
 Betão: C25/30  
 Aço: S-400  
 Escala: 1:50

Pilares que terminam em  
 Piso 4  
 Betão: C25/30  
 Aço: S-400  
 Escala: 1:50

# ARMADURAS DA CAIXA DE ESCADAS

Elemento	Pos.	Diâm.	D.	Comp.	Total	S=400
				(cm)	(cm)	(kg)
Escada 1-Lanço 1	1	Ø10	8	454	3632	22,4
	2	Ø10	8	400	3200	19,7
	3	Ø10	8	167	1336	8,2
	4	Ø10	6	281	1606	10,4
	5	Ø10	6	273	1638	10,1
	6	Ø10	8	179	1432	8,8
	7	Ø10	8	411	3288	20,3
	8	Ø10	8	477	3816	23,5
	9	Ø10	32	151	4832	29,8
	10	Ø10	31	143	4433	27,3
Total+10%					198,8	
					635	596,8
					Ø10	596,8
Total						596,8

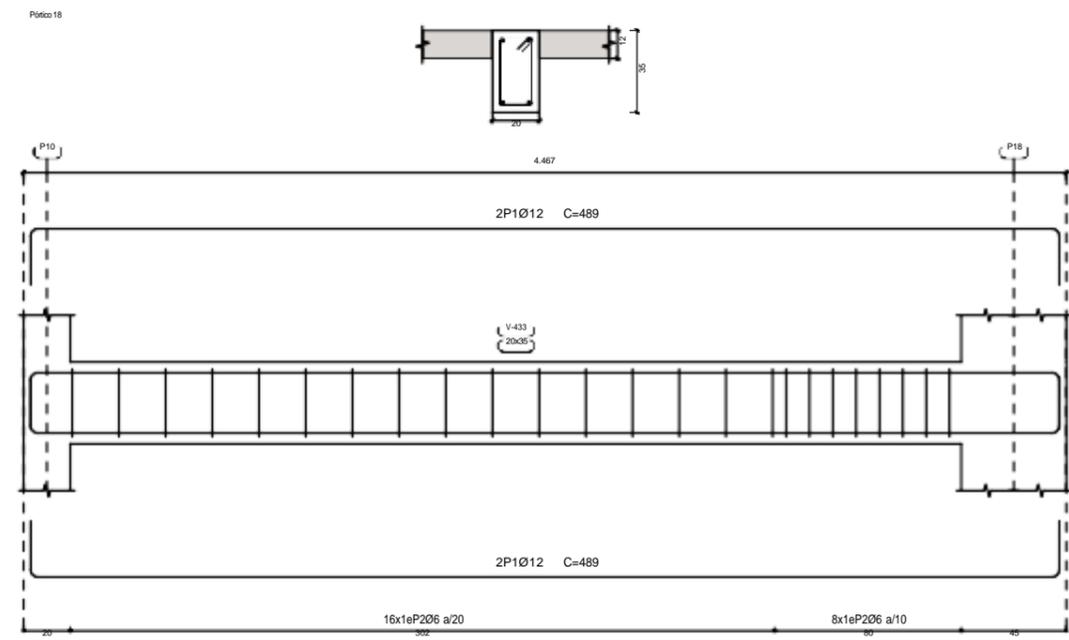
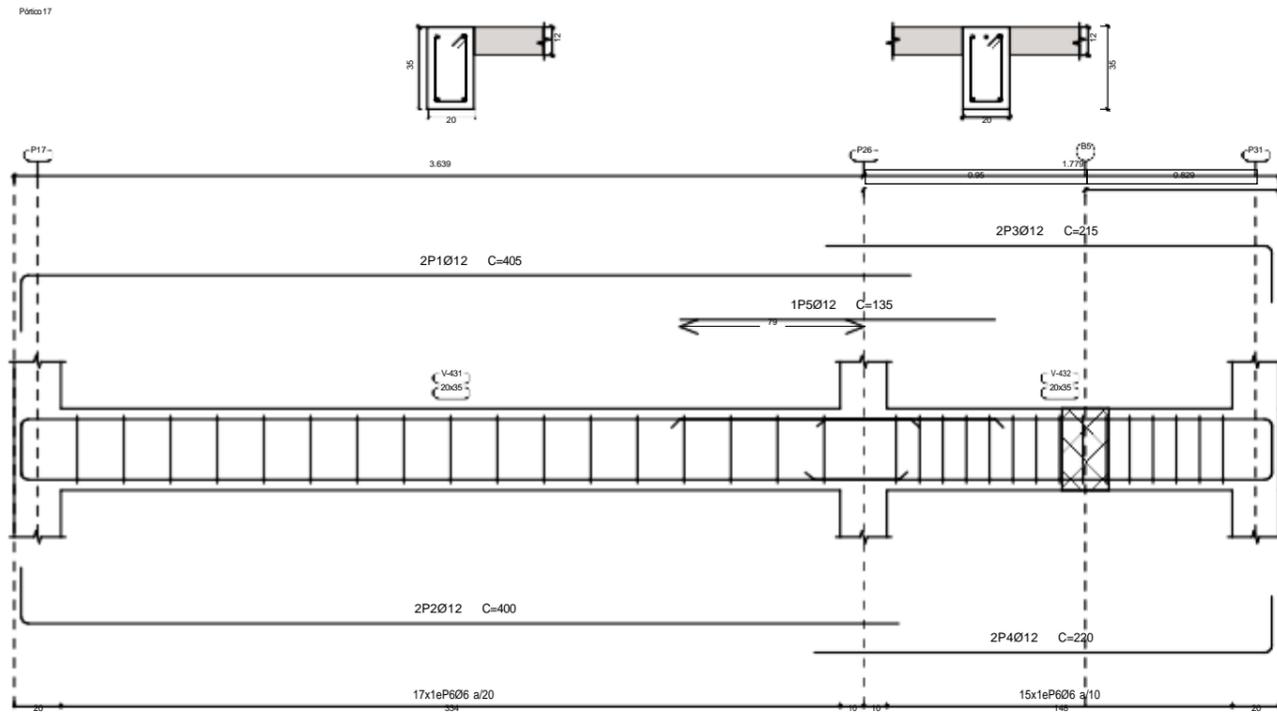


Resumo Aço Escada 1	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)
S-400 Ø10	878,8	596

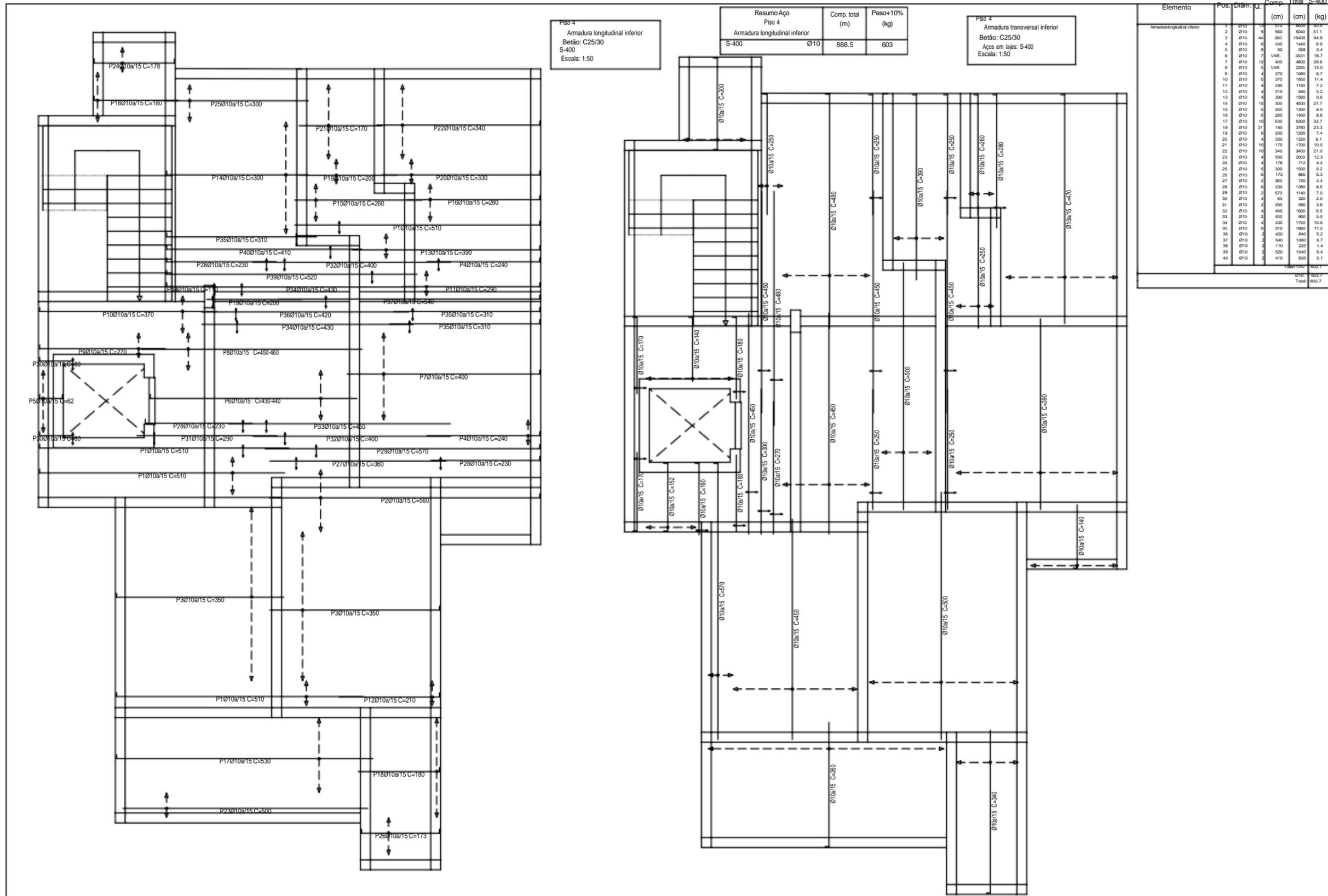
# ARMADURAS DA VIGA

Elemento	Pos.	Diâm.	Q.	Esquema (cm)	Comp. (cm)	Total (cm)	S-400 (kg)
Pórtico 17	1	Ø12	2	381	405	810	7.2
	2	Ø12	2	376	400	800	7.1
	3	Ø12	2	191	215	430	3.8
	4	Ø12	2	196	220	440	3.9
	5	Ø12	1	135	135	135	1.2
	6	Ø6	32	Ø 6 14	96	3072	6.8
TOTAL PÓRTICO 17							33.0
Pórtico 18	1	Ø12	4	441	489	1956	17.4
	2	Ø6	24	Ø 6 14	96	2304	5.1
TOTAL PÓRTICO 18							22.5
TOTAL							55.5

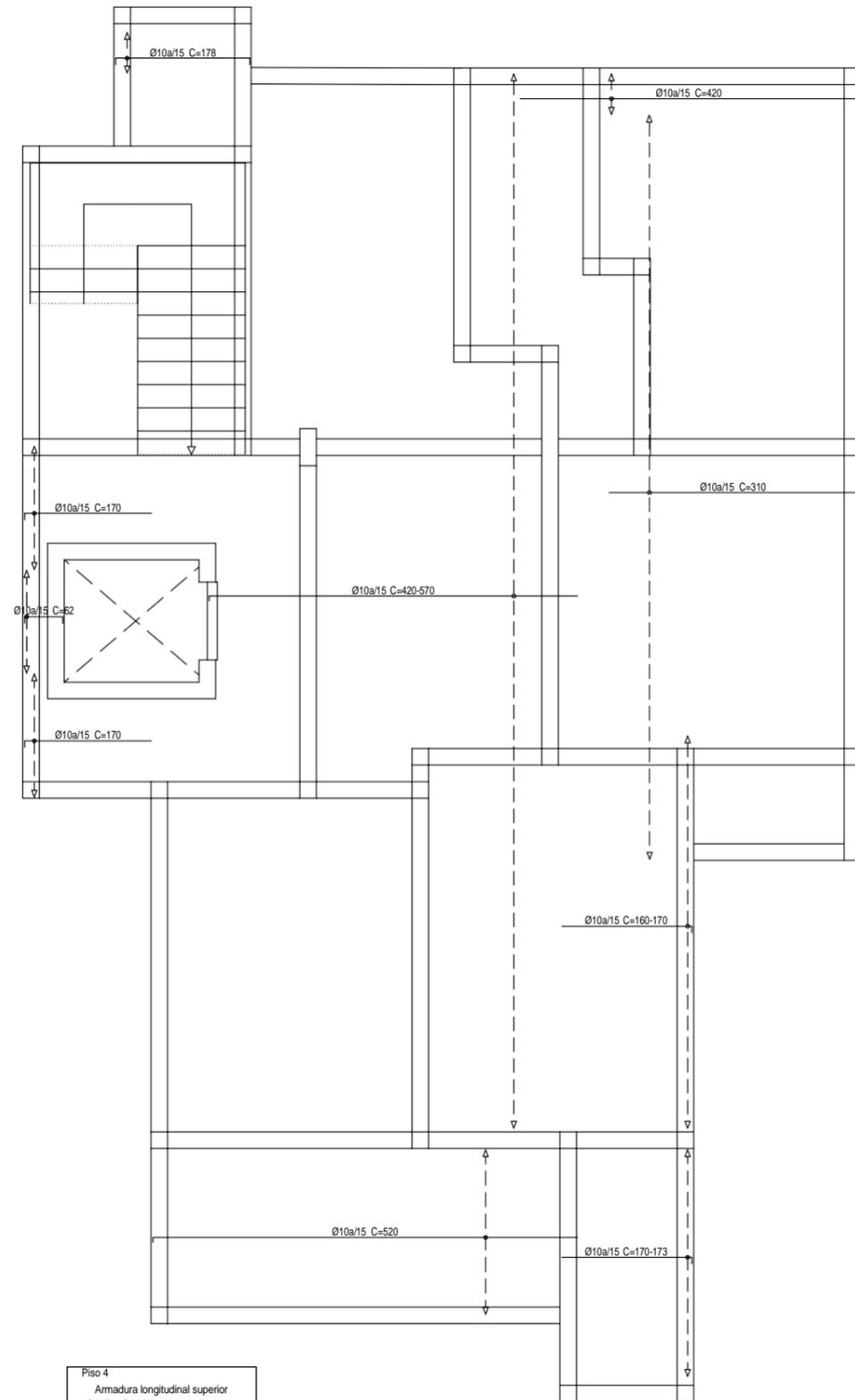
Piso 4  
 Desenho de vigas  
 Betão: C25/30  
 Aço em varões: S-400  
 Aço em estribos: S-400  
 Escala pórticos 1:20  
 Escala cortes 1:20  
 Escala aberturas 1:20



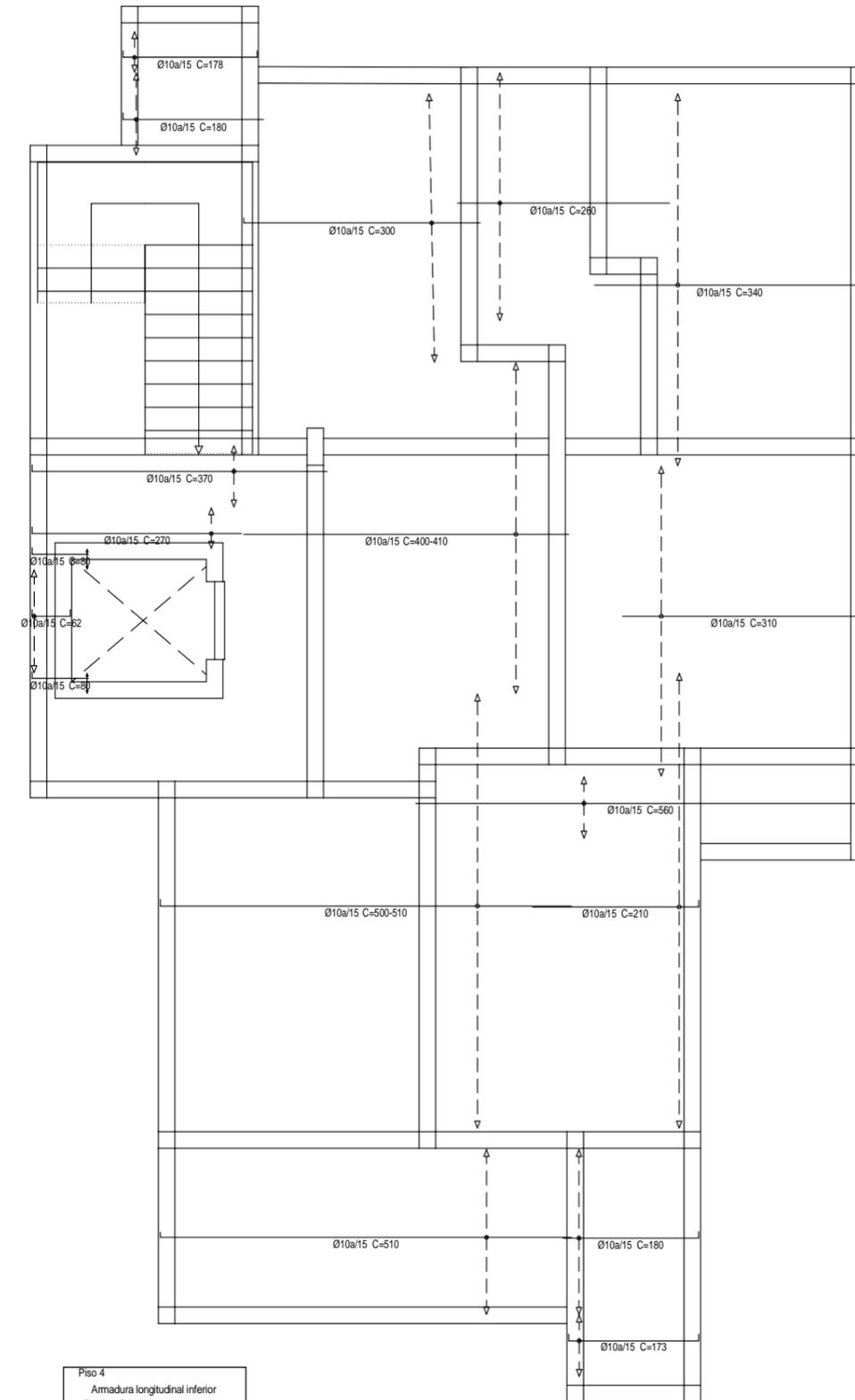
# ARMADURAS TRANSVERSAIS SUPERIORES E INFERIORES DA LAJE DO QUARTO PISO



# ARMADURAS LONGITUDINAIS SUPERIORES E INFERIORES DA LAJE DO QUARTO PISO



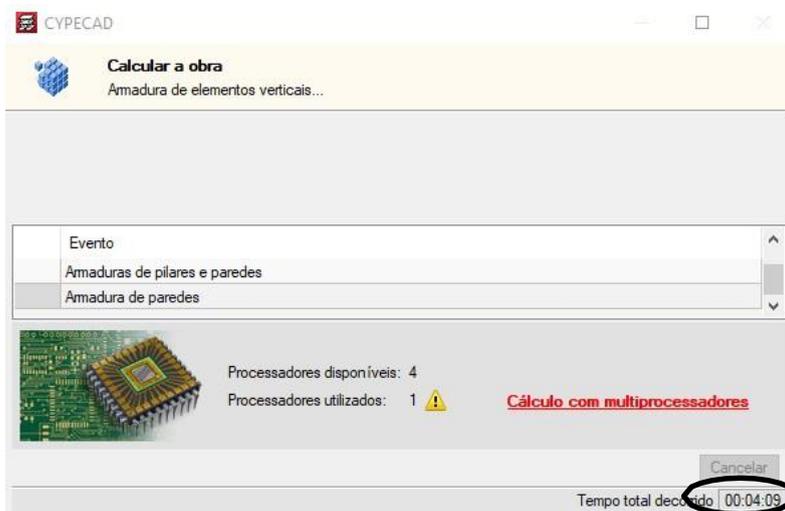
Piso 4  
 Armadura longitudinal superior  
 Betão: C25/30  
 Aços em lajes: S-400  
 Escala: 1:50



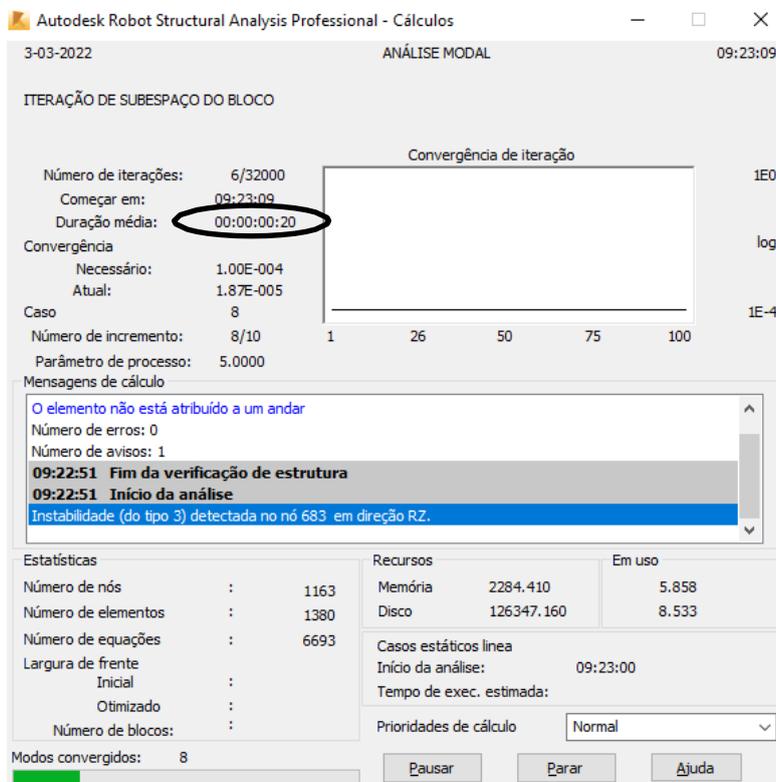
Piso 4  
 Armadura longitudinal inferior  
 Betão: C25/30  
 Aços em lajes: S-400  
 Escala: 1:50

Anexo 3- Telas de cálculo da obra.

### Anexo 3- Telas de cálculo da obra



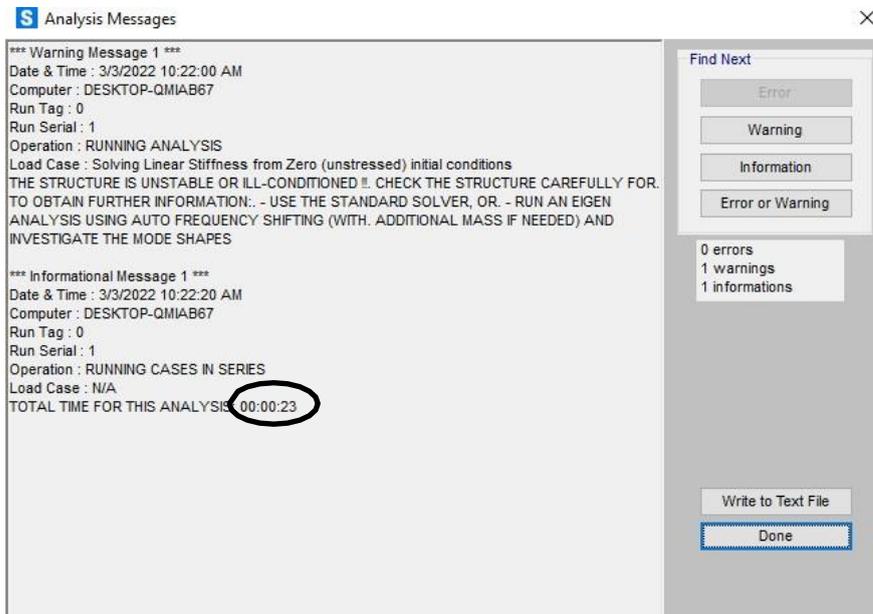
A 3.1-Tela de cálculo da obra do Cypecad.



A 3.2-Tela do cálculo da obra do Robot.

## Anexo 3- Telas de cálculo da obra

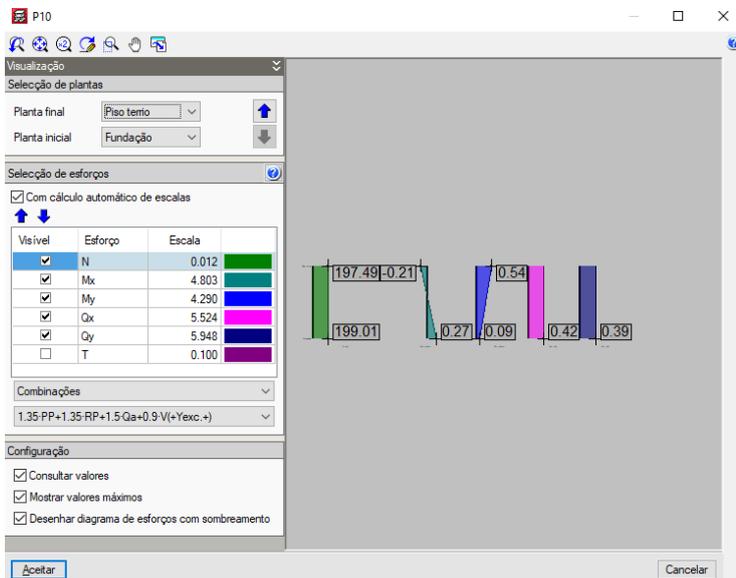
---



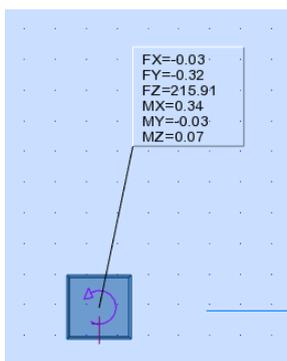
A 3.3-Mensagens das análises do Sap2000.

Anexo 4 - Esforços nos elementos estruturais.

## Anexo 4 - Esforços nos elementos estruturais



A 4.1 - Esforços na fundação, (do Cypecad).



**S** Joint Reactions in Joint Local CoordSys

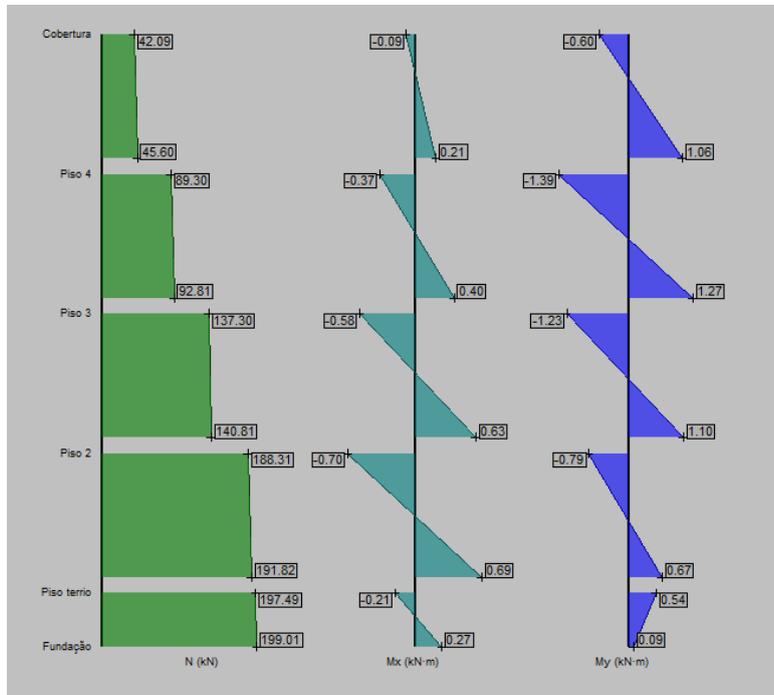
Joint Object	107	Joint Element	107
	1	2	3
Force	0.991	1.501	201.285
Moment	-1.081	20.803	-6.607E-02

A 4.2 - Reações de apoio, do Robot.

A 4.3 - Reações de apoio, do Sap2000.

## Anexo 4 - Esforços nos elementos estruturais

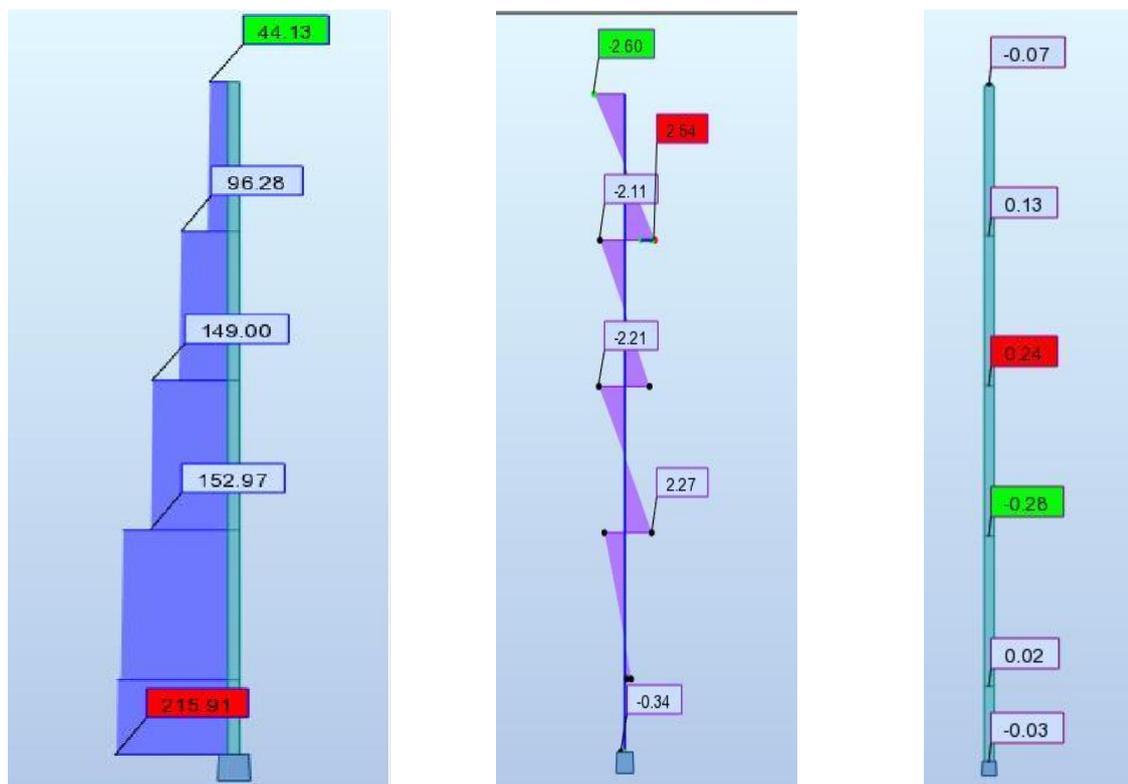
---



A 4.4 - Diagrama de esforços do pilar.

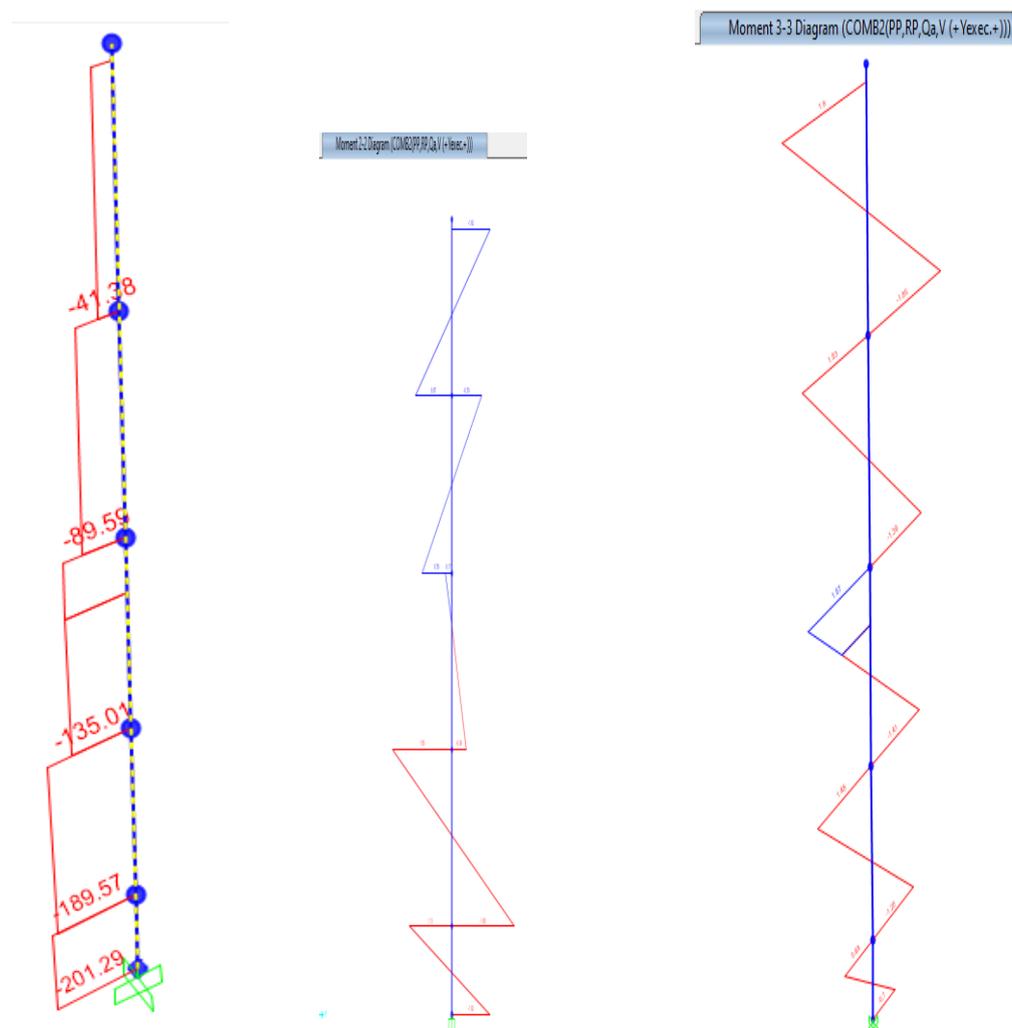
## Anexo 4 - Esforços nos elementos estruturais

---



A 4.5 - Diagramas de esforços no pilar, N,Mx,My respectivamente.

## Anexo 4 - Esforços nos elementos estruturais



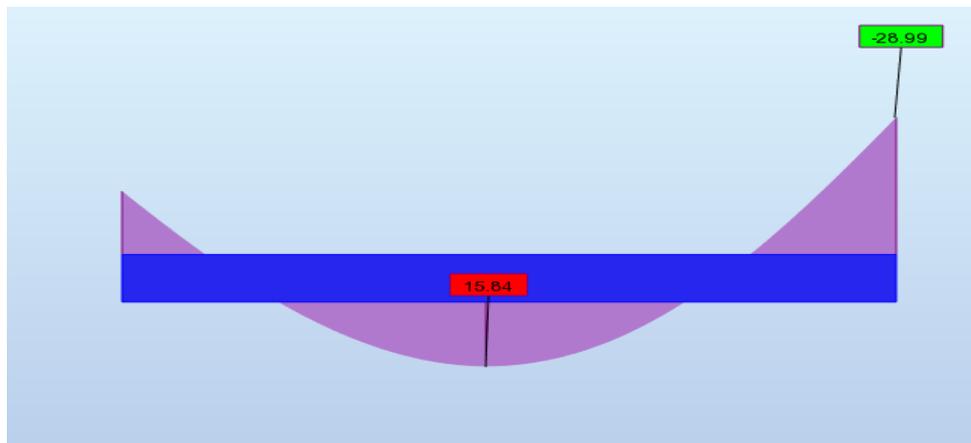
A 4.6 - Diagramas de esforços do pilar.



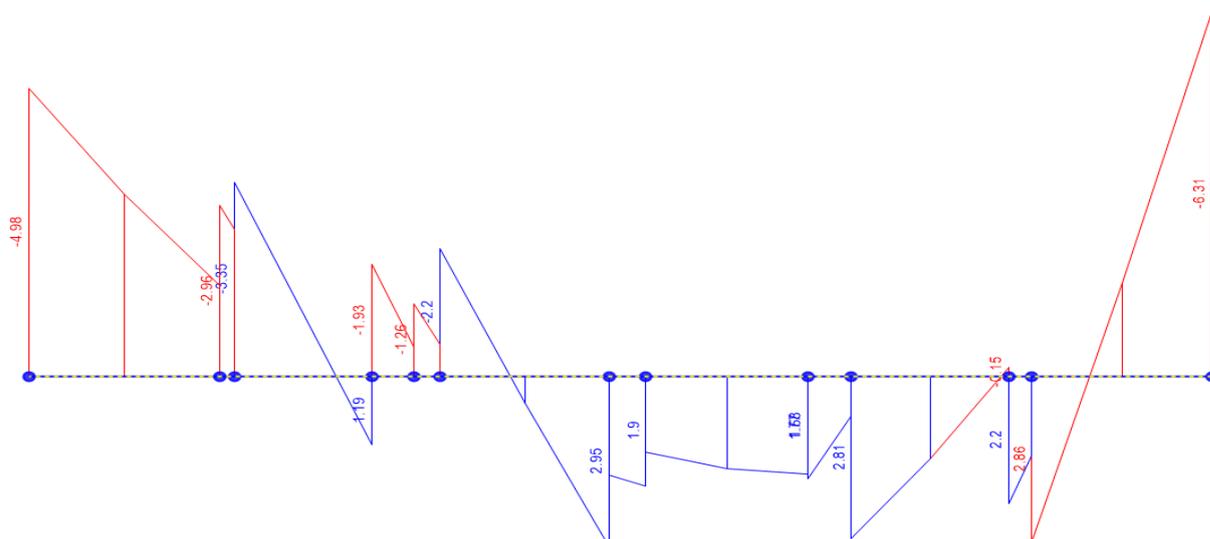
A 4.7 - Diagrama de momento fletor em y da viga.

## Anexo 4 - Esforços nos elementos estruturais

---



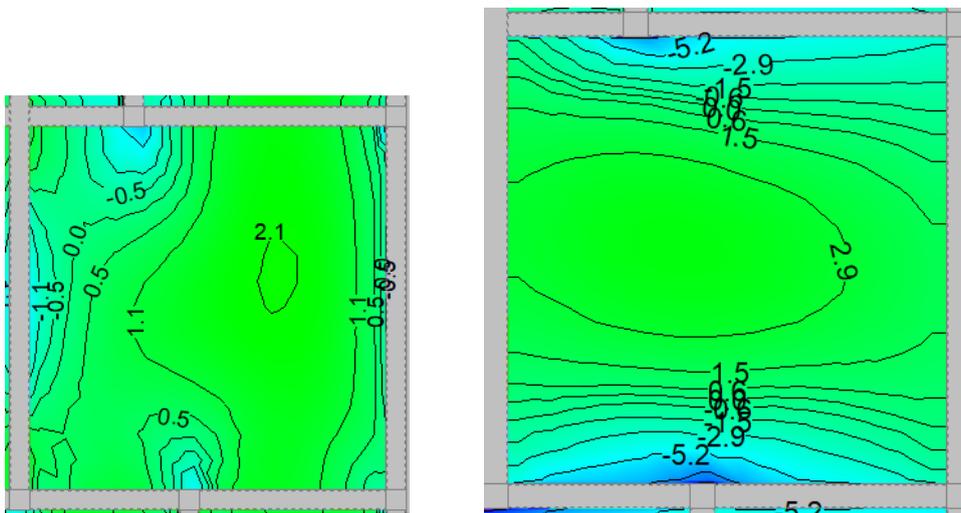
A 4.8 - Diagrama de momento fletor em y da viga, retirado Robot.



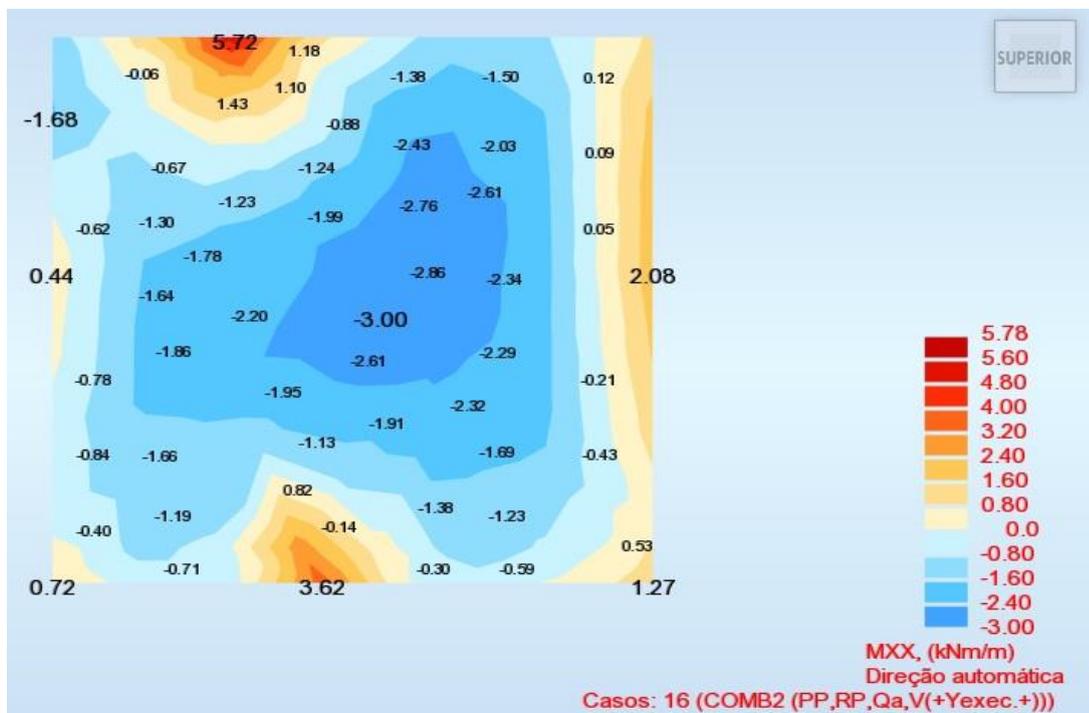
A 4.9 - Diagrama de momento fletor em y da viga, do Sap2000.

---

## Anexo 4 - Esforços nos elementos estruturais

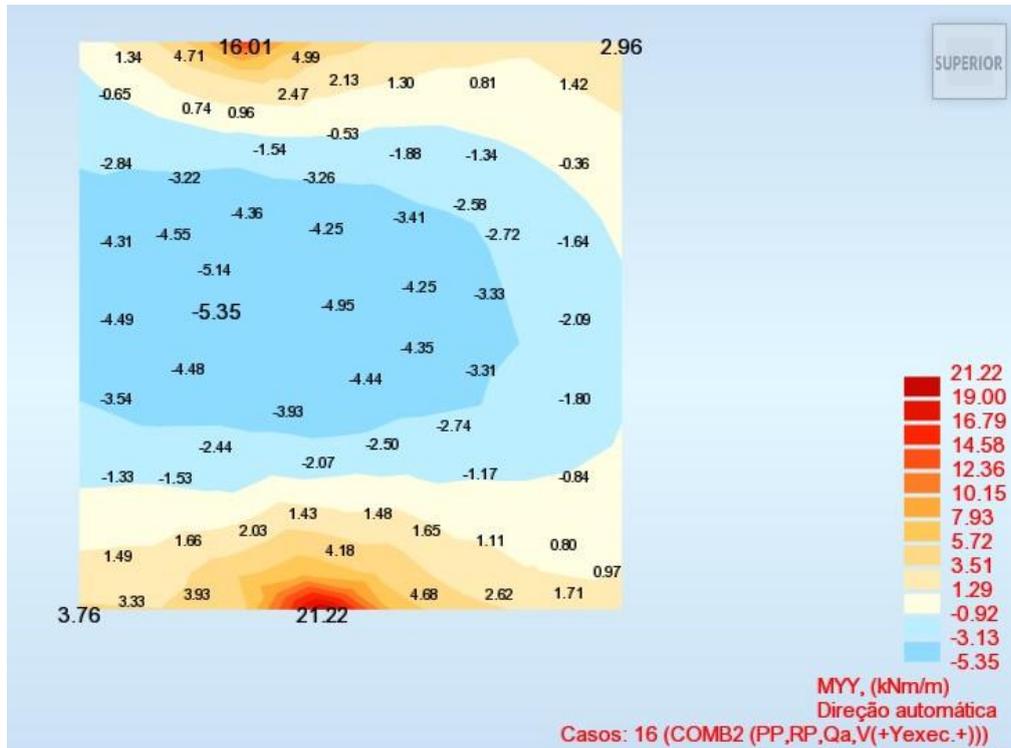


A 4.10 - Isolinhas com valores dos momentos na direcção x e direcção y respectivamente, (do Cypecad)

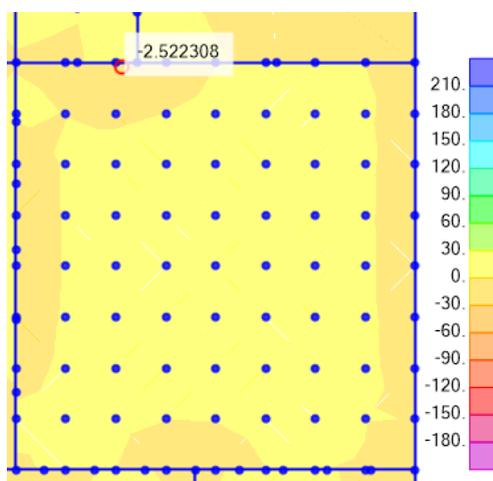


A 4.11- Mapa com valores dos momentos na direcção x, do Robot.

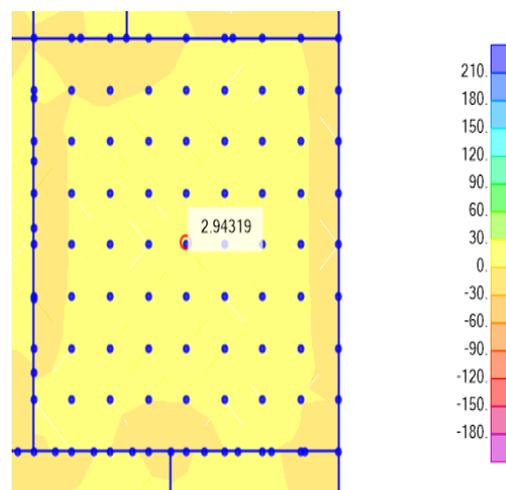
## Anexo 4 - Esforços nos elementos estruturais



A 4.12 - Mapa com valores dos momentos na direcção y, do Robot.

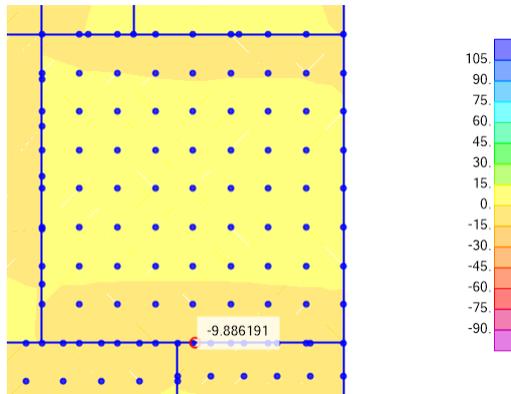


A 4.13 - Momento fletor em x negativo.

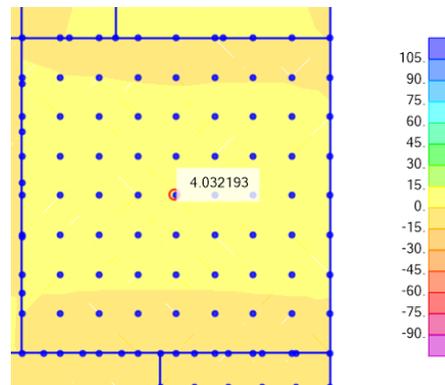


A 4.14 - Momento fletor em x positivo.

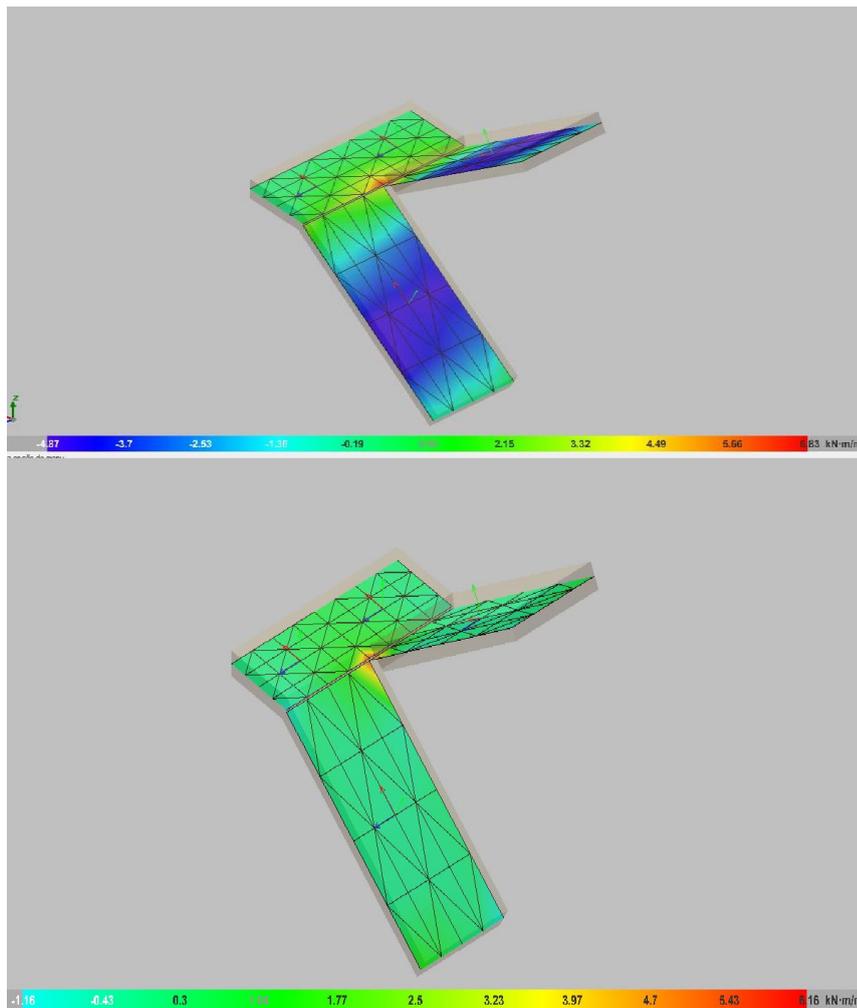
## Anexo 4 - Esforços nos elementos estruturais



A 4.15 -Momento fletor na direcção y negativo.

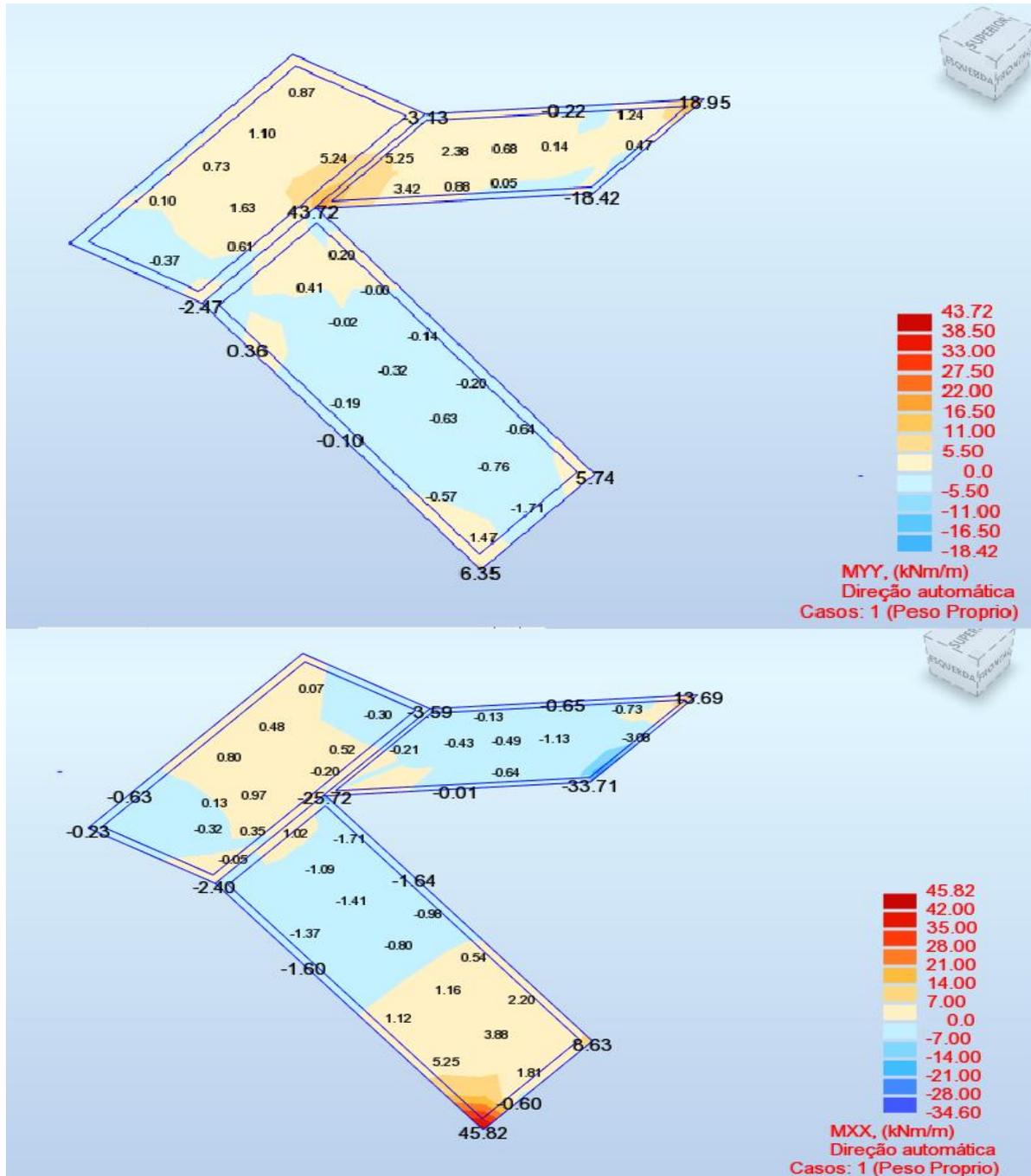


A 4.16 - Momento fletor na direcção y positivo.



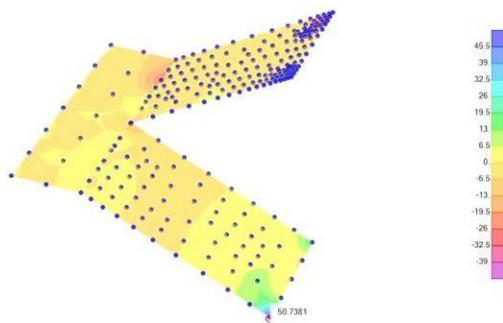
A 4.17 -Discretização e isovalores do momento x e y da escada, retirado no Cypecad.

## Anexo 4 - Esforços nos elementos estruturais

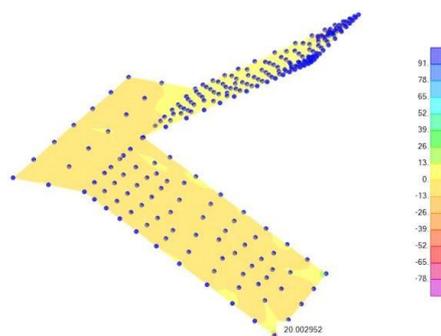


A 4.18 - Mapa com valores do momento x e y da escada, do Robot.

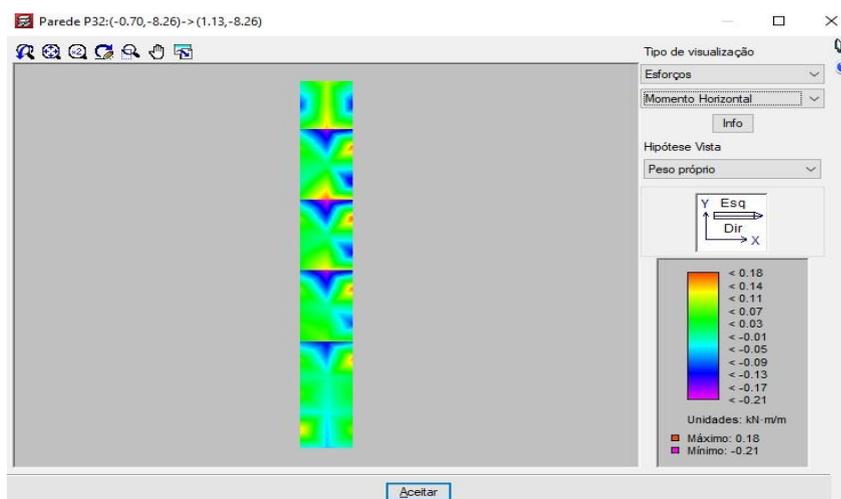
## Anexo 4 - Esforços nos elementos estruturais



A 4.19 - Momento fletor na direção xx, do sap2000.



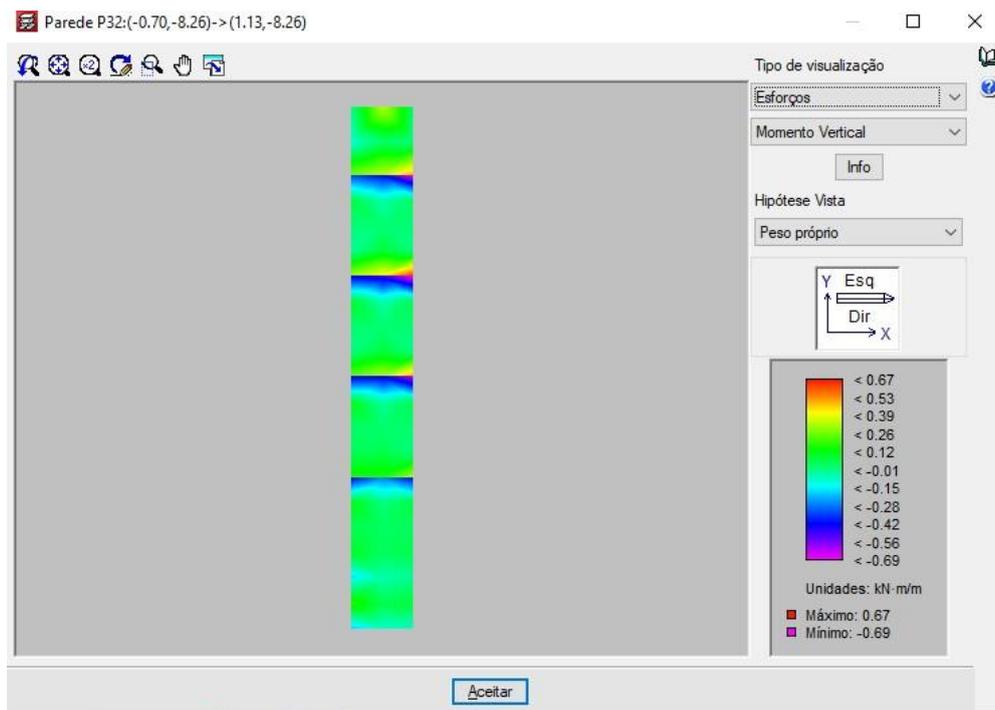
A 4.20 - Momento fletor na direção yy, do Sap2000.



A 4.21 - Isovalores do momento horizontal da caixa de elevador, (do Cypecad).

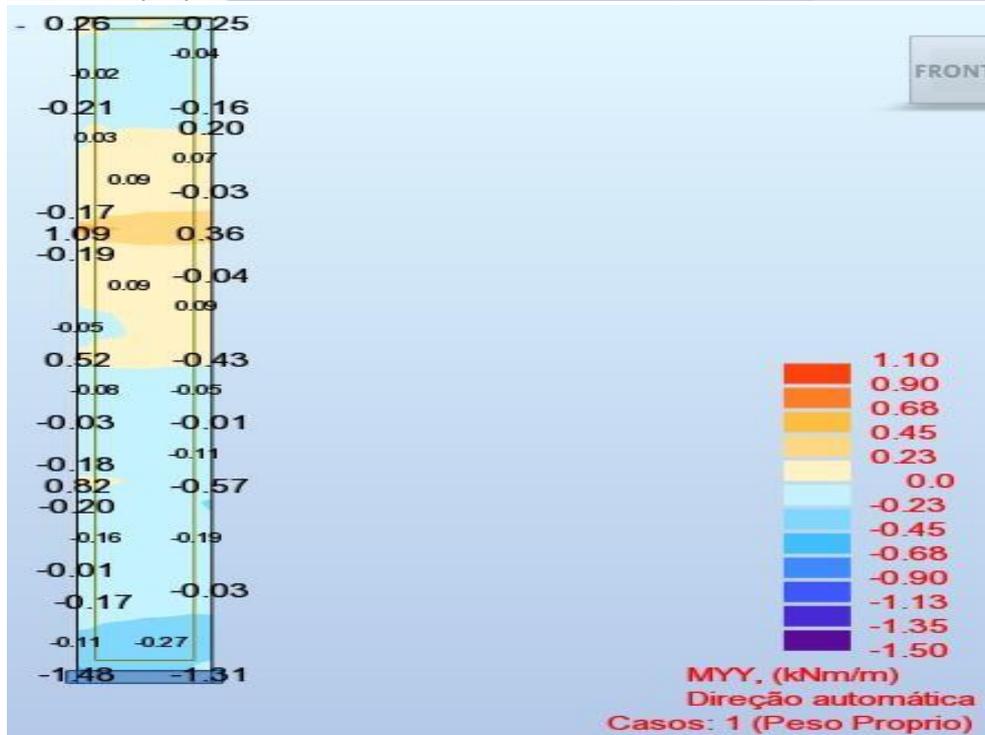
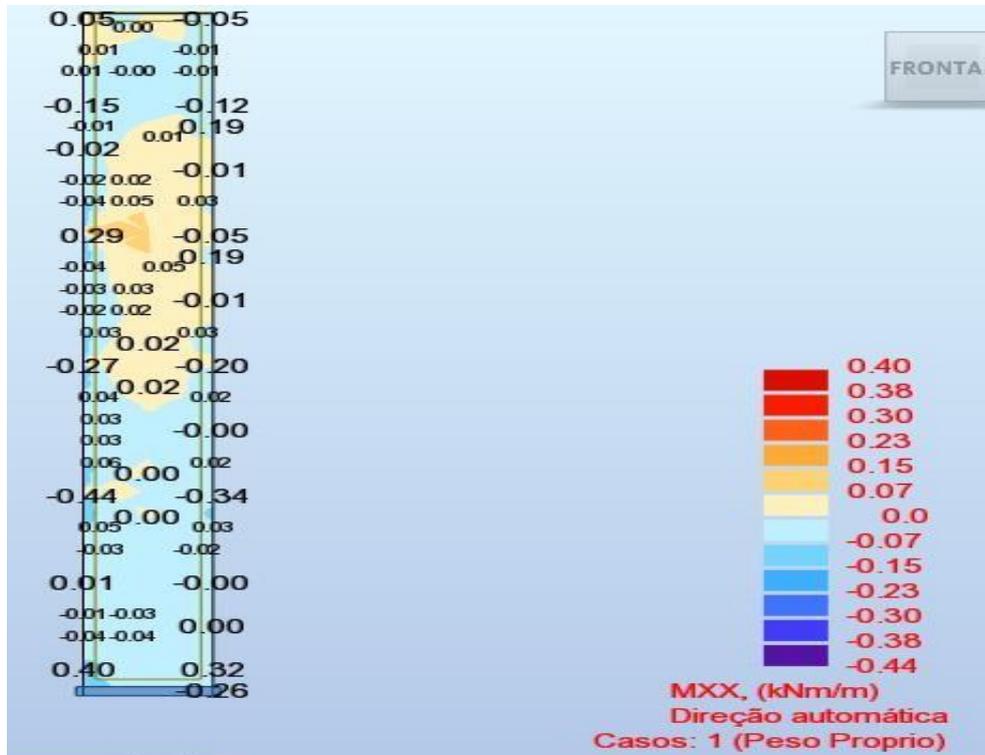
## Anexo 4 - Esforços nos elementos estruturais

---



A 4.22 -Isovalores do momento vertical da caixa de elevador, (do Cypecad).

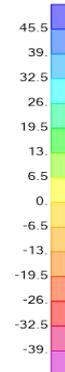
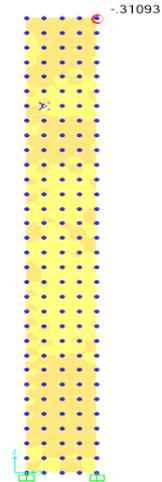
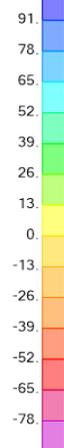
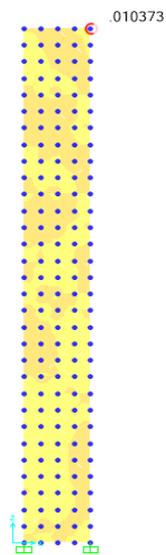
## Anexo 4 - Esforços nos elementos estruturais



A 4.23 - Mapa com valores do momento na direção x e y respectivamente, do Robot.

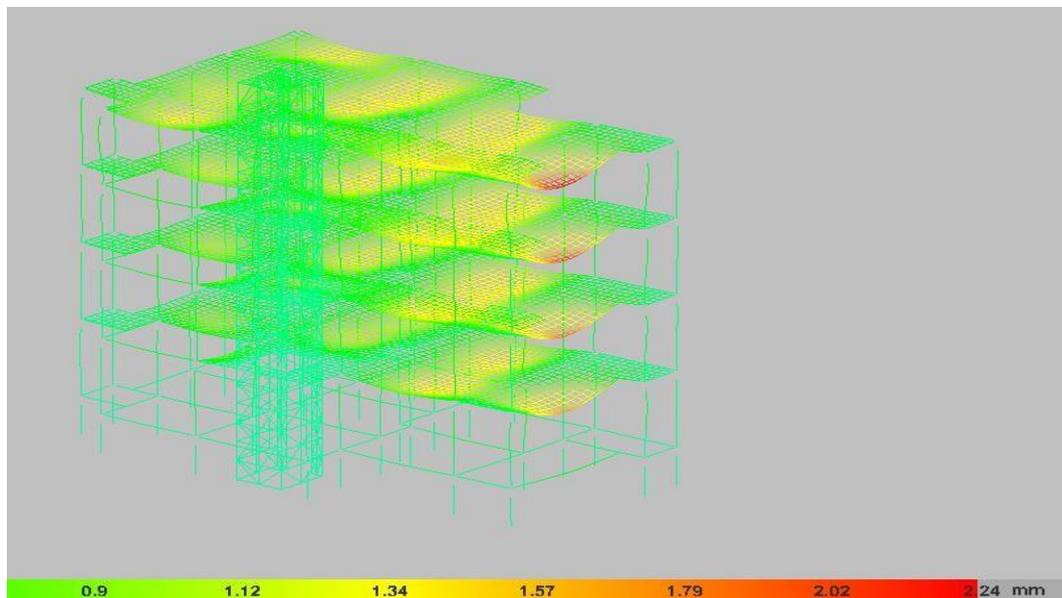
## Anexo 4 - Esforços nos elementos estruturais

---



A 4.24 -Momento na direcção x.

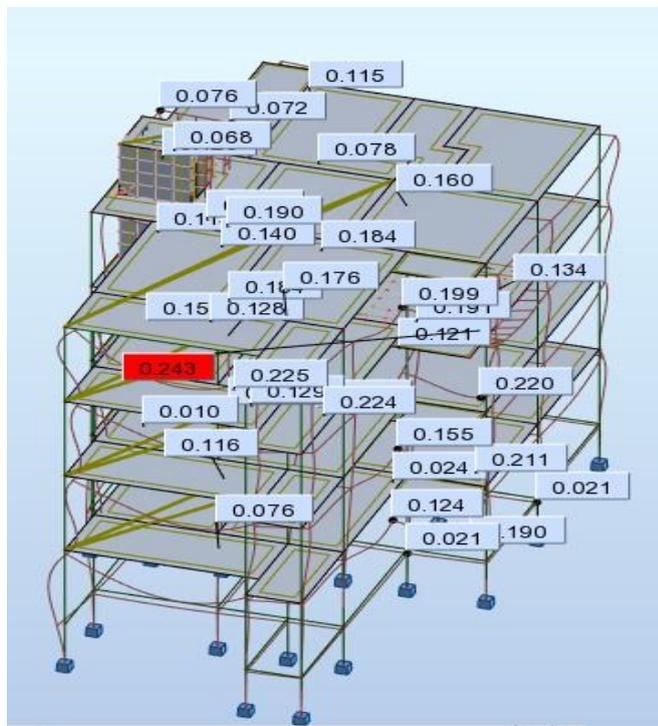
A 4.25 -Mapa com valores do momento na direcção xx.



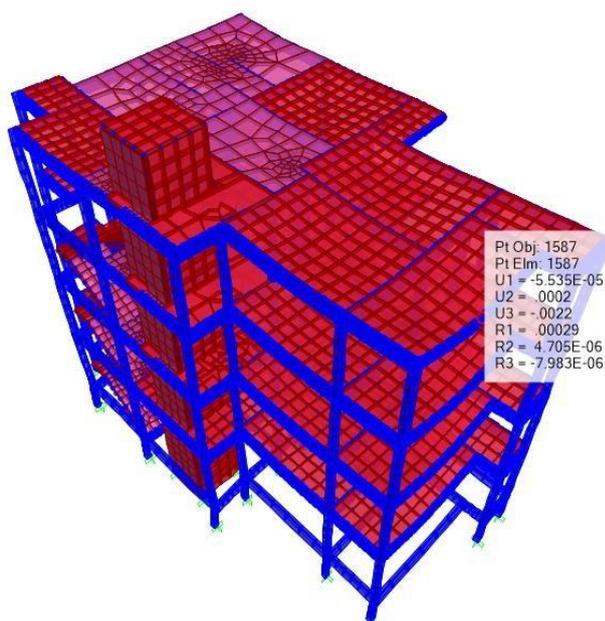
A 4.26 - Modelo 3D da deformada da estrutura, (do Cypecad).

## Anexo 4 - Esforços nos elementos estruturais

---



A 4.27 -Modelo 3D da deformada, do Robot.



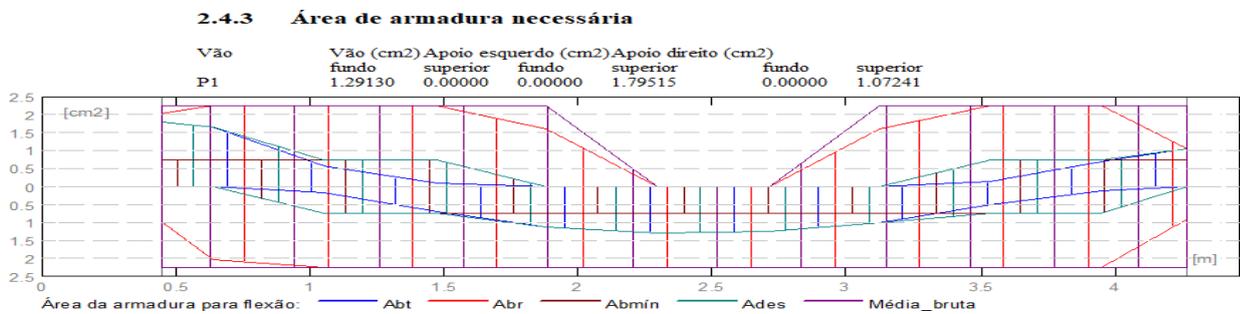
A 4.28 -Modelo 3D da deformada da estrutura, do Sap2000.

Anexo 5- Áreas necessárias e efectivas de armaduras da viga.

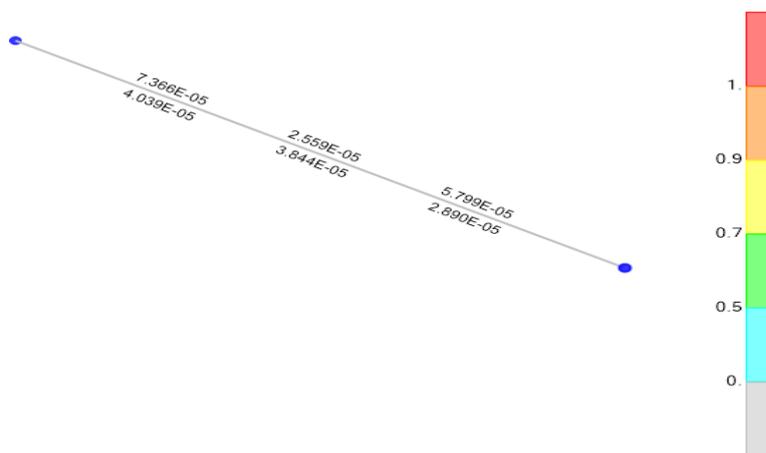
## Anexo 5- Áreas necessárias e efectivas de armaduras da viga.



A 5.1 - Áreas necessárias e efectivas superiores e inferiores do aço do Cypacad.



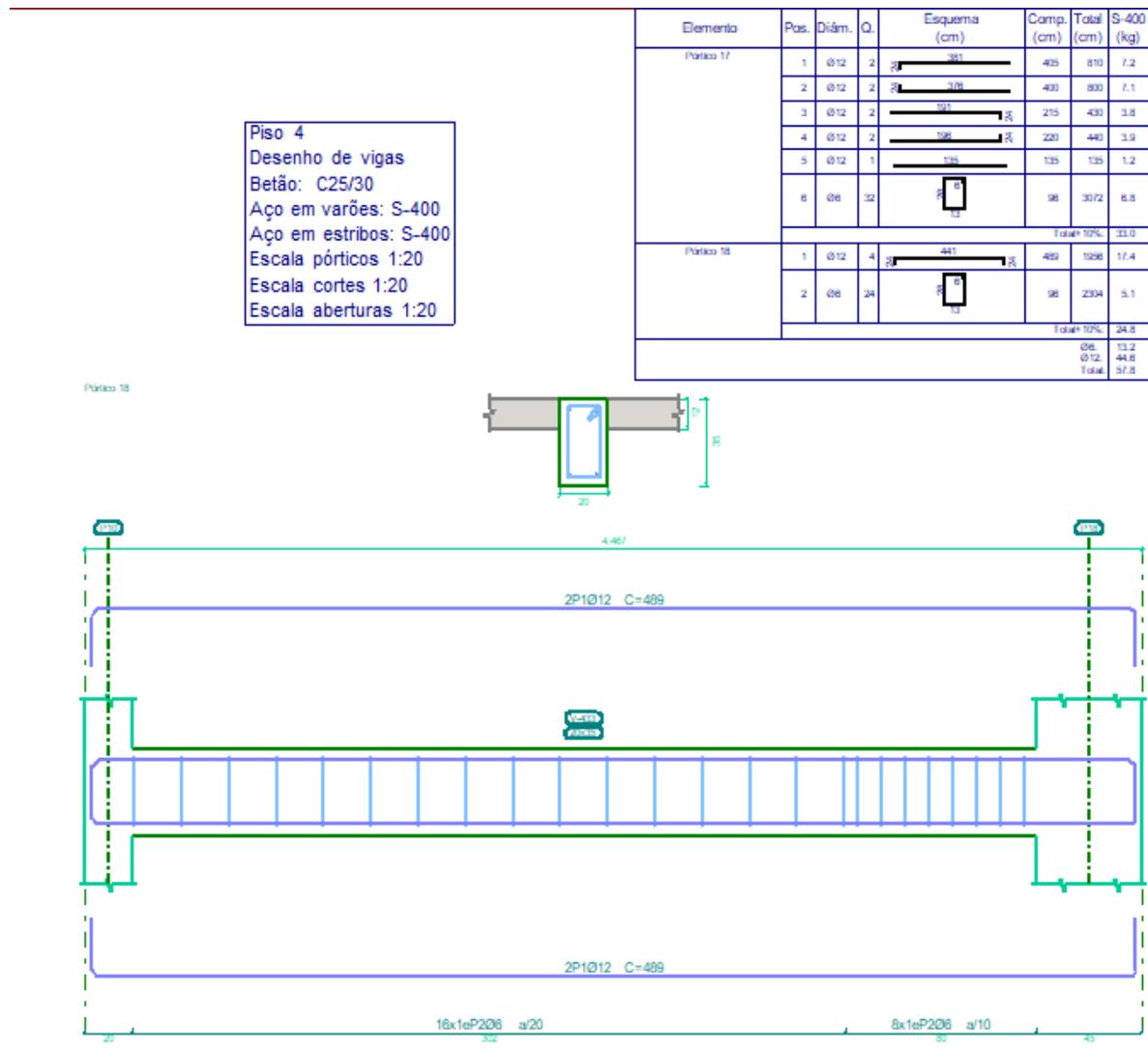
A 5.2 - Áreas necessárias e efectivas superiores e inferiores do aço do Robot.



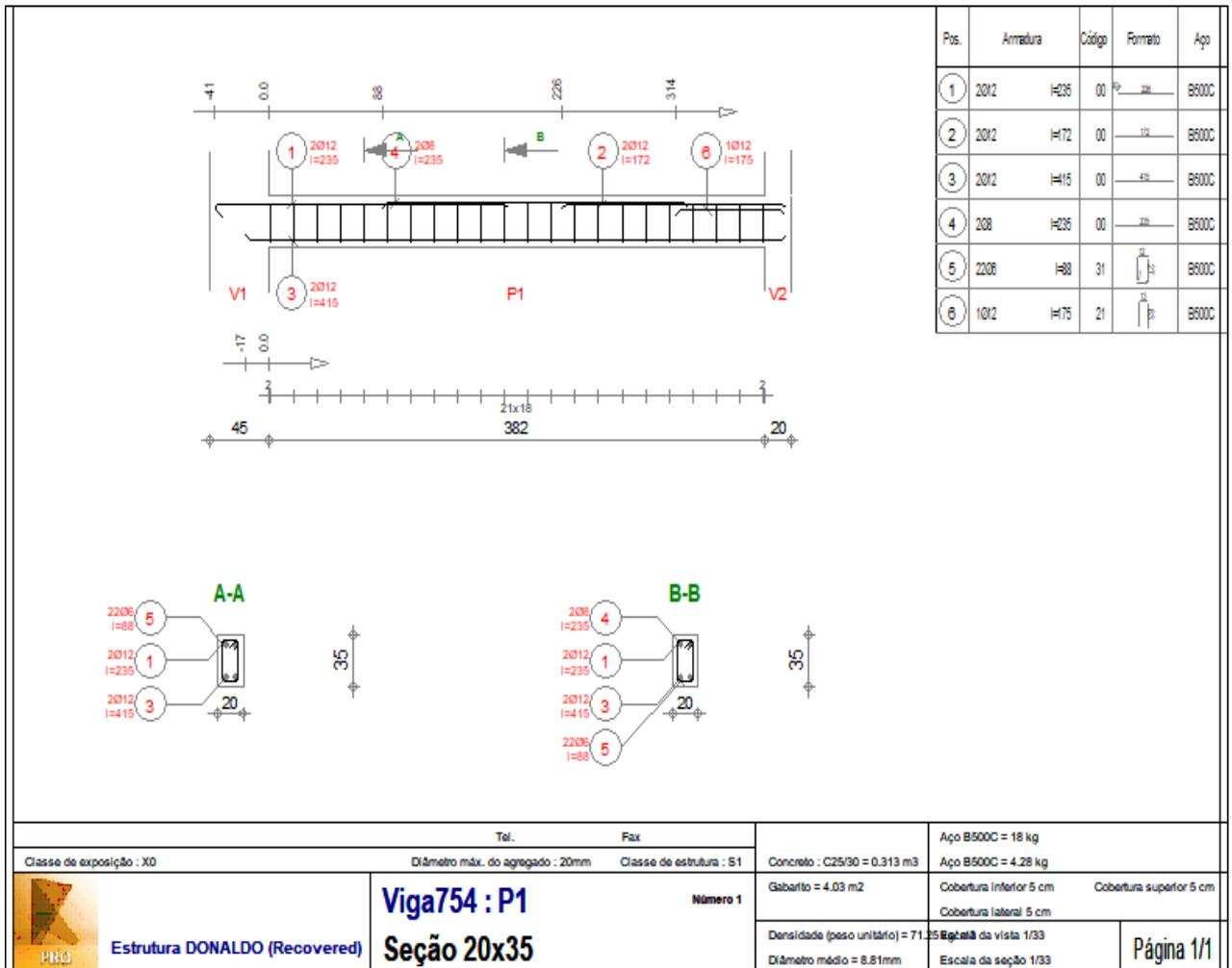
A 5.3 -Pormenores construtivos da viga 33 do quarto piso do Sap 2000.

Anexo 6 - Pormenores construtivos da viga.

## Anexo 6 - Pormenores construtivos da viga.

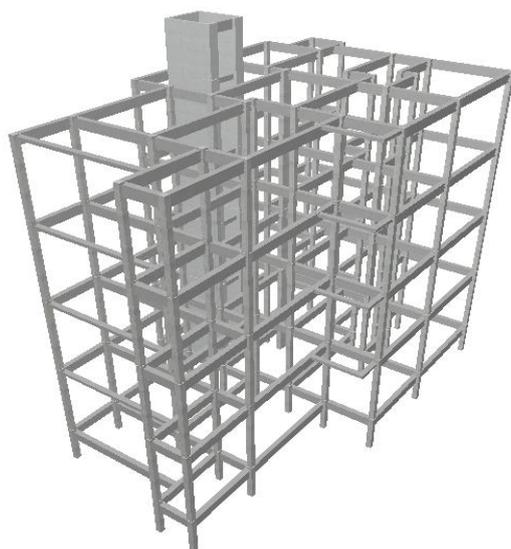


A 6.1 -Pormenores construtivos da viga 33 do quarto piso, (do Cypecad).

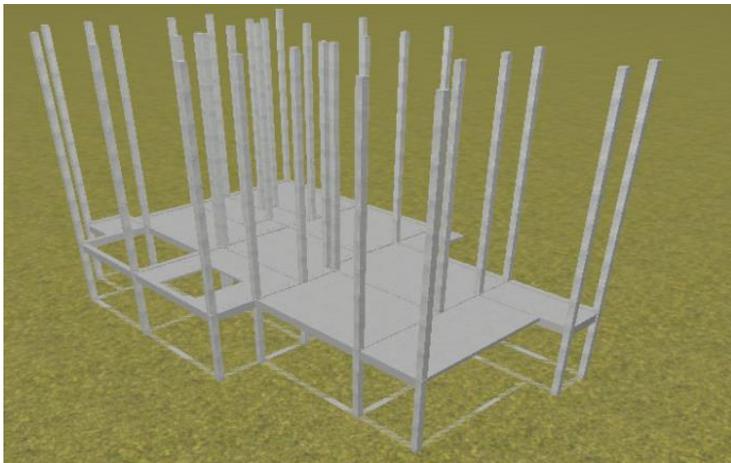


A 6.2 - Pormenores construtivos da viga 33 do quarto piso, do Robot.

Anexo 7- Modelos 3D.



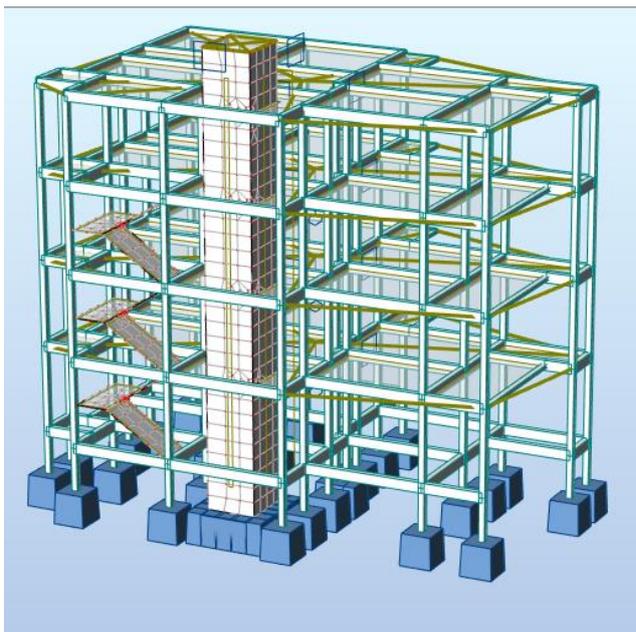
*Anexo 7.1 -Modelo 3D dos pilares, caixa de escadas e vigas, (do Cypecad).*



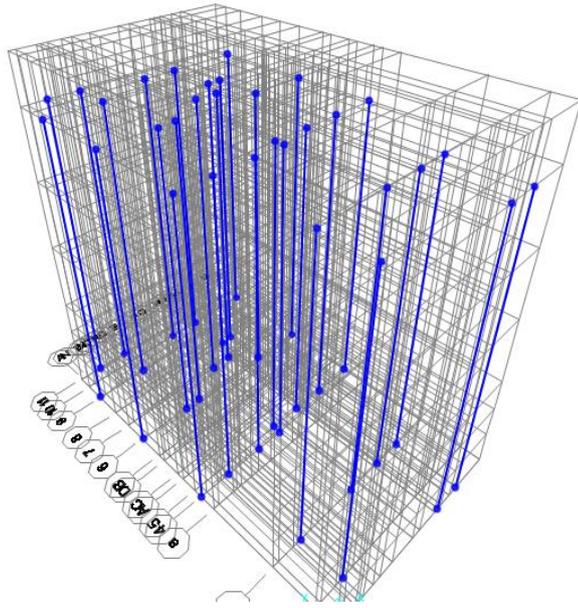
*Anexo 7.2 -Modelo 3D da estrutura, (do Cypecad).*



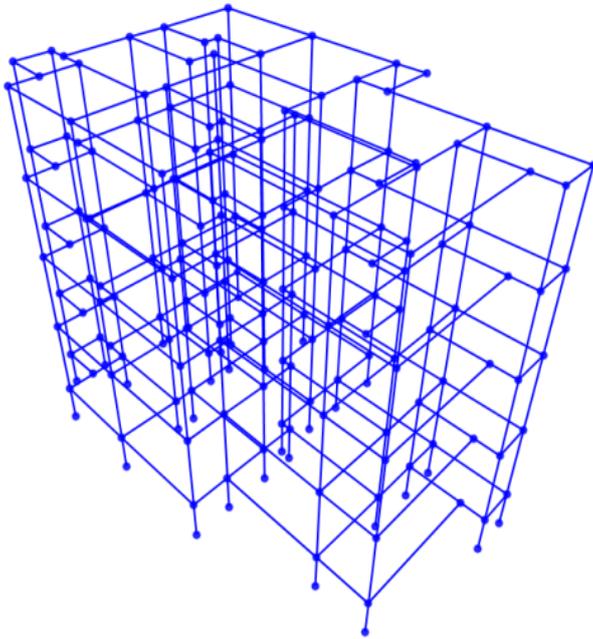
*Anexo 7.3 -Modelo 3D da estrutura no Cypecad, (do Cypecad).*



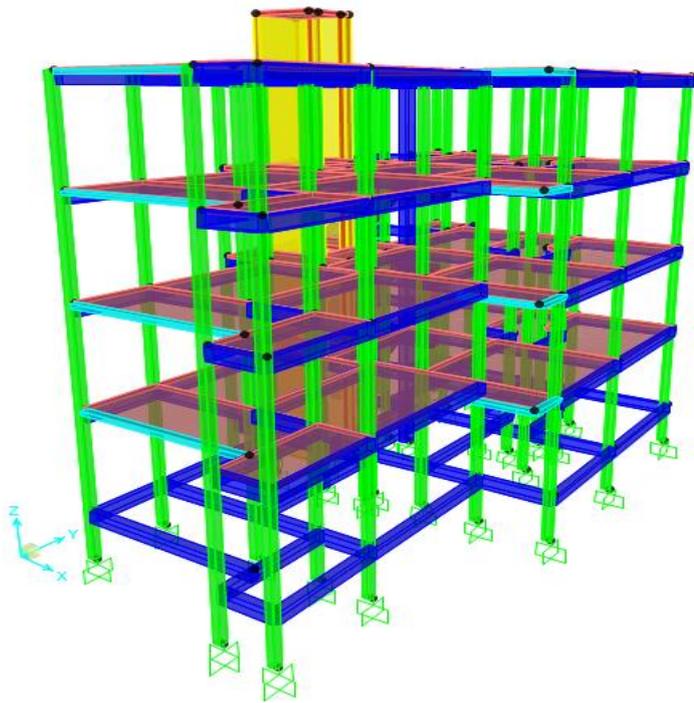
*Anexo 7.4 -Modelo 3D da estrutura modelada no Robot vista da estrutura, (do Robot).*



Anexo 7.5 -Modelo 3D dos pilares no sap2000, (do programa Sap2000).



Anexo 7.6 -Modelo 3D constituído por pilares e vigas, (do programa Sap2000).



Anexo 7.7 -Modelo 3D da estrutura completa no Sap2000, (do programa Sap2000).