

# Sessão 6

## Duque de Loulé 123

Rui Delgado  
Ana Santos

15/11/2022



# Índice

- I. Enquadramento
- II. Projeto Original (1966-1970)
- III. Reconhecimento do Existente
- IV. Solução Estrutural Adotada
- V. Obra

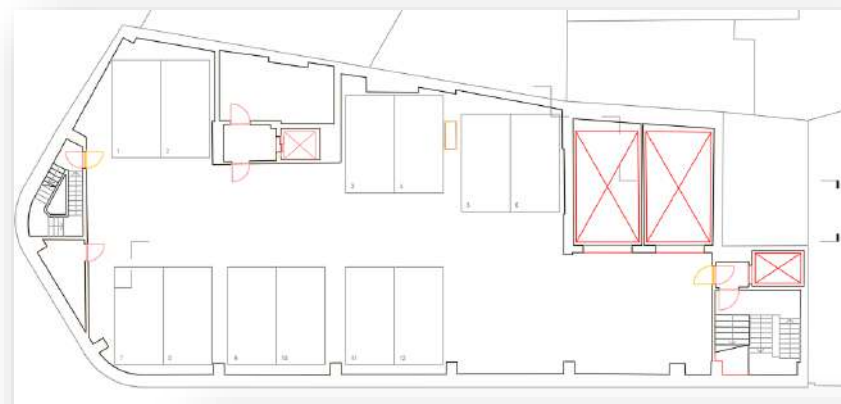
# Parte I

# Enquadramento



# Características

- Área total de construção: 8700m<sup>2</sup>
- Área de implantação: 580m<sup>2</sup>
- Comprimento máximo: 40.50m
- Largura máxima: 18.50m
- Número total de pisos: 16
- Número de pisos enterrados: 5
- Estrutura porticada em betão armado, final dos anos 1960.



I. Enquadramento  
II. Projeto Original  
III. Reconhecimento do existente  
IV. Solução estrutural adotada  
V. Obra

# Objetivos

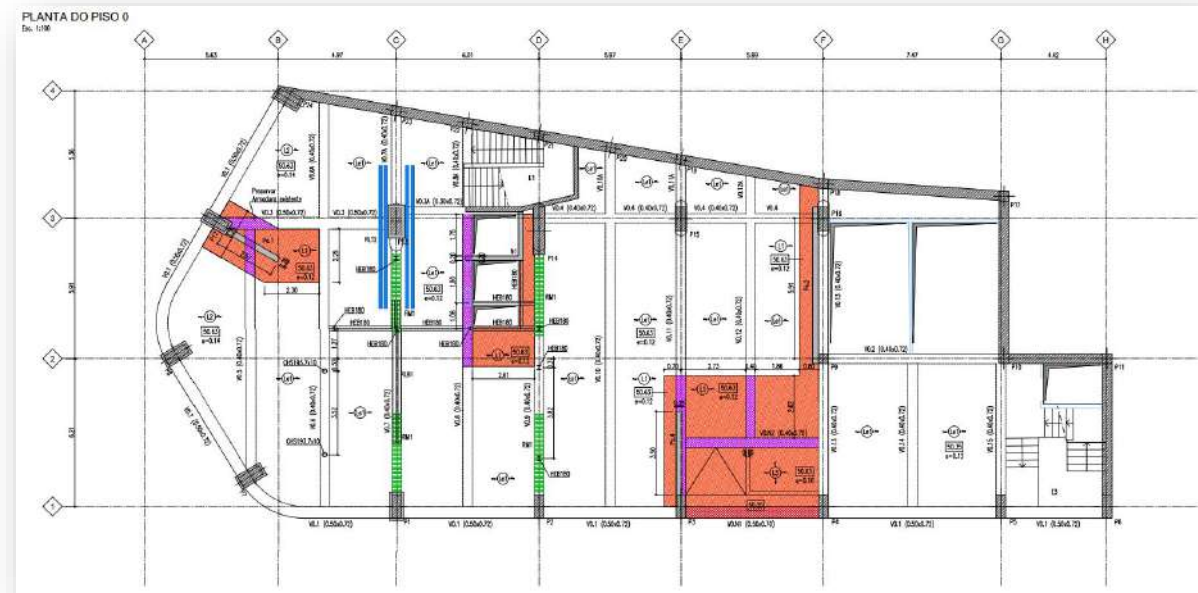
I. Enquadramento  
II. Projeto Original  
III. Reconhecimento do existente  
IV. Solução estrutural adotada  
V. Obra

- Otimizar solução estrutural já projetada em fase de concurso
  - O empreiteiro detetou problemas de exequibilidade e prazos de execução da solução estrutural (CFRP, encamisamento de pilares)
- Abordagem A2P
  - Reconhecimento estrutural do edifício
  - Reforço sísmico através da introdução de novas paredes estruturais



# Desafios Principais

- Integrar novas paredes estruturais minimizando o impacto no projeto arquitetónico
- Manutenção do monta-autos em funcionamento (durante a maior parte do tempo da obra)
- Instalação de piscinas ao nível dos pisos 6 e 9
- Reformulação do núcleo de elevadores existente
- Execução de pé-direito duplo na zona sobreloja e *mezzanine* metálico



Parte II  
Projeto Original  
(1966-1970)

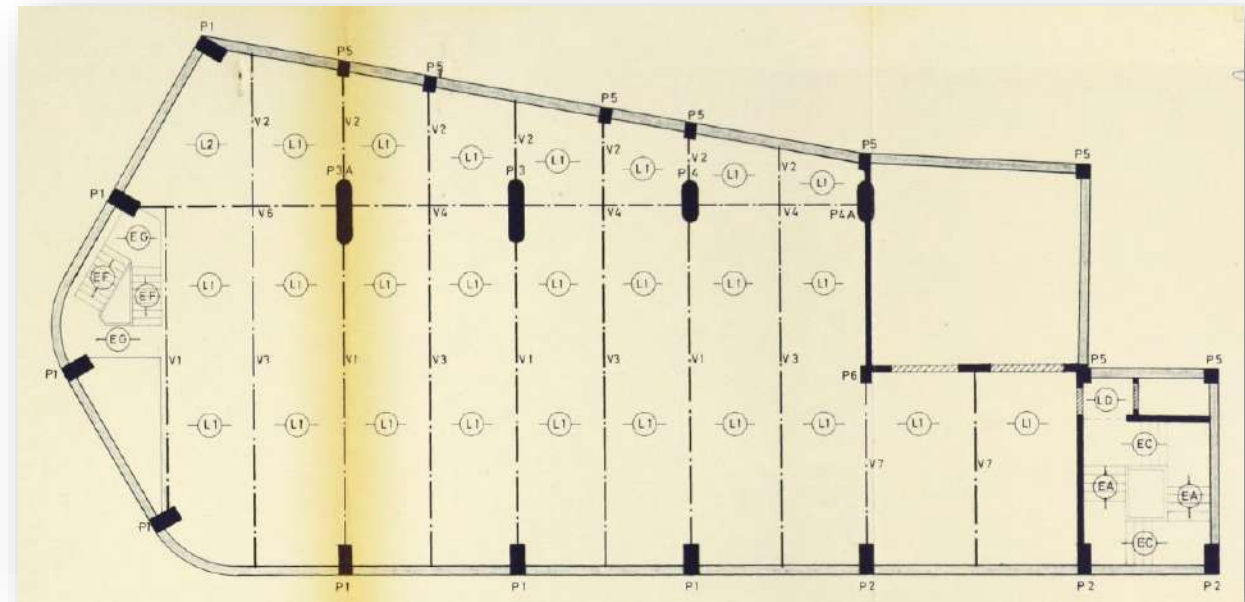


# Consulta Documental

- Projetos anteriores no Arquivo Intermédio da Câmara Municipal de Lisboa
  - 1966: Projeto de Licenciamento de Estruturas
    - Projeto de estruturas base que terá sido respeitado na maioria dos pisos superiores.
  - 1968: Projeto de Licenciamento de Escavação
  - 1969: Projeto de Alterações da Sobreloja
    - Projeto de estruturas da sobreloja que terá sido executado.
  - 1969: Projeto de Licenciamento de Estruturas Variante
    - Projeto de estrutura com lajes PATIAL. Não se encontraram evidências da implementação deste projeto.
  - 1970: Projeto de Licenciamento de Estruturas
    - Modificação do projeto de 1966 com um monta-autos adicional para as caves.

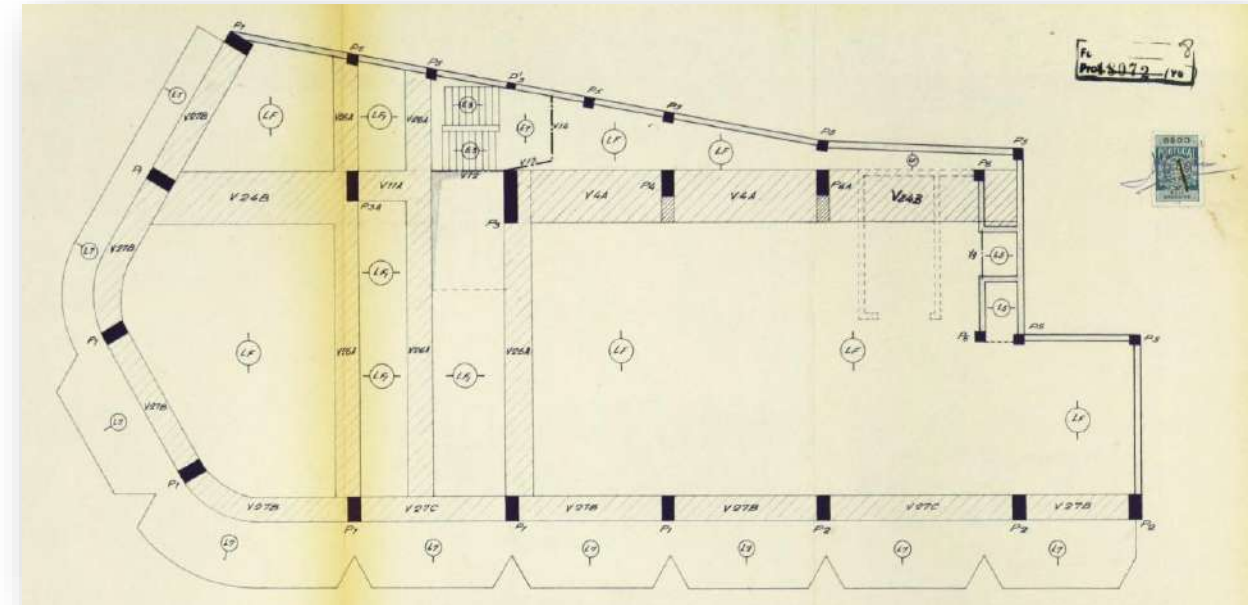
# Estrutura das Caves

- Projeto de 1970;
- Estrutura porticada com pórticos principais afastados a cerca de 6.00m, intercalados por pórticos secundários de igual geometria, mas sem pilares;
- Vigas com geometria 0.40x0.72 (m);
- Pilares com dimensões variáveis entre 0.40 e 2.00m de comprimento;
- Lajes maciças com 12cm de espessura;
- Contenção periférica perimetral.



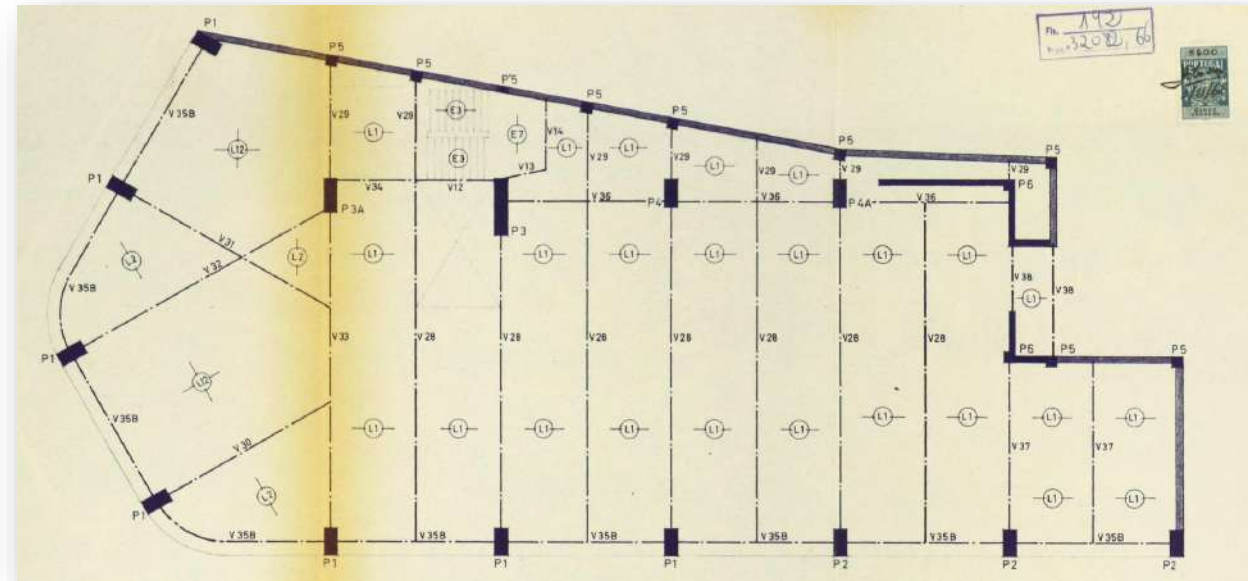
# Estrutura da Sobreloja

- Projeto de 1969;
- Sistema estrutural diferente do restante edifício;
- Laje aligeirada, nervurada com banda maciças com 0.38m de espessura total;
- Redução de seção de alguns pilares.



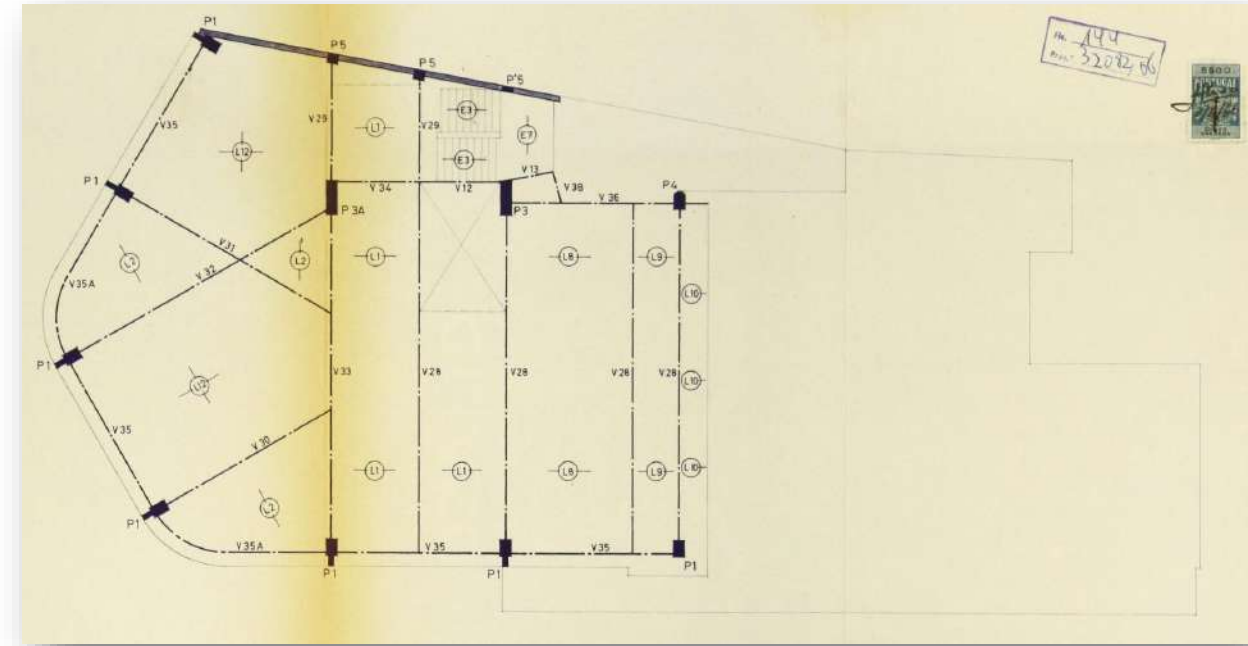
# Estrutura dos pisos superiores (piso 1 a 6)

- Projeto de 1966;
- Estrutura porticada com pórticos principais afastados a cerca de 6.00m, intercalados por pórticos secundários de igual geometria, mas sem pilares;
- Vigas com geometria 0.40x0.52 (m);
- Pilares com dimensões variáveis entre 0.40 e 1.60m de comprimento;
- Lajes maciças com espessuras entre 12 e 15cm.



# Estrutura dos pisos superiores (piso 7 a 9)

- Projeto de 1966;
- Redução da área do piso para 350m<sup>2</sup>;
- Estrutura porticada com pórticos principais afastados a cerca de 6.00m, intercalados por pórticos secundários de igual geometria, mas sem pilares;
- Vigas com geometria 0.40x0.52 (m);
- Pilares com dimensões variáveis entre 0.40 e 1.60m de comprimento;
- Lajes maciças com espessuras entre 12 e 15cm.



Parte III

# Reconhecimento do Existente

# Campanha de Prospeção Estrutural

- Avaliação de seções dos elementos de betão armado
- Identificação de armaduras longitudinais e transversais
  - 58 seções iniciais, complementadas posteriormente, em função dos resultados
- Extração e ensaio de betão em carotes
  - Mais de 50 ensaios em pilares, vigas e lajes

# Campanha de Prospeção Estrutural



15/11/2022



Sessão 6 - Duque de Loulé 123





# Campanha de Prospeção Estrutural



15/11/2022

Sessão 6 - Duque de Loulé 123

# Prospeção Estrutural: Compatibilidade com Projeto Original

- I. Enquadramento
- II. Projeto Original
- III. Reconhecimento do existente
- IV. Solução estrutural adotada
- V. Obra

- A aproximação ao projeto original (1966-1970) foi quase total:
  - Dimensões das secções dos elementos com bons níveis de correspondência: supressão de arredondamentos nos cantos de alguns pilares;
  - Armaduras em pilares e vigas
  - Classe de resistência do betão

**P1118 - Duque de Loulé 123** | 3. Estrutura | 3.2 PILARES

PILARES EXISTENTES (segundo dados de Arquivo)

Pilares	Piso i	Fonte	Seção	b (m)	h (m)	b extra (m)	e extra (m)	Area (m <sup>2</sup> )	A <sub>s, long, 1</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s, long, 2</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s, long, 3</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>sw/s, dir b</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	A <sub>sw/s, dir h</sub> (cm <sup>2</sup> /m)			
P1-A	-3	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 157	+	0.50	1.00	0.25	0.30	0.650	12f25	8f25	8f10	4 f8//0.30 2 f8//0.30	104.46	1.61%	6.70	3.35
P1-B	0	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 157	□	0.40	1.00			0.400	12f25	14f25	2f12	4 f8//0.30 2 f8//0.30	129.89	3.25%	6.70	3.35
P1-C	1	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 157	□	0.40	0.60	0.40	0.20	0.320	12f25	14f25	8f10	4 f8//0.30 2 f8//0.30	133.91	4.18%	6.70	3.35
P1-D	5	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 157	□	0.40	0.60	0.40	0.20	0.320	14f25		8f10	2 f8//0.30 2 f8//0.30	75.01	2.34%	3.35	3.35
P1-E	7	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 157	θ	0.40	0.60			0.240	12f25	4f25	2f12	2 f8//0.30 2 f8//0.30	80.80	3.37%	3.35	3.35
P2-A	-3	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 157	+	0.50	1.00	0.25	0.30	0.650	12f25	8f25	8f10	4 f8//0.30 2 f8//0.30	104.46	1.61%	6.70	3.35
P2-B	0	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 157	□	0.50	1.00			0.500	10f20		2f12	4 f8//0.30 2 f8//0.30	33.68	0.67%	6.70	3.35
P2-C	1	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 157	□	0.40	0.60	0.40	0.20	0.320	16f20		8f10	2 f8//0.30 2 f8//0.30	56.55	1.77%	3.35	3.35
P2-D	5	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 157	□	0.40	0.60	0.40	0.20	0.320	16f20	6f25	8f10	2 f8//0.30 2 f8//0.30	86.00	2.69%	3.35	3.35
P3-A	-3	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 157	□	0.50	2.00			1.000	12f25	8f25	4f16	6 f8//0.30 2 f8//0.30	106.22	1.06%	10.05	3.35
P3-B	-1	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 157	□	0.50	2.00			1.000	10f20		4f16	6 f8//0.30 2 f8//0.30	39.46	0.39%	10.05	3.35
P3-C	1	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 157	□	0.50	1.60			0.800	10f20		4f12	6 f8//0.30 2 f8//0.30	35.94	0.45%	10.05	3.35
P3-D	5	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 157	□	0.40	1.20			0.480	10f20		4f12	6 f8//0.30 2 f8//0.30	35.94	0.75%	10.05	3.35
P3-E	8	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 157	□	0.40	1.20			0.480	12f25		4f12	6 f8//0.30 2 f8//0.30	63.43	1.32%	10.05	3.35
P3A-A	-3	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 157	□	0.50	2.00			1.000	10f20		4f16	6 f8//0.30 2 f8//0.30	39.46	0.39%	10.05	3.35
P3A-B	0	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 157	□	0.50	1.20			0.600	10f25	10f25	4f12	6 f8//0.30 2 f8//0.30	102.70	1.71%	10.05	3.35
P3A-C	1	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 157	□	0.50	1.20			0.600	10f20		4f12	6 f8//0.30 2 f8//0.30	35.94	0.60%	10.05	3.35
P3A-D	1	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 157	□	0.40	1.20			0.480	10f20		4f12	6 f8//0.30 2 f8//0.30	35.94	0.75%	10.05	3.35

**P1118 - Duque de Loulé 123** | 3. Estrutura | 3.1 VIGAS

VIGAS EXISTENTES (segundo dados de Arquivo)

Vigas	Fonte	b (m)	h (m)	A <sub>s, just</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s, sup</sub> (cm <sup>2</sup> )	Apoio	Meio Vão	Apoio	Meio Vão
V1	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 151	0.40	0.72	2f25	6f25	2 f6//0.25 1 f25//0.50	2f25 2f25 2 f6//0.25	9.82 29.45 12.08	29.45 9.82 2.26
V2	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 151	0.40	0.72	2f25	3f25	2 f6//0.25 1 f25//0.70	2f25 2f25 2 f6//0.25	9.82 14.73 9.27	9.82 9.82 2.26
V3	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 151	0.40	0.72	3f25	6f25	2 f6//0.25 1 f25//0.50	6f25 2f25 2 f6//0.25	14.73 29.45 12.08	29.45 9.82 2.26
V4	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 151	0.40	0.72	2f25	2f25+2f20	2 f6//0.25 1 f25//0.50	4f25 2f20 2 f6//0.25	9.82 16.10 12.08	19.63 6.28 2.26
V5	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 151	0.15	1.20	2f25	3f25	2 f8//0.15 1 f25//0.85	3f25 2f8 2 f8//0.15	9.82 14.73 12.48	14.73 1.01 6.70
V6	Arquivo Municipal de Lisboa - Obra 57076 - Proc 32082-DAG-PG-1966 - Folha 151	0.50	0.72	2f25	7f25	2 f6//0.25 1 f25//0.55	6f25 2f25 2 f6//0.25	9.82 34.36 11.19	29.45 9.82 2.26

# Prospeção Estrutural: Ensaios em Betão

- Avaliação da resistência por ensaios de compressão em carotes extraídos dos diversos elementos;

- Em pilares:

- $f_{ck,cil} = 26 \text{ MPa}$
- $f_{ck,cube} = 32 \text{ MPa}$

- Em vigas:

- $f_{ck,cil} = 31 \text{ MPa}$
- $f_{ck,cube} = 38 \text{ MPa}$

**Tabela 1. Resultados obtidos em pilares.**

Identificação	Tipo de elemento	Piso	Tensão de rotura (Mpa)
SP 3.2 (56)	Pilar	P03	23.3
SP 2.1 (57)	Pilar	P02	23.6
SP 4.1 (52)	Pilar	P04	23.6
SP 7.2 (43)	Pilar	P07	23.6
SP 8.1 (49)	Pilar	P08	24.6
SP 8.2 (43)	Pilar	P08	24.6
SP 1.1 (8)	Pilar	P01	26.1
SP 3.1 (53)	Pilar	P03	26.1
SP 7.1 (50)	Pilar	P07	26.1
SP 1.2 (17)	Pilar	P01	26.1
SP 1.1 (16)	Pilar	P01	26.1
SP 6.2 (38)	Pilar	P06	26.1
SP 2.2 (25)	Pilar	P02	26.1
SP 0+2 (21)	Pilar	P0+	26.1
SP 4.2 (29)	Pilar	P04	26.1
SP 0.2 (60)	Pilar	P00	26.1

**Tabela 4. Estimativa de valores de resistência do betão em vigas.**

**A bordagem A**  
*(aplicável quando estão disponíveis mais de 15 carotes)*

n (count)	21			
Max	35.9	MPa	fm(n),is	30.2
$\mu$	30.2	MPa	k2	1.48
Median	30.0	MPa	s	2.8
Min	25.8	MPa	fis,menor	25.8
$\sigma$	2.8	MPa		
Percentis				
5%	24.59	MPa	fck,is (1)	26.1
95%	35.90	MPa	fck,is (2)	29.8
			fck,is (min)	26.1
				↓
			fck, cil	31
			fck,cube	38

# Parte IV

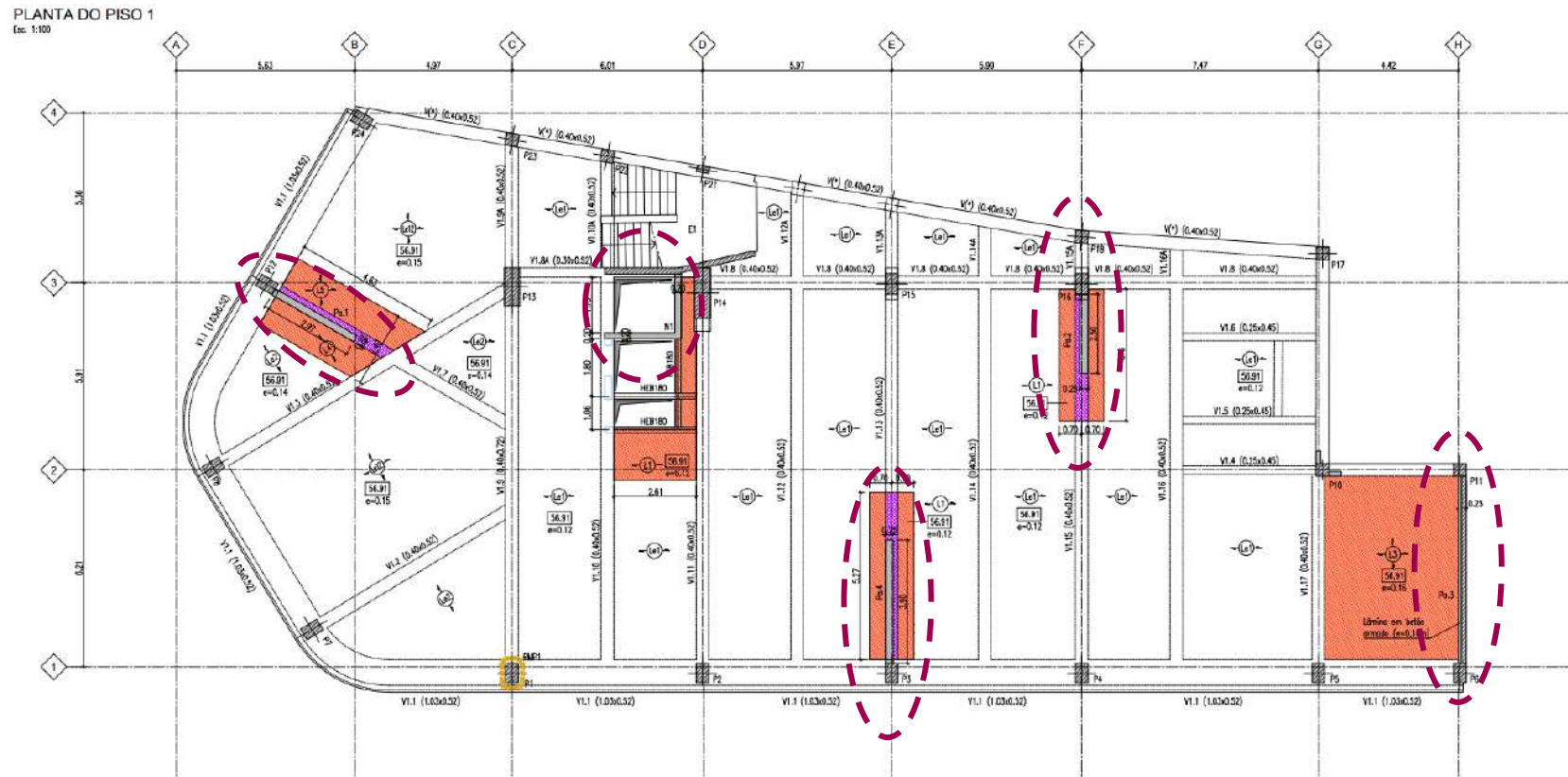
## Solução Estrutural Adotada

# Solução Estrutural Adotada

- Integração de 4 paredes e 1 núcleo de elevadores como principais elementos resistentes ao sismo
  - Circunscrever as áreas de intervenção
  - Minimizar o desvio entre centro de rigidez e centro de massa
- Reforços pontuais com CFRP em pilares e vigas
  - Encamisamento na maioria dos pilares acima do piso 6
- Demolição e reconstrução de vigas e lajes em zonas de aberturas, junto ao núcleo de elevadores e zonas de piscinas (piso 6)
- Encamisamento em betão armado de pilares entre o piso 0 e 1 na materialização do duplo pé-direito ao nível do piso 0 (entrada principal)
  - Demolição parcial (~40%) da laje da sobreloja e instalação de *mezzanine* metálico
- Cobertura metálica nova (nível do piso 10)

# Integração de 4 paredes e 1 núcleo de elevadores como principais elementos resistentes ao sismo

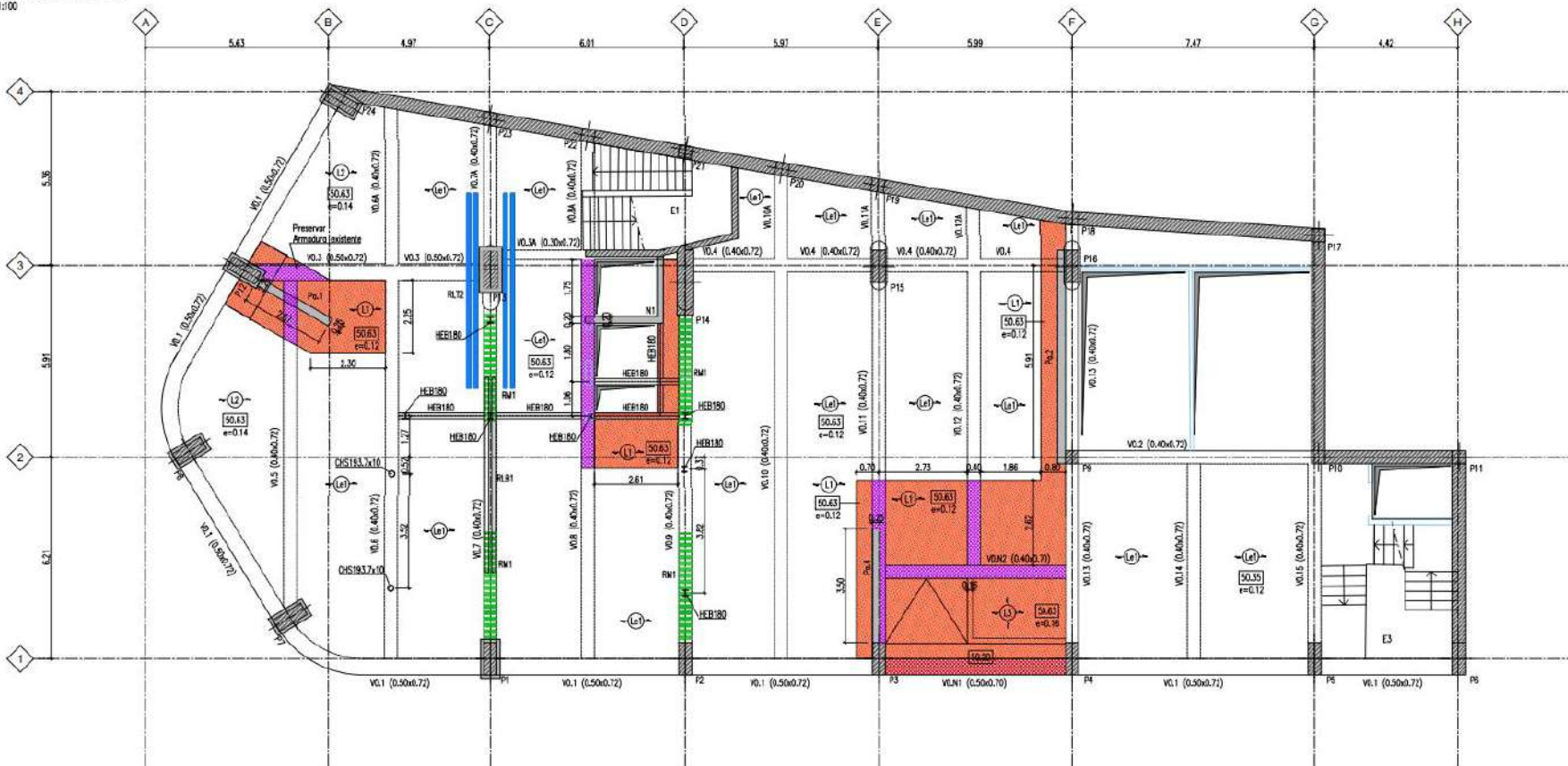
- I. Enquadramento
- II. Projeto Original
- III. Reconhecimento do existente
- IV. Solução estrutural adotada
- V. Obra



- I. Enquadramento
- II. Projeto Original
- III. Reconhecimento do existente
- IV. Solução estrutural adotada
- V. Obra

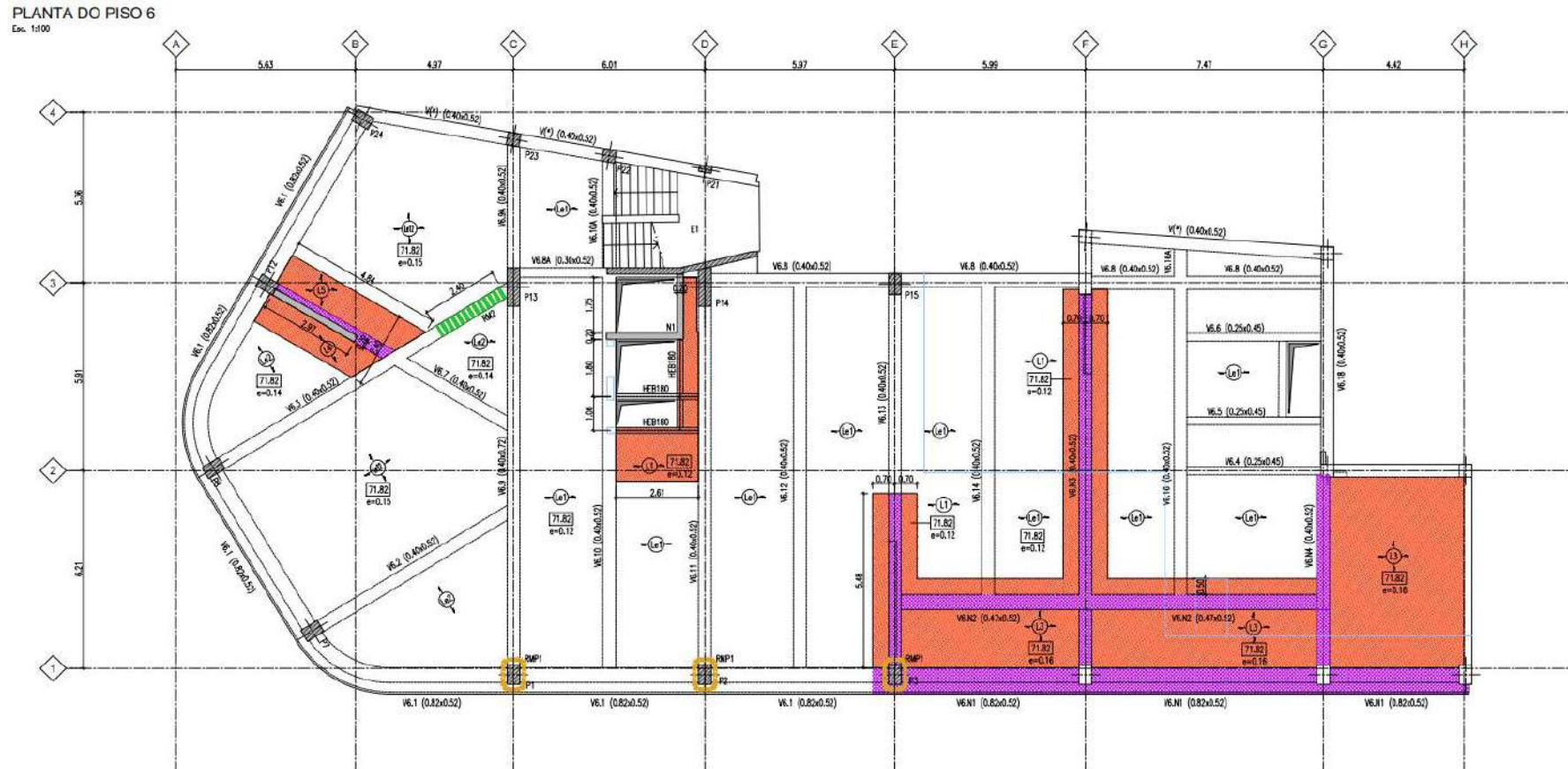
# Reforços pontuais com CFRP em pilares e vigas

PLANTA DO PISO 0  
Esc. 1:100



# Demolição e reconstrução de vigas e lajes em zonas de aberturas, junto ao núcleo de elevadores e zonas de piscinas

- I. Enquadramento
- II. Projeto Original
- III. Reconhecimento do existente
- IV. Solução estrutural adotada
- V. Obra

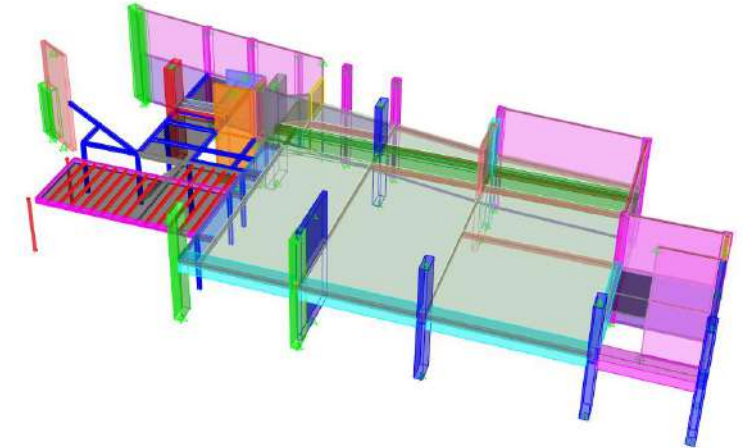
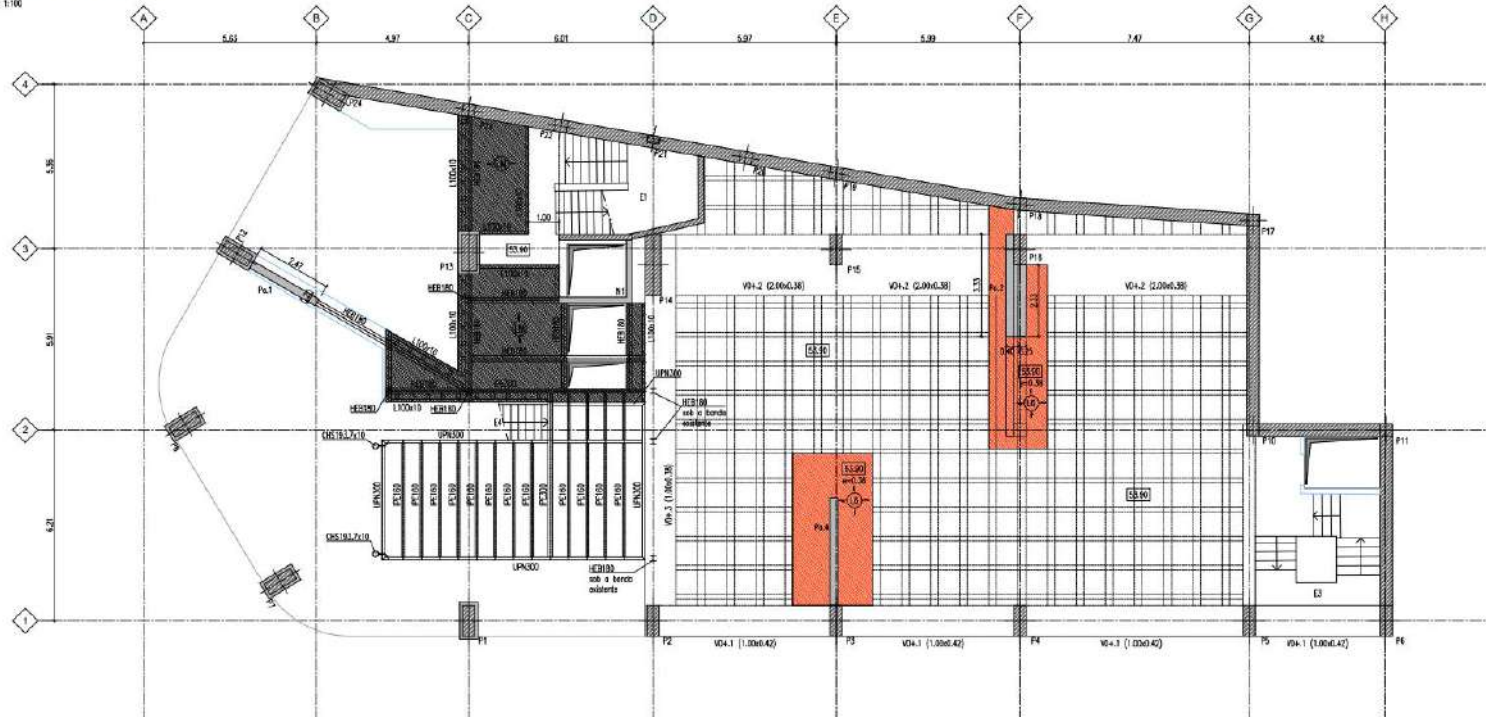




# Encamisamento em betão armado de pilares entre o piso 0 e 1 na materialização do duplo pé-direito ao nível do piso 0

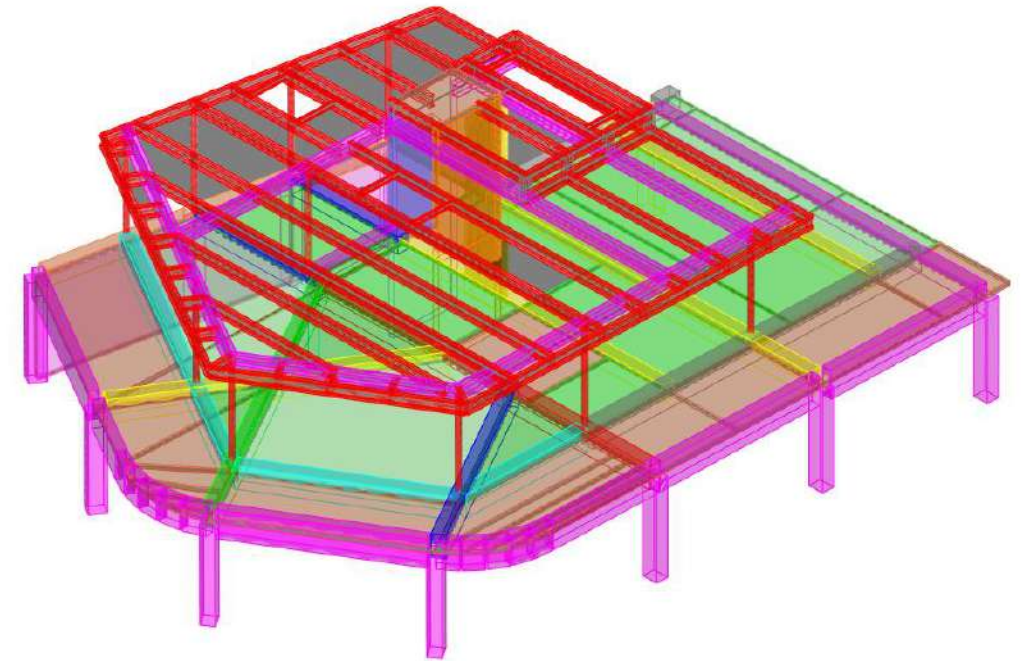
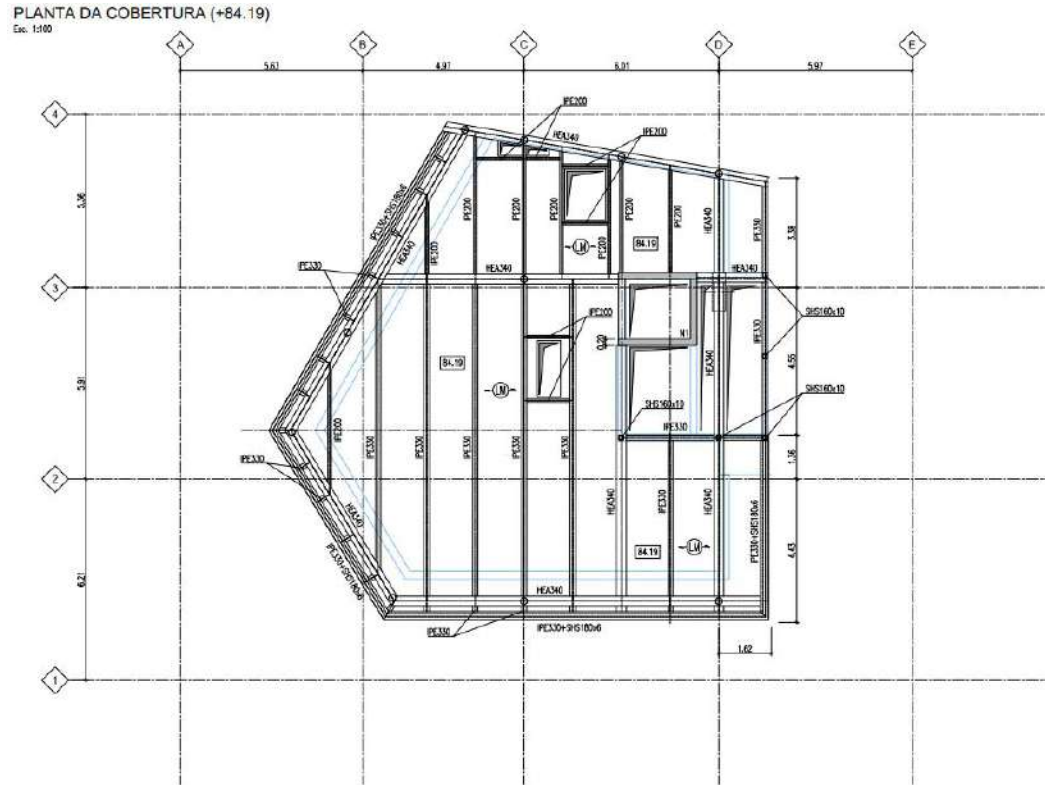
- I. Enquadramento
- II. Projeto Original
- III. Reconhecimento do existente
- IV. Solução estrutural adotada
- V. Obra

PLANTA DA SOBRELOJA  
Escala: 1/100



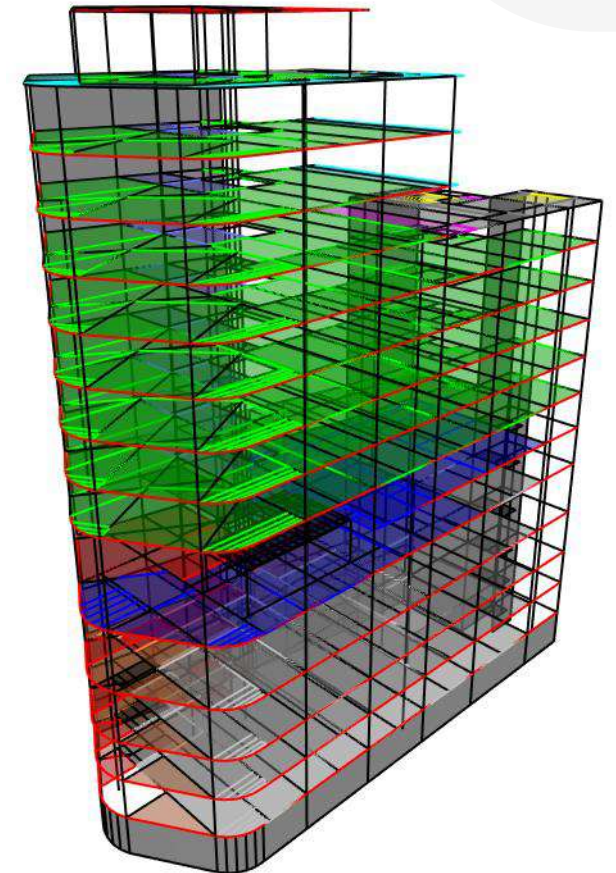
- I. Enquadramento
- II. Projeto Original
- III. Reconhecimento do existente
- IV. Solução estrutural adotada
- V. Obra

# Cobertura metálica nova (nível do piso 10)



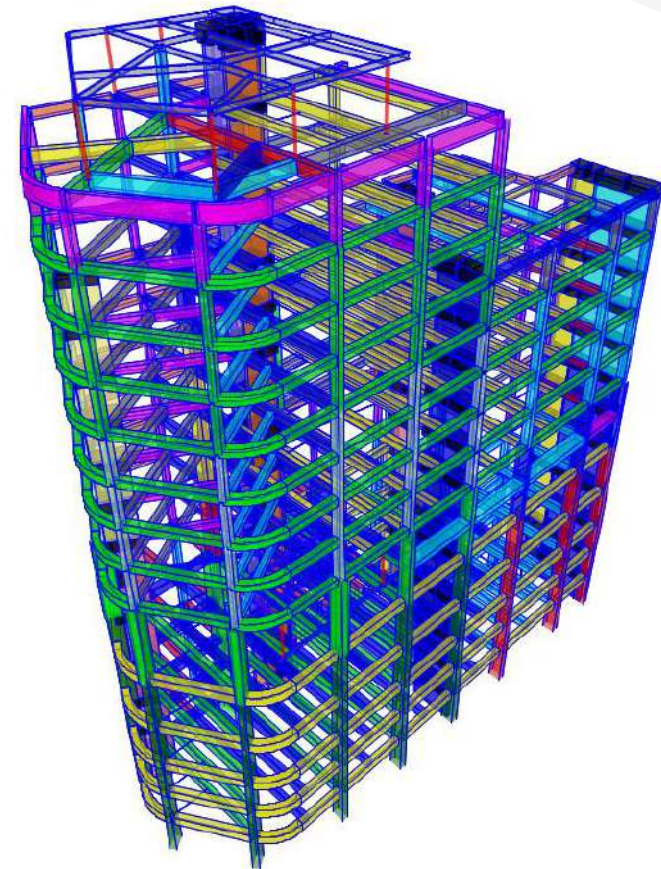
# Modelação Estrutural: Análise Estática

- Modelo global de FEM: SAP2000
- Modelação das secções com as dimensões e pormenorização real
- Modelação de pilares, vigas e paredes como *frame*
- Modelação das lajes como *shell* e com diafragma de piso
- Ações e combinações regulamentares



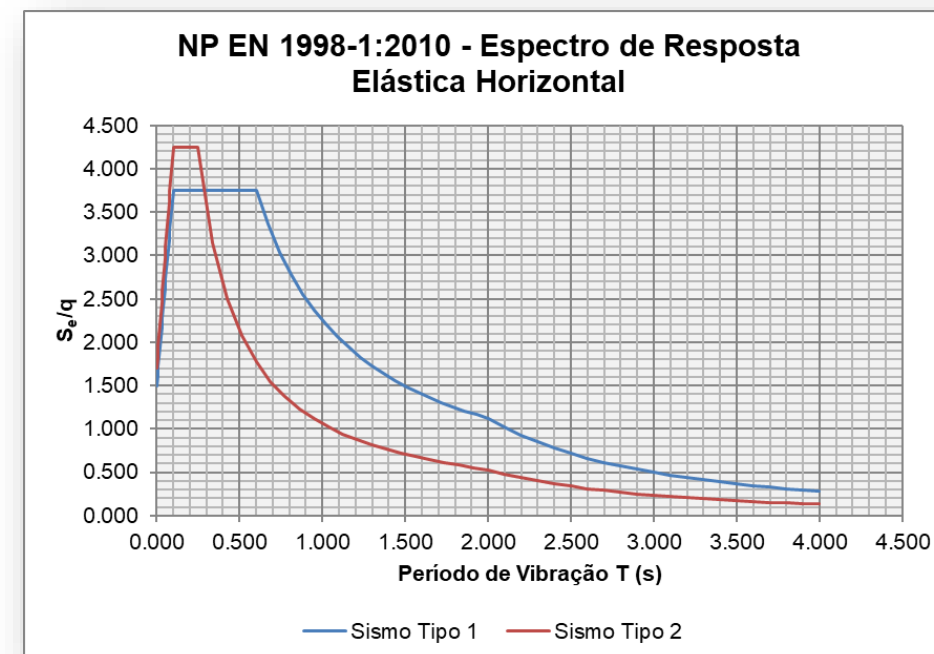
# Modelação Estrutural: Análise Sísmica

- Modelo global de FEM: SAP2000
- Modelação das secções com as dimensões e pormenorização real
- Modelação de pilares, vigas e paredes como *frame*
- Modelação das lajes como *shell* (sem rigidez) e com diafragma de piso
- Modifiers para estado fendilhado (inicial = 0.30)
- Elementos *frame* sem *auto mesh* (2 nós)

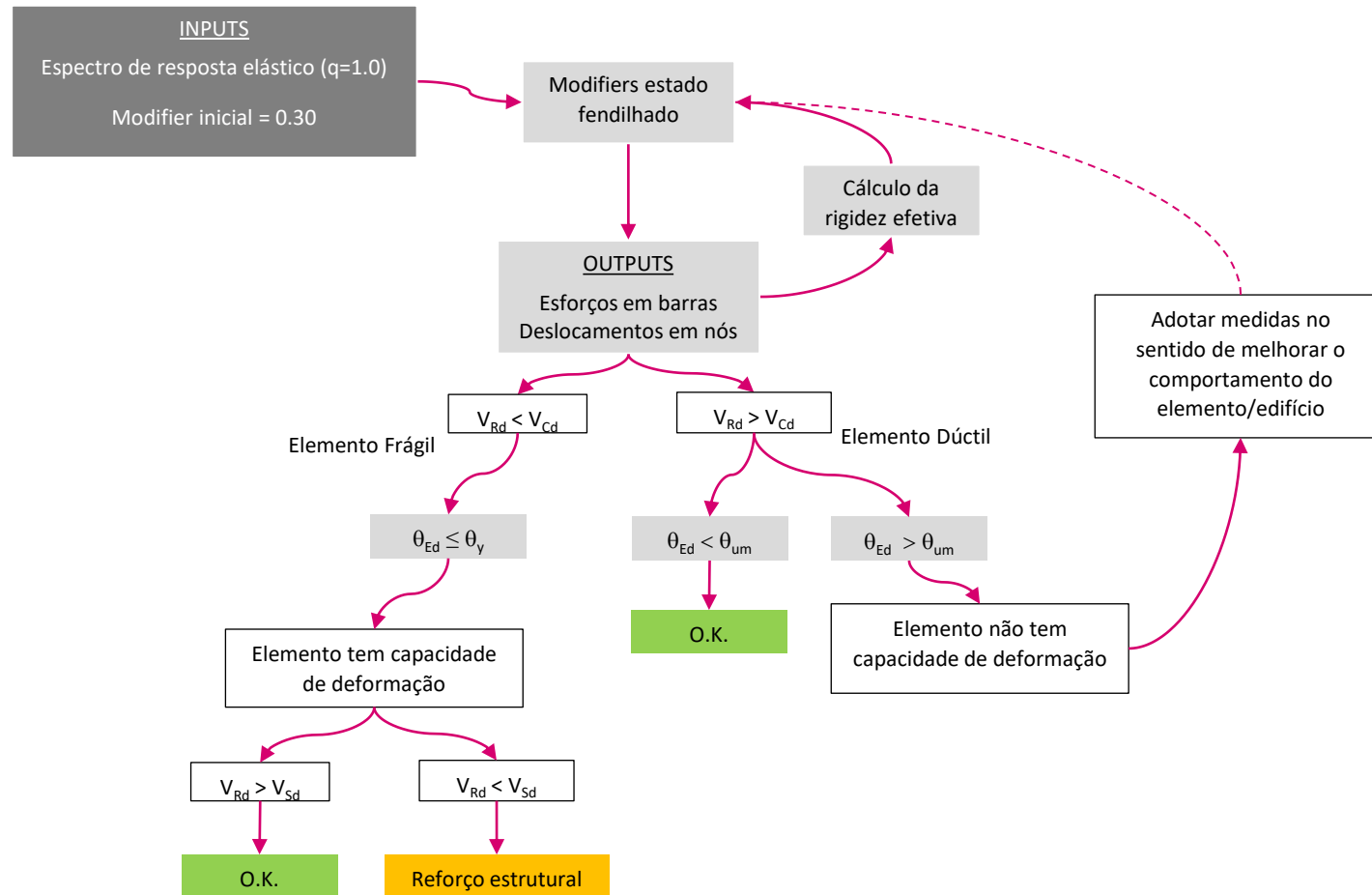


# Pressupostos de Cálculo: Análise Sísmica

- Ação sísmica de acordo com o EC8 Parte 3
  - Análise pelos deslocamentos
- Estado limite de danos severos (SD)
- Classe de Importância II
- Terreno Tipo A
- Zonamento Sísmico
  - *Ação Tipo 1 [1.3]:  $a_g=1.50m/s^2$*
  - *Ação Tipo 2 [2.3]:  $a_g=1.70m/s^2$*



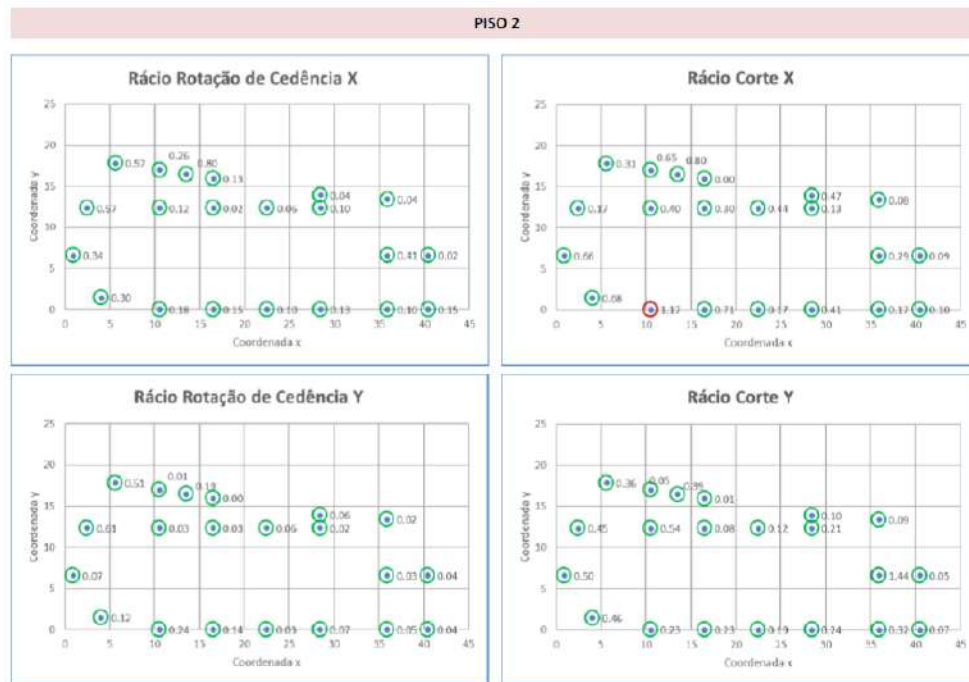
# Fluxograma da Análise Sísmica



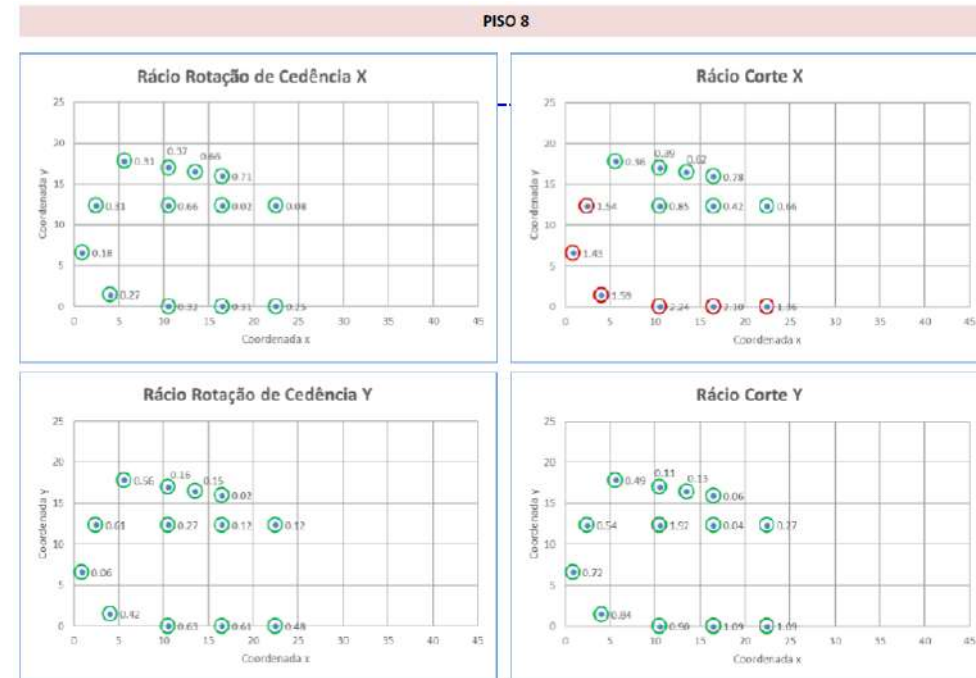
Reavaliação de rigidez efetiva em função do esforço axial em pilares

# Verificações em Pilares

## Piso com paredes estruturais



## Piso sem paredes estruturais



# Principais Conclusões do Cálculo

- Com a adoção das paredes de betão armado de reforço, os pilares passam a apresentar capacidade de deformação;
- Nas zonas em que os pilares entram em cedência as cintas são insuficientes, sendo necessário proceder ao reforço para o esforço transversal;
  - Esta situação ocorre essencialmente acima do piso 6 onde deixam de existir algumas das paredes resistentes introduzidas.
- A maior parte das vigas verifica a segurança, com raras exceções.
  - Algumas vigas foram reforçadas também ao esforço transversal.



# Parte V

# Obra

# Obra

- I. Enquadramento
- II. Projeto Original
- III. Reconhecimento do existente
- IV. Solução estrutural adotada
- V. Obra



15/11/2022

Sessão 6 - Duque de Loulé 123

JORNADAS  
ReSist

a2p  
estudos e projectos

# Obra

- I. Enquadramento
- II. Projeto Original
- III. Reconhecimento do existente
- IV. Solução estrutural adotada
- V. Obra



15/11/2022

Sessão 6 - Duque de Loulé 123

JORNADAS  
ReSist

a2p  
estudos e projectos

# Obra

- I. Enquadramento
- II. Projeto Original
- III. Reconhecimento do existente
- IV. Solução estrutural adotada
- V. Obra



15/11/2022

Sessão 6 - Duque de Loulé 123

JORNADAS  
ReSist

a2p  
estudos e projectos

# Obra

- I. Enquadramento
- II. Projeto Original
- III. Reconhecimento do existente
- IV. Solução estrutural adotada
- V. Obra



# Ficha Técnica

## Projeto de Estruturas A2P

Vasco Appleton

Rui Delgado

Ana Santos

## Promotor

Trias PRT Office 123-T

## Arquitetura

Ana Costa

## Empreiteiro

Tecniarte

Obrigado

15/11/2022

