

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Projeto de Estrutura Convencional de Edifício e Alternativa para Otimização

Trabalho de Formatura para Engenharia Civil



Professor Orientador:
Januário Pellegrino Neto

Juliana Melo
Marcos Ishiyama
Tiago Moherdaui
Yasmeen Morais

INTRODUÇÃO



CONTEXTO ATUAL

- 1** Alta taxa de utilização de **soluções estruturais convencionais em concreto armado** no Brasil, devido à mão-de-obra barata e acessível, à cultura enraizada no país, etc.;
- 2** Desenvolvimento de **soluções estruturais inovadoras**;
- 3** **Crise atual**, a qual demanda maior valorização de aspectos da construção, como melhor qualidade aliada a menores custos;
- 4** Uma **concepção estrutural mais próxima da ótima** (fiel à arquitetura imposta e com os melhores indicadores econômicos e construtivos possíveis) é a essência disso.

OBJETIVOS

ENCONTRAR A **MELHOR SOLUÇÃO ESTRUTURAL**
PARA UM **EDIFÍCIO HABITACIONAL**
COM ARQUITETURA
JÁ DEFINIDA

ATRAVÉS:



Do dimensionamento de **duas** soluções estruturais distintas;

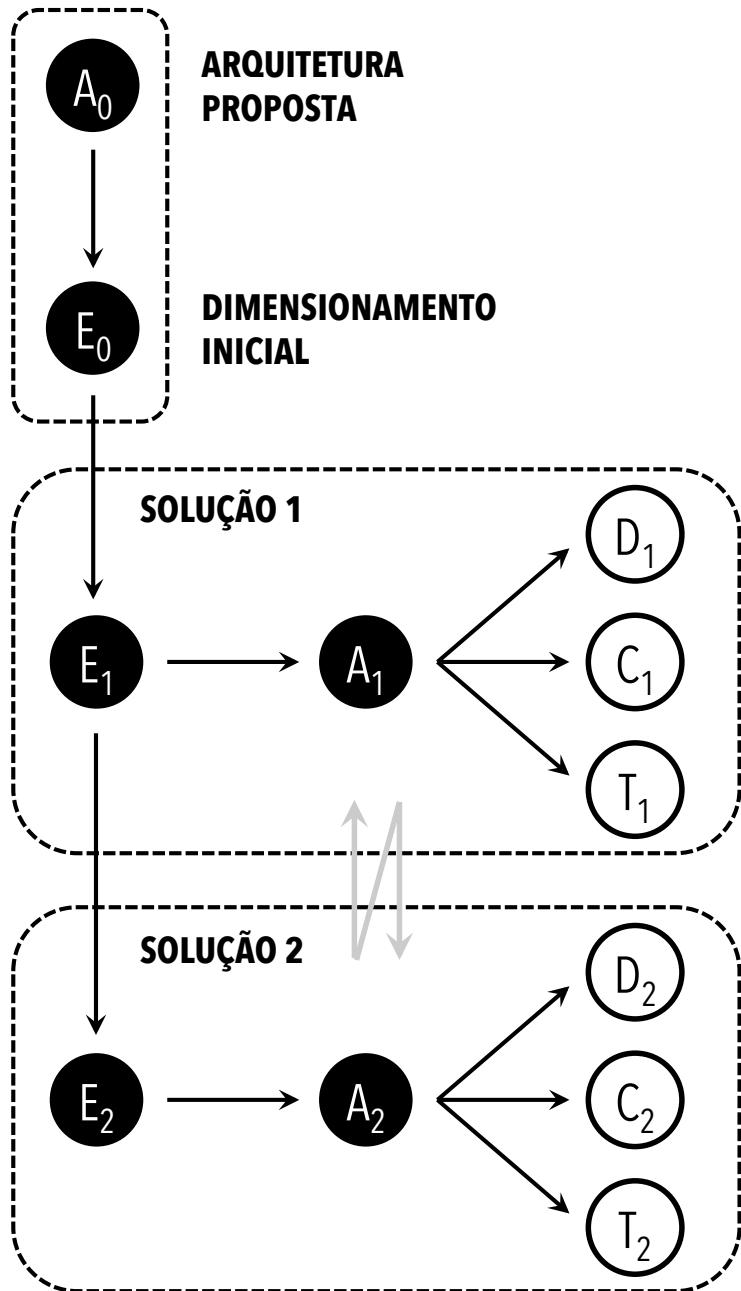


Da análise da **performance**, do **custo** e da **quantidade trabalho** de cada uma delas;



Da comparação entre elas.

METODOLOGIA

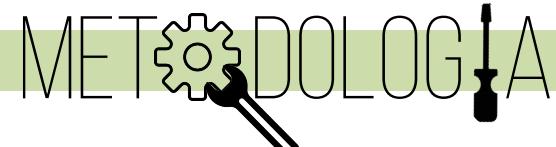


LEGENDA

- Objeto de Estudo
- Critérios de Análise
- Sequência Lógica
- ↔ Comparação
- A** Arquitetura
- E** Estrutura
- D** Desempenho
- C** Custo
- T** Quantidade de Trabalho



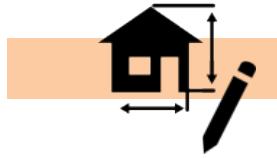
MATRIZ DE DECISÃO



	SOLUÇÃO CONVENCIONAL	SOLUÇÃO ALTERNATIVA
DESEMPENHO	- / = / +	- / = / +
CUSTO	- / = / +	- / = / +
QUANTIDADE DE TRABALHO	- / = / +	- / = / +

OBJETO DE ESTUDO

ARQUITETURA



PROpósito

Arquitetura definida,
mas **sem solução
estrutural** implícita...

...simples, e ao
mesmo tempo
desafiadora...

...associável
com a
realidade...

...para podermos
experienciar, na prática, as
várias **etapas de um
projeto!**

PROJETO ESCOLHIDO

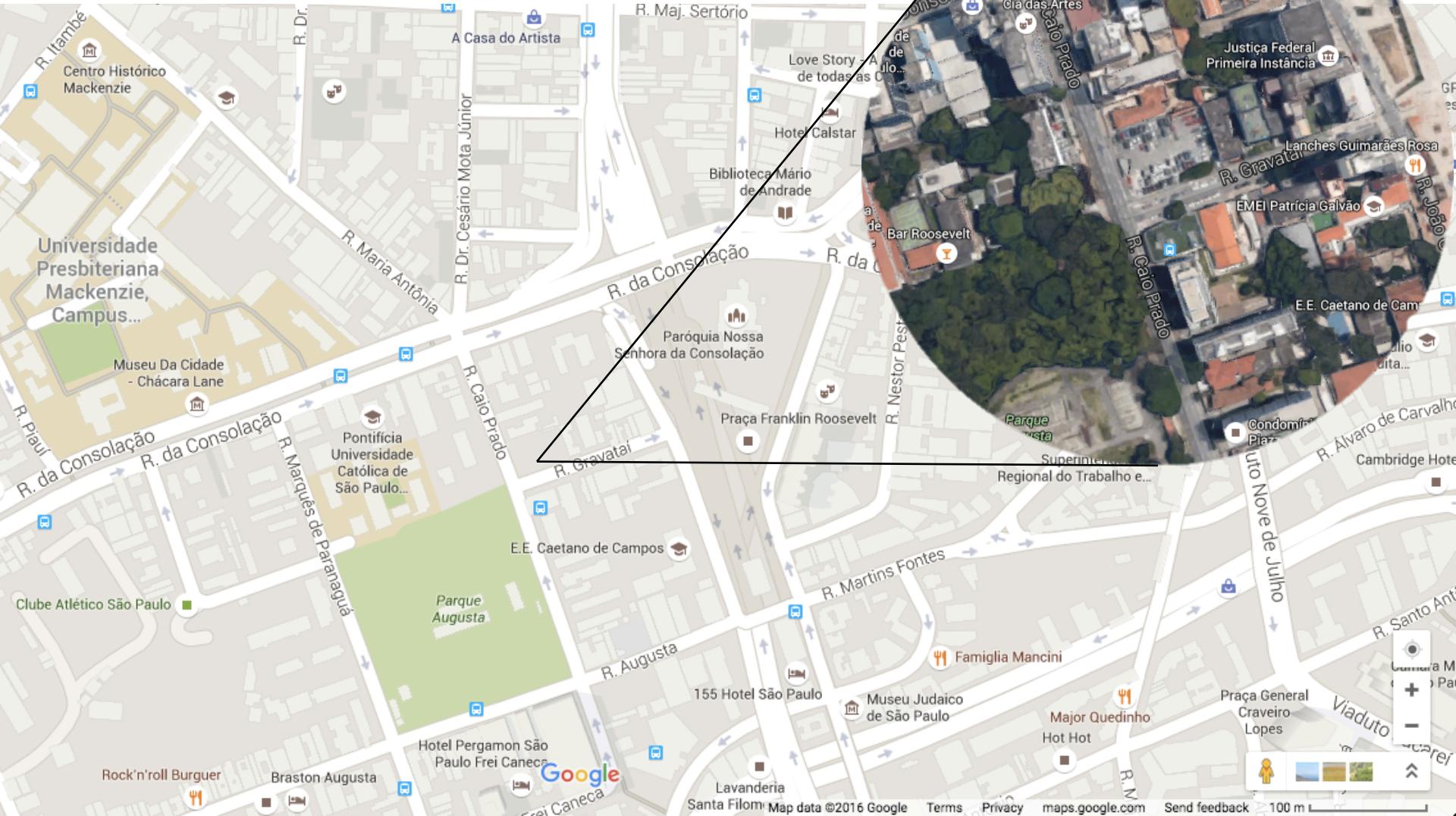


CONJUNTO HABITACIONAL | ESTÚDIO GRAVATAÍ

Concebido na disciplina AUP 0158 da FAUUSP por Luiz Felipe da Costa Sakata, com o propósito de “Habitação Social Urbana”



LOCALIZAÇÃO

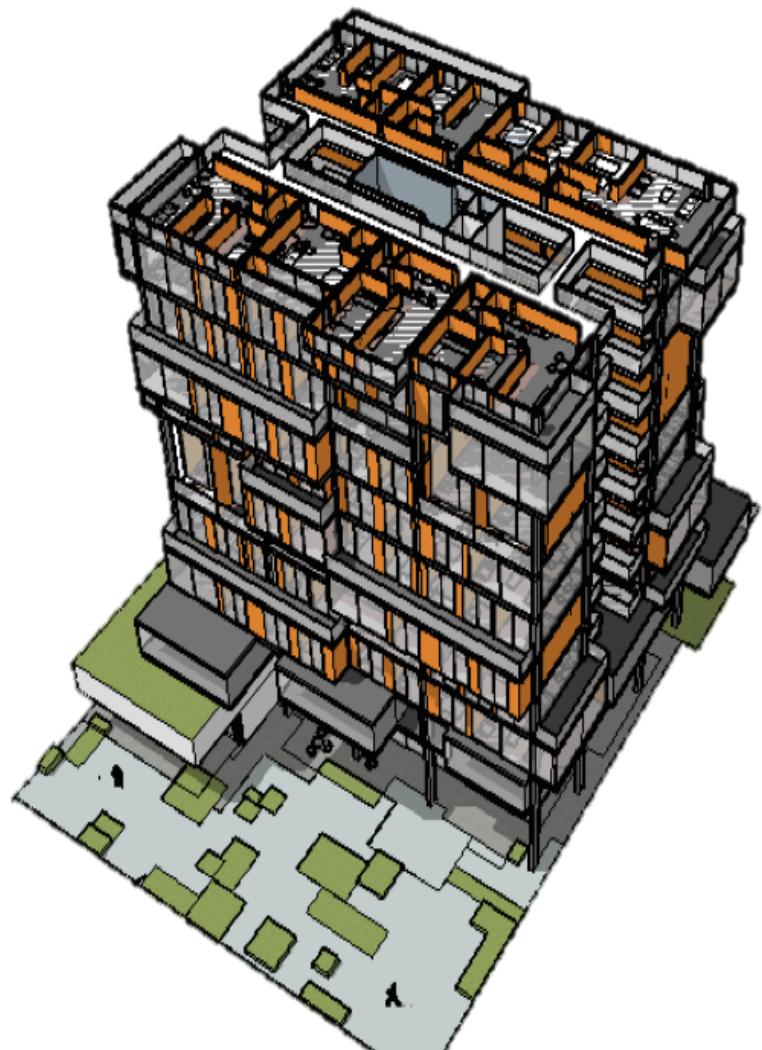




PROJETO ESCOLHIDO

CARACTERÍSTICAS

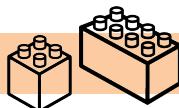
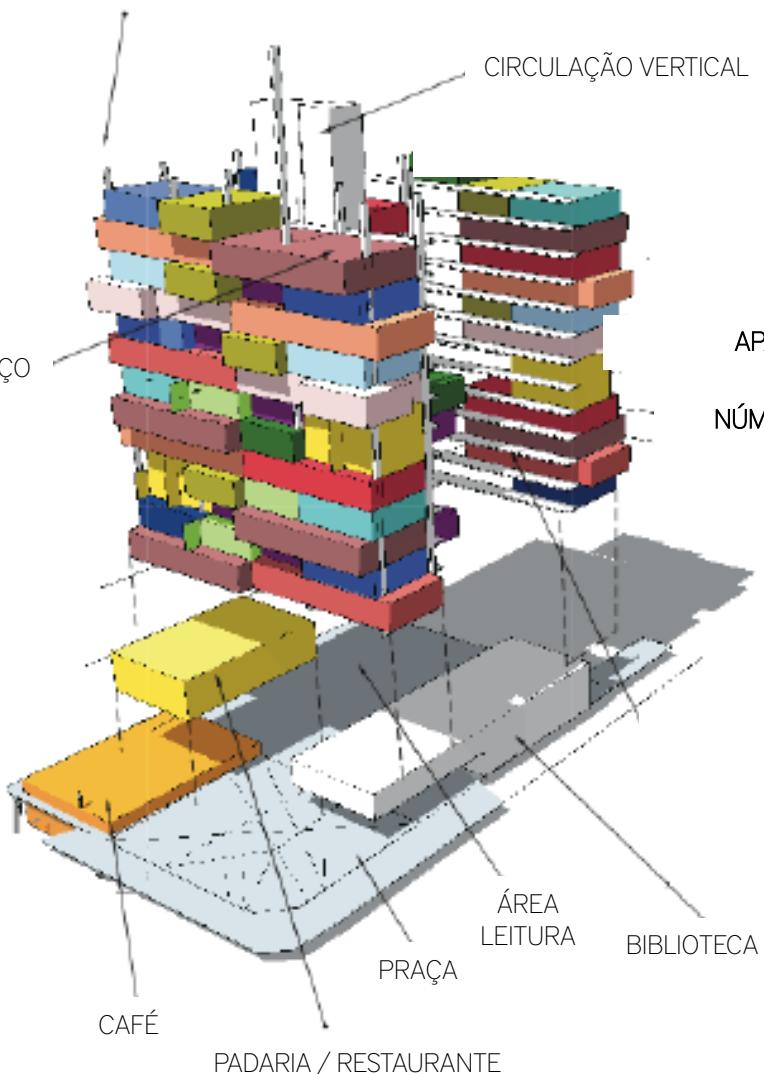
- Térreo ativo + 15 pavimentos
 - Térreo: biblioteca e café
 - 1º pavimento: abrigo para crianças
 - 2º ao 15º pavimento: residencial
- Vãos grandes (6m e 8m)
- Não há pavimento-tipo
(5 apartamentos-tipo)
- Modularidade nos apartamentos



ESTRUTURA CONCRETO

CIRCULAÇÃO VERTICAL

TERRAÇO



MODULARIDADE

1 QUARTO 2 QUARTOS 3 QUARTOS STUDIO QUITINETE

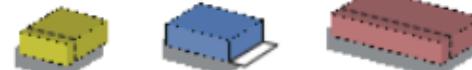
APARTAMENTOS TIPO



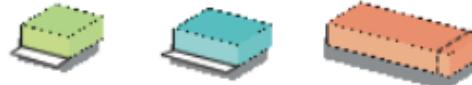
NÚMERO DE UNIDADES

X 5 X 5 X 5 X 8 X 9

VARIACÕES
(VARANDA)



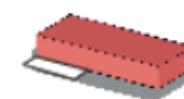
X 7 X 5 X 7



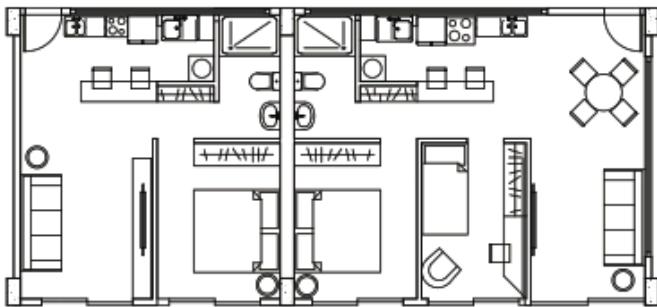
X 3 X 3 X 5



X 4 X 4



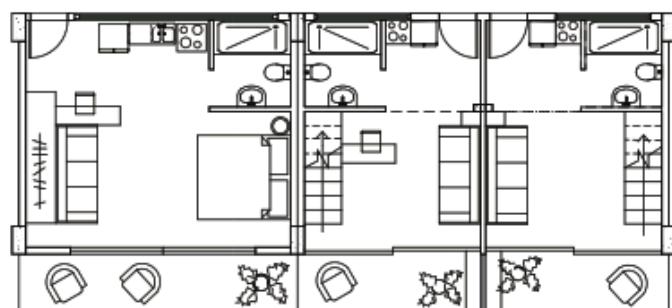
X 4



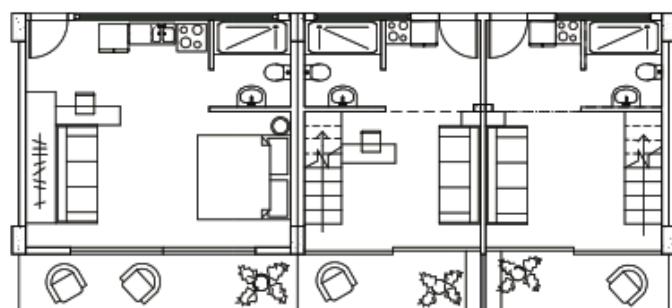
1 dormitório



2 dormitórios

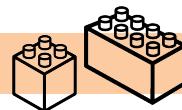


3 dormitórios

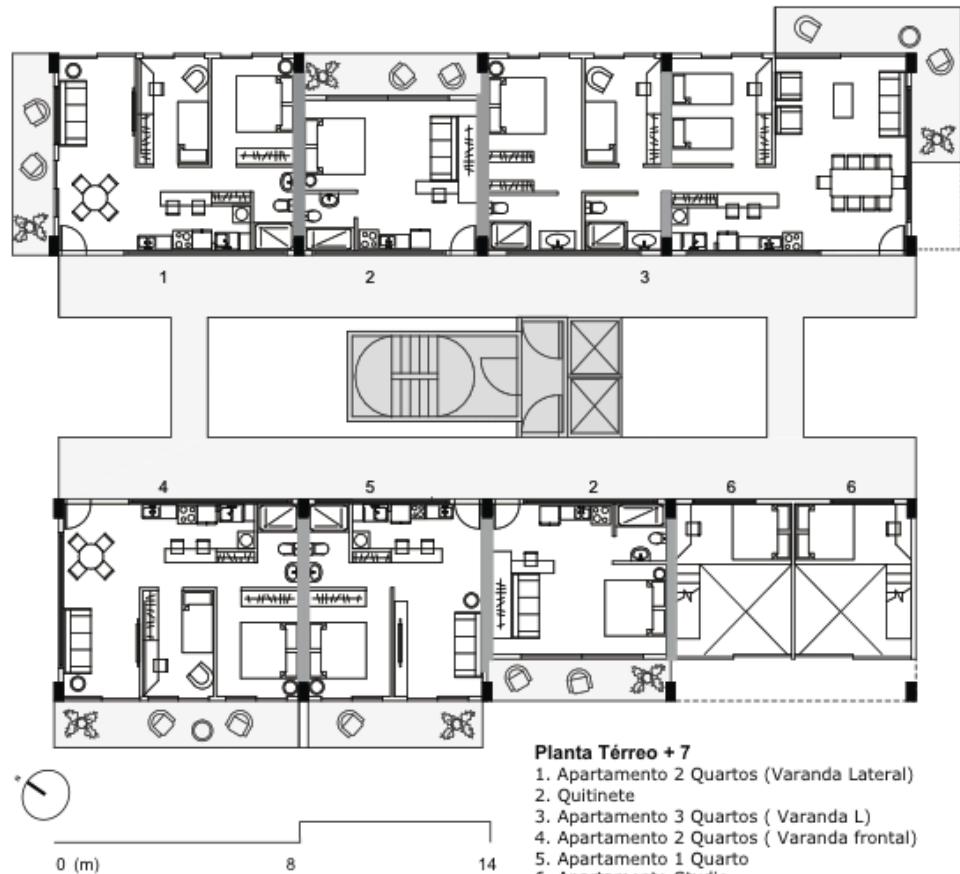


Quitinete

Studio



MODULARIDADE



ESTRUTURA CONVENCIONAL INICIAL



ESTRUTURA INICIAL PROPOSTA

- Estrutura reticulada;
- Concreto armado;
- Lajes maciças;
- Vigas contínuas;
- 24 pilares contínuos;
- Núcleo rígido na caixa do elevador (pilar parede);
- Vigas em balanço para sustentação das lajes em unidades residenciais com extensão em L e varanda.

CONCEPÇÃO INICIAL





PRÉ-DIMENSIONAMENTO

LAJES

$h = 10 \text{ cm}$ (lajes menores)

$h = 16 \text{ cm}$ (lajes maiores)

VIGAS

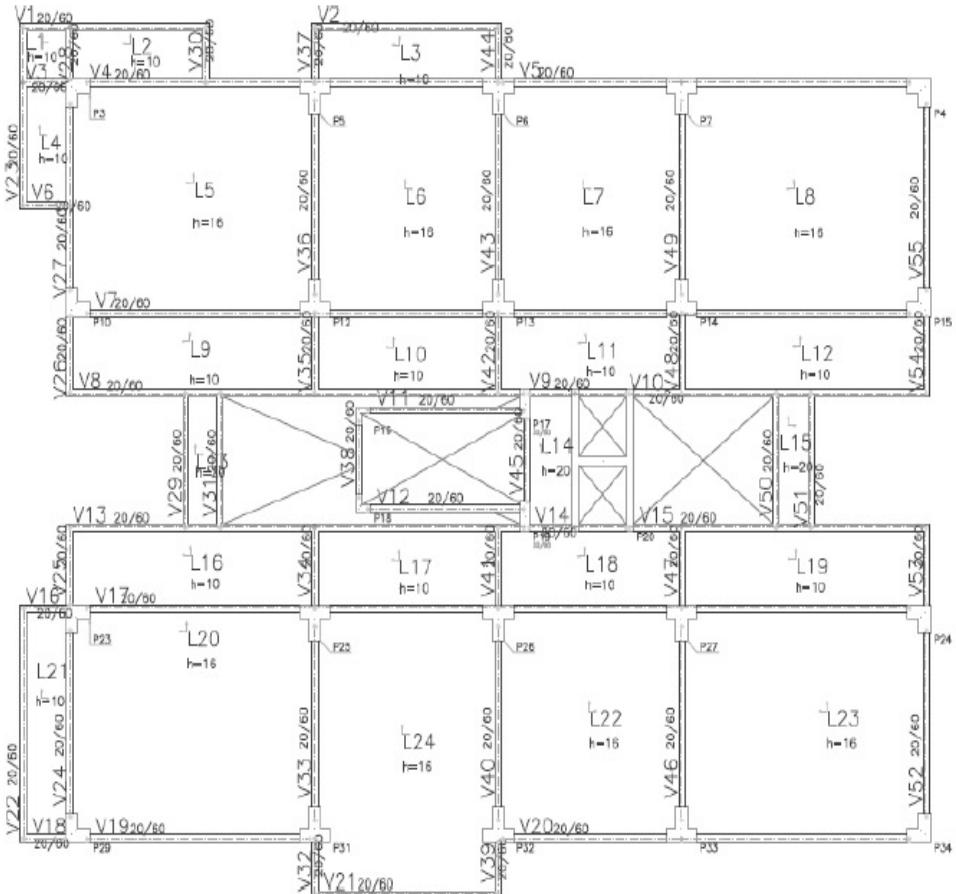
$20 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$

PILARES

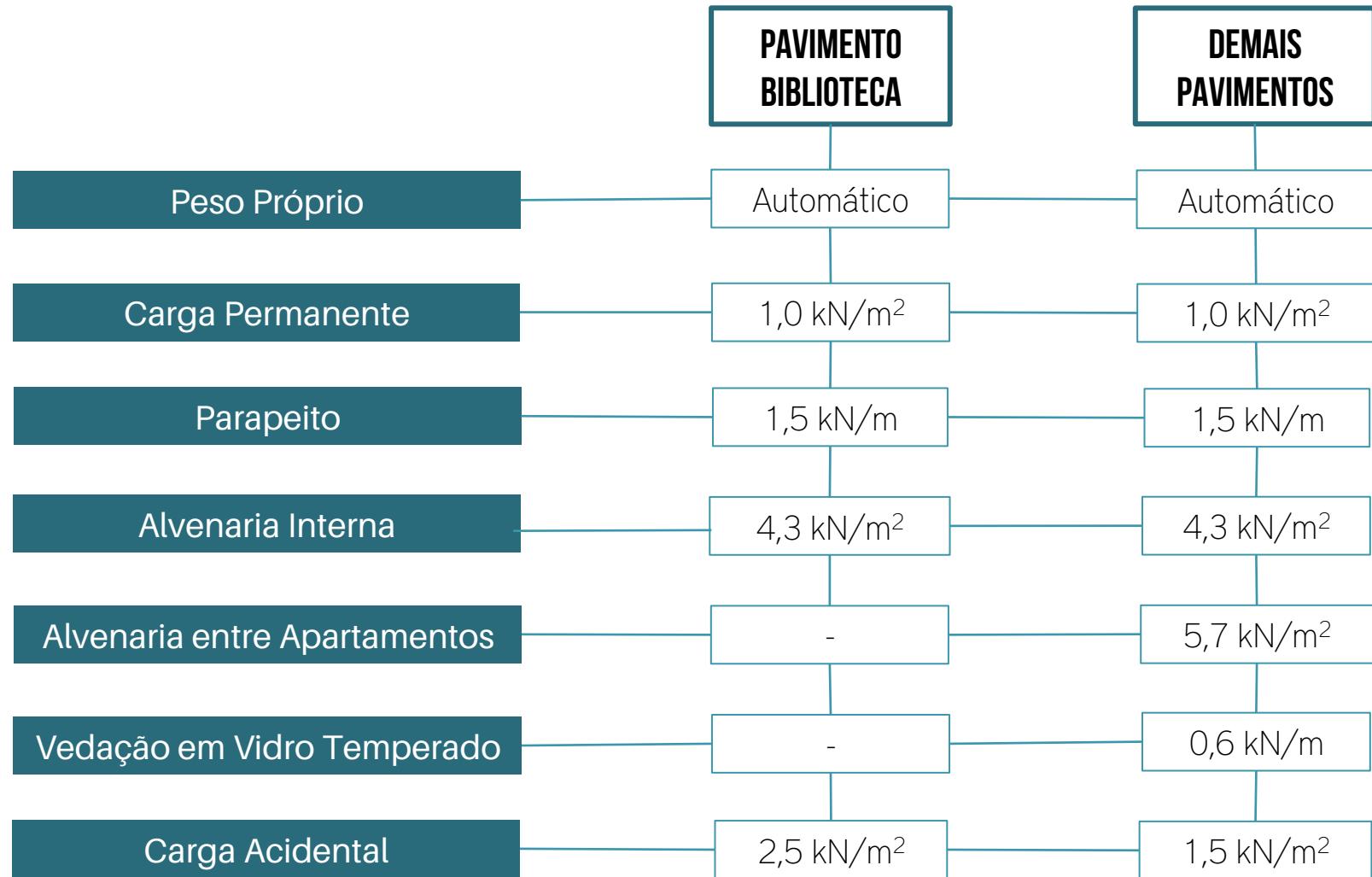
interno em "T" ($7531,6 \text{ cm}^2$)

canto em "T" ($6411,4 \text{ cm}^2$)

extremidade em "L" ($6104,7 \text{ cm}^2$)



CARREGAMENTOS VERTICais





CARREGAMENTOS HORIZONTAIS

Velocidade Característica do Vento

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3$$

Pressão Dinâmica

$$q = 0,613 \times V_k^2$$

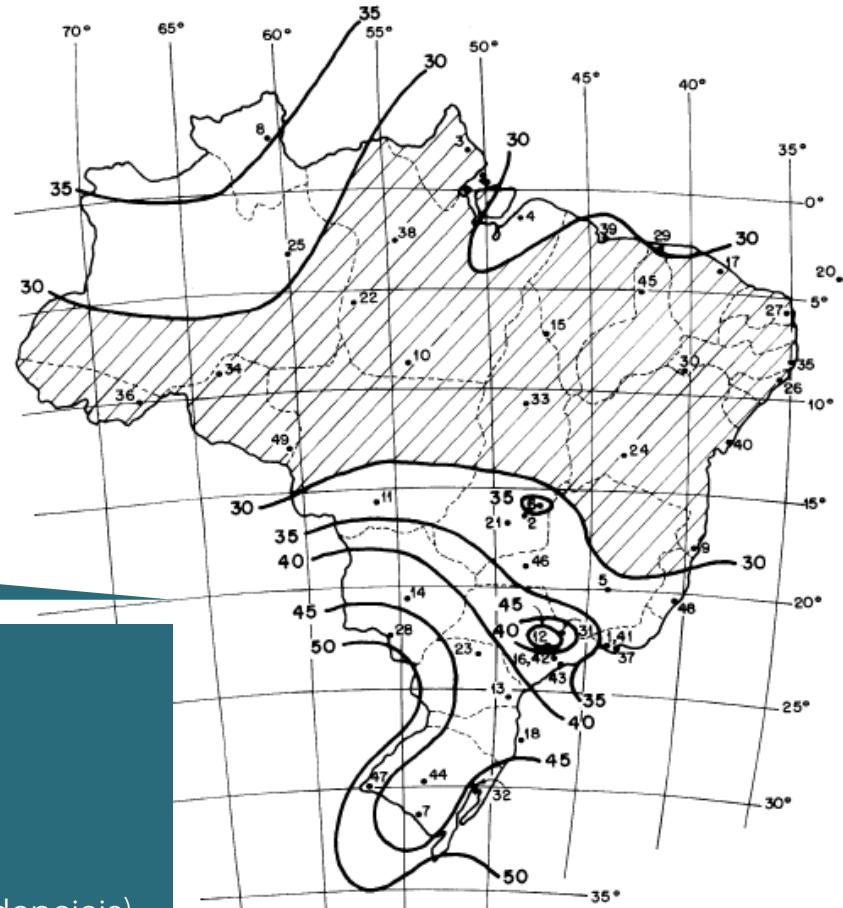
V₀ = 40 m/s (carga de vento)

S₁ = 1 (terreno plano)

S₂ varia com a altura (categoria V, classe B)

S₃ = 1 (grau de segurança e vida útil para edifícios residenciais)

Coeficiente de arrasto = 1 (simplificação)

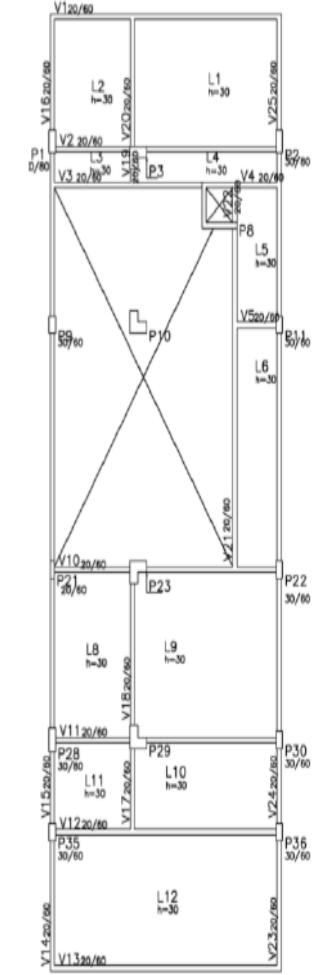
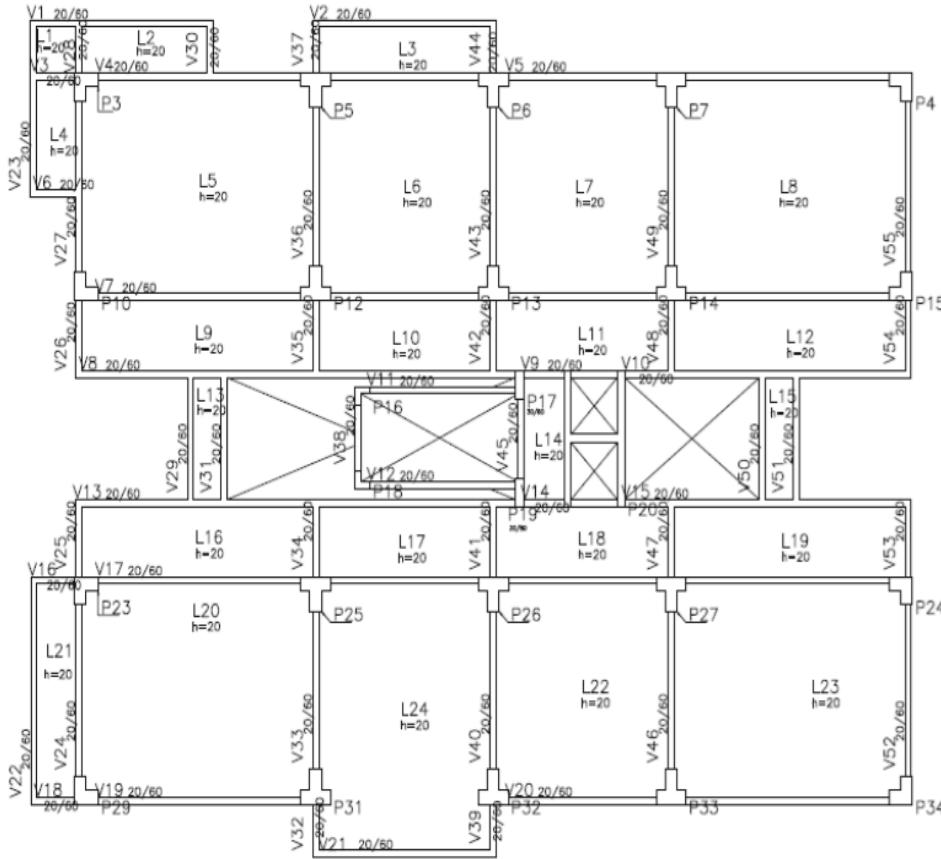


Isopleta de velocidade básica do vento (V_0)

CONCEPÇÃO INICIAL

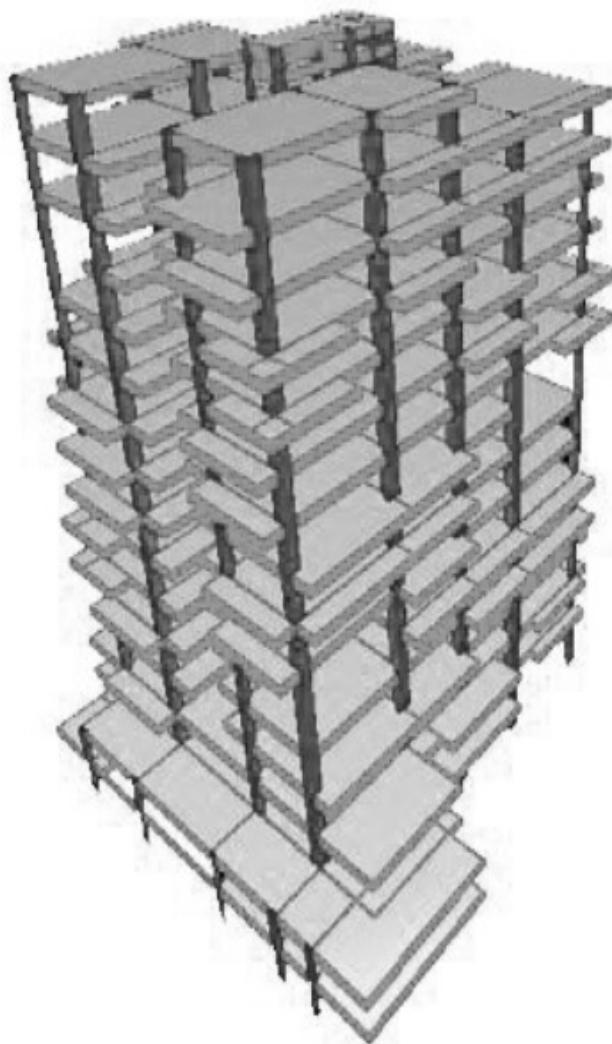
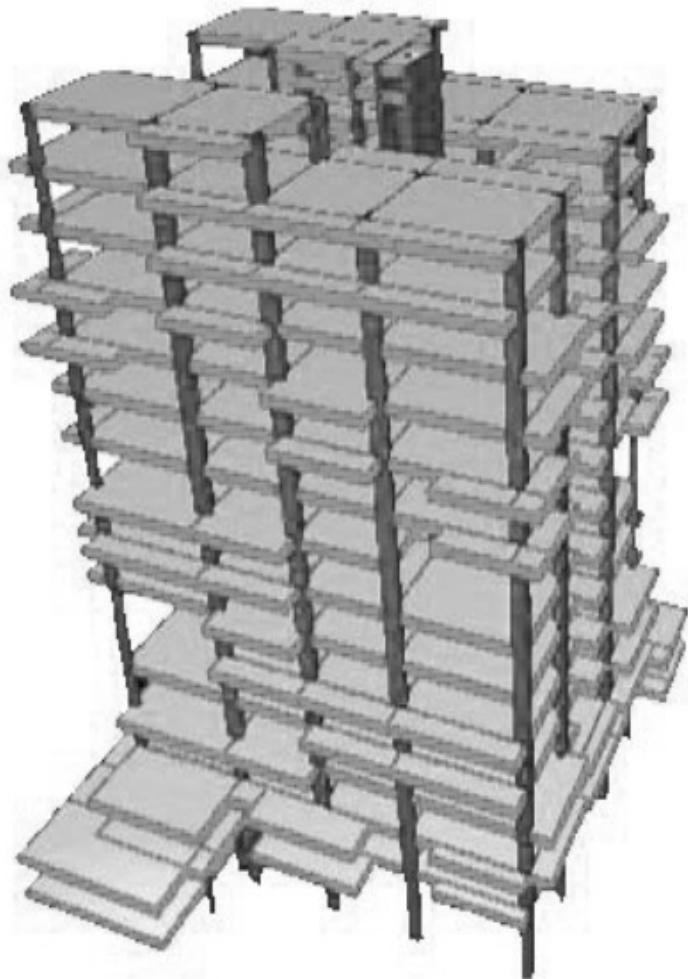


- Atendimento ao alojamento de armaduras das lajes: $h = 20$ cm
- Atendimento ao parâmetro $\gamma_z = 1,063$





MODELO CAD/TQS





REQUISITOS DE DESEMPENHO

! NBR 6118:2014

ELU

CAPACIDADE RESISTENTE

- 1 Solicitações Normais e Tangenciais
- 2 Ações Dinâmicas
- 3 Efeitos de 2^a Ordem
- 4 Ductilidade



Considerado no dimensionamento!

"Estado limite relacionado ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural (...)"

ELS

DESEMPENHO EM SERVIÇO

- 1 Limitação de Flechas
- 2 Abertura de Fissuras
- 3 Ações Dinâmicas



Deve ser verificado!

"Estados limites de serviço são aqueles relacionados à durabilidade das estruturas, aparência, conforto do usuário e a boa utilização funcional das mesmas (...)"



ATENDIMENTO AO DESEMPENHO

! NBR 6118:2014

1 LIMITAÇÃO DE FLECHAS

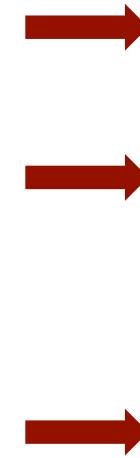
ELS-DEF “O estado limite de deformações excessivas (ELS-DEF) se define pelo estado em que as deformações atingem os limites estabelecidos para a utilização normal dados na tabela a seguir:”

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$\ell /250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$\ell /350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$\ell /250^1)$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$\ell /350 + \text{contraflecha}^2)$
	Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	$\ell /600$
				De acordo com recomendação do fabricante do equipamento



ATENDIMENTO AO DESEMPENHO

	Laje	Flecha Máxima (cm)	Flecha Limite (cm)	Situação de flecha máxima em relação à flecha limite (%)
Elevador	2	0,2	1	20
PT14	5	1,6	2,2	73
PT13	6	1,6	2,3	70
PT12	6	1,8	1,7	106
PT11	21	1,5	2,2	68
PT10	1	1,5	2,3	65
PT9	4	1,9	1,6	119
PT8	11	1,4	2,3	61
PT7	20	1,8	3	60
PT6	13	1,6	2,3	70
PT5	8	1,5	2,3	65
PT4	23	1,9	1,8	106
PT3	21	1,3	2,2	59
PT2	19	1,9	3	63
PT1	27	N/A	N/A	N/A
Abrigo	37	N/A	N/A	N/A
Biblioteca	12	N/A	N/A	N/A
				72



**FLECHAS
ACIMA DO
LIMITE
PERMITIDO**



ATENDIMENTO AO DESEMPENHO

! NBR 6118:2014

2 ABERTURA DE FISSURAS

ELS-W “O estado limite de abertura das fissuras se define pelo estado em que as fissuras se apresentam com aberturas iguais aos máximos, especificados a seguir:”

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	--
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4 \text{ mm}$	Combinação freqüente
	CAA II a CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3 \text{ mm}$	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2 \text{ mm}$	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2 \text{ mm}$	Combinação freqüente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação freqüente
		ELS-D ¹⁾	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D ¹⁾	Combinação freqüente

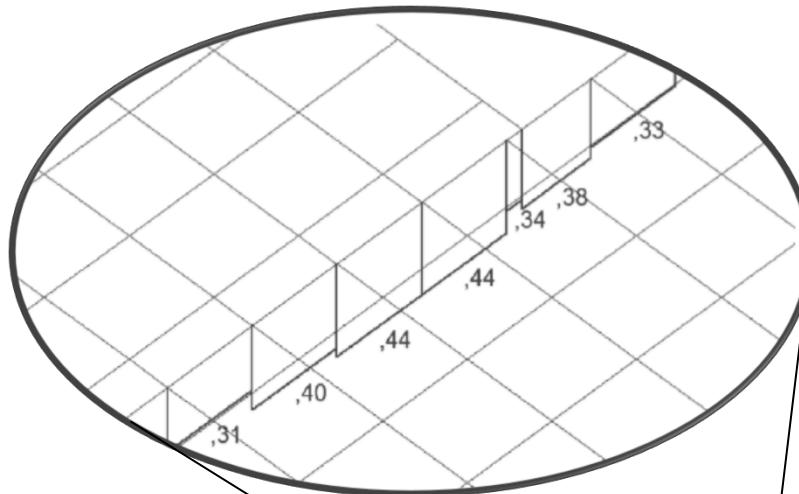
NOTAS:

¹⁾ A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com $a_p = 25 \text{ mm}$ (figura 3.1).

- As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.
- Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.



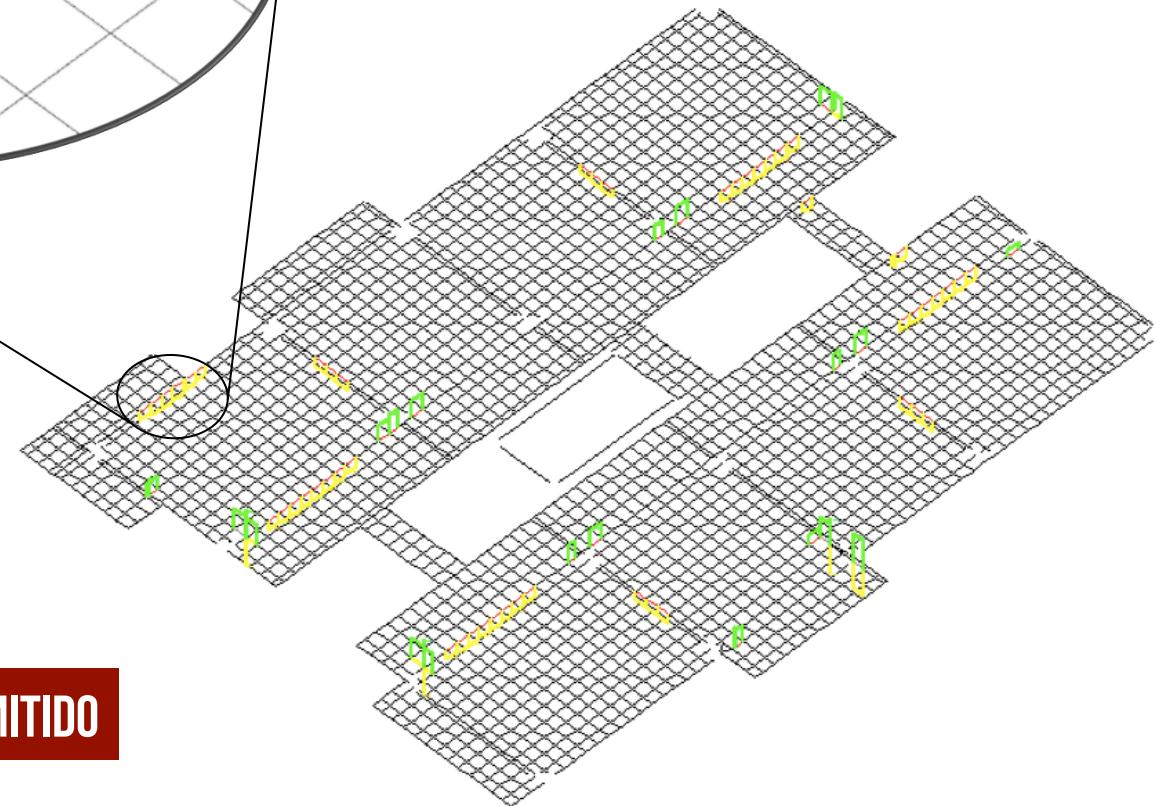
ATENDIMENTO AO DESEMPENHO



$W_k > 0,3 \text{ mm}$



FISSURAS ACIMA DO LIMITE PERMITIDO





ATENDIMENTO AO DESEMPENHO

! ABNT NBR 6118:2014

3

AÇÕES DINÂMICAS

ELS-VE “O estado limite de vibrações excessivas atingem os limites estabelecidos para utilização normal da construção.”

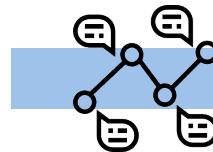
Foram **desconsideradas** todas as observações referentes à cargas cíclicas, uma vez que estas se mostram significativas apenas em projetos de caráter mais dinâmico.



ANÁLISE CRÍTICA

- ELS-DEF e ELS-W: **desempenho em serviço não atendido**
- Opção imediata para atendimento destes ELS: **aumento da resistência do concreto, alteração das seções e adição de vigas/pilares.**

ESTRUTURA CONVENCIONAL FINAL



MEDIDAS ADOTADAS

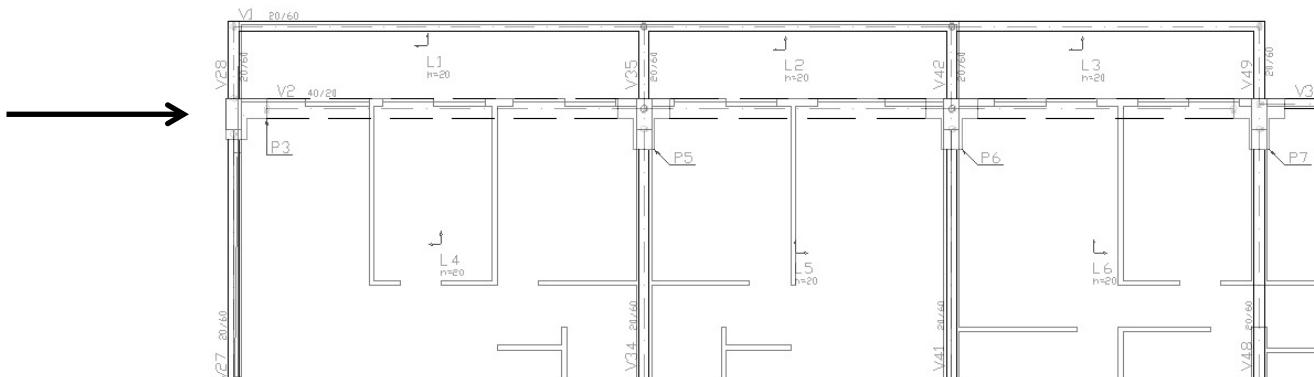
1 AUMENTO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO

Biblioteca & Abrigo: fck 25 → fck 40

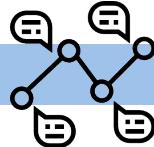
PT9: fck 25 → fck 35

Demais Pavimentos: fck 25 → fck 30

2 ADIÇÃO DE VIGAS ENTRE PILARES

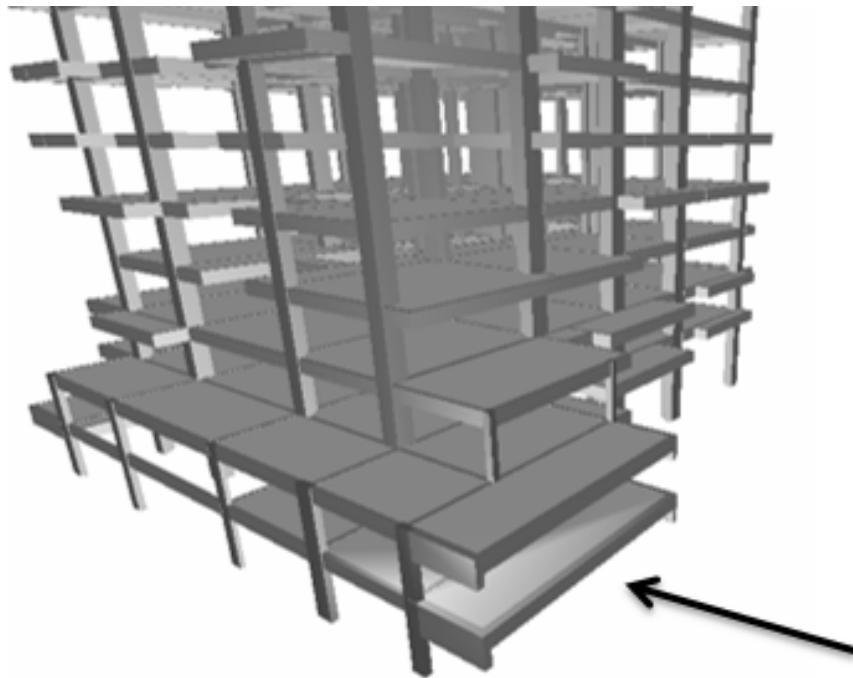
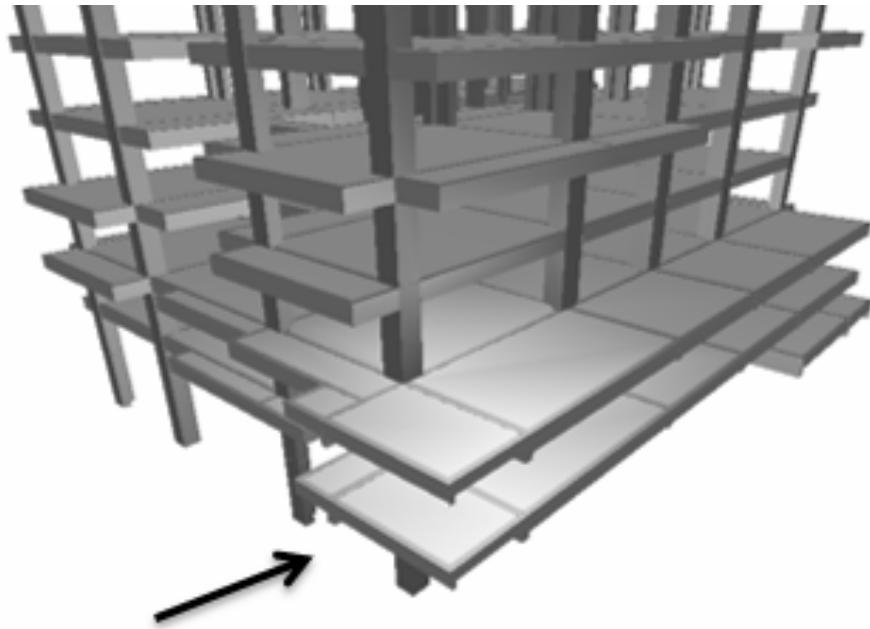


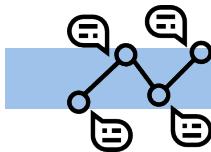
"A viga V2 (40 cm x 20 cm) foi inserida no pavimento PT9 para reduzir deslocamentos verticais das lajes."



MEDIDAS ADOTADAS

3 REDUÇÃO DO COMPRIMENTO E AUMENTO DA ALTURA DE VIGAS EM BALANÇO

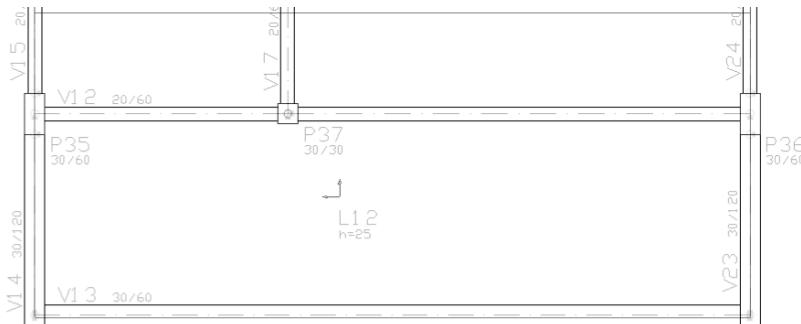




MEDIDAS ADOTADAS

3

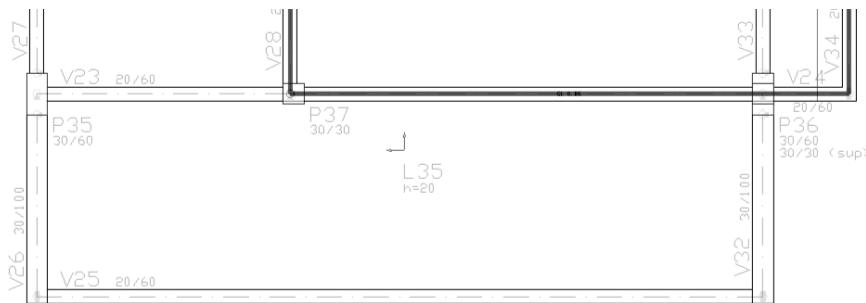
REDUÇÃO DO COMPRIMENTO E AUMENTO DA ALTURA DE VIGAS EM BALANÇO



BIBLIOTECA

Vigas V14 e V23

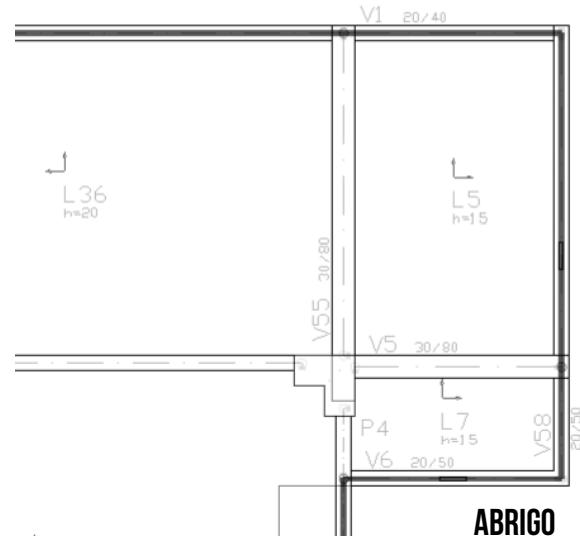
- Comprimento: 4,82 m → 3,09 m
- Seção transversal: 30 x 100 cm → 30 x 120 cm



ABRIGO

Vigas em balanço V26 e V32

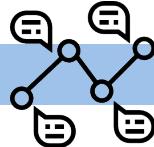
- Comprimento: 4,82 m → 3,09 m
- Seção transversal: mantida



ABRIGO

Vigas V5 e V55

- Comprimento: mantido
- Seção transversal:
20 x 60 cm → 30 x 80 cm



MEDIDAS ADOTADAS

4 DIMINUIÇÃO DAS SEÇÕES DE LAJES E VIGAS DE BORDA DAS VARANDAS/EXTENSÕES

VIGAS DE BORDA

- V1 (abrigado) e V1 (PT1)

Seção alterada de 20x60 cm para 20x40 cm

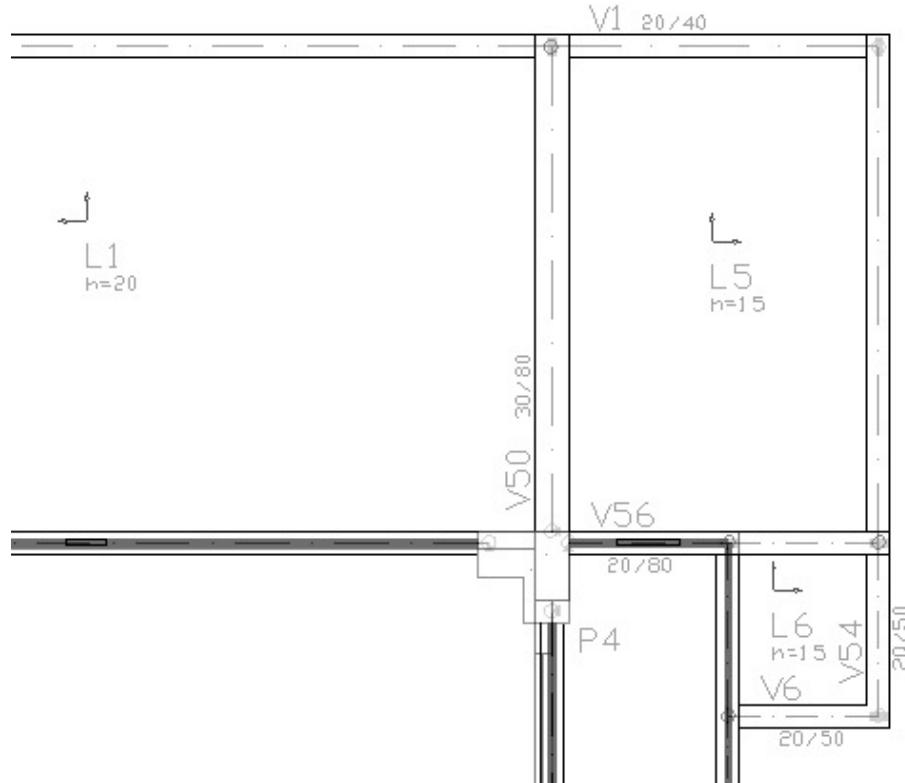
- V58 (abrigado) e V54 (PT1)

Seção alterada de 20x60 cm para 20x50 cm

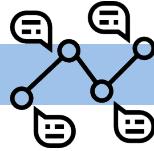
LAJES

- L5 e L7 (abrigado) e L5 e L6 (PT1)

Espessuras reduzidas de 20 cm para 15 cm

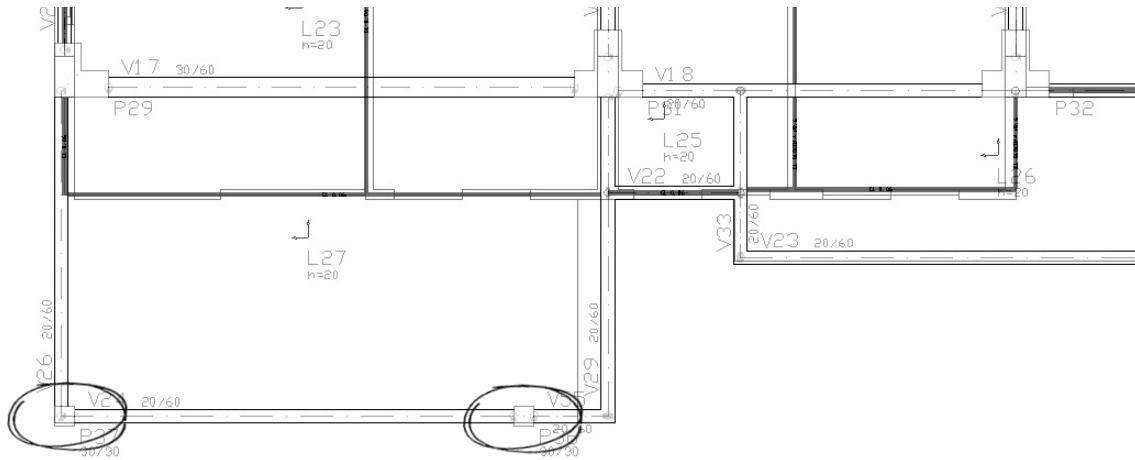


PAVIMENTO PT1



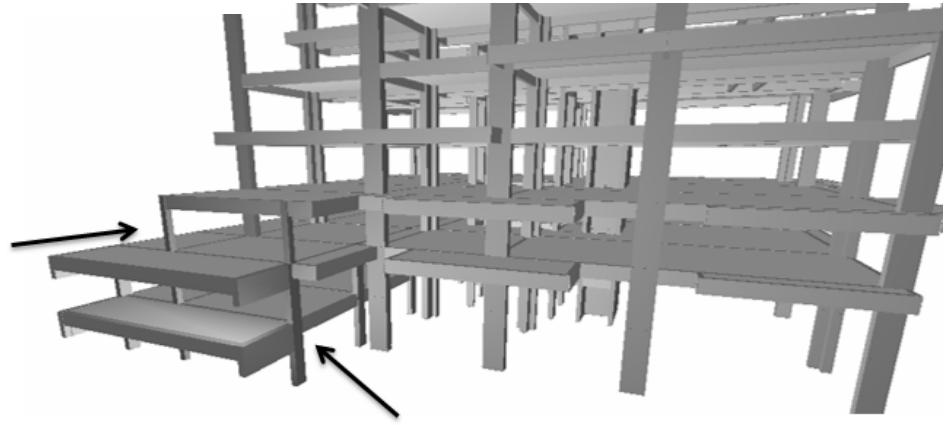
MEDIDAS ADOTADAS

5 ADIÇÃO DE PILARES



PAVIMENTO PT1

COM ADIÇÃO DOS PILARES P36 E P37



• BIBLIOTECA:

Adição do pilar P37, reduzindo o vão livre da viga V12

• ABRIGO:

Adição do pilar P37, reduzindo o vão livre da viga V23

• PT1:

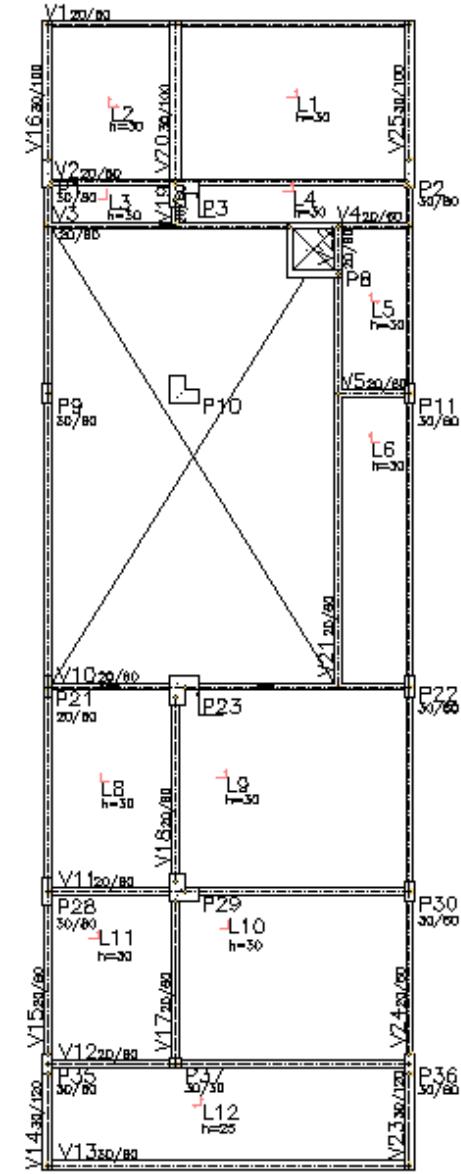
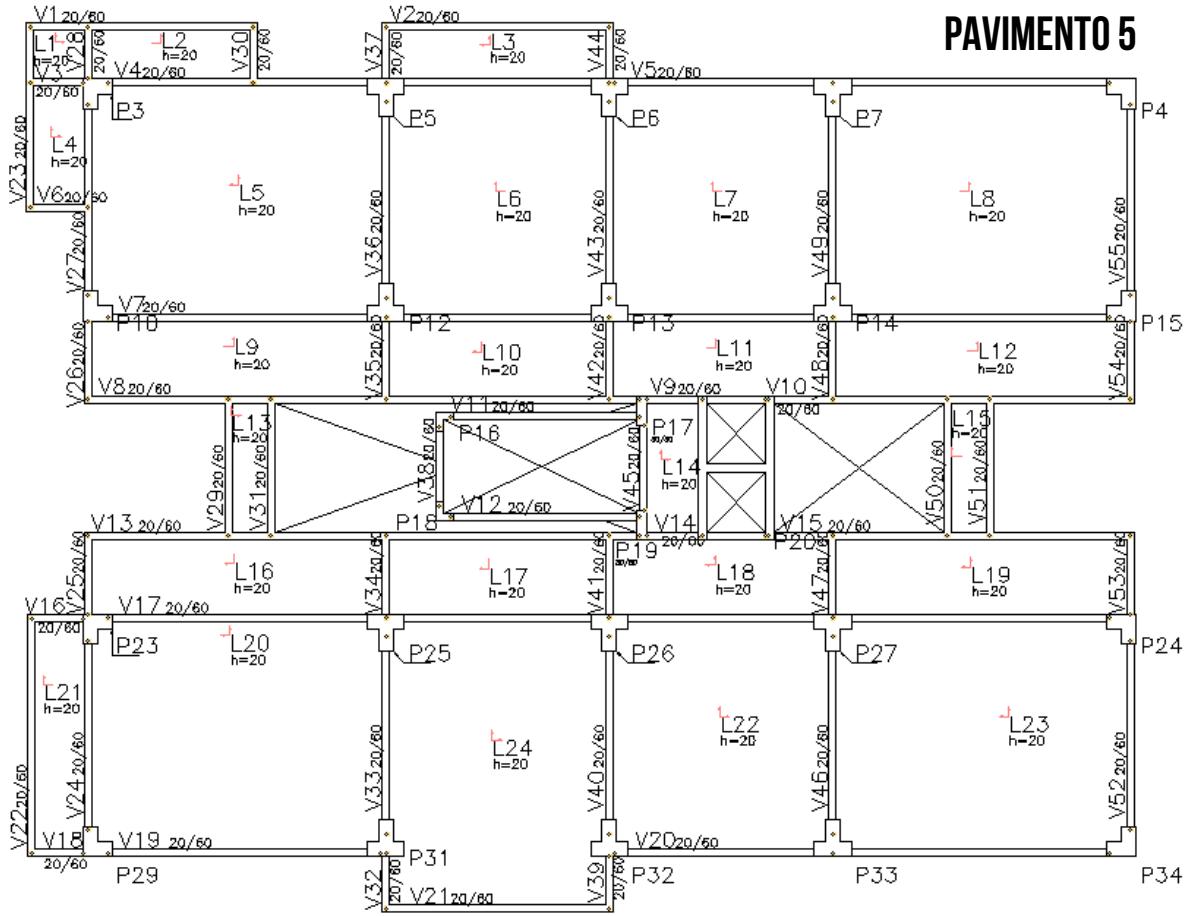
Adição dos pilares P36 e P37, reduzindo o vão livre da viga V26 e extinguindo o balanço existente

CONCEPÇÃO FINAL



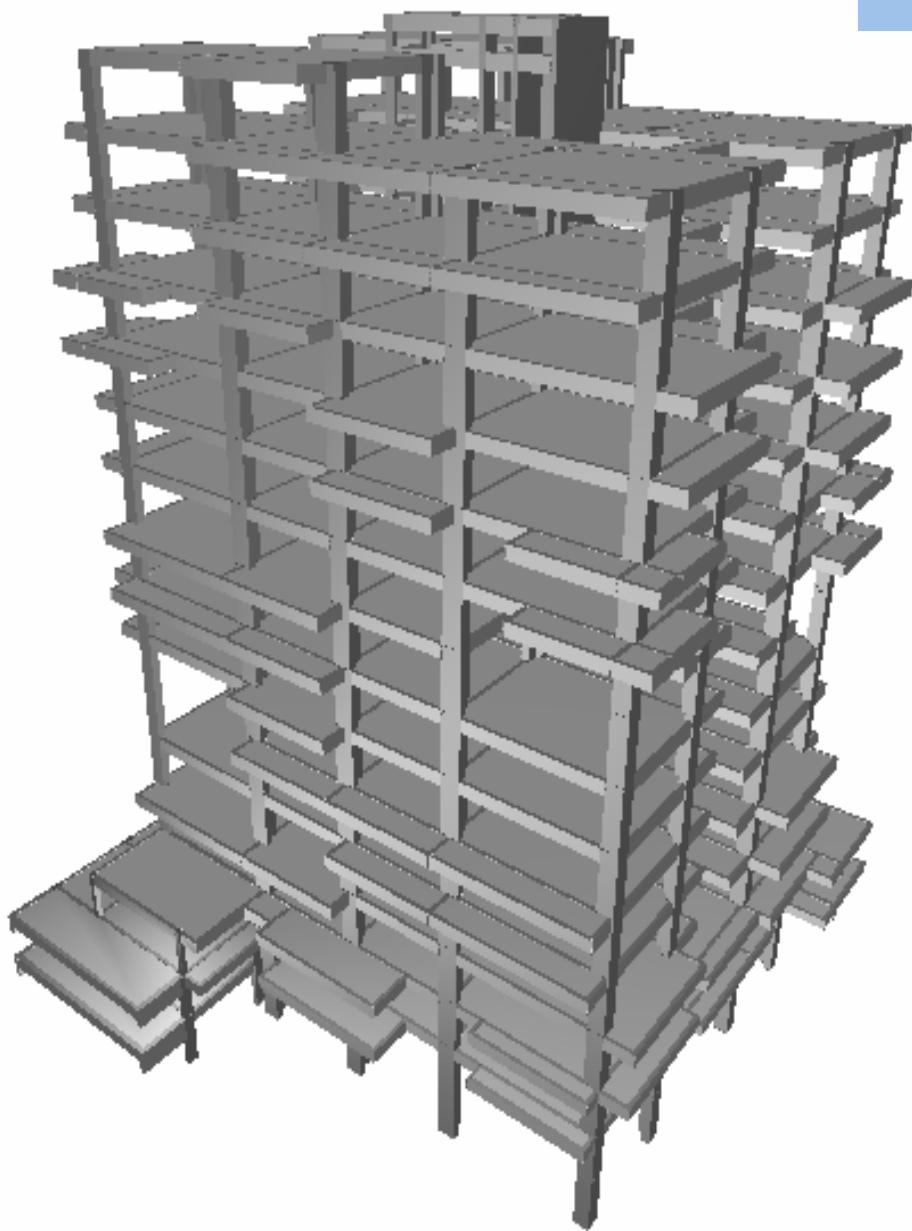
BIBLIOTECA

PAVIMENTO 5





MODELO CAD/TQS





ATENDIMENTO AO DESEMPENHO

LAJE MACIÇA				
	Laje	Flecha Máxima (cm)	Flecha Limite (cm)	Situação de flecha máxima em relação à flecha limite (%)
Elevador	2	0,2	1	20
PT14	5	1,5	2,2	68
PT13	6	1,4	2,3	61
PT12	6	1,6	1,7	94
PT11	21	1,4	2,2	64
PT10	1	1,4	2,3	61
PT9	4	1,6	1,6	100
PT8	11	1,2	2,3	52
PT7	20	1,6	3	53
PT6	13	1,5	2,3	65
PT5	8	1,1	2,3	48
PT4	23	1,7	1,8	94
PT3	21	1,2	2,2	55
PT2	19	1,8	3	60
PT1	5	2,9	3	97
Abrigo	5	2,7	3	90
Biblioteca	1	1,8	2,3	78
				68

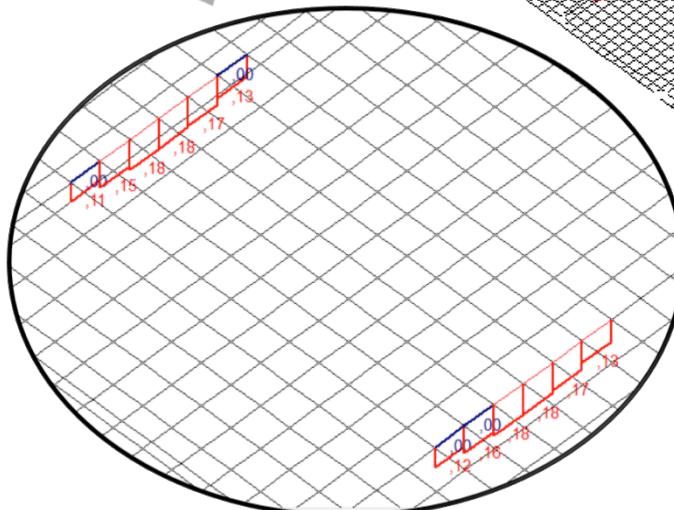
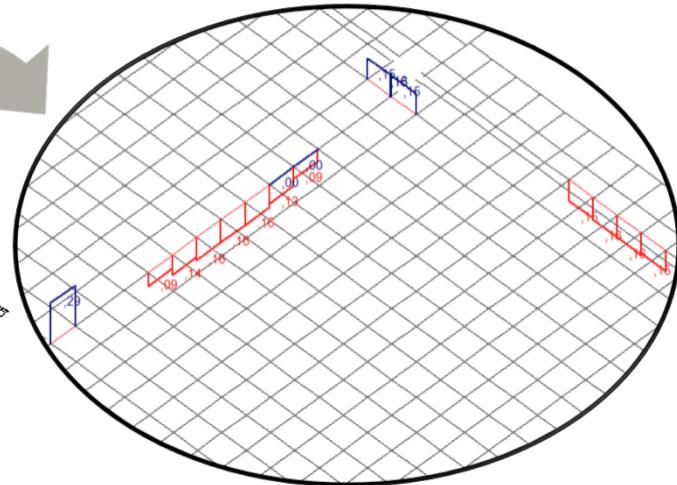
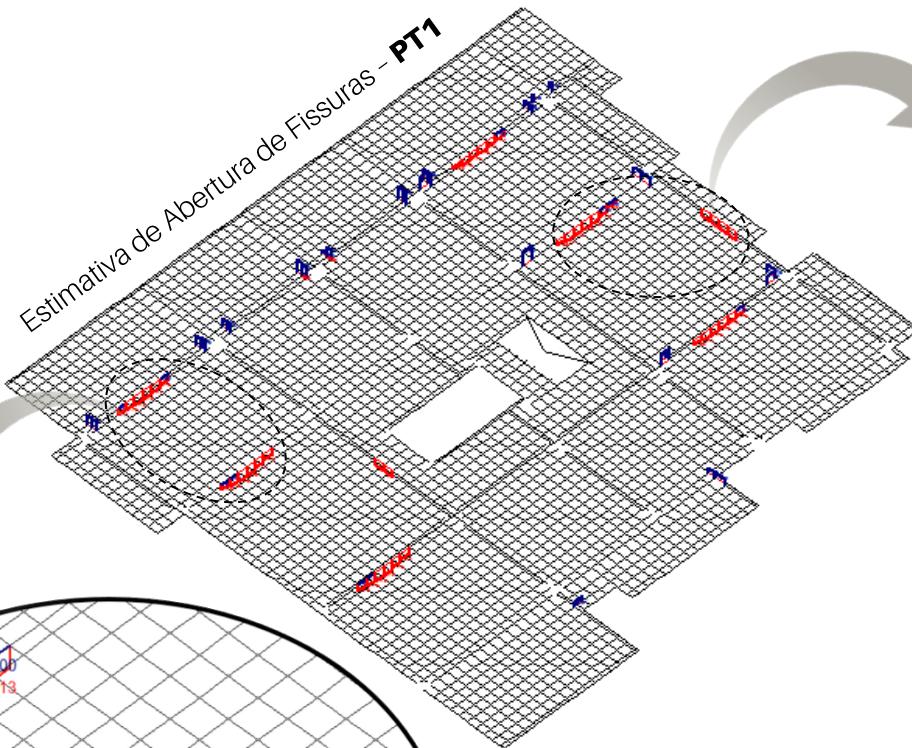
FLECHAS ≤ FLECHAS LIMITE



SOLUÇÃO ATENDE AO ELS-D



ATENDIMENTO AO DESEMPENHO

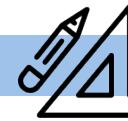


$W_k < 0,3 \text{ mm}$

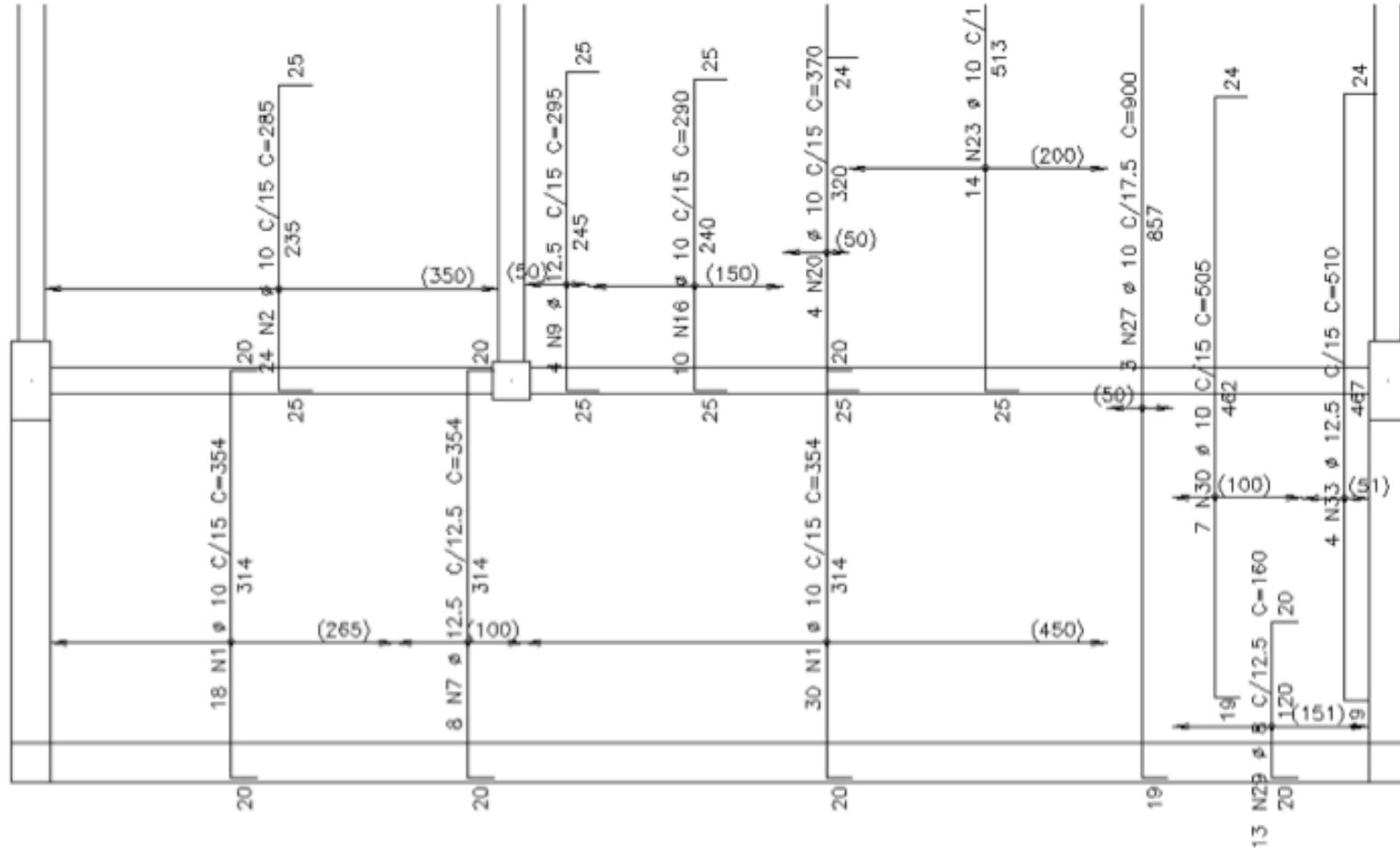


SOLUÇÃO ATENDE AO ELS-W

DETALHAMENTO DE ARMADURAS

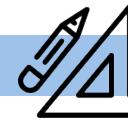


CAD/TQS: DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS SEGUNDO CRITÉRIOS DA NBR 6118

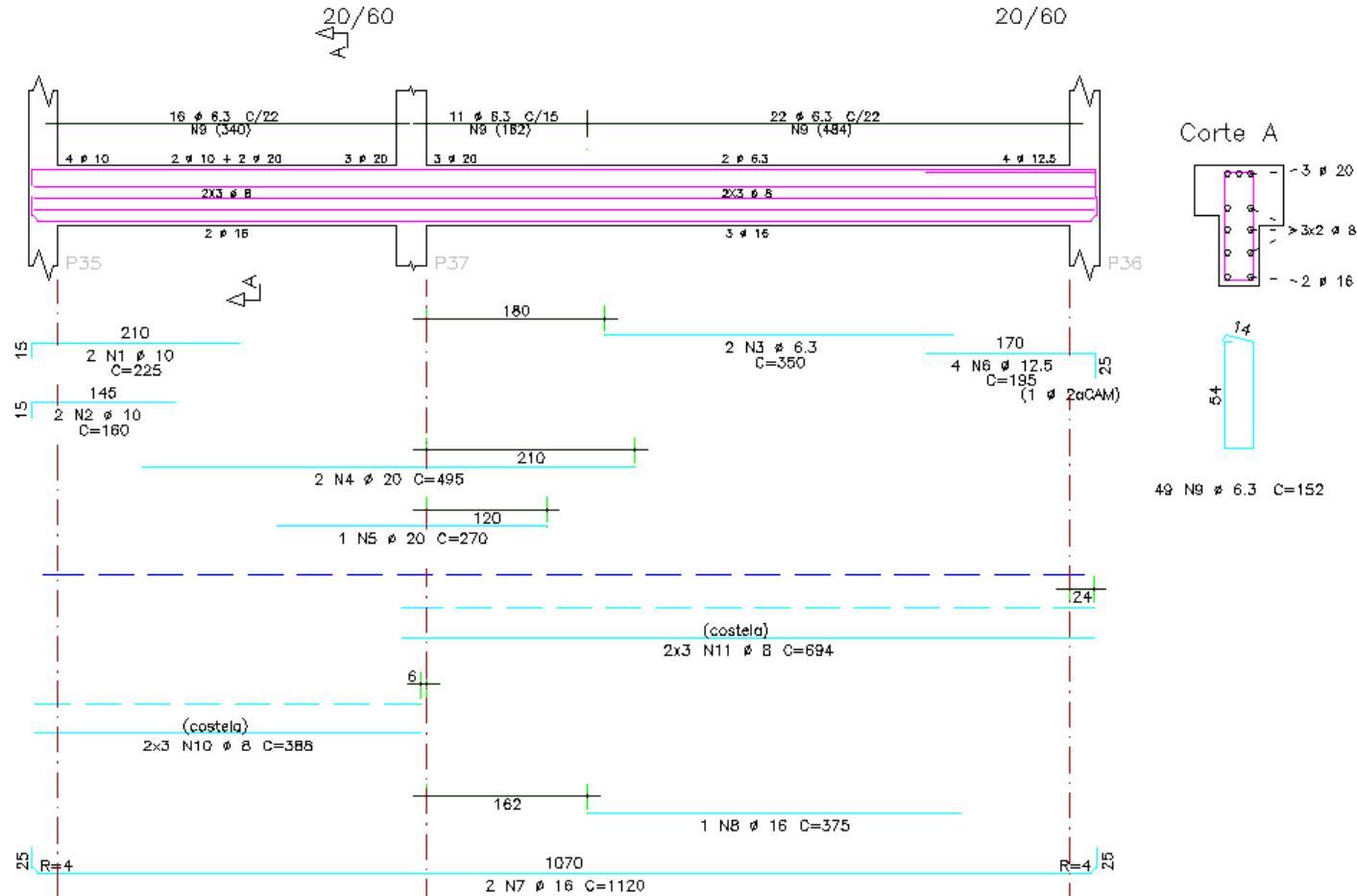


Armaduras verticais negativas nas lajes **L10** ($h = 30 \text{ cm}$), **L11** ($h = 30 \text{ cm}$) e **L12** ($h = 25 \text{ cm}$) da **Biblioteca**

DETALHAMENTO DE ARMADURAS



CAD/TQS: DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS SEGUNDO CRITÉRIOS DA NBR 6118

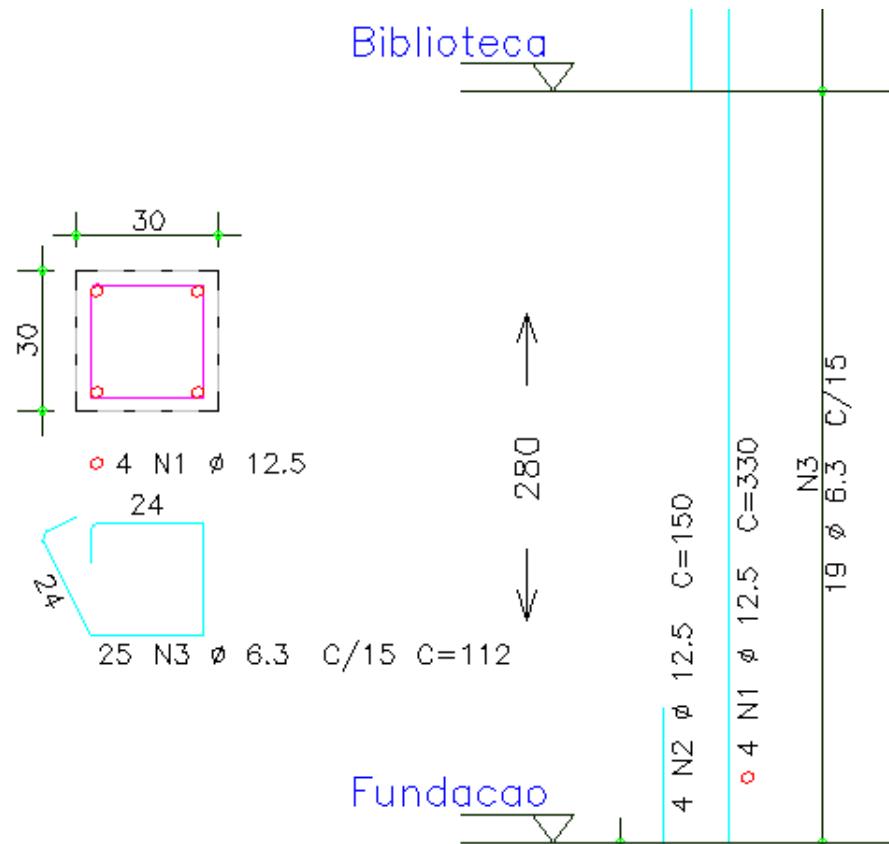


Armaduras da viga **V12** (20 cm x 60 cm)

DETALHAMENTO DE ARMADURAS

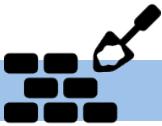


CAD/TQS: DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS SEGUNDO CRITÉRIOS DA NBR 6118



Armaduras do pilar **P37** (30 cm x 30 cm)

QUANTITATIVOS



Pavimento	Taxas	
	Consumo de Armadura (kg/m³)	Consumo de Fôrmas (m²/m³)
BIBLIOTECA	88,54	5,77
ABRIGO	66,08	6,20
PT1	66,94	6,09
PT2	63,32	6,35
PT3	61,76	6,39
PT4	65,41	6,43
PT5	61,90	6,38
PT6	65,58	6,41
PT7	63,62	6,40
PT8	61,86	6,40
PT9	67,78	6,38
PT10	61,37	6,41
PT11	62,55	6,47
PT12	61,65	6,37
PT13	61,23	6,38
COBERTURA	55,96	6,59
ELEVADOR	64,25	7,40
MÉDIA	64,7	6,4

Pavimento	Concreto (m³)				Fôrmas (m²)				Armadura (kg)			
	Pilares (m³)	Vigas (m³)	Lajes (m³)	Total (m³)	Pilares (m²)	Vigas (m²)	Lajes (m²)	Total (m²)	Pilares (kg)	Vigas (kg)	Lajes (kg)	Total (kg)
BIBLIOTECA	49,1	25,2	62,5	136,8	365,3	209,3	214,6	789,2	5714,3	2393,2	4005,1	12112,6
ABRIGO	43,8	50,1	161,8	255,7	326,2	447,2	812,7	1586,1	1289,9	6062,3	9545,6	16897,8
PT1	37,1	41,8	144,7	223,6	258,7	376,2	726,5	1361,4	2126,4	5332,4	7507,9	14966,7
PT2	41	31,6	96,8	169,4	283	308,9	483,8	1075,7	2321,8	3266,1	5138,9	10726,8
PT3	41	35,2	100,1	176,3	283	343,8	500,3	1127,1	2307,7	3590,8	4990,2	10888,7
PT4	41	34,2	93,5	168,7	283	334,2	467,5	1084,7	2375,4	3636,4	5022,7	11034,5
PT5	41	33,8	96,5	171,3	283	327,7	482,7	1093,4	2232,9	3533,6	4837,2	10603,7
PT6	41	33,6	90,9	165,5	283	323,5	454,4	1060,9	2375,4	3688	4790,3	10853,7
PT7	41	32,2	90,7	163,9	283	312,4	453,7	1049,1	2300,6	3232,7	4894,8	10428,1
PT8	41	38,4	102,3	181,7	283	369,3	511,4	1163,7	2232,9	3819	5187,7	11239,6
PT9	41	36,4	100,8	178,2	283	349,3	504	1136,3	2307,7	4218,6	5552,2	12078,5
PT10	41	33,3	96,8	171,1	283	328,9	484,2	1096,1	2307,7	3277,6	4915,3	10500,6
PT11	41	35,7	93,4	170,1	283	350,2	466,9	1100,1	2375,4	3429,1	4835,2	10639,7
PT12	41	34,2	99,6	174,8	283	331,6	498,2	1112,8	2232,9	3423,9	5120	10776,8
PT13	41	34,9	101,3	177,2	283	340,2	506,7	1129,9	2248,3	3321,8	5279,7	10849,8
COBERTURA	28,5	13,1	36,7	78,3	202,4	130,2	183,3	515,9	1534,9	1155,6	1690,9	4381,4
ELEVADOR	3,7	2,4	4,6	10,7	33	23,3	22,9	79,2	208,3	201,8	277,4	687,5
MÉDIA	654,2	546,1	1573	2773,3	4581,6	5206,2	7773,8	17561,6	38492,5	57582,9	83591,1	179666,5

ESTRUTURA

ALTERNATIVA

COM LAJES NERVURADAS



PRÉ-DIMENSIONAMENTO

LAJES

Altura total da nervura (ht) = 28 cm

Largura da nervura (bw) = 8,4 cm

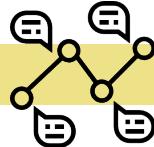
Vôo efetivo (l_0) máximo = 47,6 cm

VIGAS E PILARES

Dimensões iguais às da solução convencional

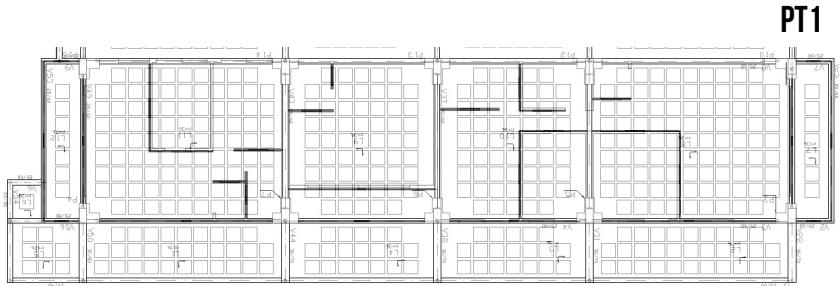
ATEX 660

ALTURA DA FÓRMA	ESPESURA DA LÂMINA	ALTURA TOTAL	LARGURA DA NERVURA			ÁREA DA SEÇÃO	DISTÂNCIA DO C.G. à		INÉRCIA	MÓDULO DE FLEXÃO		VOLUME DO VAZIO		PESO PRÓPRIO	VOLUME DE CONCRETO
			INFERIOR	SUPERIOR	MÉDIA		FACE SUPERIOR	FACE INFERIOR		W _s	W _i	cm ³	cm ³	m ³	m ³ /m ²
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm ²	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm ³	m ³	m ³ /m ²	kN/m ²	m ³ /m ²
16,0	5,0	21,0	12,0	15,0	13,5	546	6,5	14,5	18869	2885	1305	0,044	0,101	2,73	0,109
	7,5	23,5				711	7,2	16,3	26637	3684	1637			3,35	0,134
	10,0	26,0				876	8,1	17,9	36353	4471	2034			3,98	0,159
18,0	5,0	23,0	12,0	15,0	13,5	573	7,3	15,7	24678	3394	1569	0,050	0,114	2,90	0,116
	7,5	25,5				738	7,8	17,7	33992	4336	1925			3,53	0,141
	10,0	28,0				903	8,7	19,3	45220	5210	2341			4,15	0,166
21,0	5,0	26,0	12,0	17,2	14,6	637	8,5	17,5	36182	4277	2063	0,056	0,127	3,33	0,133
	7,5	28,5				802	9,0	19,5	48625	5427	2488			3,95	0,158
	10,0	31,0				967	9,7	21,3	62981	6480	2960			4,58	0,183
26,0	5,0	31,0	12,0	19,7	15,9	743	10,5	20,5	61721	5861	3015	0,065	0,150	4,00	0,160
	7,5	33,5				908	10,9	22,6	80525	7401	3560			4,63	0,185
	10,0	36,0				1073	11,5	24,5	101169	8782	4133			5,25	0,210
30,0	5,0	35,0	12,0	22,2	17,1	843	12,2	22,8	89505	7313	3933	0,072	0,165	4,63	0,185
	7,5	37,5				1008	12,5	25,0	114715	9155	4594			5,25	0,210
	10,0	40,0				1173	13,1	26,9	141746	10820	5269			5,88	0,235
d1	ds	D	b1	bs	br	A	rs	ri	I	W _s	W _i	V/V		Concreto 25 kN/m ³	



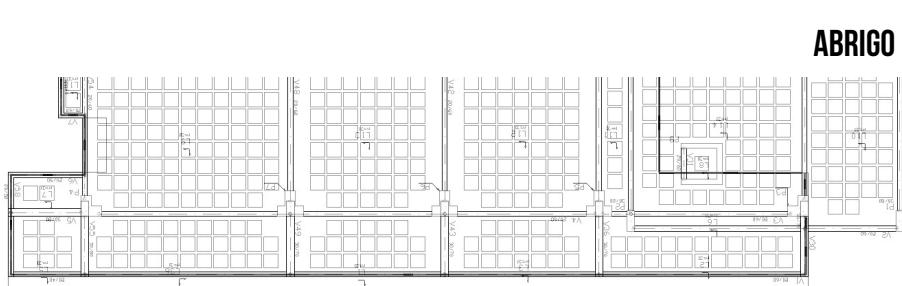
MEDIDAS ADOTADAS

1 REDUÇÃO DO COMPRIMENTO DE VIGAS EM BALANÇO



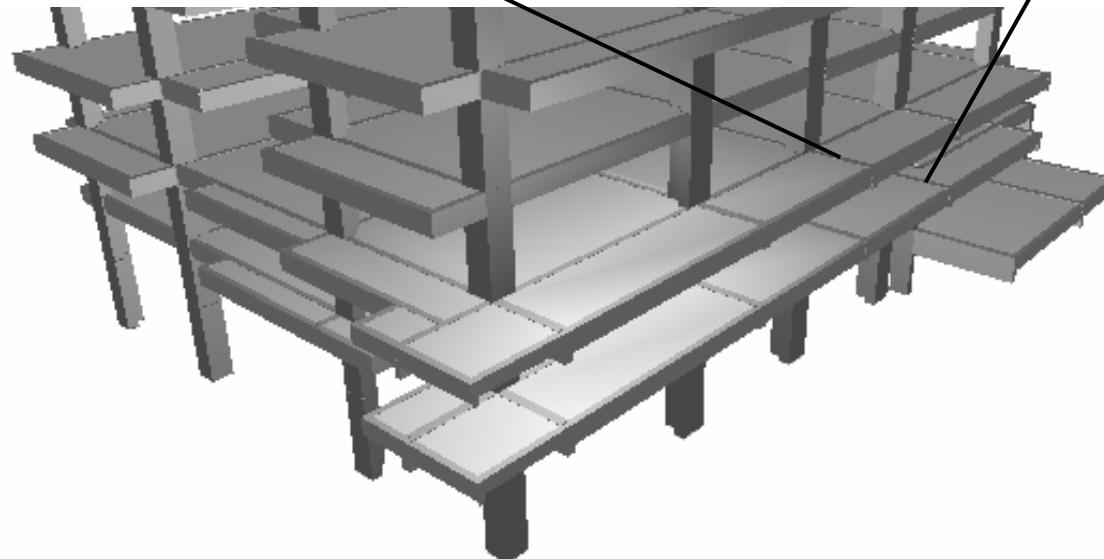
Vigas **V28, V31, V38, V44 e V50**

Comprimento: 4,45 m → 2,45 m



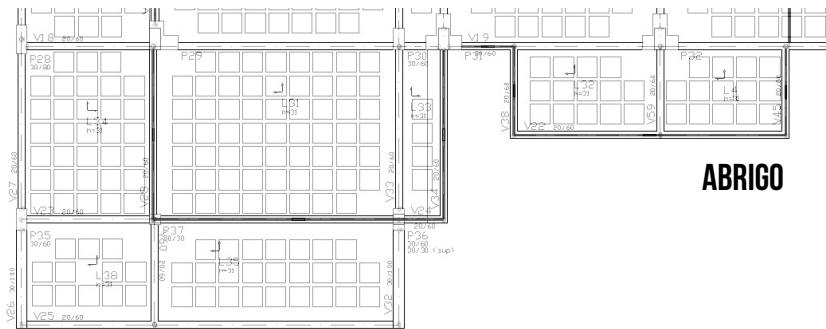
Vigas **V30, V36, V43, V49 e V45**

Comprimento: 4,45 m → 2,45 m

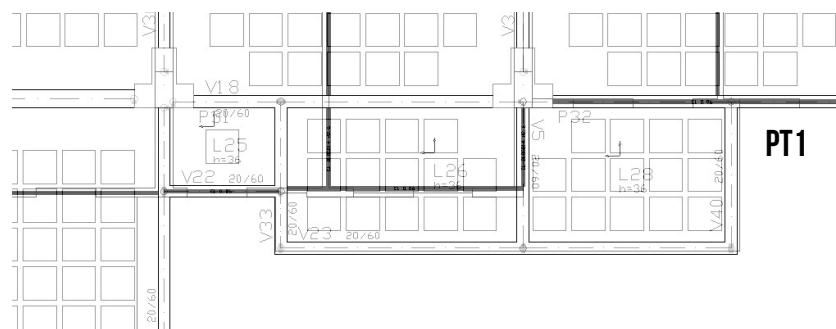




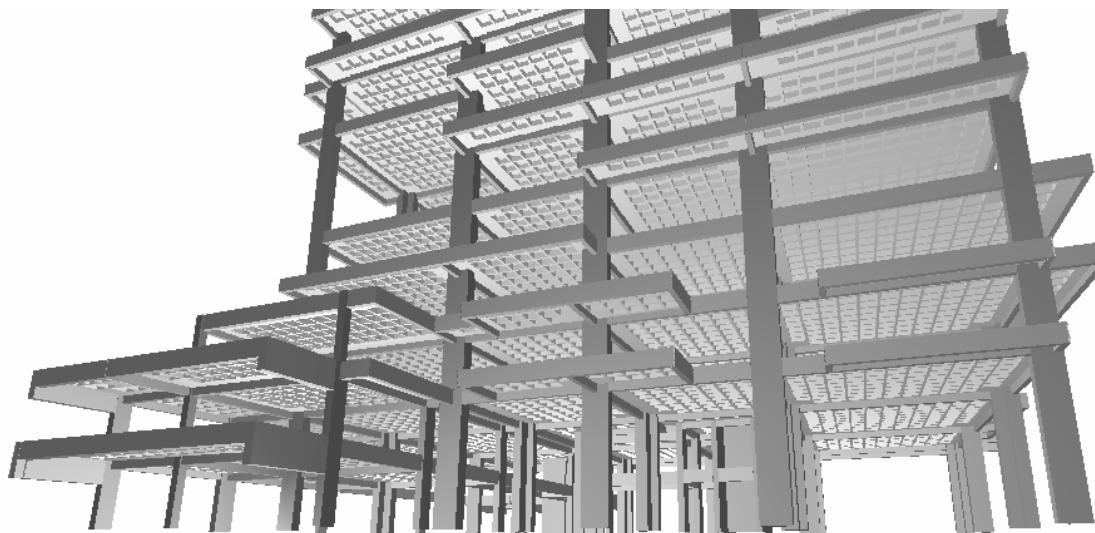
2 ADIÇÃO DE VIGAS EM BALANÇO EM VARANDAS E EXTENSÕES

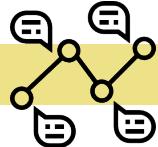


Adição da vigas **V59** e **V60**, com seção 20 x 60 cm



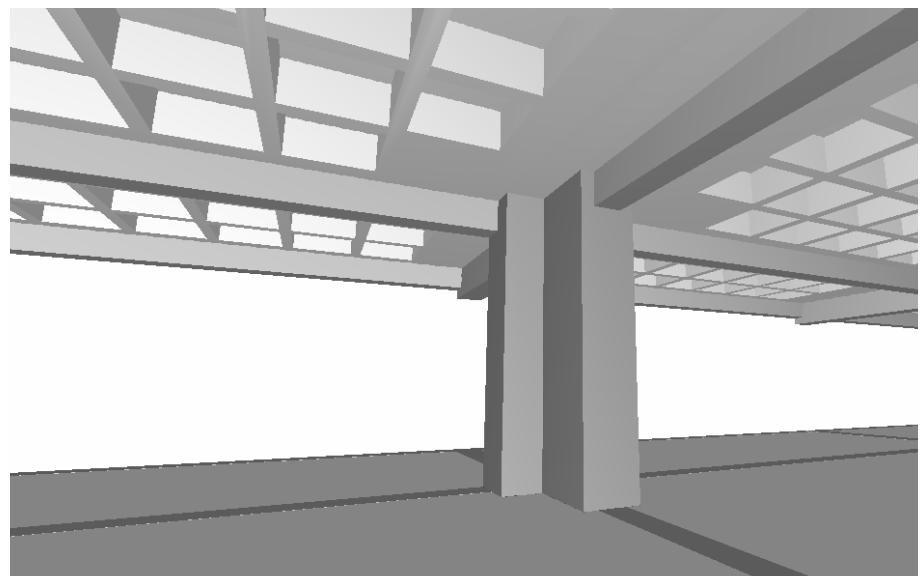
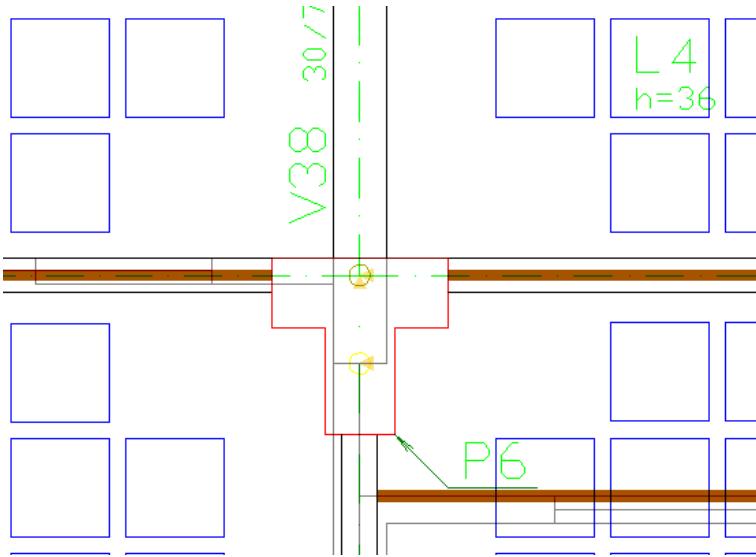
Adição da viga **V5**, com seção 20 x 60 cm



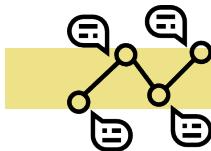


MEDIDAS ADOTADAS

3 RETIRADA DE CUBETAS EM REGIÕES PRÓXIMAS AOS PILARES E VIGAS



REGIÃO PRÓXIMA AO P6, QUE SE REPETE EM TODOS OS PILARES



MEDIDAS ADOTADAS

4 UTILIZAÇÃO DE CUBETAS COM MENOR CONSUMO DE MATERIAL

- Cubetas de espaçamento muito maiores que 660 mm → deslocamentos elevados
- Cubetas de espaçamento menores que 660 mm → alto consumo de material
- Cubetas com altura de nervura muito elevada → alto consumo de material e problemas de desempenho (pé-direito)
- Cubetas com altura de nervura muito baixa → problemas de deslocamento e de dimensionamento
- Cubetas com largura de nervura muito alta → alto consumo de material
- Cubetas com largura de nervura muito baixa → problemas de dimensionamento (armaduras) e desempenho (incêndio)

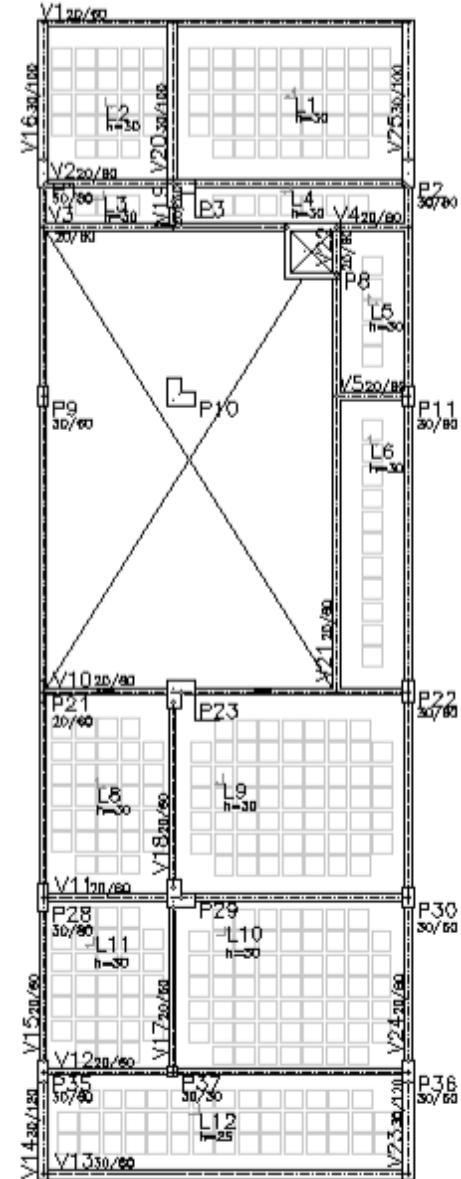
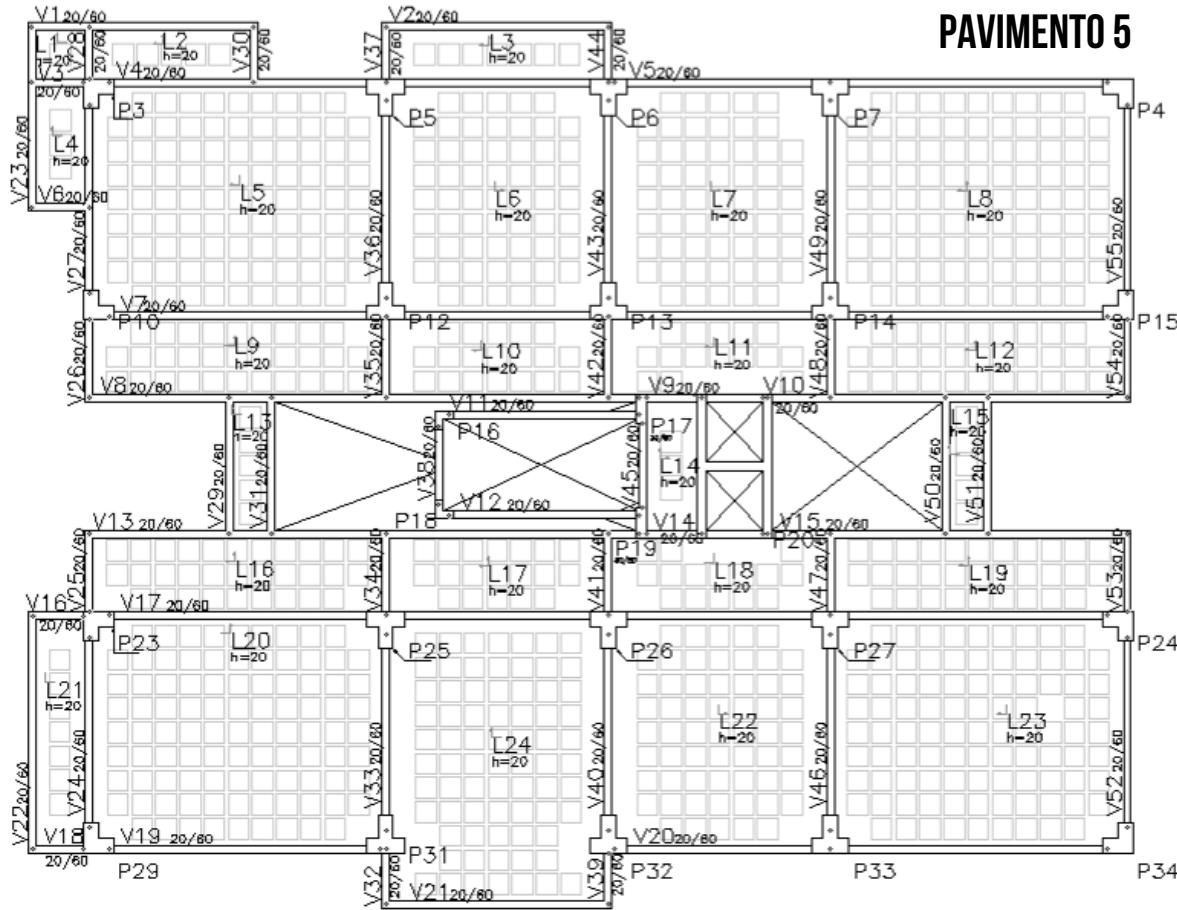
CONCEPÇÃO FINAL



BIBLIOTECA

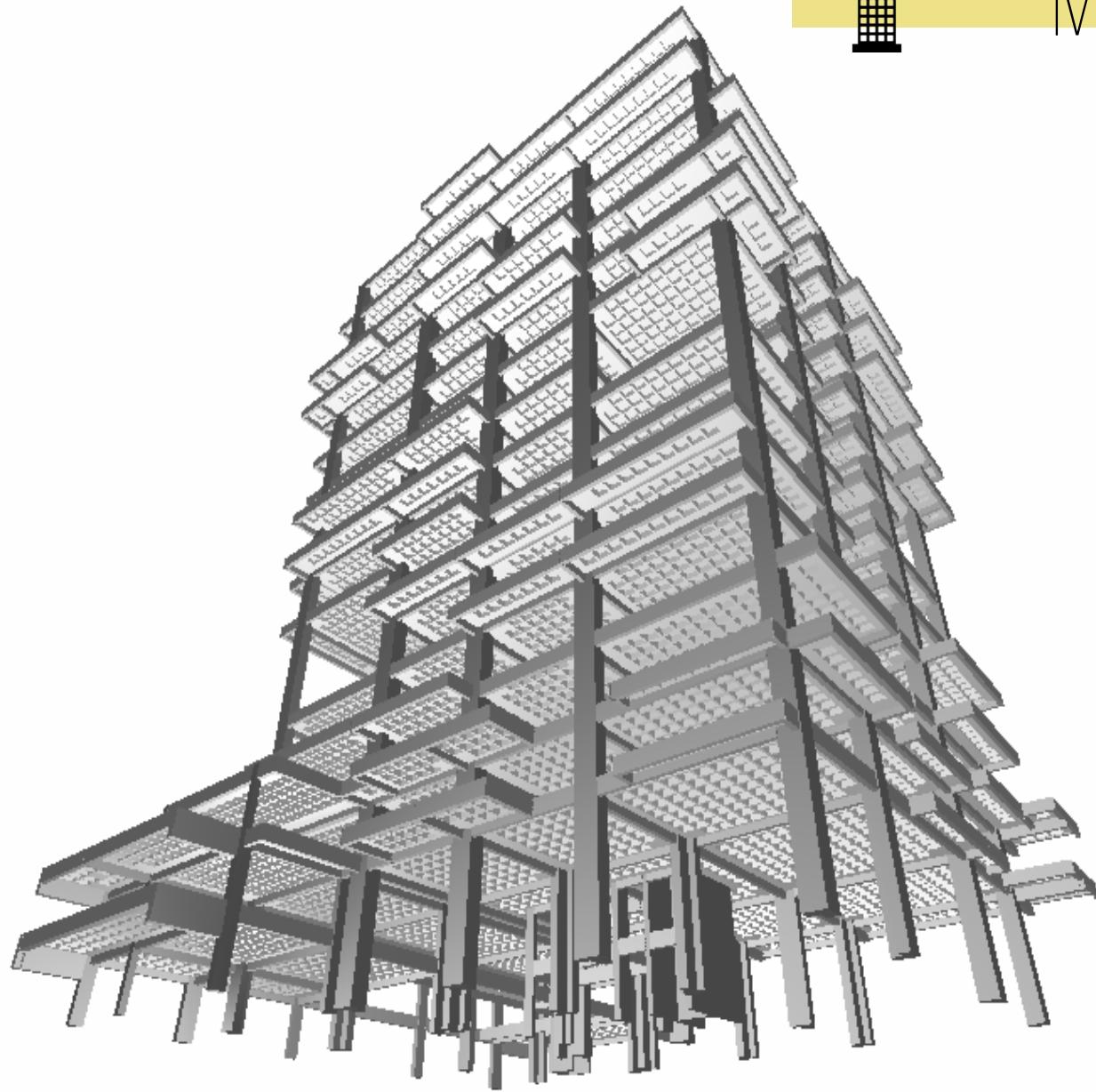
- Atendimento ao parâmetro $\gamma_z = 1,060$

PAVIMENTO 5





MODELO CAD/TQS





ATENDIMENTO AO DESEMPENHO

LAJE NERVURADA				
	Laje	Flecha Máxima (cm)	Flecha Limite (cm)	Situação de flecha máxima em relação à flecha limite (%)
Elevador	2	0,2	1	20
PT14	5	1	2,2	45
PT13	19	1,2	2,3	52
PT12	6	1,2	2,2	55
PT11	24	2,1	2,2	95
PT10	22	2,1	2,3	91
PT9	27	1,9	2,3	83
PT8	29	1,9	2,3	83
PT7	1	1,9	3	63
PT6	11	1,7	2,3	74
PT5	11	1,7	2,3	74
PT4	2	1,9	1,9	100
PT3	14	1,1	2,2	50
PT2	19	1,2	2,8	43
PT1	15	1,6	2,9	55
Abrigo	35	1,8	3	60
Biblioteca	13	2,5	2,5	100
				67

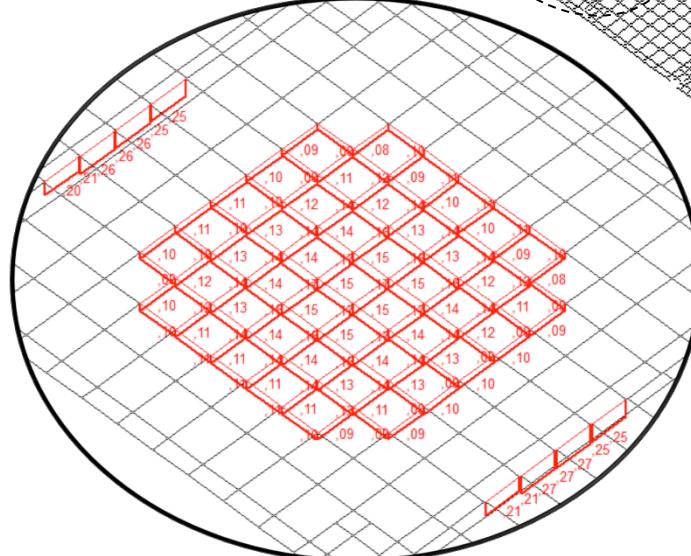
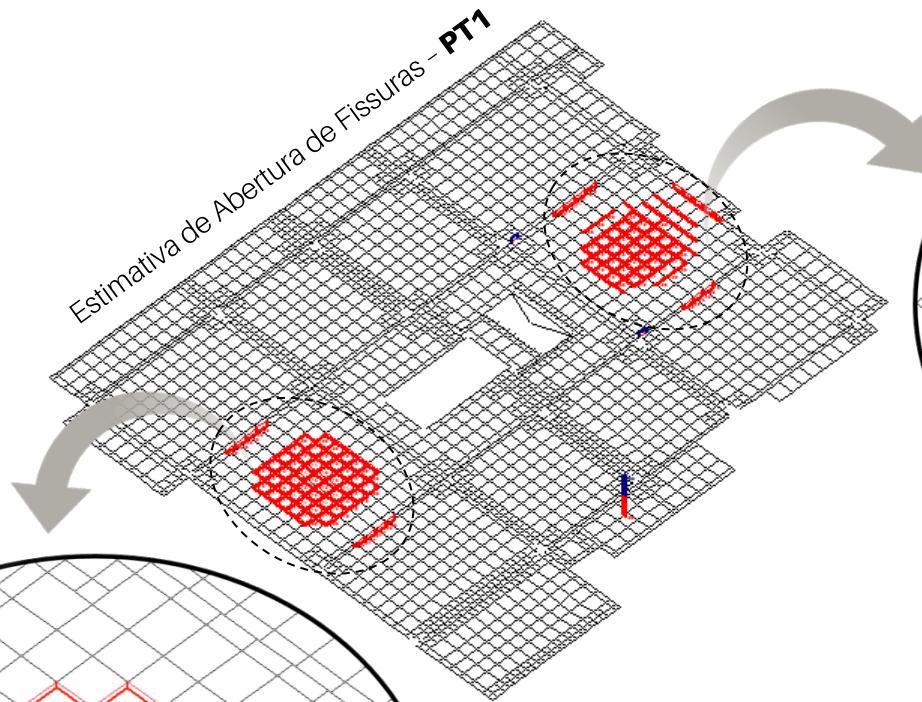
FLECHAS ≤ FLECHAS LIMITE



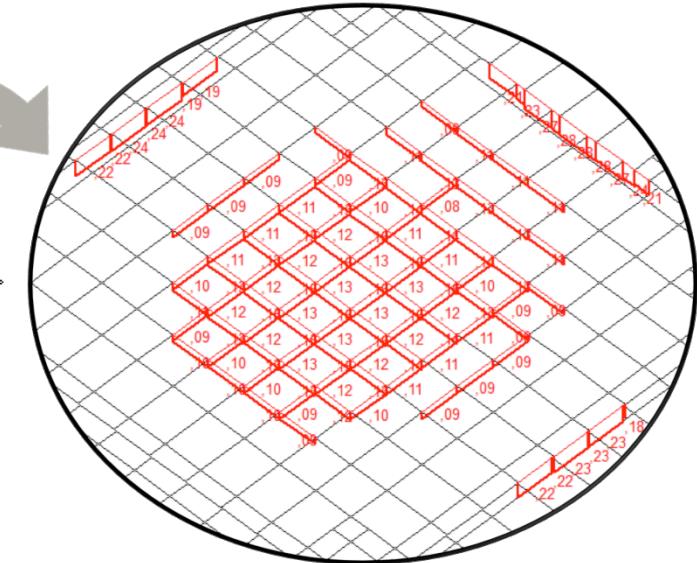
SOLUÇÃO ATENDE AO ELS-D



ATENDIMENTO AO DESEMPENHO



Abertura máxima de **0,27 mm**



Abertura máxima de **0,28 mm**

$W_k < 0,3 \text{ mm}$



SOLUÇÃO ATENDE AO ELS-W

DETALHAMENTO DE ARMADURAS



CAD/TQS: DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS SEGUNDO CRITÉRIOS DA NBR 6118

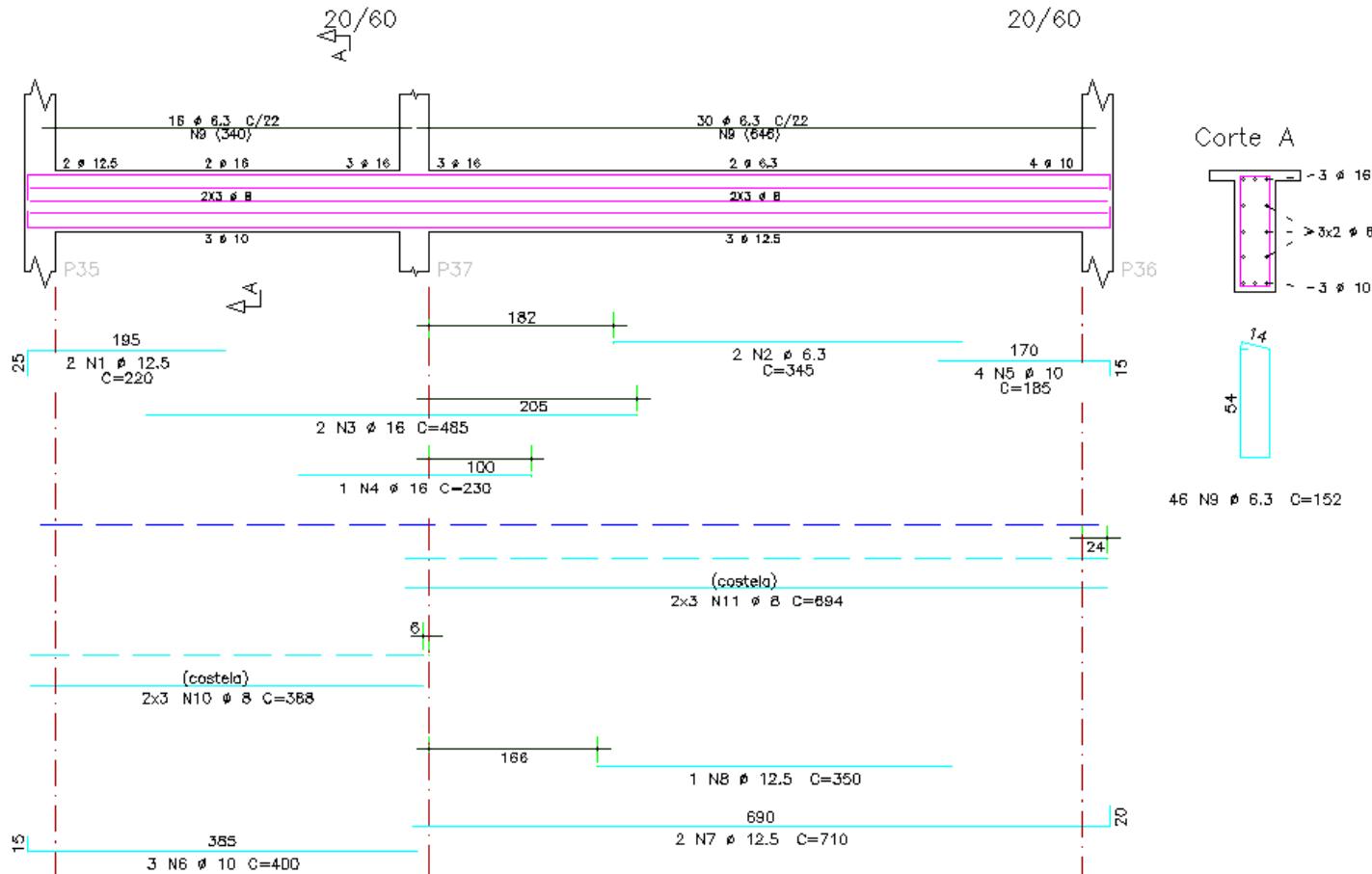


Armaduras verticais negativas nas lajes **L10** ($h = 30 \text{ cm}$), **L11** ($h = 30 \text{ cm}$) e **L12** ($h = 25 \text{ cm}$) da **Biblioteca**

DETALHAMENTO DE ARMADURAS



CAD/TQS: DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS SEGUNDO CRITÉRIOS DA NBR 6118

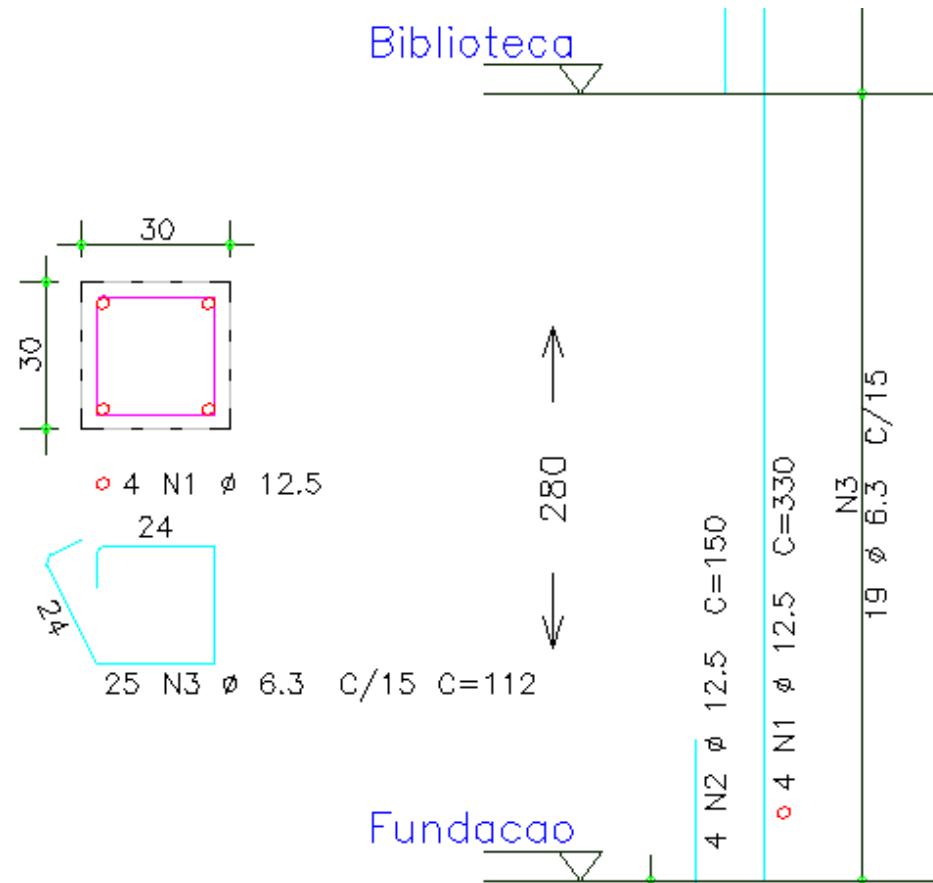


Armaduras da viga **V12** (20 cm x 60 cm)

DETALHAMENTO DE ARMADURAS

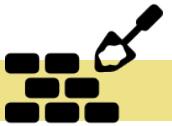


CAD/TQS: DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS SEGUNDO CRITÉRIOS DA NBR 6118



Armaduras do pilar **P37** (30 cm x 30 cm)

QUANTITATIVOS



Pavimento	Taxas		
	Consumo de Armaduras (kg/m³)	Consumo de Fôrmas (m²/m³)	Consumo de Cubetas (unid./pavimento)
BIBLIOTECA	92,08	5,70	352
ABRIGO	60,83	4,11	1307
PT1	60,11	3,29	1152
PT2	67,84	4,44	876
PT3	65,50	4,48	888
PT4	67,80	4,57	792
PT5	64,77	4,47	871
PT6	69,18	4,55	781
PT7	67,47	4,54	801
PT8	64,24	4,49	884
PT9	69,95	4,46	858
PT10	65,22	4,52	875
PT11	66,44	4,63	793
PT12	64,95	6,52	870
PT13	64,91	4,45	884
COBERTURA	62,43	5,08	322
ELEVADOR	74,25	5,95	28
MÉDIA	67,5	4,7	784,4

Pavimento	Concreto (m³)				Fôrmas (m²)				Armadura (kg)			
	Pilares (m³)	Vigas (m³)	Lajes (m³)	Total (m³)	Pilares (m²)	Vigas (m²)	Lajes (m²)	Total (m²)	Pilares (kg)	Vigas (kg)	Lajes (kg)	Total (kg)
BIBLIOTECA	49,1	25,2	37,5	111,8	365,3	206,1	65,9	637,3	5676,5	1972,6	2645	10294,1
ABRIGO	43,8	48,4	127,3	219,5	326,2	375,5	199,5	901,2	1290,8	3998	8062,7	13351,5
PT1	37,1	39,7	145,4	222,2	258,7	292,7	178,8	730,2	2098,3	3455,6	7801,9	13355,8
PT2	41	31,6	79	151,6	283	275,8	113,7	672,5	2290,3	2645,7	5348,8	10284,8
PT3	41	35,2	83,2	159,4	283	306,7	125,1	714,8	2290,3	2932,3	5217,7	10440,3
PT4	41	34,2	80,8	156	283	296,6	132,9	712,5	2358	2923,1	5296	10577,1
PT5	41	33,8	79,1	153,9	283	290,8	114,7	688,5	2215,5	2835,6	4917,4	9968,5
PT6	41	33,6	77,6	152,2	283	285,3	124,4	692,7	2358	3041,4	5130,1	10529,5
PT7	41	32,2	75,8	149	283	277,9	115,3	676,2	2283,2	2622,2	5147,2	10052,6
PT8	41	38,4	86,9	166,3	283	326	137,9	746,9	2215,5	3136,8	5330,1	10682,4
PT9	41	36,4	86,8	164,2	283	308,4	141,5	732,9	2290,3	3510,8	5685,2	11486,3
PT10	41	33,3	79,2	153,5	283	296,2	114,5	693,7	2290,3	2704,2	5016,4	10010,9
PT11	41	35,7	80,5	157,2	283	313,5	131,9	728,4	2258	2824,3	5362,8	10445,1
PT12	41	34,2	84	159,2	283	292,9	461,4	1037,3	2215,5	2754,6	5369,8	10339,9
PT13	41	34,9	85,5	161,4	283	302,2	133,2	718,4	2230,9	2666,7	5578,3	10475,9
COBERTURA	28,5	13,1	30,7	72,3	202,4	117,4	47,3	367,1	1520,3	955,2	2038,3	4513,8
ELEVADOR	3,7	2,4	4,8	10,9	33	20,8	11,1	64,9	208,3	177,2	423,8	809,3
MÉDIA	654,2	542,3	1324,1	2520,6	4581,6	4584,8	2349,0	11515,4	38090,0	45156,3	84371,5	167617,8

ANÁLISE

DESEMPENHO

CUSTO

QUANTIDADE DE TRABALHO

DESEMPENHO



DESAFIOS

1 NORMAS TÉCNICAS

DESAFIO

Percepção **desordenada, indelineável** e **sem definição lógica** de causa e consequência entre os aspectos relativos ao desempenho estrutural;

SOLUÇÃO

Classificá-los em **áreas** mutuamente exclusivas e coletivamente exaustivas, explicitando uma **sequência lógica** entre elas.

2 AUSÊNCIA DE INFORMAÇÕES

DESAFIO

Ausência de informações sobre alguns **fatores que influenciam** o desempenho;

SOLUÇÃO

Delimitar quais **indicadores** serão analisados, segundo a disponibilidade de informações, a relevância e o poder comparativo.

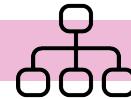
3 SOTWARE CAD/TQS

DESAFIO

Limitação e **complicação** do TQS para apresentação das flechas e fissuras;

SOLUÇÃO

Analizar **partes da estrutura**, sem conclusão abrangente sobre a estrutura como um todo.



METODOLOGIA

AMBIENTE

- Agressividade
- Solo
- Risco de deslizamentos, erosões, enchentes, etc.

PROJETO

- Formas arquitetônicas
- Detalhamento
- Fundações e contenções

MATERIAL

- Relação a/c
- Cobrimento
- Resistência do concreto

EXECUÇÃO

- Técnica de execução
- Mão de obra
- Compactação
- Cura

MANUTENÇÃO

- Prevenção
- Correção
- Monitoramento

ESTÉTICA

A

- Conforto visual

SEGURANÇA

B

- Estrutural
- Contra Incêndio

SERVIÇO

C

- Funcionalidade
- Limitação de flechas
- Abertura de fissuras

D

E

DURABILIDADE

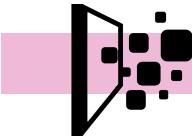
- Corrosão do aço
- Envelhecimento e deterioração
- Drenagem

PERFORMANCE

[---] Indicadores a serem comparados



Indicadores a serem desconsiderados na comparação



CONFORTO VISUAL

SOLUÇÃO ALTERNATIVA:

- 1 Aumento de espessura na laje** → Redução da altura útil em 11 cm →
- Biblioteca inalterada
 - PT1 em 16 cm
 - Demais PTs em 11 cm
- Alternativa:
Aumento do pé-direito em 10 cm
- + Recuperação da altura perdida
 - Intensificação das cargas de peso próprio
 - Maior volume de material consumido
-
- 2 Nervuras presentes na laje** → Estética desagradável para pisos abaixos →
- Alternativa:
Utilização de forro
-
- 3 Adição de vigas em balanço** → Interferência visual para pisos abaixos →
- Abrigo
 - PT1

**REDUÇÃO
DO
CONFORTO
VISUAL**



SEGURANÇA A INCÊNDIO

DETERMINAÇÃO DO TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO DO EDIFÍCIO (TRRF)

! NBR 14432:2001

$$H = (\text{Número de Pavimentos} - 1) \times (\text{Pé-Direito}) = (17 - 1) \times 2,8 = 44,8 \text{ m}$$

Grupo P5

Edifício do **Grupo A** (residencial) e **Subgrupo A2** (habitações multifamiliares)

TRRF = 120 min

SOLUÇÃO CONVENCIONAL

TRRF
120 min

! NBR 15200¹

Altura Mínima da Laje:	120 mm
Cobrimento Mínimo:	25 mm

ESTRUTURA

150 mm	✓
25 mm	✓

A ESTRUTURA **ATENDE**
AOS REQUISITOS DE
RESISTÊNCIA AO FOGO

SOLUÇÃO ALTERNATIVA

TRRF
120 min

Largura Mínima da Nervura²: 160 mm
Cobrimento Mínimo da Nervura: 60 mm
Altura Mínima da Capa: 120 mm
Cobrimento Mínimo da Capa: 20 mm

! NBR 15200¹

ESTRUTURA

159 mm	✓
25 mm	✗
50 mm	✗
25 mm	✓

A ESTRUTURA **NÃO**
ATENDE AOS REQUISITOS
DE RESISTÊNCIA AO FOGO

1. NBR 15200:2004

2. Na seção média da nervura



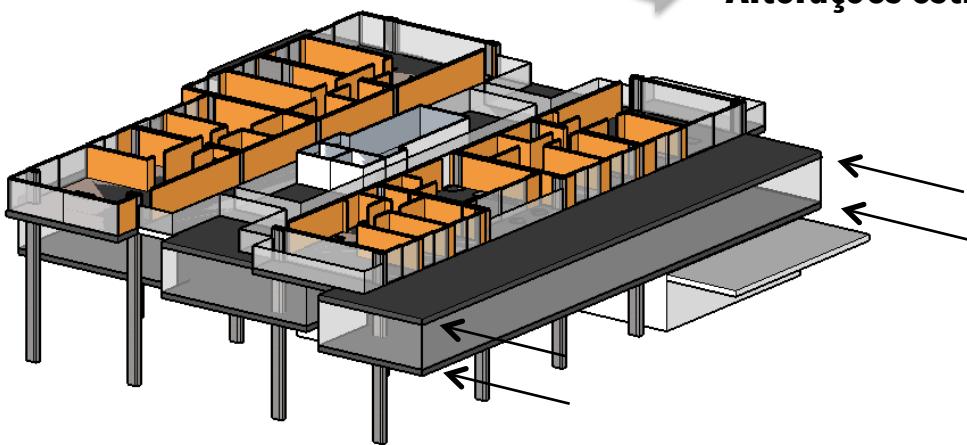
FUNCIONALIDADE

SOLUÇÃO ALTERNATIVA:

PAVIMENTOS ABRIGO E PT1: redução em **2 m*** do comprimento das vigas em balanço

PAVIMENTO ABRIGO: redução da área útil em **62,24 m²**

Alterações estruturais negativas do ponto de vista funcional





LIMITAÇÃO DE FLECHAS

LAJE MACIÇA				
	Laje	Flecha Máxima (cm)	Flecha Limite (cm)	Situação de flecha máxima em relação à flecha limite (%)
Elevador	2	0,2	1	20
PT14	5	1,5	2,2	68
PT13	6	1,4	2,3	61
PT12	6	1,6	1,7	94
PT11	21	1,4	2,2	64
PT10	1	1,4	2,3	61
PT9	4	1,6	1,6	100
PT8	11	1,2	2,3	52
PT7	20	1,6	3	53
PT6	13	1,5	2,3	65
PT5	8	1,1	2,3	48
PT4	23	1,7	1,8	94
PT3	21	1,2	2,2	55
PT2	19	1,8	3	60
PT1	5	2,9	3	97
Abrigo	5	2,7	3	90
Biblioteca	1	1,8	2,3	78
				68

LAJE NERVURADA				
	Laje	Flecha Máxima (cm)	Flecha Limite (cm)	Situação de flecha máxima em relação à flecha limite (%)
Elevador	2	0,2	1	20
PT14	5	1	2,2	45
PT13	19	1,2	2,3	52
PT12	6	1,2	2,2	55
PT11	24	2,1	2,2	95
PT10	22	2,1	2,3	91
PT9	27	1,9	2,3	83
PT8	29	1,9	2,3	83
PT7	1	1,9	3	63
PT6	11	1,7	2,3	74
PT5	11	1,7	2,3	74
PT4	2	1,9	1,9	100
PT3	14	1,1	2,2	50
PT2	19	1,2	2,8	43
PT1	15	1,6	2,9	55
Abrigo	35	1,8	3	60
Biblioteca	13	2,5	2,5	100
				67

	Variação entre as situações de flecha máxima relativa (pp)
Elevador	0
PT14	23
PT13	9
PT12	40
PT11	32
PT10	30
PT9	17
PT8	30
PT7	10
PT6	9
PT5	26
PT4	6
PT3	5
PT2	17
PT1	41
Abrigo	30
Biblioteca	22
Total	1

Análise **não representativa** do pavimento:

- Apenas **avaliação do pior caso** (flecha máxima do pavimento).
- **Lajes diferentes** utilizadas para comparação entre as soluções.

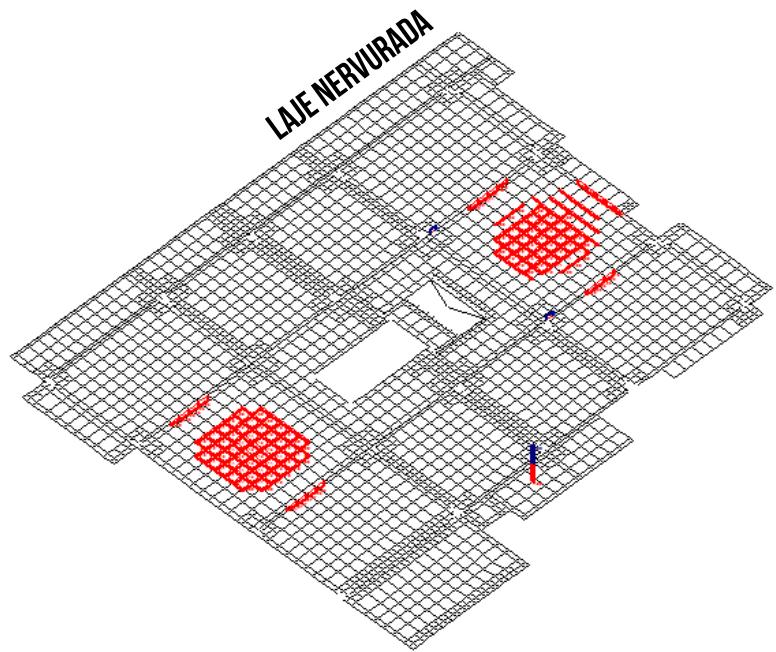
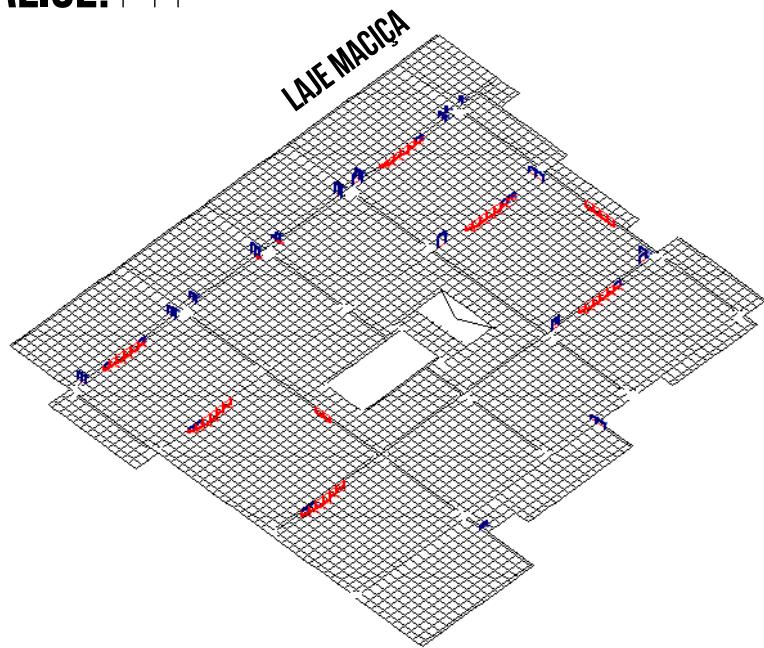
Ambas as soluções **apresentam aproximadamente a mesma margem** de flecha máxima / flecha limite.

Porém, discretizando o edifício em **pavimentos**, percebe-se que **há grandes variações** entre as duas soluções.



ABERTURA DE FISSURAS

ANÁLISE: PT1



- **Quantidade** de abertura de fissuras maior na Laje Nervurada do que na Laje Maciça;
- **Intensidade máxima** de fissuras parecida: 0,28 mm na Laje Nervurada e 0,29 mm na Laje Maciça;
- **Ressalva:** esta análise diz respeito a um pavimento isolado – para efeitos comparativos entre as soluções, deve-se promover a continuação e aprofundamento deste estudo, para todos os pavimentos do edifício.



ANÁLISE CRÍTICA

	SOLUÇÃO CONVENCIONAL	SOLUÇÃO ALTERNATIVA
CONFORTO VISUAL		
SEGURANÇA A INCÊNDIO		
FUNCIONALIDADE		
LIMITAÇÃO DE FLECHAS	N/A	N/A
ABERTURA DE FISSURAS	N/A	N/A
PERFORMANCE		

QUANTO À SOLUÇÃO ALTERNATIVA...

...aumento da altura das lajes implica na **redução do pé-direito útil** em 11 cm (em média) e adição de vigas altera **percepção visual**.

...não atende aos **requisitos** de resistência ao fogo.

...redução do comprimento das vigas em balanço implica em **redução de área útil** do abrigo em 62 m².

Análise parcial impede entendimento a respeito do desempenho da estrutura como um todo.

CUSTOS

PANORAMA



- **Abrangência versátil:**
 - Sistema Estrutural
 - Fundações (soluções mais leves)
 - Vedações (soluções como chapas pré-fabricadas)
- **Diferentes aspectos:**
 - Materiais
 - Equipamentos
 - Mão-de-Obra
- Detalhamento Necessário α Diversidade das Soluções

ABORDAGEM



- Duas **soluções estruturais parecidas**
- **Principais diferenças** se referem ao sistema estrutural:
 - Consumo de materiais
 - Sistema de fôrmas específico (cubetas)
- **Mão-de-Obra** de mesmo grau de especialização
 - Quesito isolado em outro parâmetro e não considerado nos custos
- O que foi **considerado**:
 - Custo simplificado do concreto, aço e fôrmas



ORÇAMENTO

- **Parâmetro** para comparação
- Itens orçados:
 - Quantidade de **Concreto** (m^3)
 - Quantidade de **Aço** (kg)
 - Quantidade de **Fôrmas** (m^2)
- Consideração para **reutilização de fôrmas**:
 - Velocidade de execução de **2 pavimentos por mês**
 - **Dois sistemas de fôrmas** (para 12 e 5 reaproveitamentos)



RESULTADOS

LAJE CONVENCIONAL

SISTEMAS DE FÔRMAS

Sistemas de Fôrmas (m ²)	Pilares	Vigas	Lajes	Total por Sistema de Fôrmas
12 Aproveitamentos	283	447,2	812,7	1542,9
5 Aproveitamentos	365,3	312,4	454,4	1132,1
Total por Elemento	648,3	759,6	1267,1	2675

ORÇAMENTO DE MATERIAIS, SEGUNDO PREÇOS PINI

mai/16	Material	Especificação	Unidade	Consumo (un)	Preço (R\$/un)	Orçamento (R\$)
	Concreto	25 MPa	m ³	2773,3	275,80	764.876,14
	Fôrma	Chapa Plastificada	m ²	2675,0	18,94	50.664,50
	Aço	CA-50 10 mm	kg	179666,5	4,29	770.769,29
					Total	1.586.309,93



RESULTADOS

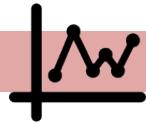
LAJE NERVURADA

SISTEMAS DE FÔRMAS

Sistemas de Fôrmas (m ²)	Pilares	Vigas	Lajes	Total por Sistema de Fôrmas
12 Aproveitamentos	283	375	461,4	1119,4
5 Aproveitamentos	365	277,9	114,5	757,4
Total por Elemento	648	652,9	575,9	1876,8

ORÇAMENTO DE MATERIAIS, SEGUNDO PREÇOS PINI

	Material	Especificação	Unidade	Consumo (un)	Preço (R\$/un)	Orçamento (R\$)
mai/16	Concreto	25 MPa	m ³	2520,6	275,80	695.181,48
	Fôrma	Chapa Plastificada	m ²	1876,8	18,94	35.546,59
	Aço	CA-50 10 mm	kg	167617,3	4,29	719.078,22
dez/16*	Cubeta	ATEX660/26	m ²	3278,2	10,00	32.782,00
					Total	1.449.806,29



ANÁLISE CRÍTICA

- **Solução Convencional** (R\$ 1.586.309,93) vs. **Solução Alternativa** (R\$ 1.449.806,29)
- Introdução da laje nervurada levou a uma redução de **R\$ 136.503,64 (8,6%)**
 - Há diversas incertezas contidas nas simplificações
 - A precisão da quantidade reduzida é discutível
 - A ocorrência de uma redução, no entanto, é importante
- Resultado coerente com quantitativos e com o que era esperado
- Resultado deve ser analisado em conjunto com os outros

QUANTIDADE

DE TRABALHO

PANORAMA



- Definição de equipe para cada tarefa é fator importante no:
 - **Custo**
 - **Prazo de execução**
- **Mão-de-obra** não é necessariamente um custo direto
- Considerar a demanda por mão-de-obra (quantidade de trabalho) permite **considerar indiretamente** esses dois fatores



ABORDAGEM

- Considerou-se **atividades mais relevantes** associadas ao Sistema Estrutural
- Base para obtenção dos parâmetros de consumo de mão-de-obra: 13ª edição do **TCPO** (2010)
- A mesma consideração de **reutilização de fôrmas** utilizada nos custos foi empregada aqui



RESULTADOS

SOLUÇÃO CONVENCIONAL

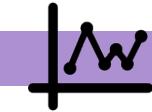
Tipo de Serviço	Profissional	Quantidade de trabalho demandada por unidade produzida (Hh/un)	Quantidade Necessária (un)	Quantidade total de trabalho (Hh)
Fôrma com chapa compensada plastificada, e = 12 mm, para pilares/vigas/lajes, incluso contraventamentos/travamentos com pontaletes 7,5 cm x 7,5 cm - 12 aproveitamentos - unidade: m ²	Carpinteiro	0,676	18514	15644
	Ajudante de Carpinteiro	0,169		
Fôrma com chapa compensada plastificada, e = 12 mm, para pilares/vigas/lajes, incluso contraventamentos/travamentos com pontaletes 7,5 cm x 7,5 cm - 5 aproveitamentos - unidade: m ²	Carpinteiro	0,816	13585	13857
	Ajudante de Carpinteiro	0,204		
Escoramento Metálico para lajes de edificação com pé-direito entre 2,00 m e 3,20 m - unidade m ²	Ajudante de Carpinteiro	0,2	7774	1555
Escoramento Metálico para vigas de edificação com pé-direito entre 2,00 m e 3,20 m - unidade m ²	Ajudante de Carpinteiro	0,2	5206	1041
Armadura de aço para estruturas em geral, CA-50, diâmetro até 10,0 mm, corte e dobra industrial, fora da obra - unidade kg	Ajudante de Armador	0,06	179667	21560
	Armador	0,06		
Transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto em estrutura - unidade m ³	Pedreiro	1,65	2773	17056
	Servente	4,5		
			Total	70713



RESULTADOS

SOLUÇÃO ALTERNATIVA

Tipo de Serviço	Profissional	Quantidade de trabalho demandada por unidade produzida (Hh/un)	Quantidade Necessária (un)	Quantidade total de trabalho (Hh)
Fôrma com chapa compensada plastificada, e = 12 mm, para pilares/vigas/lajes, incluso contraventamentos/travamentos com pontaletes 7,5 cm x 7,5 cm - 12 aproveitamentos - unidade: m ²	Carpinteiro	0,676	13433	11351
	Ajudante de Carpinteiro	0,169		
Fôrma com chapa compensada plastificada, e = 12 mm, para pilares/vigas/lajes, incluso contraventamentos/travamentos com pontaletes 7,5 cm x 7,5 cm - 5 aproveitamentos - unidade: m ²	Carpinteiro	0,816	3787	3863
	Ajudante de Carpinteiro	0,204		
Montagem de Fôrma pré-fabricada com chapa compensada plastificada, e = 12 mm, para lajes - unidade: m ²	Ajudante de Carpinteiro	0,074	5634	2090
	Carpinteiro	0,297		
Escoramento Metálico para lajes de edificação com pé-direito entre 2,00 m e 3,20 m - unidade m ²	Ajudante de Carpinteiro	0,2	7983	1597
Escoramento Metálico para vigas de edificação com pé-direito entre 2,00 m e 3,20 m - unidade m ²	Ajudante de Carpinteiro	0,2	4585	917
Armadura de aço para estruturas em geral, CA-50, diâmetro até 10,0 mm, corte e dobra industrial, fora da obra - unidade kg	Ajudante de Armador	0,06	167618	20114
	Armador	0,06		
Transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto em estrutura - unidade m ³	Pedreiro	1,65	2521	15502
	Servente	4,5		
	Total			55433



- **Solução Convencional** (70713 Hh) vs. **Solução Alternativa** (55433 Hh);
- Redução de **21,6%**;
- Mais expressiva que a de custos;
- Mostra coerência e uma tendência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONCLUSÃO



MATRIZ DE DECISÃO



CONCLUSÃO



PARÂMETROS ESCOLHIDOS SIMPLIFICADAMENTE, DE ACORDO COM A INFLUÊNCIA E O PESO NAS DECISÕES DE PROJETO

DESAFIOS:

- Alta variação de acordo com o nível de detalhamento
- Difícil obtenção dos parâmetros de referência
- Interferência dos efeitos de um parâmetro nos demais

PADRONIZAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE:

- Mesmo software de modelagem
- Mesmos índices e tratamento dos dados
- Mesmas fontes de informação



**QUALIDADE DE INFORMAÇÃO
COMPATIBILIZADA, VALIDANDO
A COMPARAÇÃO**

CONCLUSÃO



RESULTADOS SATISFATÓRIOS:

- Foi possível a validação da metodologia adotada;
- Provou-se a importância da interação entre as áreas da engenharia e da arquitetura;
- Foram fixados conceitos envolvidos em dimensionar, conceber e modelar edifício em concreto armado;
- Foi mostrado que cada projeto demanda uma solução específica;
- Concluiu-se que a estrutura convencional não é necessariamente a melhor solução para um projeto, podendo haver outras soluções mais atraentes, que exijam um menor custo ou um maior desempenho.

EXISTÊNCIA DE MARGEM PARA APRIMORAMENTOS E SOLIDIFICAÇÃO:

Mais parâmetros, mais iterações e maior detalhamento permitiriam um resultado ainda melhor.



OBRIGADO !