



Curso Online

PROJETO DE EDIFICOS EM ALVENARIA ESTRUTURAL

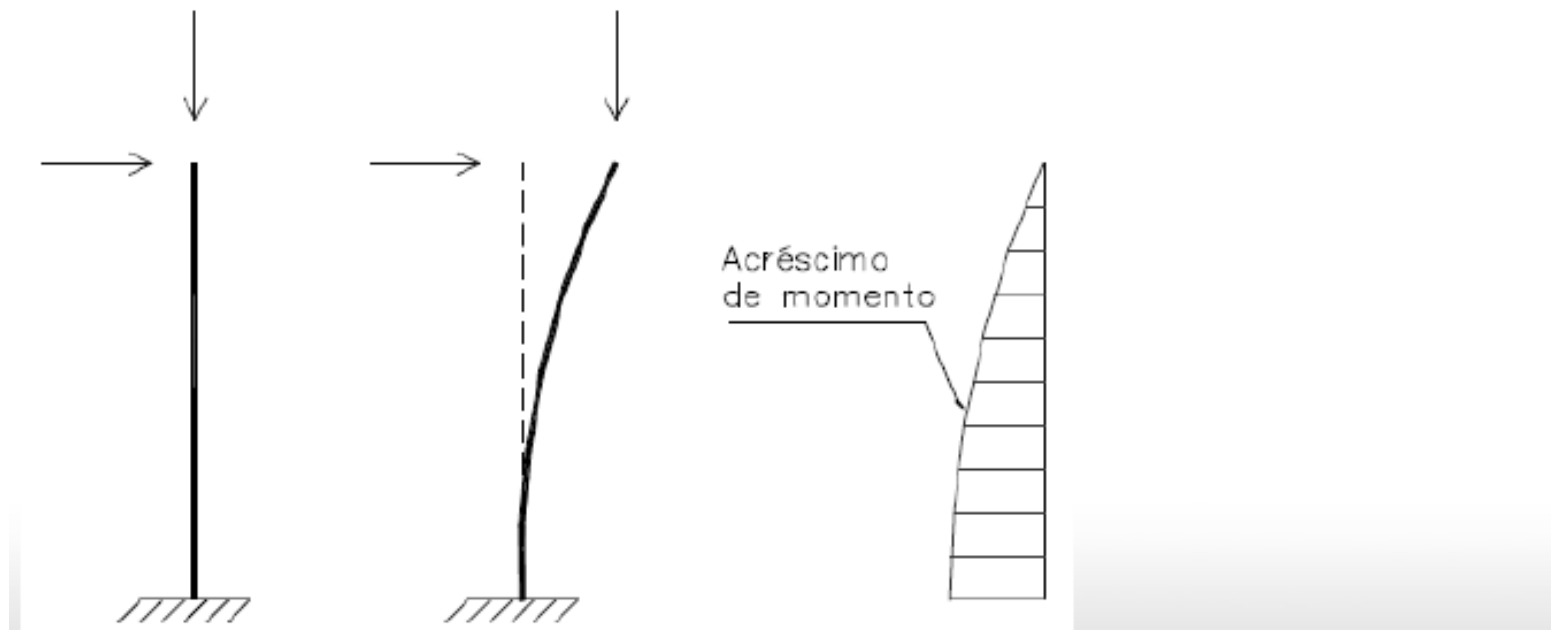
Prof. Esp. Rangel Costa Lage

www.efct-cursos.com.br

AULA 06

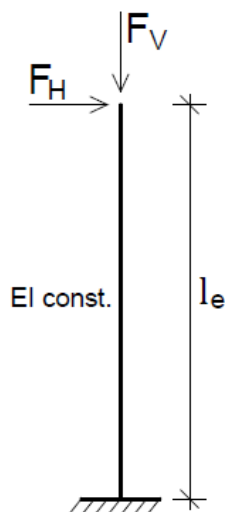
Estabilidade Global da Estrutura de Contraventamento

- **Conceito Fundamental:**
 - Efeitos de 2ª Ordem são aqueles que se somam aos efeitos de 1ª ordem quando se considera a posição deformada da estrutura.

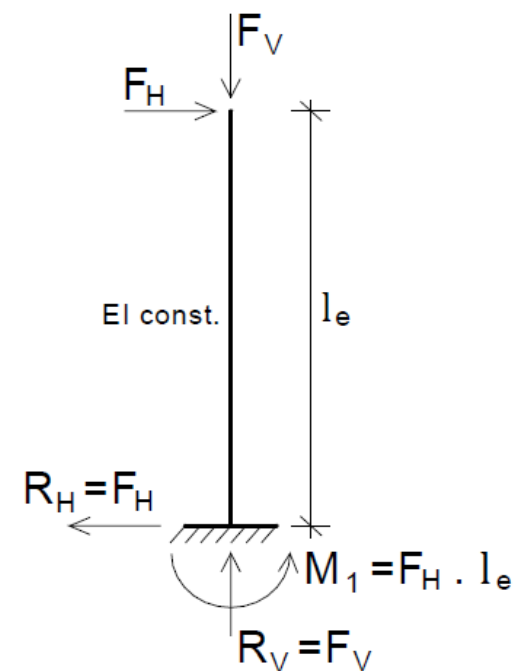


ESTABILIDADE GLOBAL

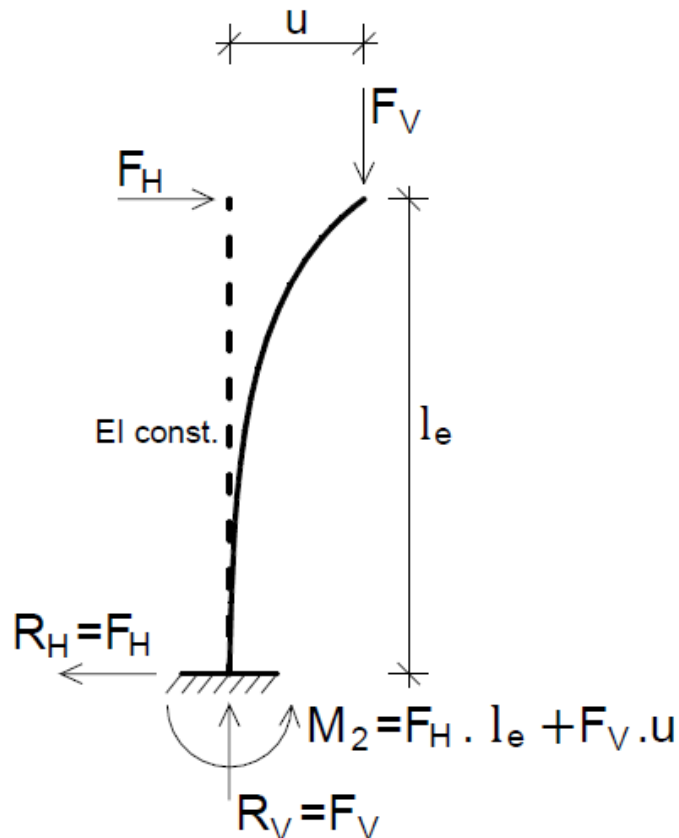
CONCEITOS



Barra vertical submetida a ações vertical e horizontal



Reações na barra vertical indeformada.



Reações na barra vertical deformada.

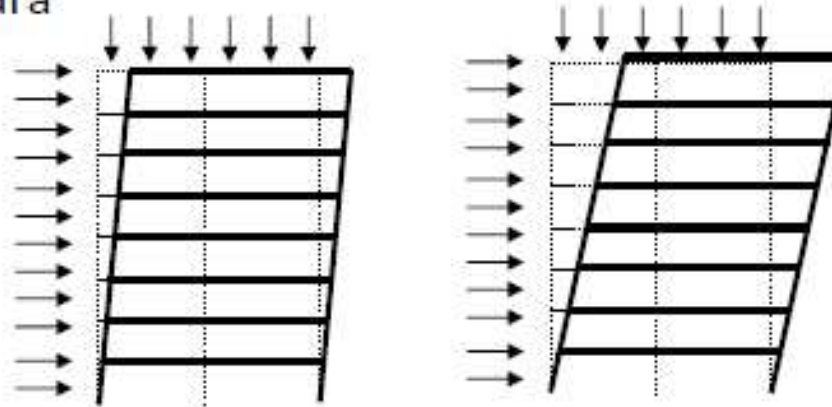
O acréscimo do momento é um efeito de **segunda ordem**, pois foi um esforço que surgiu com análise do equilíbrio da estrutura em sua **posição deformada**.

Portanto, somente se esse esforço for levado em conta na análise é que a não-linearidade geométrica da estrutura estará sendo considerada.

ESTABILIDADE GLOBAL

CONCEITOS

Quanto maior a sensibilidade aos efeitos de segunda ordem menos estável é a estrutura



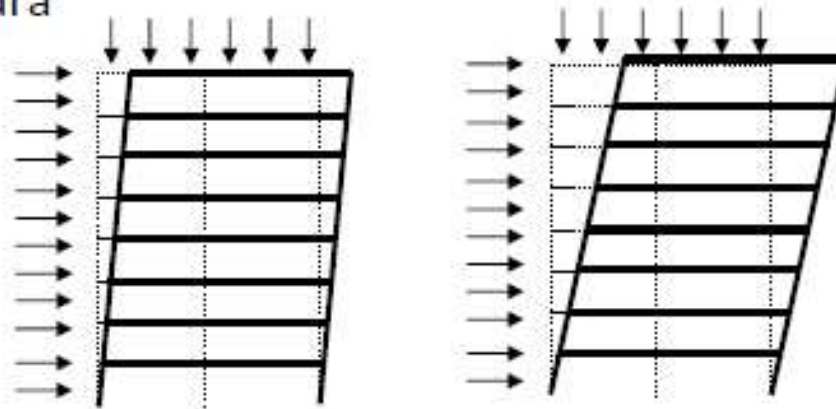
Parâmetros para avaliar a sensibilidade aos efeitos de segunda ordem:

- Processos Rigorosos → Constantes modificações na matriz de rigidez e vetores de carga
- Processos iterativos $P\Delta$ → Processo iterativo
- Processos simplificados: γ_z, α → Boa Precisão

ESTABILIDADE GLOBAL

CONCEITOS

Quanto maior a sensibilidade aos efeitos de segunda ordem menos estável é a estrutura



Parâmetros para avaliar a sensibilidade aos efeitos de segunda ordem:

- Processos Rigorosos → Constantes modificações na matriz de rigidez e vetores de carga
- Processos iterativos $P\Delta$ → Processo iterativo
- Processos simplificados: γ_z, α → Boa Precisão

- Parâmetro γ_z

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}}$$

- $\Delta M_{tot,d}$ = acréscimo de momento devido aos deslocamentos horizontais
- $M_{1,tot,d}$ = Momento de 1º ordem.

15.5.3 Coeficiente γ_z

O coeficiente γ_z de avaliação da importância dos esforços de segunda ordem globais é válido para estruturas reticuladas de no mínimo quatro andares. Ele pode ser determinado a partir dos resultados de uma análise linear de primeira ordem, para cada caso de carregamento, adotando-se os valores de rigidez dados em 15.7.3.

O valor de γ_z para cada combinação de carregamento é dado pela expressão:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{\text{tot,d}}}{M_{1,\text{tot,d}}}}$$

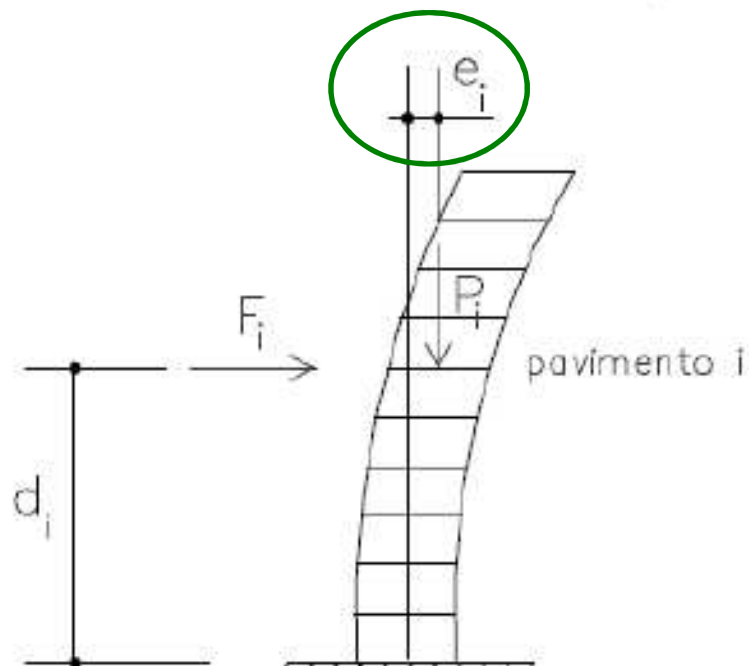
onde

$M_{1,\text{tot,d}}$ é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura;

$\Delta M_{\text{tot,d}}$ é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1ª ordem.

Considera-se que a estrutura é de nós fixos se for obedecida a condição $\gamma_z \leq 1,1$.

- Cálculo de $\Delta M_{tot,d}$ e $M_{1,tot,d}$



$$M_{1,tot,d} = \sum F_i \cdot d_i$$

$$\Delta M_{tot,d} = \sum P_i \cdot e_i$$

- Parâmetro γ_z – Diagnóstico:
 - Valores inferiores a 1 são incoerentes
 - Valores inferiores a 1,1: estrutura com nós fixos
 - Valores da ordem de 1,3 indicam alto grau de instabilidade em edifícios de Concreto Armado
 - Valores superiores a 1,5 indicam estrutura instável

Edifícios em alvenaria estrutural tendem a possuir elevado grau de rigidez, apresentando na grande maioria das vezes estruturas de nós fixos.

$$\gamma_z < 1.1$$

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}}$$

onde:

$M_{1,tot,d}$: é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura;

$\Delta M_{tot,d}$: é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1ª ordem.

ESTABILIDADE GLOBAL

PARÂMETROS DO MATERIAL



ABNT NBR 15961-1

Tabela 9.1.1 - Propriedades elásticas da alvenaria estrutural.

Propriedade	Valor	Valor máximo
Módulo de deformação longitudinal	$800 f_{pk}$	16 GPa
Coefficiente de Poisson	0,20	—

$$f_{bk} = 0,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{pk} = 0,8 \times f_{bk} = 0,8 \times 0,4 = 0,32 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{alvenaria} = 800 \times f_{pk}$$

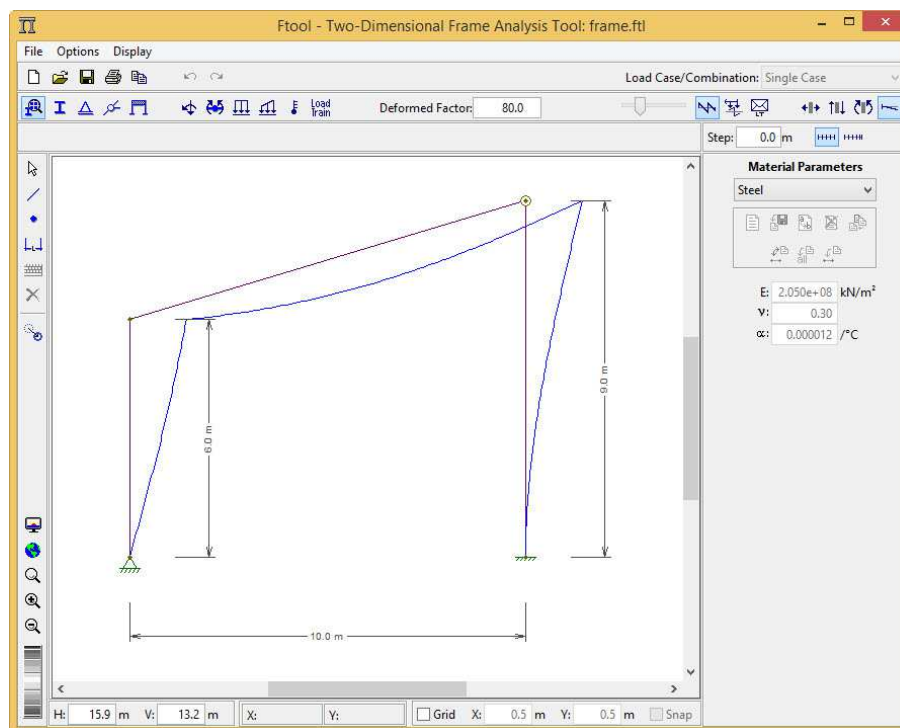
$$E_{alvenaria} = 800 \times 0,32 = 256 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 2560 \text{ MPa}$$

ESTABILIDADE GLOBAL

FTOOL



Um Programa Gráfico-Interativo para Ensino de Comportamento de Estruturas.



Download gratuito: <http://www.alis-sol.com.br/ftool/>

O modelo do trem de paredes elaborado no Ftool considera as **propriedades** geométricas de cada seção de sub-estrutura, isto é, as áreas e os momentos de inércia.

No modelo, as barras verticais representam as sub-estruturas de contraventamento cujo módulo de deformação longitudinal já foi calculado, *Ealvenaria*.

As barras horizontais representam as **lajes** do edifício, cujo comportamento estrutural é de um **diafragma rígido**. Para melhor simular este comportamento das laje, as barras horizontais foram articuladas em suas extremidades e atribuído um módulo de elasticidade elevado, igual a **1.000.000 MPa**.

ESTABILIDADE GLOBAL

TREM DE PAREDES

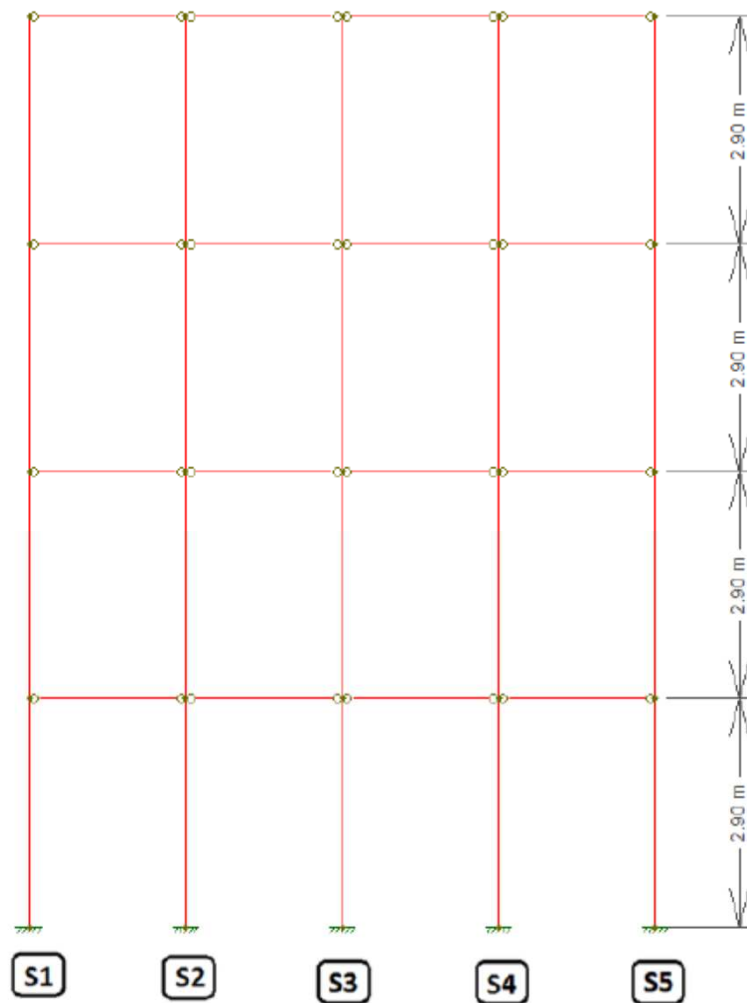


Figura 9.2.1 - Modelo de trem de paredes na direção x.

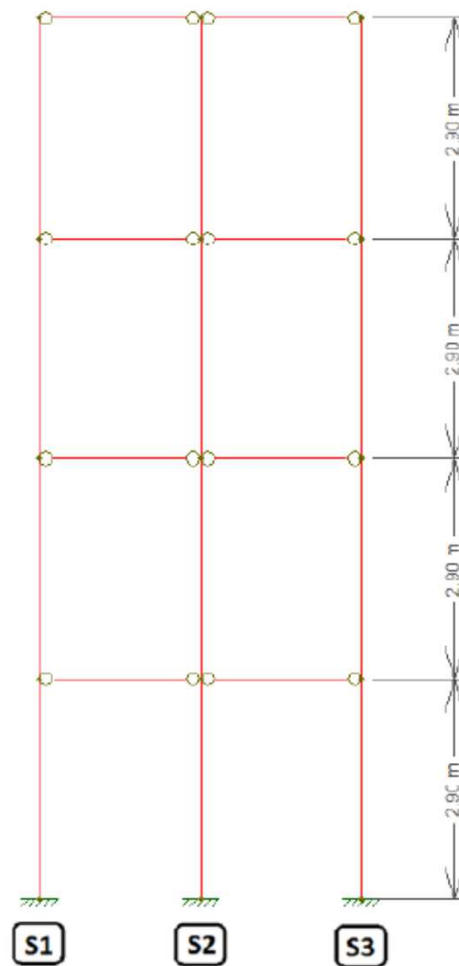


Figura 9.2.2 - Modelo de trem de paredes na direção y.

ESTABILIDADE GLOBAL

CARGA VERTICAL



Uma simplificação de cálculo que pode ser realizada consiste em distribuir igualmente o peso do pavimento entre as sub-estrutura analisadas.

$$P_{tot,pav.} = Total_{G1,pav.} + Total_{G2,pav.} + Total_{G3,pav.}$$

$$P_{tot,k} = 71,85 + 121,08 + 53,47$$

$$P_{tot,k} = 246,40 \text{ kN/pav.}$$

Ver Tabela 3.5.2.4 página 40

Carga total (G + Q)										
	Compr. (m)	P.P alvenaria (kN)	Carga laje (kN/m)	Carga laje (kN)	Abertura			Graute (kN)	Total (kN)/pav	Carga total (kN)
					Largura (m)	Altura (m)	Carga (kN)			
G1										
PX1	0,89	5,61	2,88	2,56	1,21	1,21	3,91	1,89	13,97	55,88
PX4	1,89	11,91	2,88	5,44	0,91	2,20	1,92	2,96	22,24	88,96
PY1	3,21	20,22	3,96	12,71	0,00	0,00	0,00	2,70	35,64	142,55
TOTAL	5,99	37,74		20,72			5,83	7,56	71,85	287,39
G2										
PX2-1	0,82	5,17	2,88	2,36	1,21	1,21	3,91	2,08	13,52	54,07
PX2-2	0,87	5,48	3,02	2,63	1,21	1,21	3,99	1,75	13,85	55,40
PX5	1,97	12,41	3,02	5,95	1,03	2,20	4,50	3,14	26,01	104,03
PY2	3,21	20,22	13,87	44,52	0,00	0,00	0,00	2,96	67,71	270,84
TOTAL	6,87	43,28		55,46			12,40	9,94	121,08	484,33
G3										
PX3	0,92	5,80	3,02	2,78	1,21	1,21	3,99	1,93	14,50	57,99
PY3	3,21	20,22	4,05	13,00	1,03	2,20	2,78	2,96	38,97	155,88
TOTAL	4,13	26,02		15,78			6,77	4,89	53,47	213,86

ESTABILIDADE GLOBAL

CARGA VERTICAL



- Modelo do Ftool: casos de vento 0° e 180°.

$$P_d = \frac{\gamma_f \times P_{tot,k}}{n_{sub}}$$

onde

n_{sub} : é o número de sub-estruturas do modelo.

$$P_d = \frac{1,4 \times 246,40}{5} = 69,0 \text{ kN/pav/sub.}$$

- Modelo do Ftool: casos de vento 90° e 270°.

$$P_d = \frac{1,4 \times 246,40}{3} = 145,0 \text{ kN/pav/sub.}$$

ESTABILIDADE GLOBAL

CARGA HORIZONTAL



Tabela 4.1.1 - Força horizontal equivalente ao desaprumo.

Pavimento	ΔP (kN)	θ_a (rad)	F_{des} (kN)
cob.	246,40	0,00216	0,531
3º Pav	246,40	0,00216	0,531
2º Pav	246,40	0,00216	0,531
1º Pav	246,40	0,00216	0,531
Térreo	246,40	0,00216	0,531

Página 45

ESTABILIDADE GLOBAL

CARGA HORIZONTAL

Página 51

Tabela 4.2.1 - Força devido ao vento incidente a 0° e 180°.

Dados								
V0	45	Fr	1					
S1	1	b	0,94					
S3	1	p	0,1					
Vento 0°		Aexp (H e L)	2,9	3,49	Aexp	10,121	Ca	1,00
$S_2 = b \cdot Fr \cdot (Z/10)^p$			$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$			$q = 0,613 \cdot V_k^2$	$F_v = Ca \cdot q \cdot A$	$F_d = 1,4 F_v$
Pav	Z (m)	S ₂	S ₁	S ₃	V _k (m/s)	q (N/m²)	F _v (N)	F _d (KN)
cob	11,60	0,954	1,00	1,00	42,93	1129,9	5717,8	8,0
3º Pav	8,70	0,927	1,00	1,00	41,72	1066,7	10796,1	15,1
2º Pav	5,80	0,890	1,00	1,00	40,06	983,6	9955,2	13,9
1º Pav	2,90	0,831	1,00	1,00	37,37	856,3	8666,5	12,1
Térreo	0,00	0,000	1,00	1,00	0,00	0,0	0,0	0,0



Tabela 4.2.2 - Força devido ao vento incidente a 90° e 270°.

Dados								
V0	45	Fr	1					
S1	1	b	0,94					
S3	1	p	0,1					
Vento 90°		Aexp (H e L)	2,9	5,98	Aexp	17,342	Ca	1,35
$S_2 = b \cdot Fr \cdot (Z/10)^p$			$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$			$q = 0,613 \cdot V_k^2$	$F_v = Ca \cdot q \cdot A$	$F_d = 1,4 F_v$
Pav	Z (m)	S ₂	S ₁	S ₃	V _k (m/s)	q (N/m²)	F _v (N)	F _d (KN)
cob	11,60	0,954	1,00	1,00	42,93	1129,9	13226,2	18,5
3º Pav	8,70	0,927	1,00	1,00	41,72	1066,7	24973,4	35,0
2º Pav	5,80	0,890	1,00	1,00	40,06	983,6	23028,2	32,2
1º Pav	2,90	0,831	1,00	1,00	37,37	856,3	20047,2	28,1
Térreo	0,00	0,000	1,00	1,00	0,00	0,0	0,0	0,0

ESTABILIDADE GLOBAL

GEOMETRIA



Página 57

Tabela 4.3.1 - Característica geométrica das sub-estruturas para o caso de vento 0°.

Grupo	Sub-estruturas	Paredes	I_{yi} (m ⁴)	$R=I_{yi}/\Sigma(I_{yi})$	x_1 (m) tração	x_2 (m) compressão
1	S1	PX1 e PY1	0,0169	0,0434	0,263	0,627
	S2	PX4 e PY1	0,1413	0,3627	0,676	1,214
2	S3	PX2 e PY2	0,0566	0,1452	0,837	0,853
	S4	PX5 e PY2	0,1518	0,3897	0,698	1,242
3	S5	PX3 e PY3	0,0230	0,0590	0,690	0,300
SOMA			0,3896	1,000		

Tabela 4.3.2 - Característica geométrica das sub-estruturas para o caso de vento 90°.

Grupo	Sub-estruturas	Paredes	I_{xi} (m ⁴)	$R=I_{xi}/\Sigma(I_{xi})$	y_1 (m) tração	y_2 (m) compressão
1	S1	PX1, PX4 e PY1	1,1202	0,3358	1,775	1,715
2	S2	PX2, PX5 e PY2	1,4260	0,4275	1,559	1,931
3	S3	PX3 e PY3	0,7897	0,2367	1,443	2,047
SOMA			3,3360	1,000		

ESTABILIDADE GLOBAL

TREM DE PÓRTICO

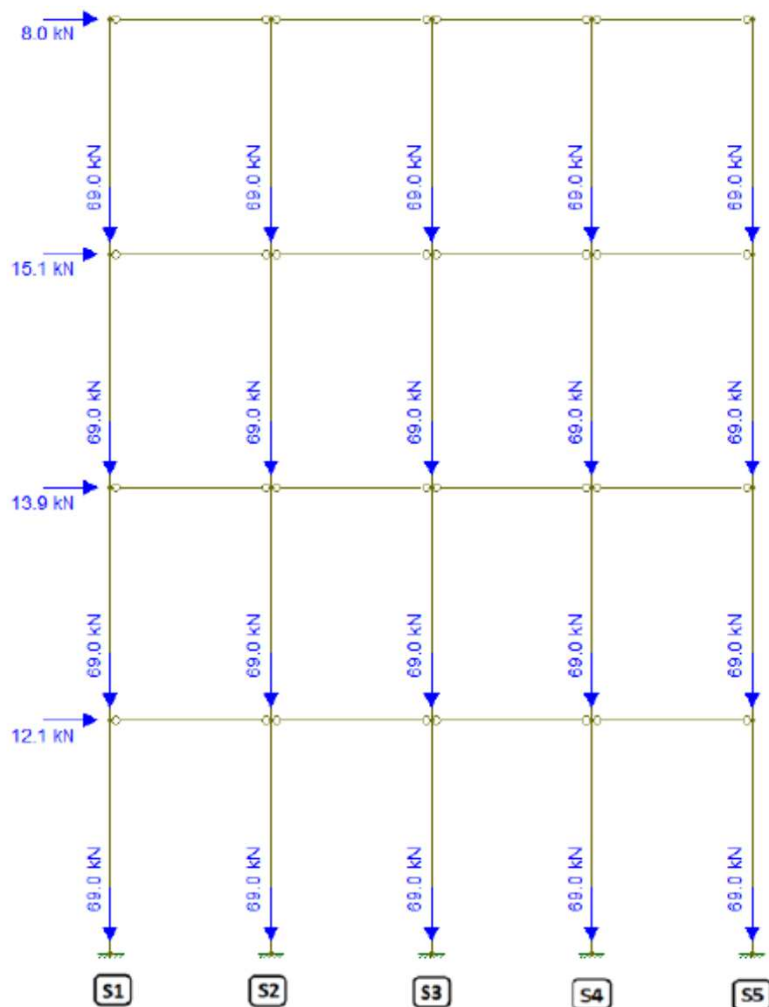


Figura 9.3.1 - Trem de paredes carregado: vento 0° e 180°.

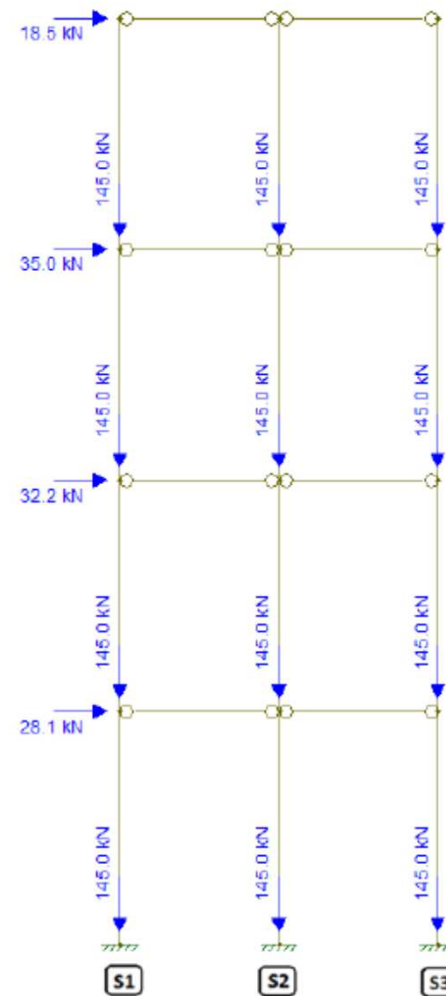
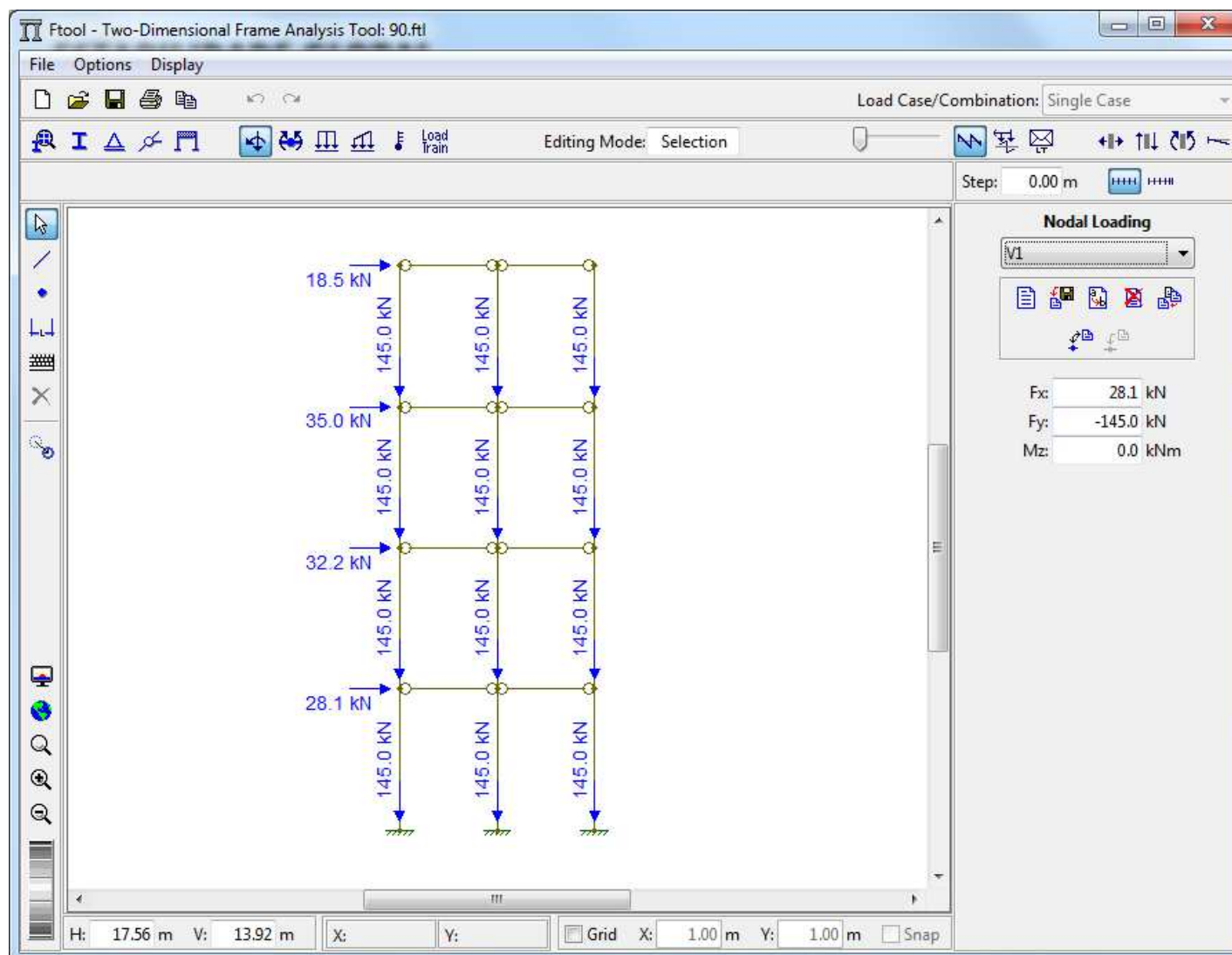


Figura 9.3.2 - Trem de paredes carregado: vento 90° e 270°.

ESTABILIDADE GLOBAL

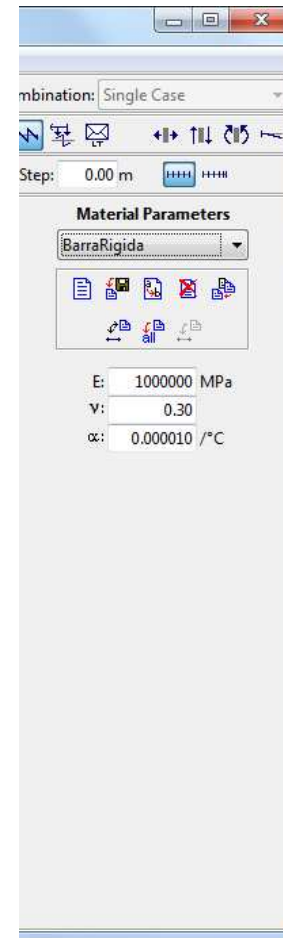
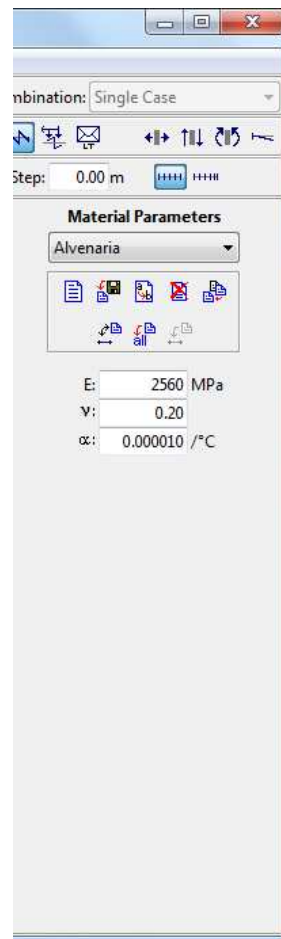
TREM DE PÓRTICO



ESTABILIDADE GLOBAL

TREM DE PÓRTICO

Materiais



ESTABILIDADE GLOBAL

TREM DE PÓRTICO

Sections



Section Properties

S1

Integral Properties

A: 7112.00 cm²
As: 0.00 cm²
I: 1.120200 m⁴
d: 349.0 cm
y-bar: 177.5 cm

Section Properties

S2

Integral Properties

A: 8302.00 cm²
As: 0.00 cm²
I: 1.426000 m⁴
d: 349.0 cm
y-bar: 155.9 cm

Section Properties

S3

Integral Properties

A: 6132.00 cm²
As: 0.00 cm²
I: 0.789700 m⁴
d: 349.0 cm
y-bar: 144.3 cm

Section Properties

BarraRigida

Rectangle

d: 10.0 cm
b: 10.0 cm
y-bar: 5.0 cm
A: 100.00 cm²
As: 83.33 cm²
I: 0.000008 m⁴

ESTABILIDADE GLOBAL

Coeficiente γ_z



Tabela 9.3.1 - Deslocamentos e coeficiente γ_z : vento 0° e 180°.

Pav	Z (m)	F _d (kN)	M _{1d} (kNm)	G _{pav.} (kN)	G _{d,pav.} (kN)	F _{tool d} (mm)	ΔM _{1d} (kNm)	Gama-z
cob	11,6	8,0	92,86	246,40	344,95	11,19	3,86	
3º Pav	8,7	15,1	131,50	246,40	344,95	7,43	2,56	
2º Pav	5,8	13,9	80,84	246,40	344,95	3,91	1,35	
1º Pav	2,9	12,1	35,19	246,40	344,95	1,15	0,40	
Térreo	0	0,0	0,00	246,40	344,95	0	0,00	
Soma			340,38				8,17	1,025

Tabela 9.3.2 - Deslocamentos e coeficiente γ_z : vento 90° e 270°.

Pav	Z (m)	F _d (kN)	M _{1d} (kNm)	G _{pav.} (kN)	G _{d,pav.} (kN)	F _{tool d} (mm)	ΔM _{1d} (kNm)	Gama-z
cob	11,6	18,5	214,79	246,40	344,95	3,24	1,12	
3º Pav	8,7	35,0	304,18	246,40	344,95	2,15	0,74	
2º Pav	5,8	32,2	186,99	246,40	344,95	1,13	0,39	
1º Pav	2,9	28,1	81,39	246,40	344,95	0,33	0,11	
Térreo	0	0,0	0,00	246,40	344,95	0	0,00	
Soma			787,35				2,36	1,003

Fundações

As fundações de um edifício de alvenaria estrutural ficam bastante simplificadas **quando as paredes chegam até o solo.**

Como os **carregamentos se distribuem entre as paredes estruturais**, e estas geralmente são bastante extensas, são transmitidas tensões relativamente baixas ao solo.

Entretanto, muitas vezes o pavimento térreo é aproveitado como garagem e/ou contem grandes modificações arquitetônicas em relação ao pavimento tipo, não permitindo que as paredes estruturais cheguem até o térreo.

Nesses casos, a solução estrutural é a criação de um pavimento de transição (comumente chamado de pilotis).

Neste caso, as fundações são semelhantes aos casos de estruturas convencionais.

Quando as paredes chegam até o solo, as soluções mais comumente utilizadas são:

- **Radier (em geral, não protendido, salvo casos especiais);**
- **Sapata corrida;**
- **Estacas + vigas baldrame.**

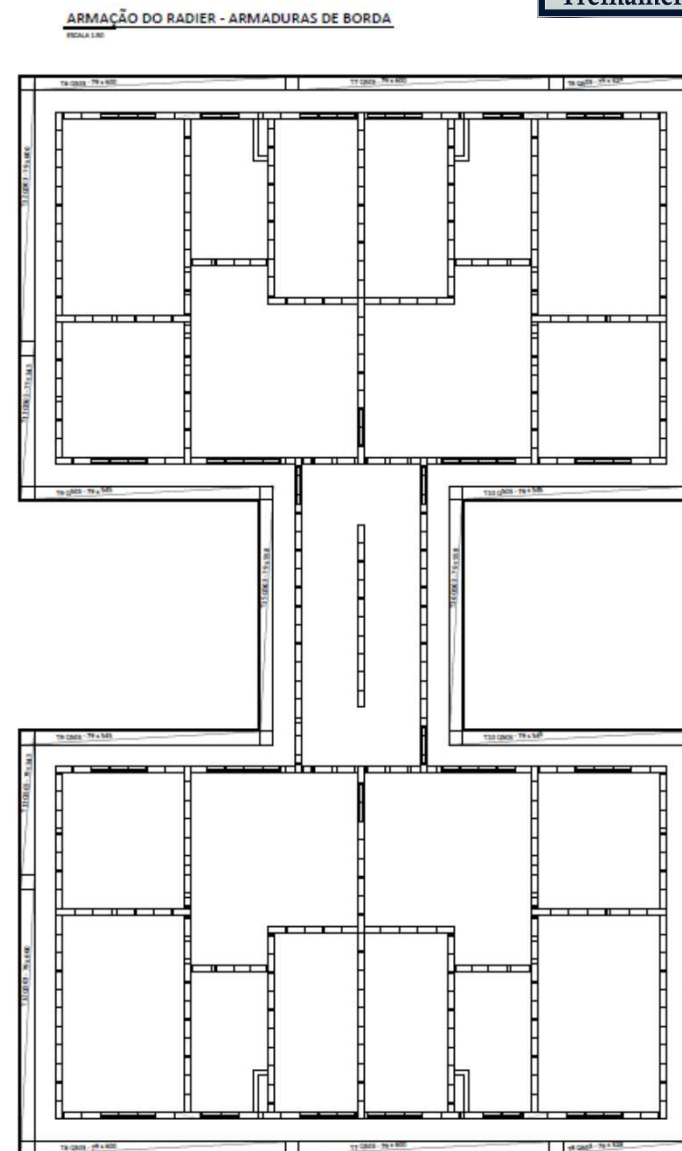
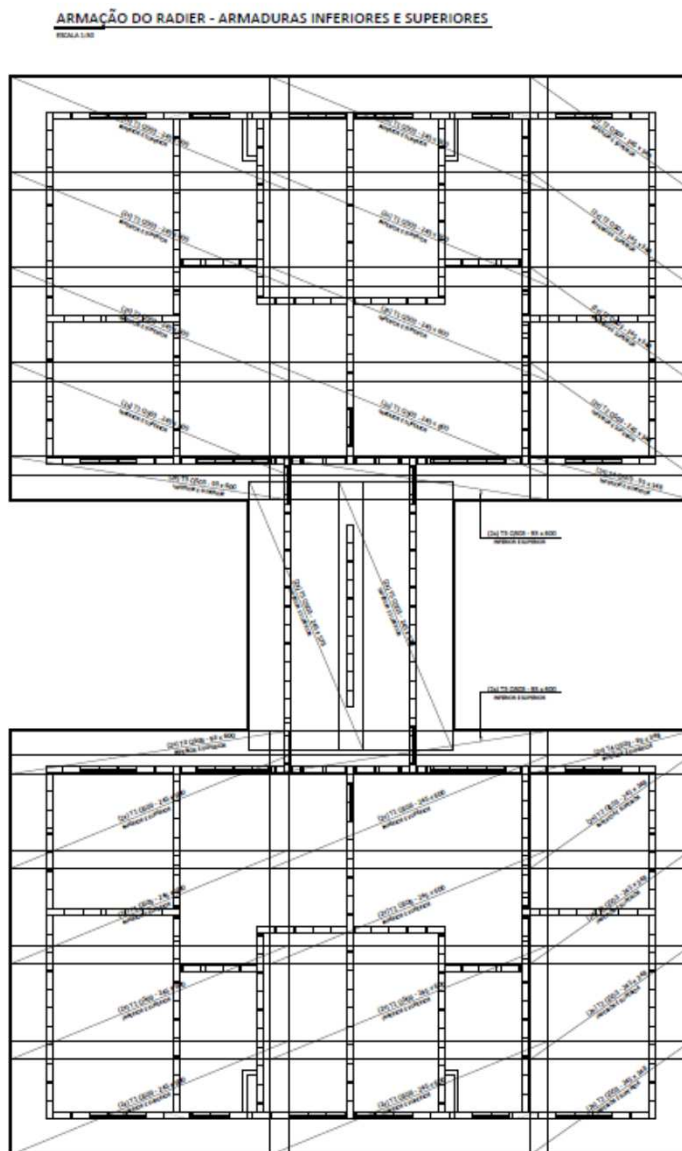
Cuidados especiais:

A estrutural em alvenaria estrutural tem baixa ductilidade, portanto, baixa capacidade de absorver possíveis recalques.

Fundações – Alvenaria Estrutural

EXEMPLOS

Radier

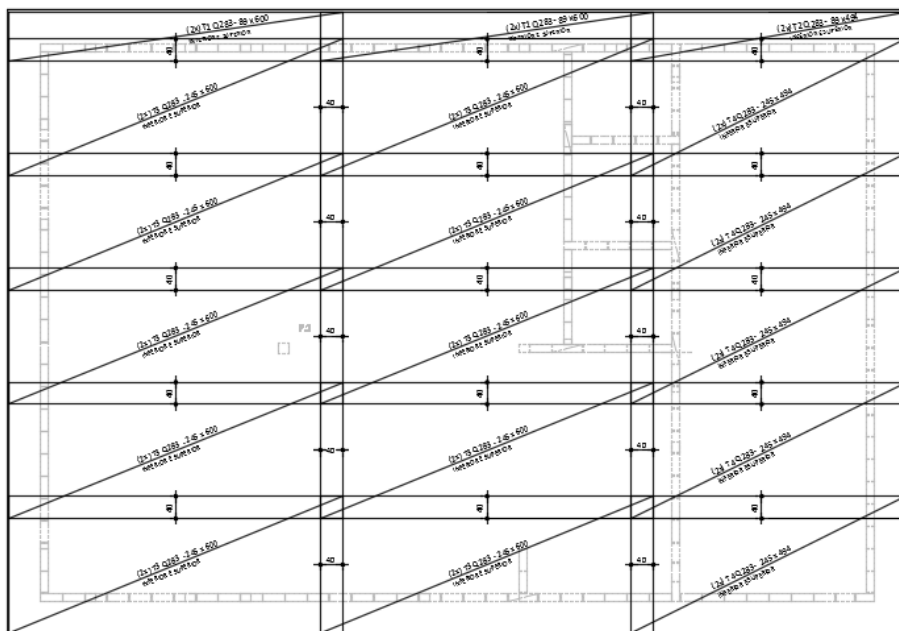


Fundações – Alvenaria Estrutural

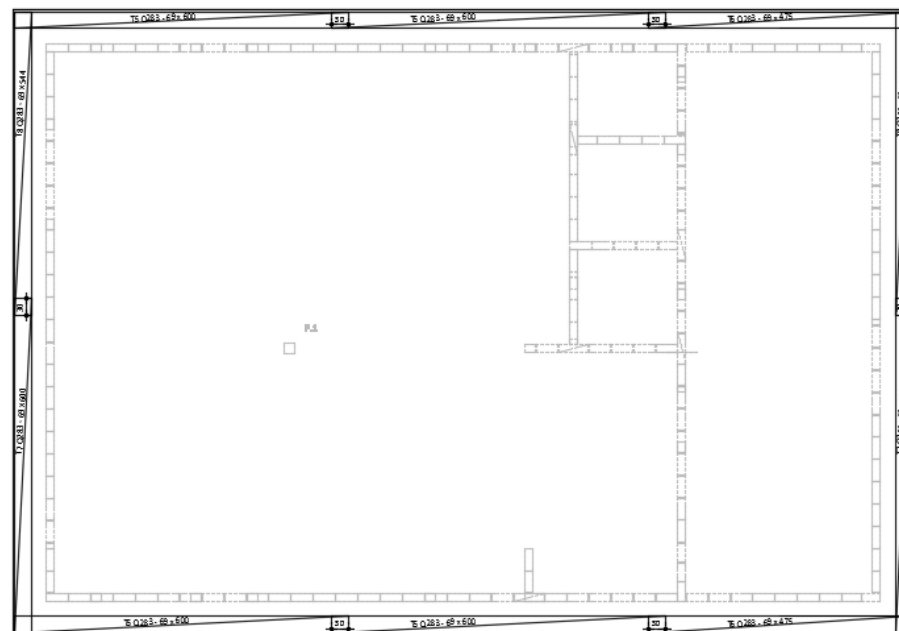
EXEMPLOS

Radier

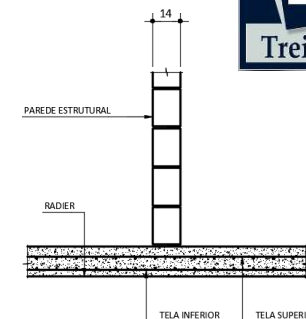
ARMAÇÃO DO RADIER - ARMADURAS INFERIORES E SUPERIORES - SALÃO DE FESTAS
ESCALA 1:50



ARMAÇÃO DO RADIER - ARMADURAS DE BORDA - SALÃO DE FESTAS
ESCALA 1:50

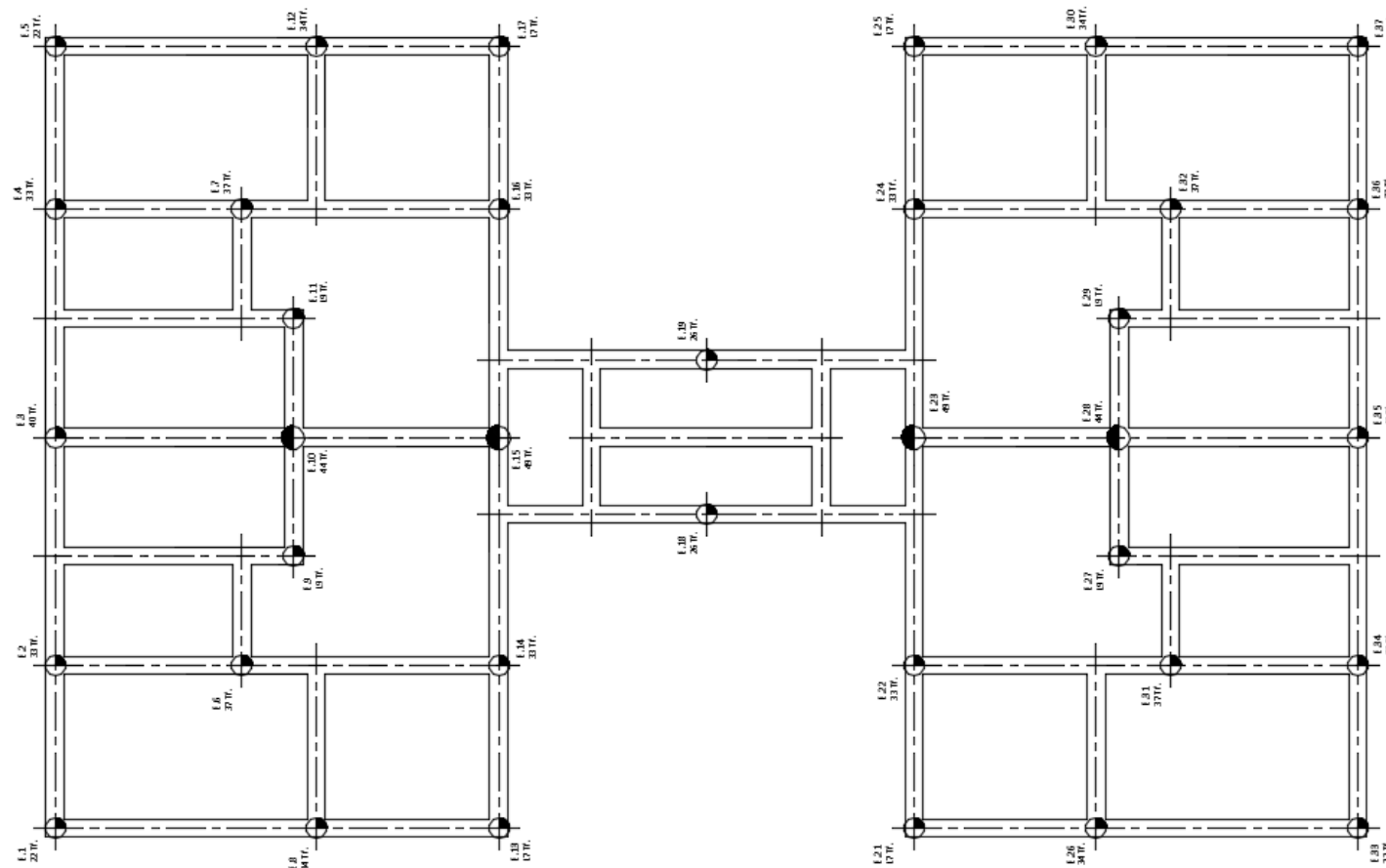


DETALHE DA REGIÃO INTER
ESC. 1:20



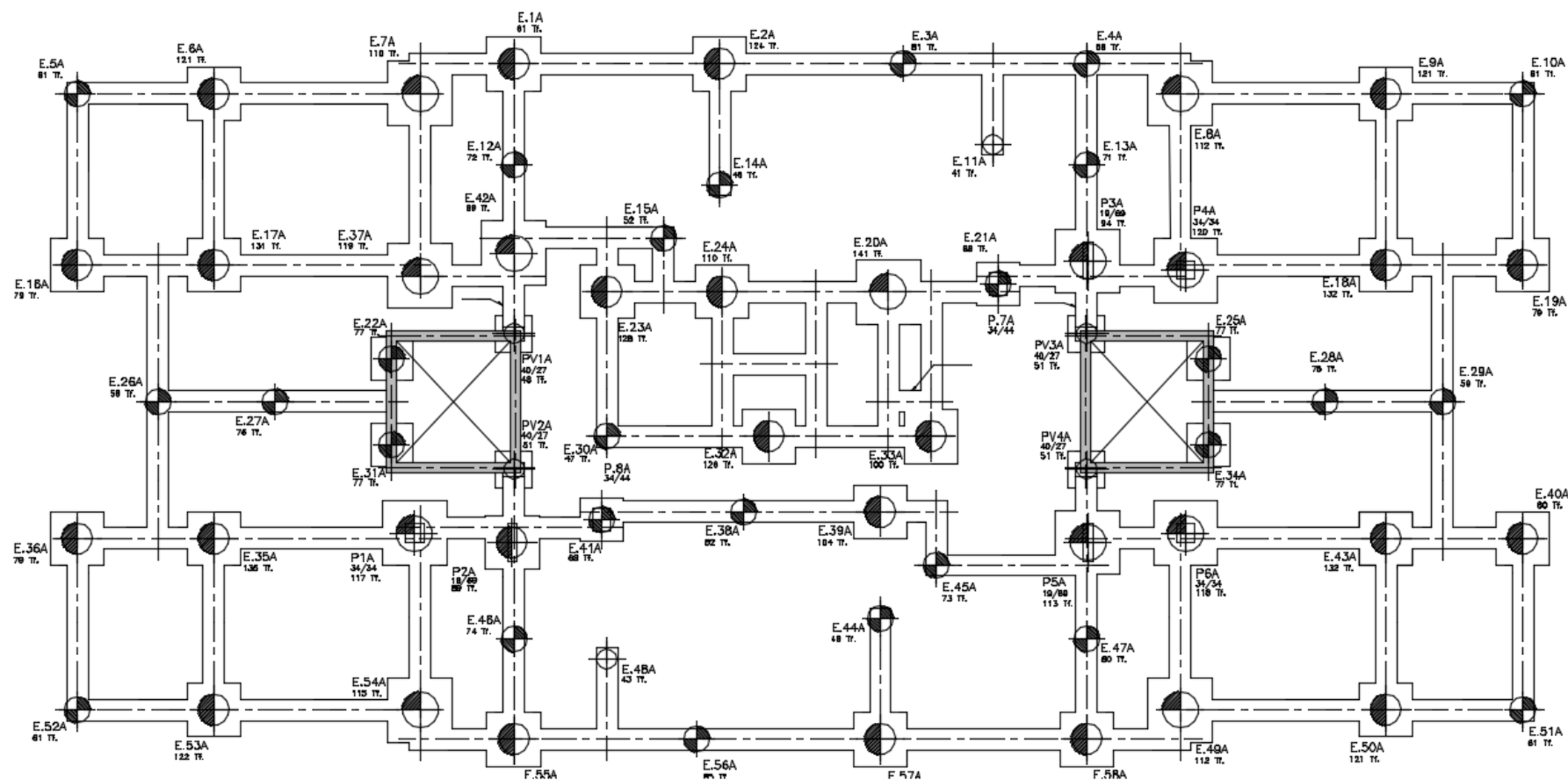
EXEMPLOS

Estacas + vigas baldrame



EXEMPLOS

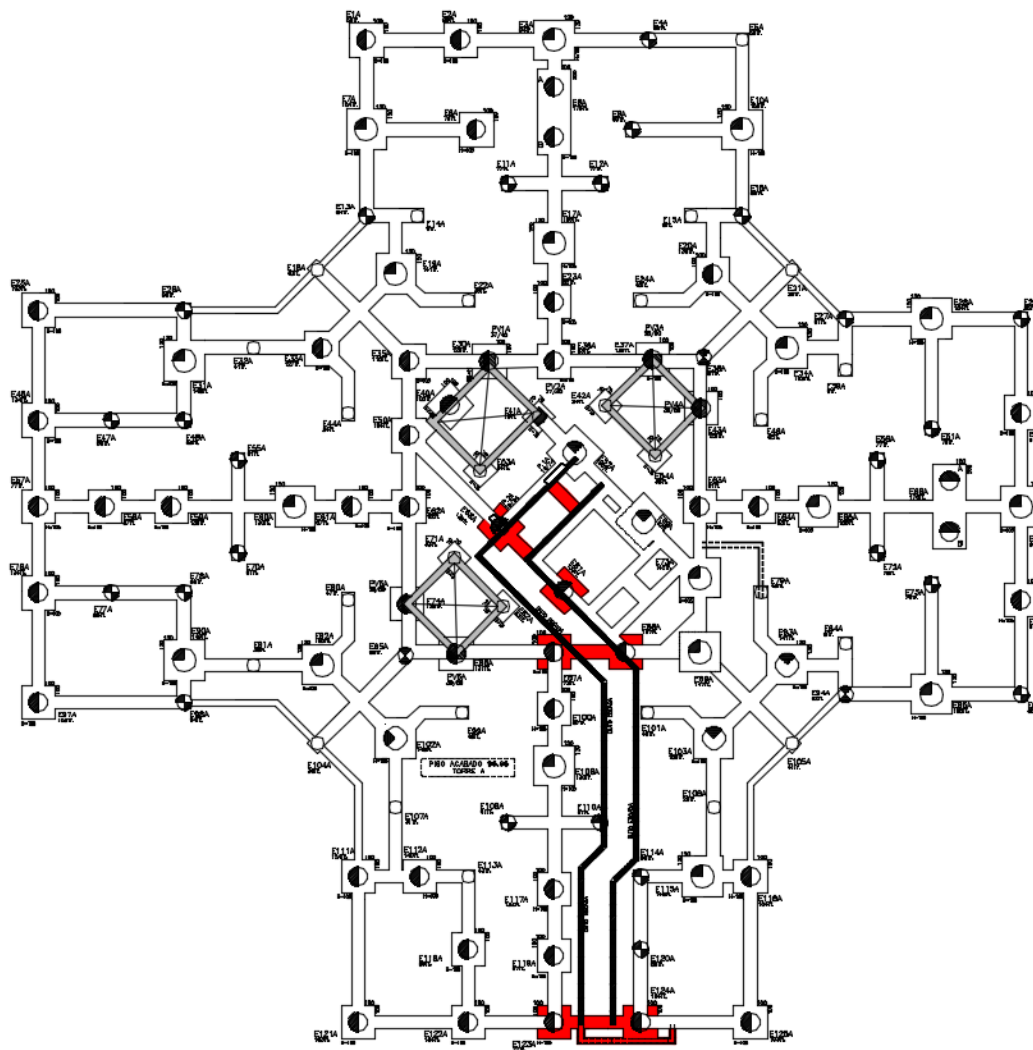
Estacas + vigas baldrame



Fundações – Alvenaria Estrutural

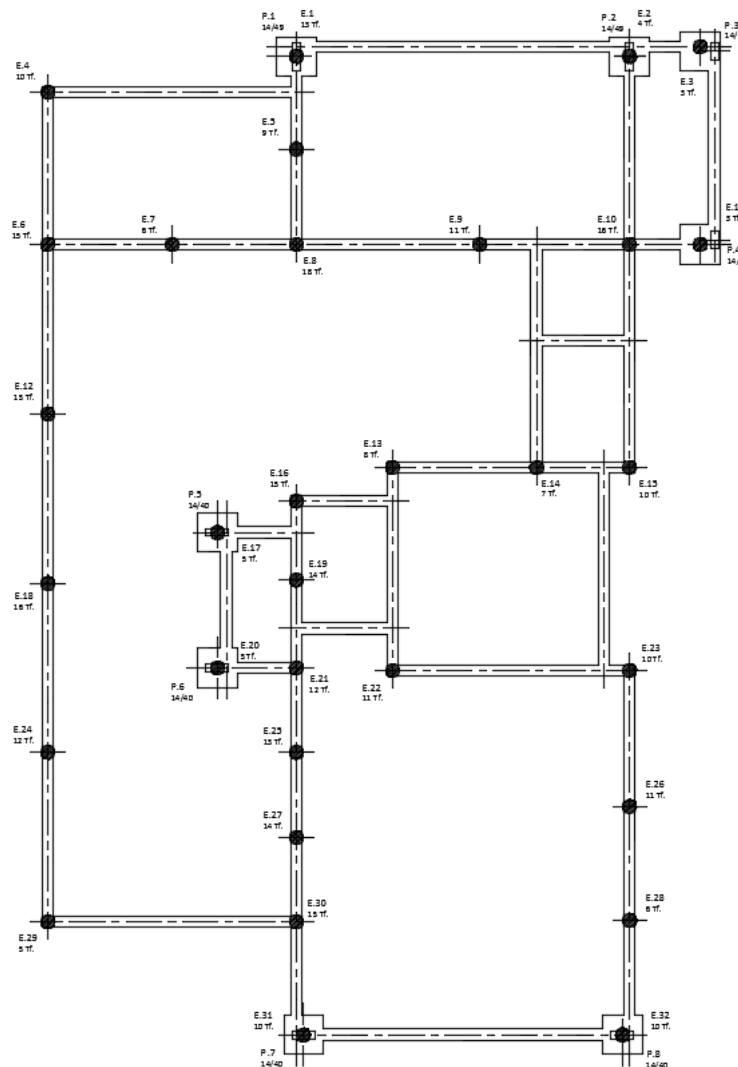
EXEMPLOS

Estacas + vigas baldrame



EXEMPLOS

Estacas + vigas baldrame



Fundações – Alvenaria Estrutural

EXEMPLOS

Sapata corrida

DETALHE GENERICO DAS SAPATAS CORRIDAS

