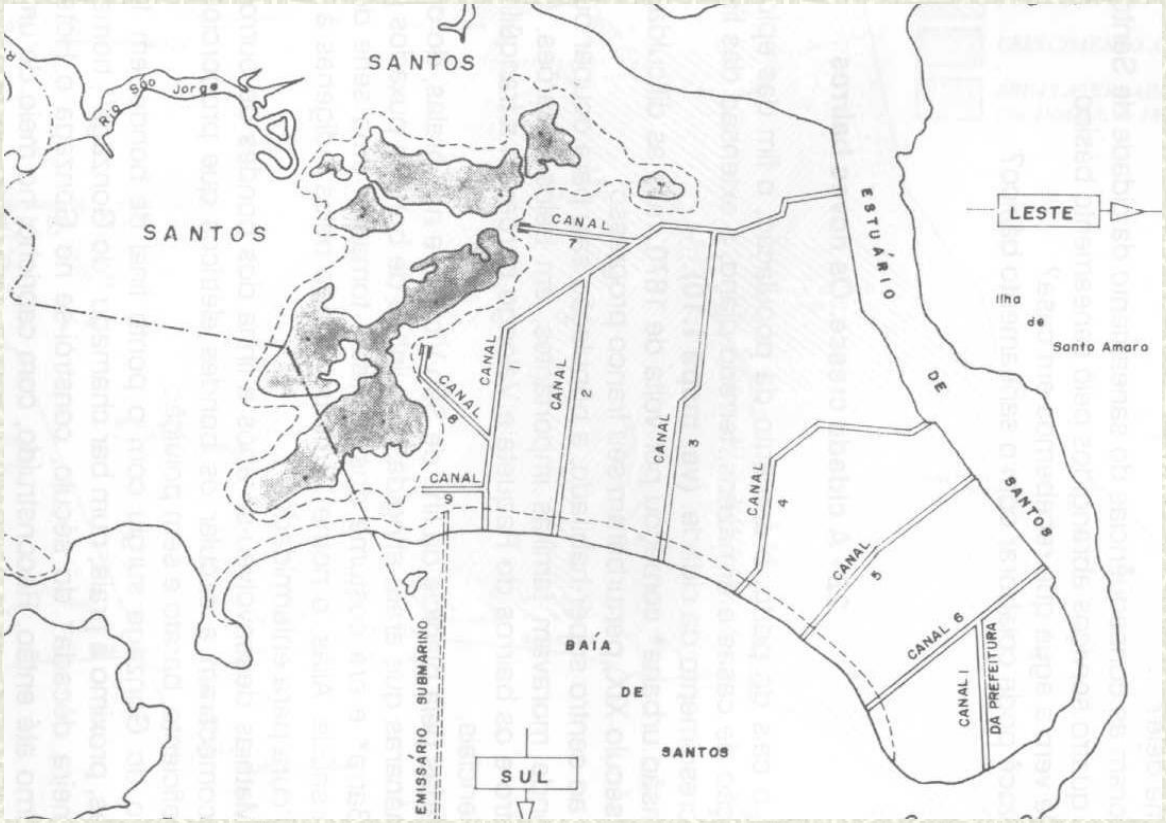
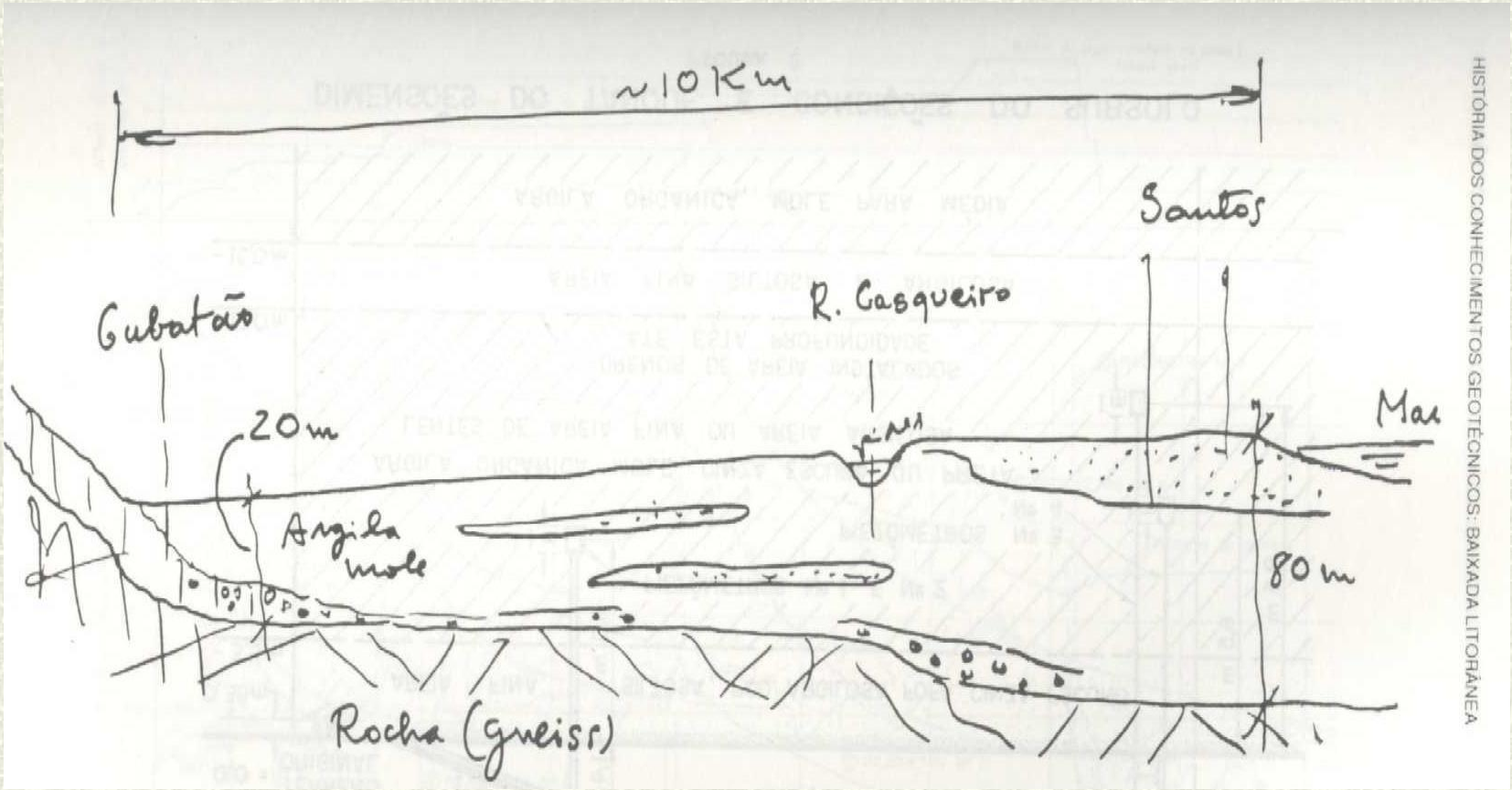
Edifícios inclinados de Santos
Causas e consequências
Renivelamento dos dois edifícios do Condomínio Núncio Malzoni

Dra Heloisa Helena Silva Gonçalves
Profa Livre Docente – Escola Politécnica da USP

Mapa de drenagem da cidade de Santos



Esquema do subsolo da Baixada Santista, proposto por Milton Vargas



PRAIA DO BOQUEIRÃO SANTOS

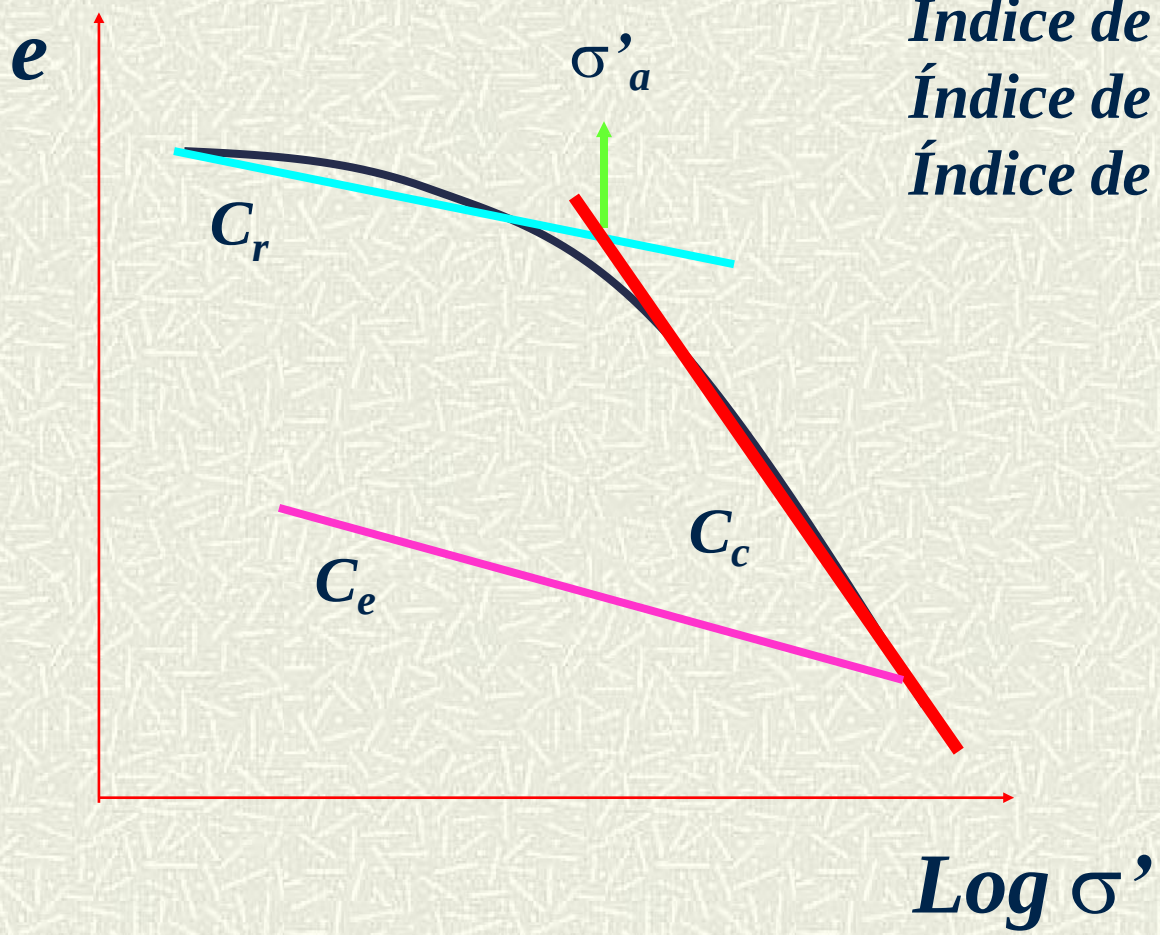
Edifício com 5 andares, que apresenta 2º de inclinação

26 10 2001

Pesquisa FAPESP: Estudo comparativo de recalques calculados e observados em alguns edifícios de Santos

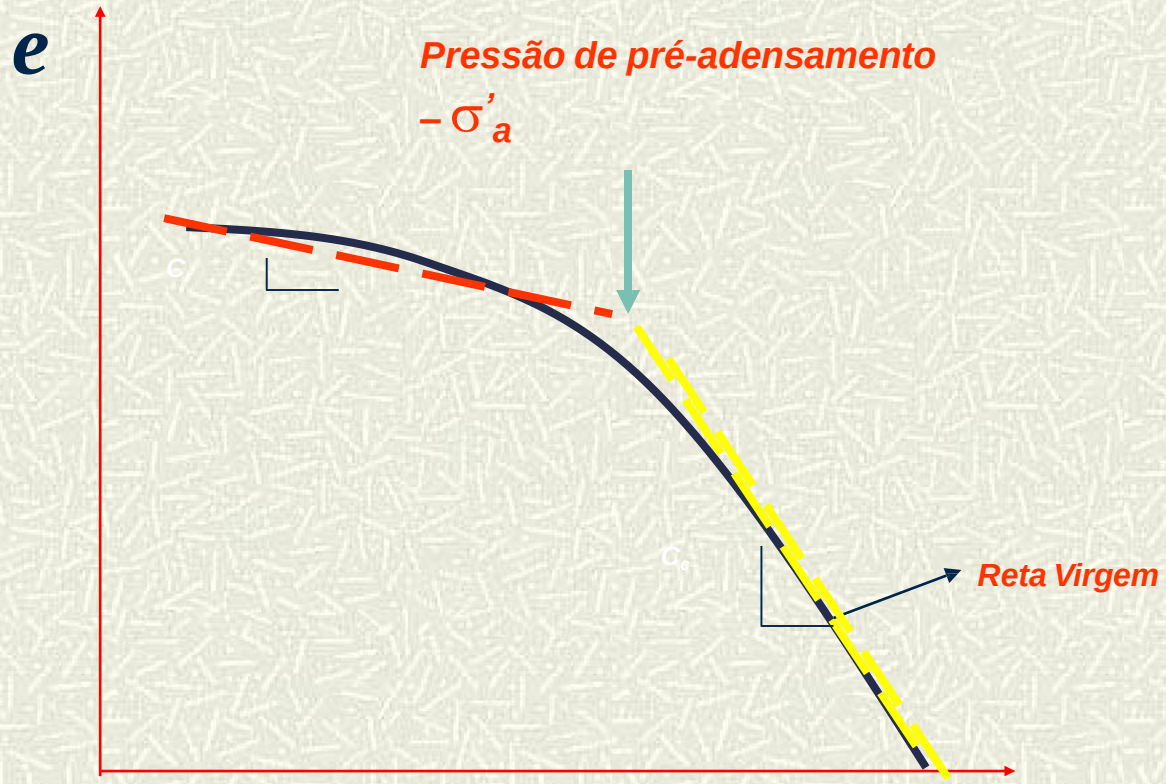
Por que alguns edifícios em Santos são inclinados?
Quando estes edifícios foram construídos a inclinação era prevista?
Podia ser evitada?
Estes edifícios podem sofrer ruptura?
Estes edifícios continuam a se inclinar?
Qual a previsão de estabilização das inclinações?
Quais as consequências sociais para a cidade?

Curva de adensamento

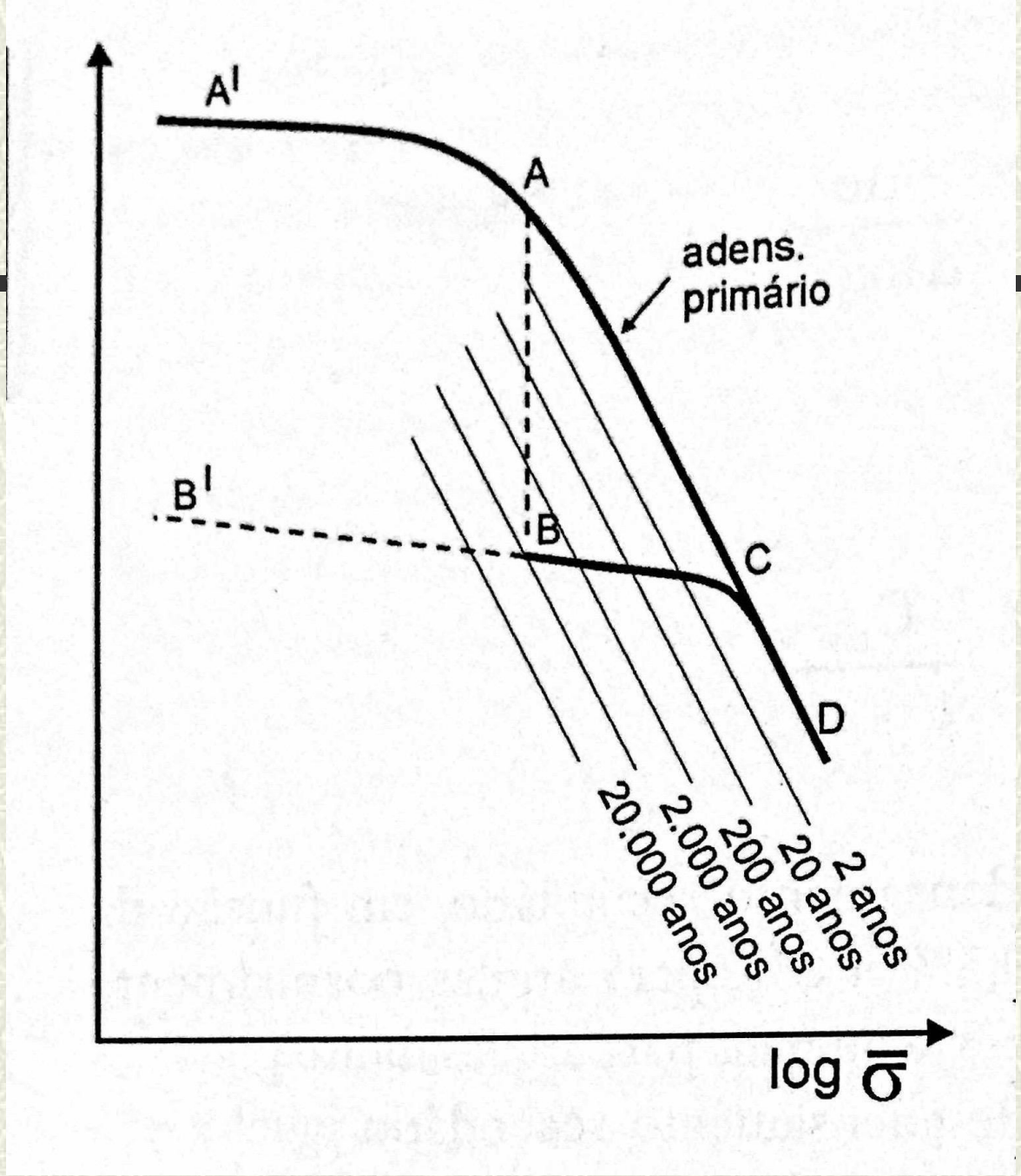


Índice de Compressão - C_c
Índice de Recompressão - C_r
Índice de Expansão - C_e

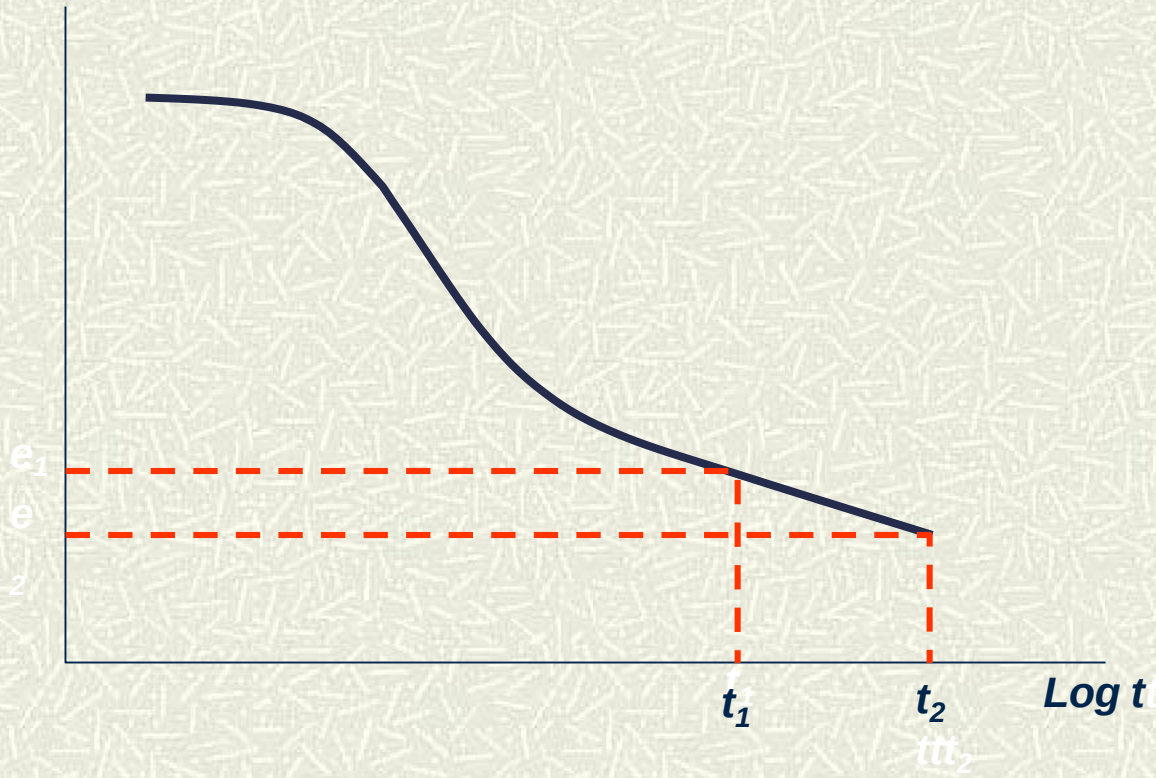
Curva de adensamento



$$\rho = \frac{H_1}{1+e_1}\left[C_r \log\left(\frac{\sigma'_a}{\sigma'_i}\right) + C_c \log\left(\frac{\sigma'_f}{\sigma'_a}\right)\right]$$


A'
A
adens.
primário
B'
B
C
D
20.000 anos
2.000 anos
200 anos
20 anos
2 anos
log σ̄

Adensamento secundário



$$C_\alpha = \frac{\varepsilon}{\log\left(\frac{t_2}{t_1}\right)}, \text{sendo } \varepsilon = \frac{\Delta h}{h} = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1}$$

Esquema do subsolo da orla da Baixada Santista (Teixeira, 1994)

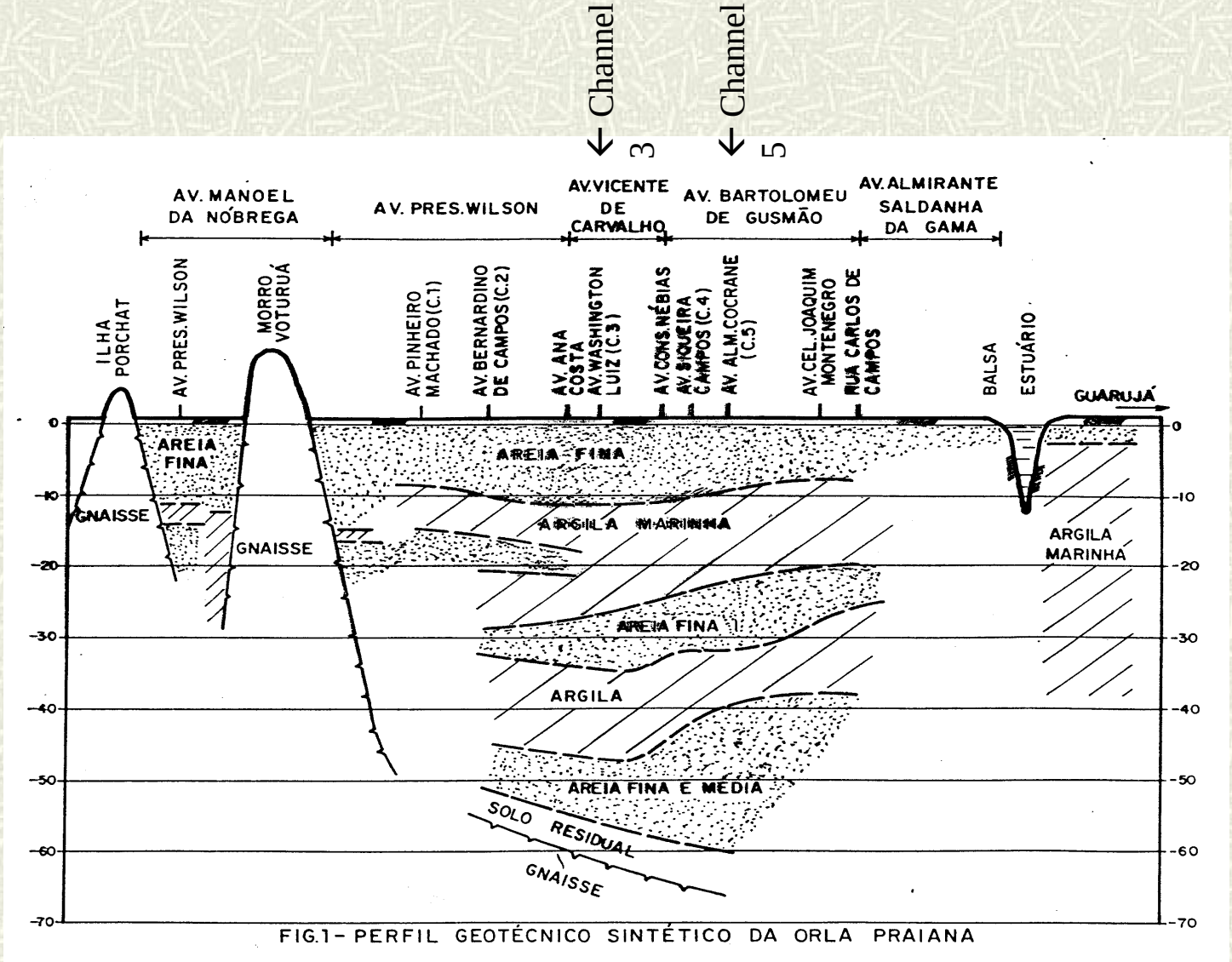
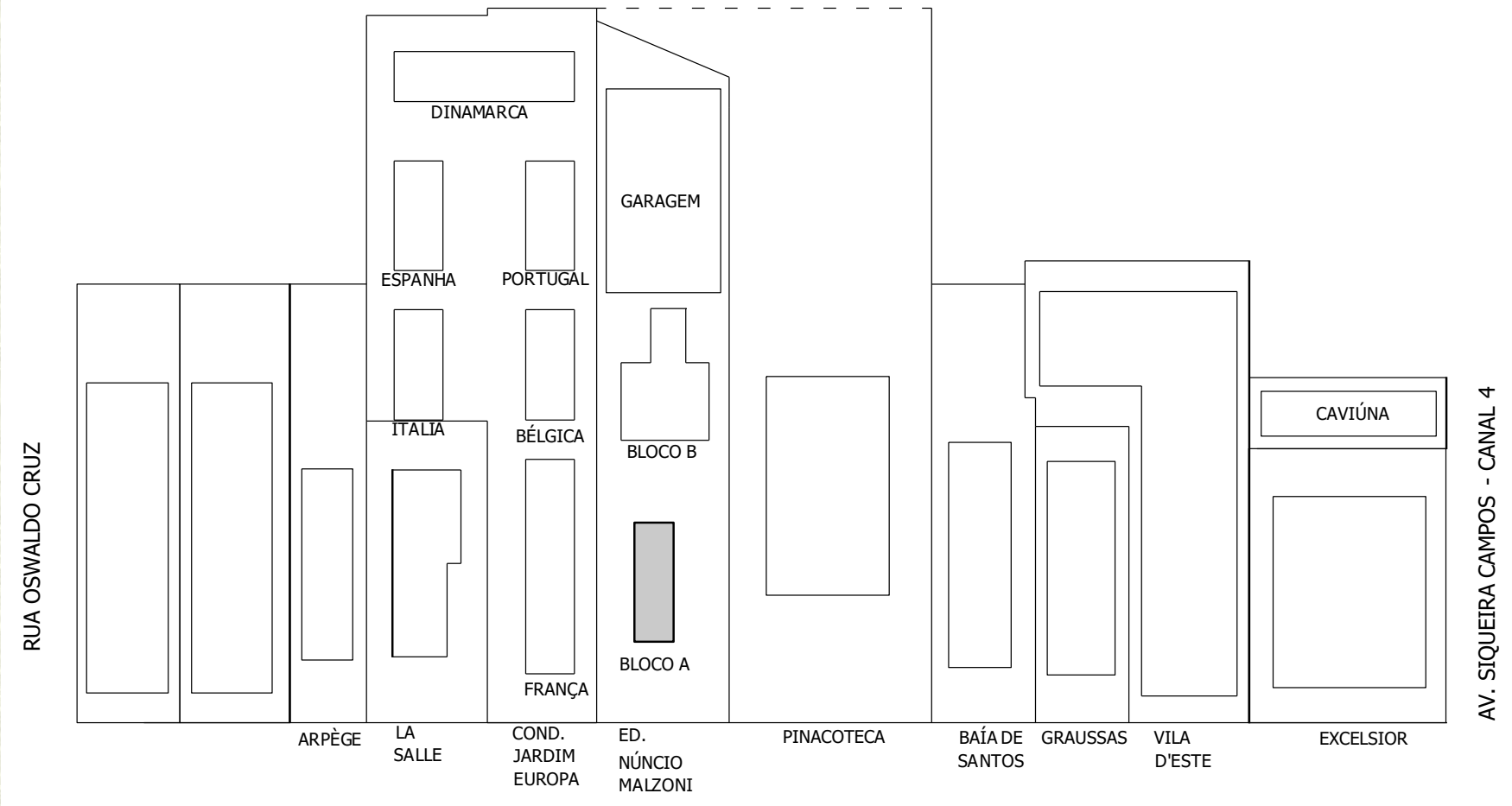


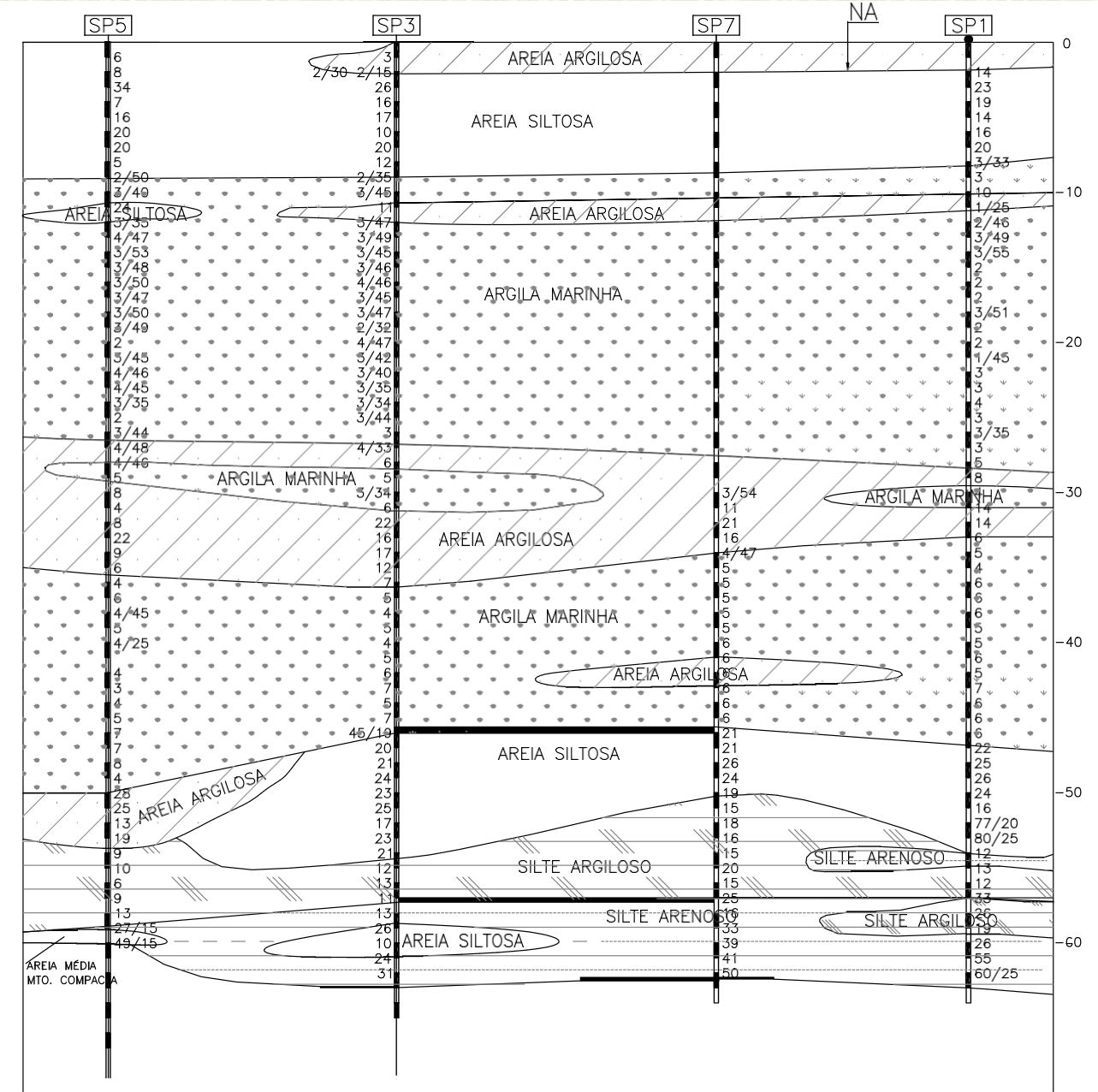
FIG.1 – PERFIL GEOTÉCNICO SINTÉTICO DA ORLA PRAIANA

Teixeira (1994)

Quadra 1: Localização em planta



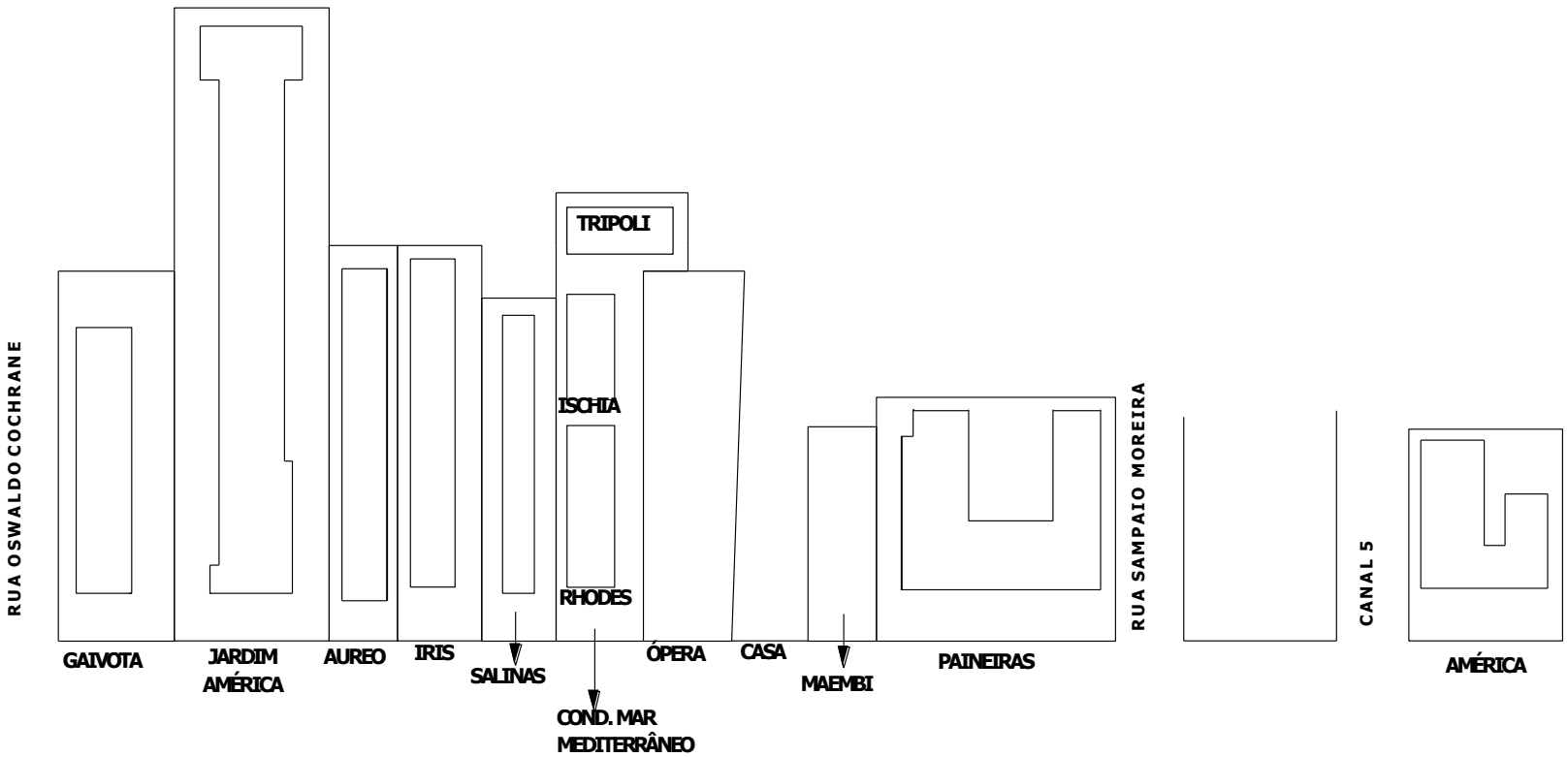
Perfil geotécnico – sondagens executadas no terreno do Condomínio Núncio Malzoni



Prédios e velocidades de recalque (entre 2000 e 2002)

	La Salle	*França*	*Bélgica*	*Caviúna*
Número de andares	17	15	15	11
Tempo (anos) decorrido entre o final da construção e 2000	36	36	36	31
Vmín (μ/dia)	23,2	19,9	22,6	24
Vmáx (μ/dia)	29,5	26,5	29,3	30,2

Quadra 2: localização em planta



Sondagem típica da Quadra 2

SP-04		SP-04	SP-05	
14	1	AREIA POUCO ARGILOSA MARROM	13	1
22	2		24	2
12	3	AREIA FINA SILTOSA, MEDIANAMENTE COMPACTA, CINZA	15	3
16	4		16	4
14	5		13	5
6	6		1/19,1/10,2/17	6
5	7	AREIA FINA, POUCO ARGILOSA COM POUCOS FRAGMENTOS DE CONCHAS E MICA, FOFA A POUCO COMPACTA, CINZA	2/27,1/4,5/16	7
1/16,2/19,1/4	8		1/15,2/19,1/15	8
1/26,1/14,1/11	9	ARGILA MARINHA SILTOSA, MOLE A MUITO MOLE, CINZA ESCURA	1/17,1/13,2/22	9
1/25,1/13,1/12	10		1/16,1/14,2/23	10
1/17,1/15,1/14	11		2	11
1/18,1/14,1/13	12		1/16,1/13,2/22	12
1/16,1/14,2/21	13		3	13
1/12,1/13,2/23	14		3	14
2	15		3	15
2	16		3	16
1/18,1/14,1/13	17		3	17
2	18		3	18
3	19		3	19
2,1,2	20		2	20
2/21,1/9,2/16	21	ARGILA MARINHA BASTANTE ARENOSA, MOLE, CINZA E	2/21,1/9,2/15	21
4	22		2/5,2/15,3/23	22
7	23	AREIA FINA ARGILOSA, POUCO Á MEDIANAMENTE COMPACTA, CINZA	6	23
9	24		9	24
12	25		12	25
21	26	AREIA FINA SILTOSA, COM NÓDULOS DE ARGILA COMPACTA, CINZA	21	26
19	27		19	27
22	28		16	28
25	29		34	29
10/15,13/15,9/15	30		23	30
5/15,8/15,5/15	31	AREIA FINA, BASTANTE ARGILOSA, MEDIANAMENTE COMPACTA, CINZA ESCURO	13	31
2/15,2/14,3/19	32		2/15,3/17,2/13	32
		ARGILA MARINHA SILTOSA, POUCO ARENOSA, MOLE CINZA ESCURA		

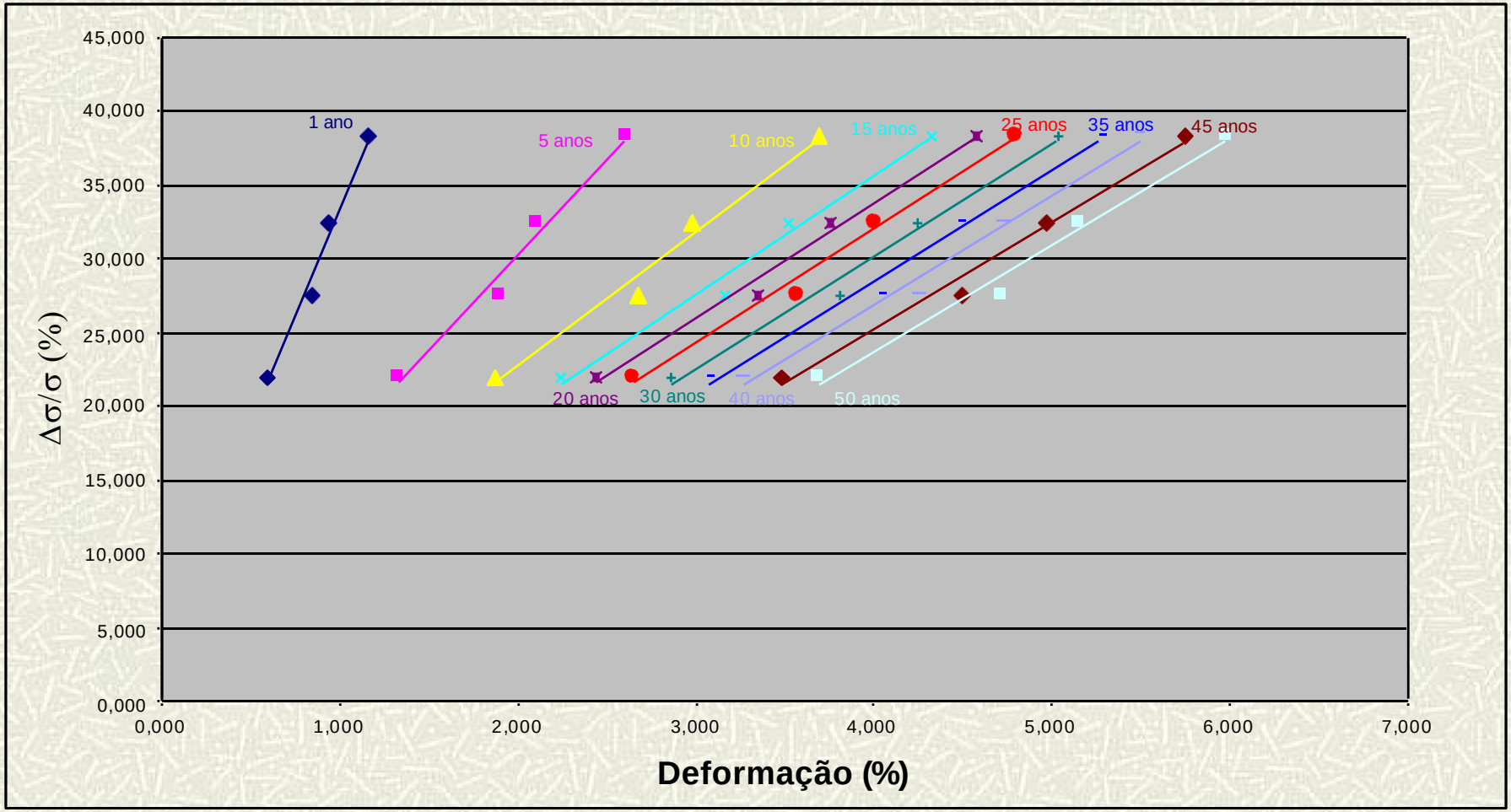
	Gaivota	Jardim América	Aureo	Iris	Salinas	Rhodes	Ischia	Tripoli	Palmeiras	América
Número de andares	14	17	9	13	8	12	12	12	11	15
Tempo (anos) decorrido entre final da construção e 2000	40	37	35	37	19	35	35	35	40	54
Vmín (μ/dia)	23,0	28,2	32,3	28,8	24,9	17,0	17,5	17,8	13,6	24,7
Vmáx (μ/dia)	33,8	43,0	34,8	36,7	31,0	27,4	26,6	24,7	22,5	37,1

Velocidades de recalque por adensamento secundário em edifícios com mais de 30 anos de construção

Primeira quadra		**Segunda quadra**	
Pédios de 11 a 17 andares		Pédios de 9 a 17 andares	
Vel mín de recalque	Vel máx de recalque	Vel mín de recalque	Vel máx de recalque
5mm/ano	16mm/ano	10mm/ano	16mm/ano

Não há uma correlação entre o número de andares e a velocidade de recalque, mas sim entre o acréscimo de tensão, a deformação e o tempo como pode ser observado através das isócronas obtidas com todos os dados de campo trabalhados. Estas isócronas estão apresentadas no próximo slide

Isócronas tensão-deformação obtidas com leituras de campo



Edifícios inclinados de Santos:

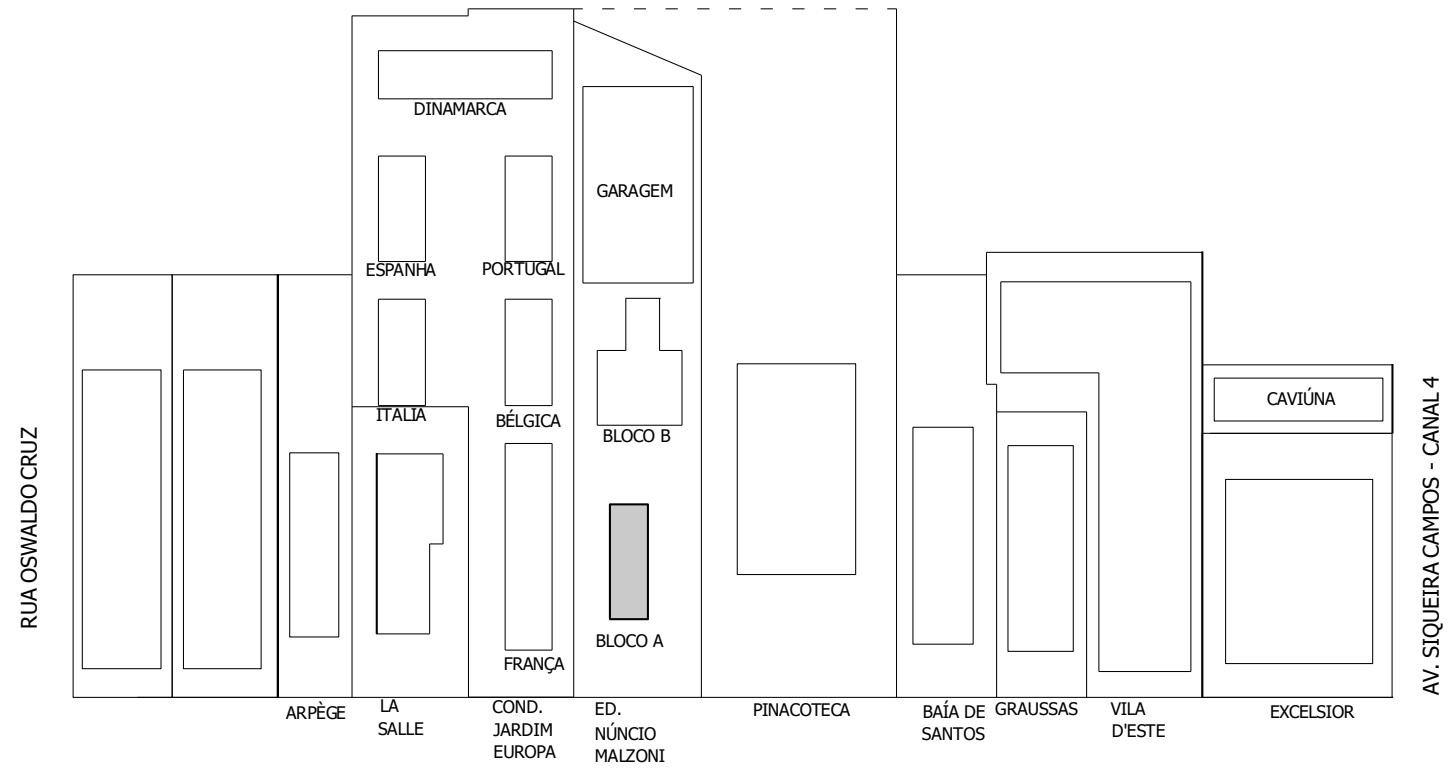
O caso do Núncio Malzoni

Interdição do bloco A do Núncio Malzoni - 1995

Palestra na Associação dos Engenheiros e Arquitetos de Santos

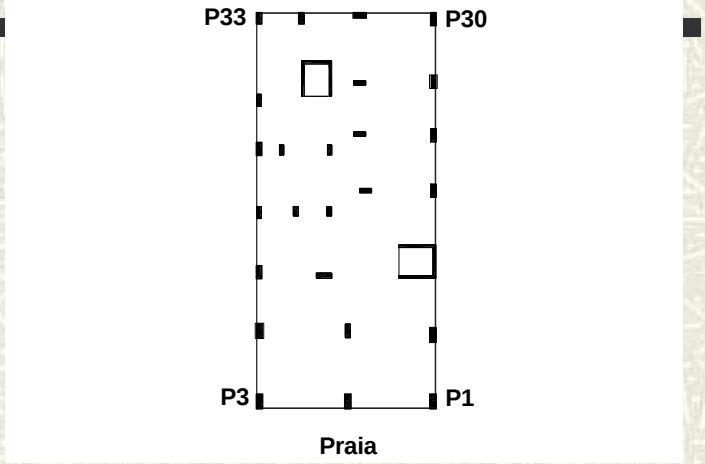
Público: moradores de edifícios inclinados

Planta da quadra:Núncio Malzoni



Bloco A Condomínio Núncio Malzoni

1995



Recalque diferencial entre pilares

P1-P3 = 45cm

P30-P33 = 45cm

P1-P30 = 25cm

P3-P33 = 25cm

P1 – P33 = 70cm

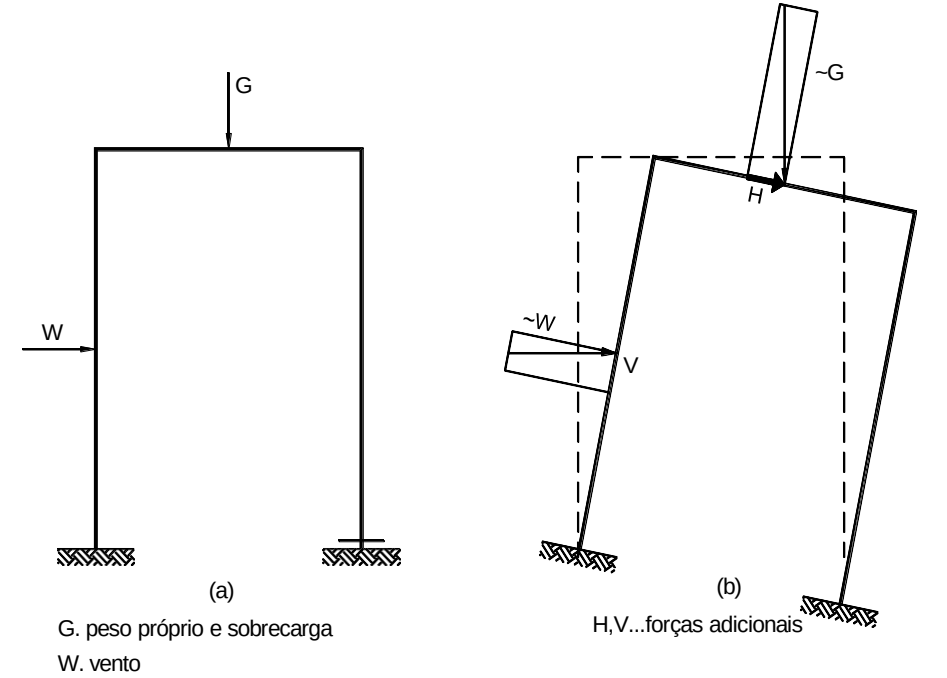
Desaprumo = 2.2º

Bloco A do Condomínio Núncio Malzoni

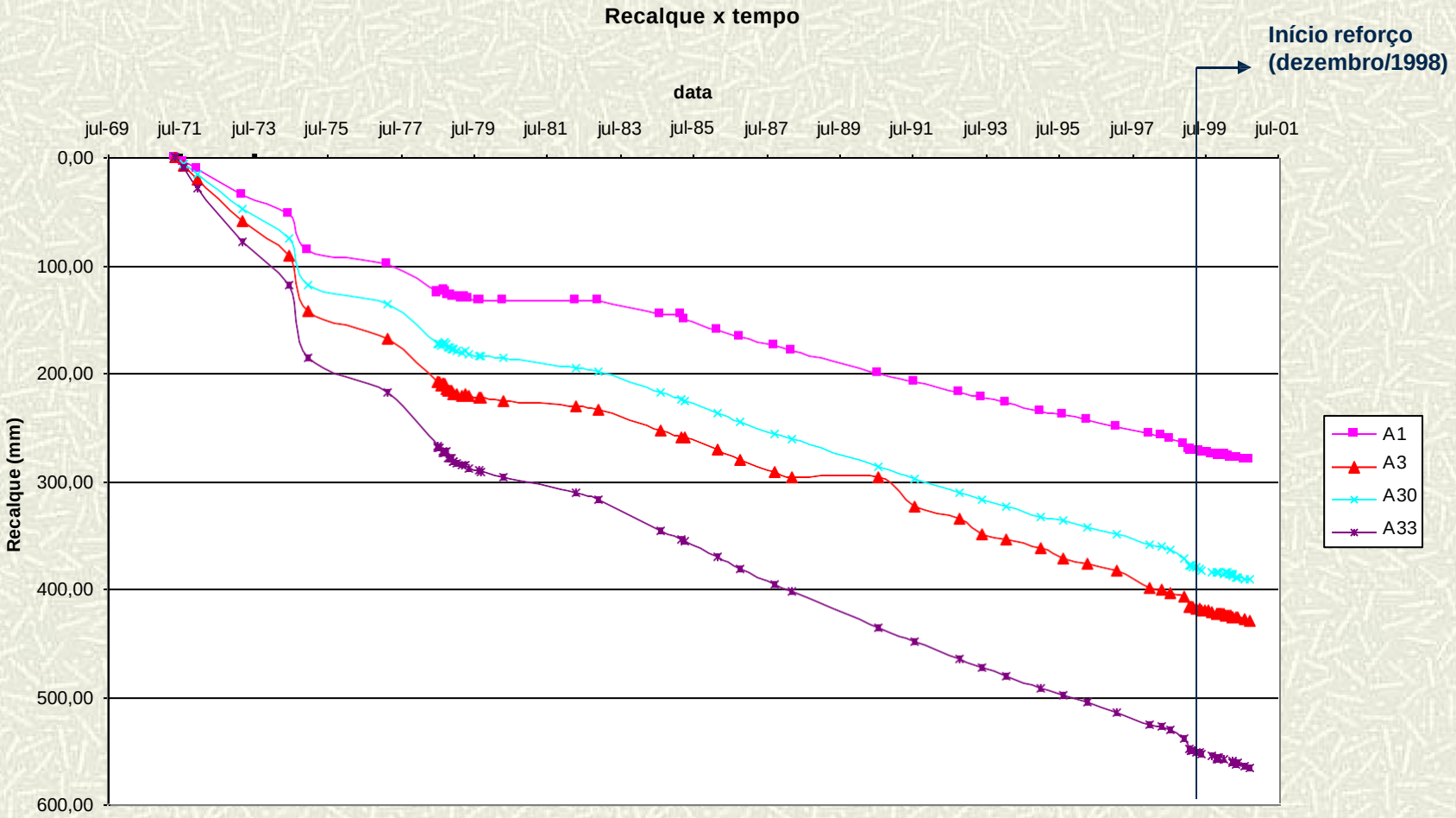
Projeto de reaprumo:

Prof. Dr Carlos Eduardo Moreira Maffei

Esquemas estruturais: como calculado e após a inclinação



Evolução dos recalques desde a primeira leitura até a conclusão das obras de reforço



Avaliação da segurança estrutural do Bloco A

Programa utilizado: PORCA (Pórticos de Concreto Armado)

Prof. Dr. Paulo de Mattos Pimenta - USP

Características do Programa: análise de estruturas existentes em concreto armado.
Cálculo efetuado através de elementos finitos, com análise não linear. Considera:

- **equilíbrio na configuração deformada**
- **seqüência real de carregamento**
- **etapas construtivas**
- **consideração do comportamento mais realístico dos materiais, levando em conta a fissuração e a heterogeneidade.**

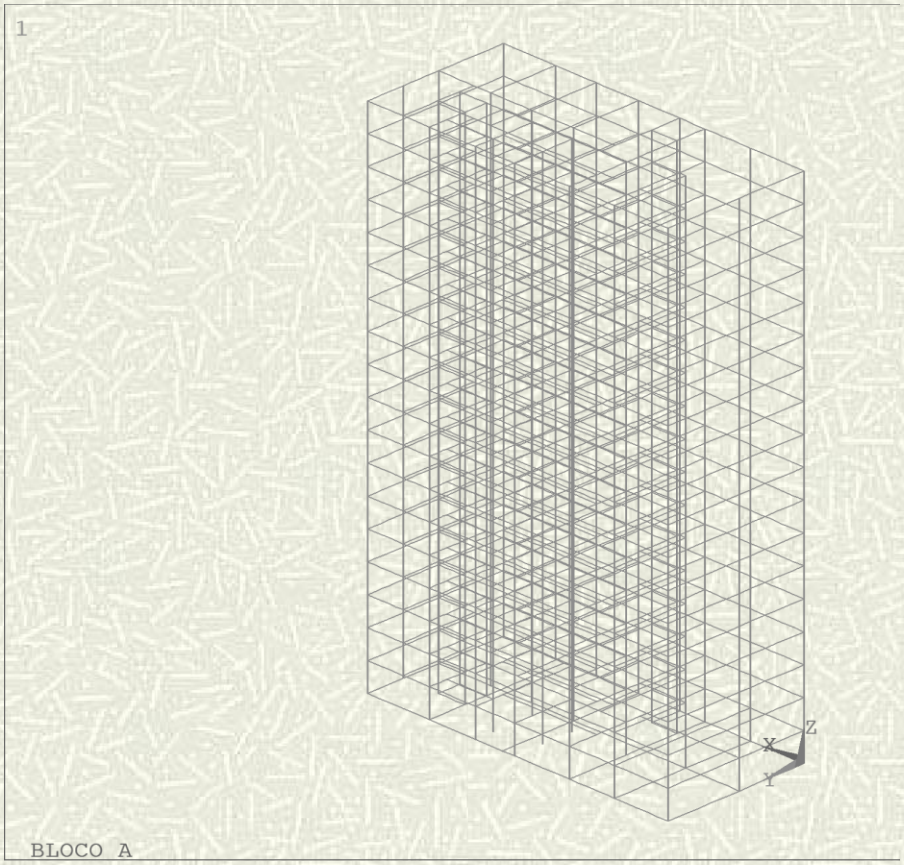
A reologia do concreto é representada por uma curva tensão–deformação não-linear característica do concreto e a reologia do aço por um comportamento elasto-plástico

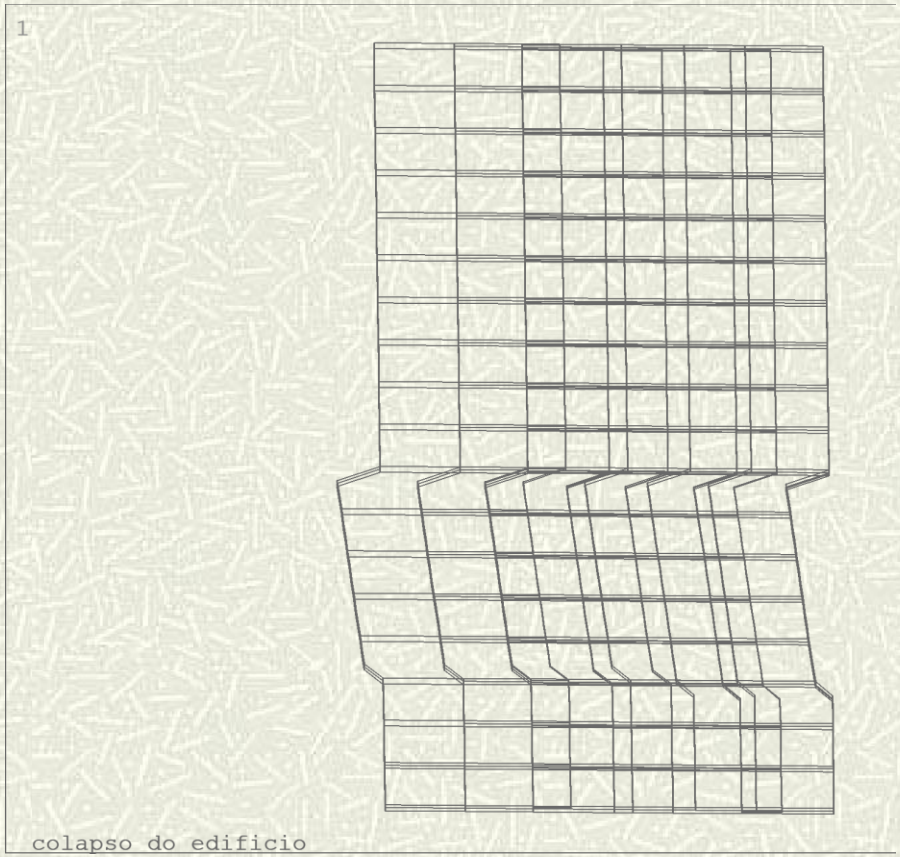
Metodologia utilizada:

Foram estudadas 3 seções para cada viga e cada pilar do edifício, totalizando 3.000 seções para o Bloco A. Para cada seção foram levantados os dados de entrada do programa, que são: geometria da seção transversal de concreto, a área e a posição da armadura.

Foi simulada a inclinação do prédio com as velocidades de recalque que estavam constantes em cada pilar há cerca de vinte anos, até que o edifício entrasse em colapso. Desta forma obteve-se de uma forma mais científica o tempo mínimo que a estrutura permaneceria segura se nenhuma condição fosse alterada.

Esquema estrutural e colapso teórico do edifício





Condicionantes da Escolha da solução

- Tempo limitado;
- Histórico de soluções anteriores utilizadas em Santos sem sucesso;
- Desconhecimento da duração e intensidade do recalque que ainda estava por ocorrer.

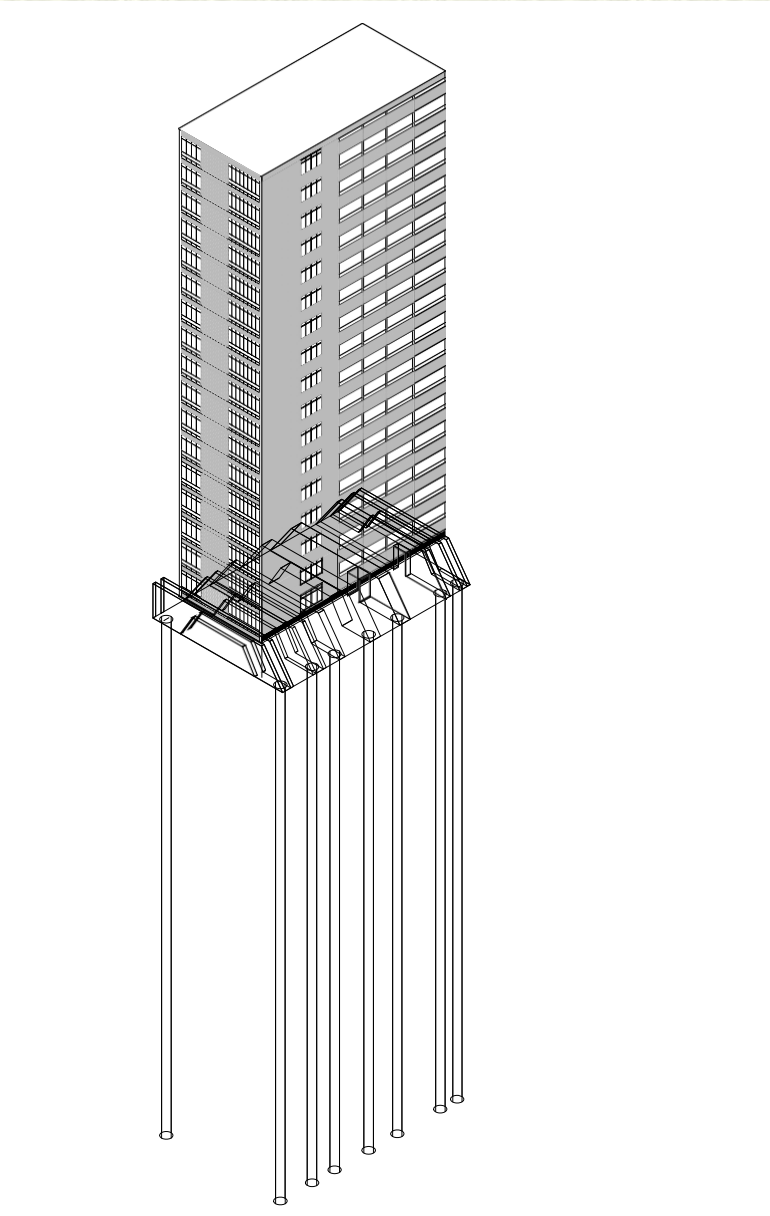
Soluções estudadas:

- Carregamento do lado menos recalcado;
- Sangria;
- Injeções para expandir o solo;
- “Subfundação”.

Soluções apresentadas aos moradores:

- Reforçar os elementos estruturais
- Reforçar os elementos estruturais e executar sub fundação
- Executar sub fundação, estrutura de transição e fazer o prédio voltar ao prumo
- Demolir e construir outro

Solução utilizada



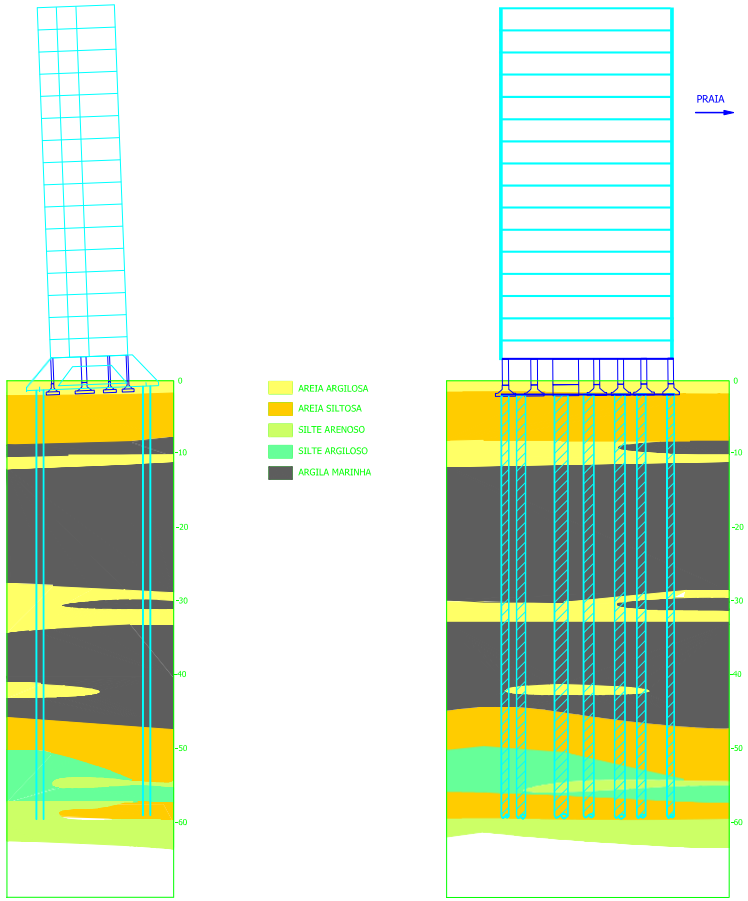
Condicionantes para a escolha das novas fundações :

- Cargas elevadas: vigas de transição (peso do prédio = 70.000kN).
- O subsolo da região: fundações apoiadas a cerca de 55m.
- A falta de espaço para equipamento: a inclinação do prédio limitava a distância mínima entre o equipamento e a lateral esquerda do edifício.
- A impossibilidade de vibração durante a execução das fundações.
- As sapatas não fossem desconfinadas (até 10cm de distância)

Fundações

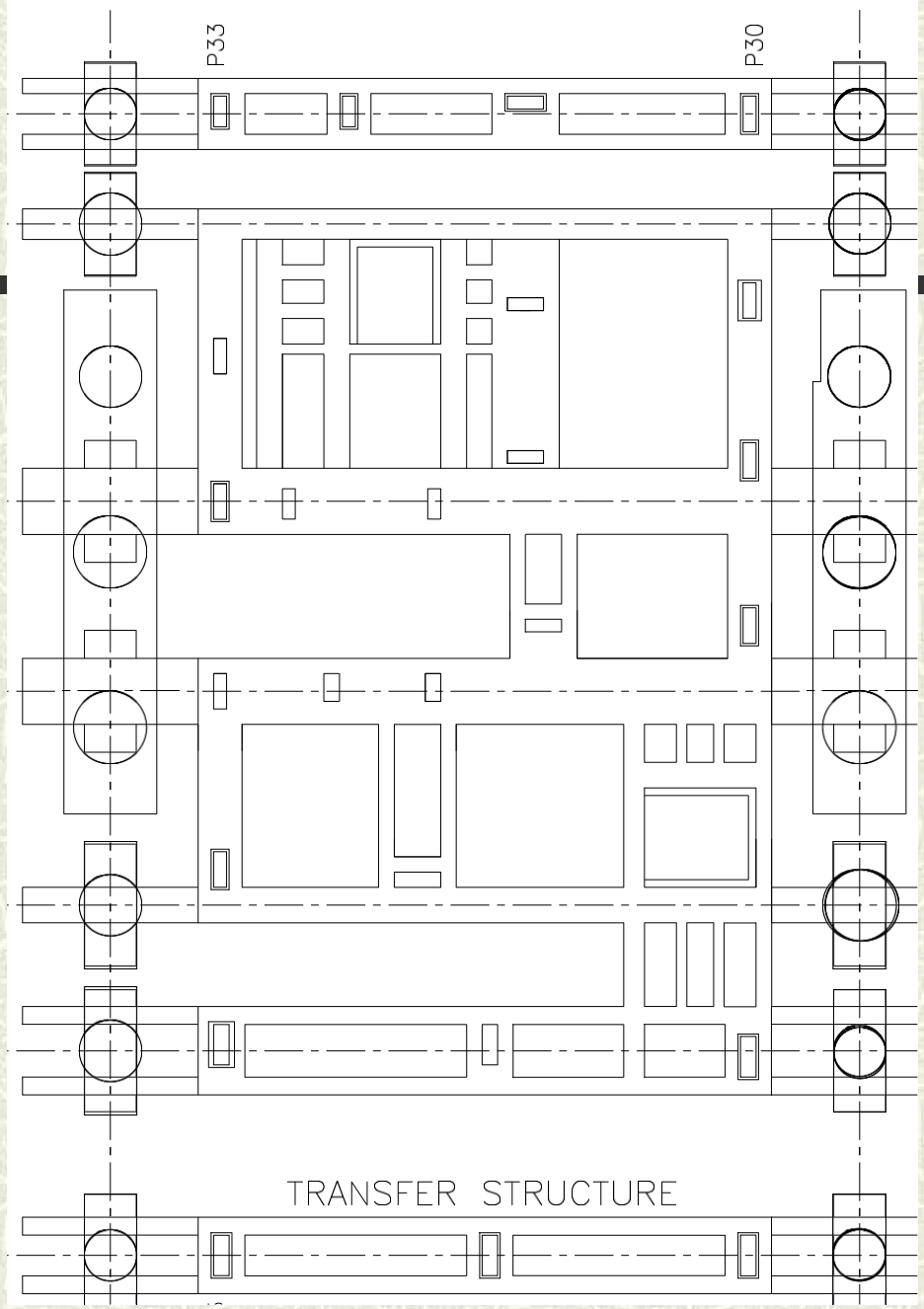
Foram escolhidas como novas fundações estacas escavadas com a utilização de lama betonítica e diâmetro variável entre 1m e 1,8m. Seriam executados 14 estacões, um em cada extremidade das 7 vigas transversais de transição. Para executar os estacões foram utilizadas camisas metálicas com 6m de comprimento, no lado direito do edifício e 12m no lado esquerdo. A utilização de camisas não é usual para este tipo de estaca, para a qual normalmente são utilizadas apenas guias; porém, neste caso, o uso de camisas serviu para garantir que durante a escavação não houvesse desmoronamento da camada de areia sob as sapatas existentes, já que estas estavam muito próximas das estacas a serem executadas e qualquer perda de material poderia provocar um desconfinamento das sapatas. Como a entubadeira utilizada para cravar as camisas tinha 1,50m de diâmetro o projeto foi modificado e os estacões de 1,80m foram substituídos por estacões de menor diâmetro. Foram executados 16 estacões com diâmetro variável entre 1,00m e 1,40. O comprimento mínimo das estacas foi de 55m e através do controle durante a concretagem, foi verificado que não houve grande perda de concreto na região da argila mole. Sobre as estacas foram construídos blocos que receberiam o apoio dos macacos e dos calços. A planta com os blocos e as vigas de transição está apresentada na Figura.

PERFIL DE SONDAGEM

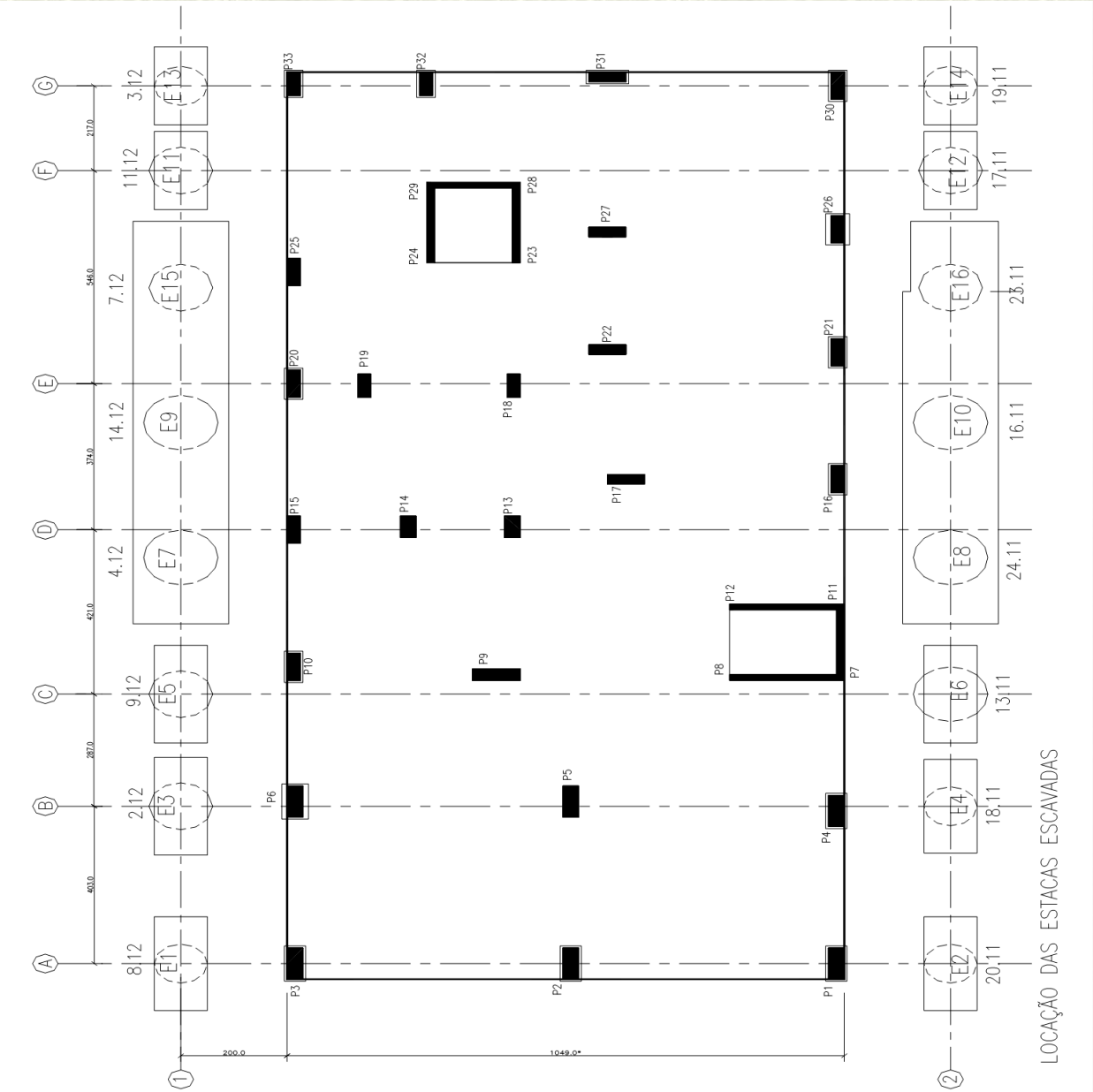


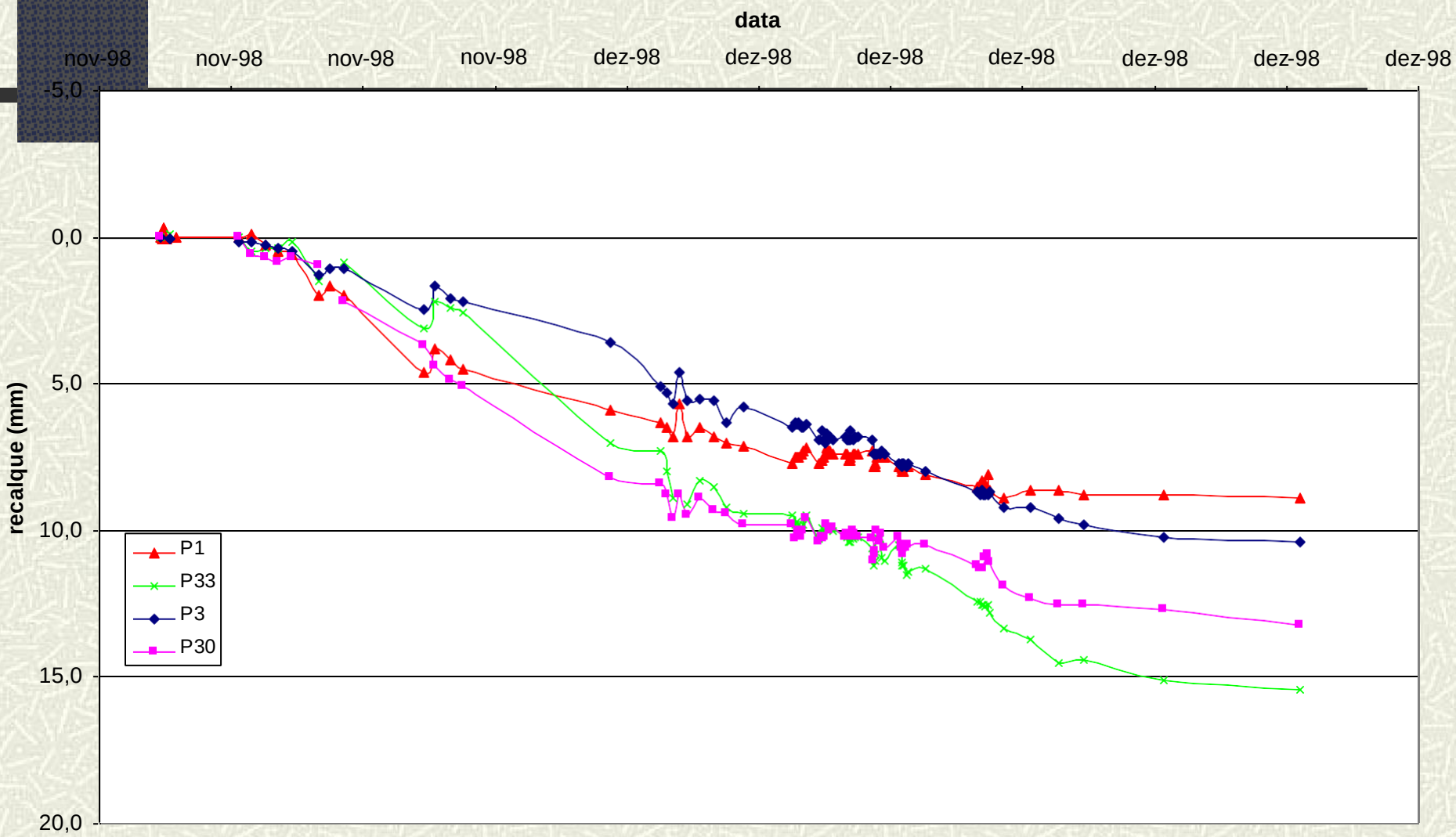
VISTA FRONTAL

VISTA LATERAL

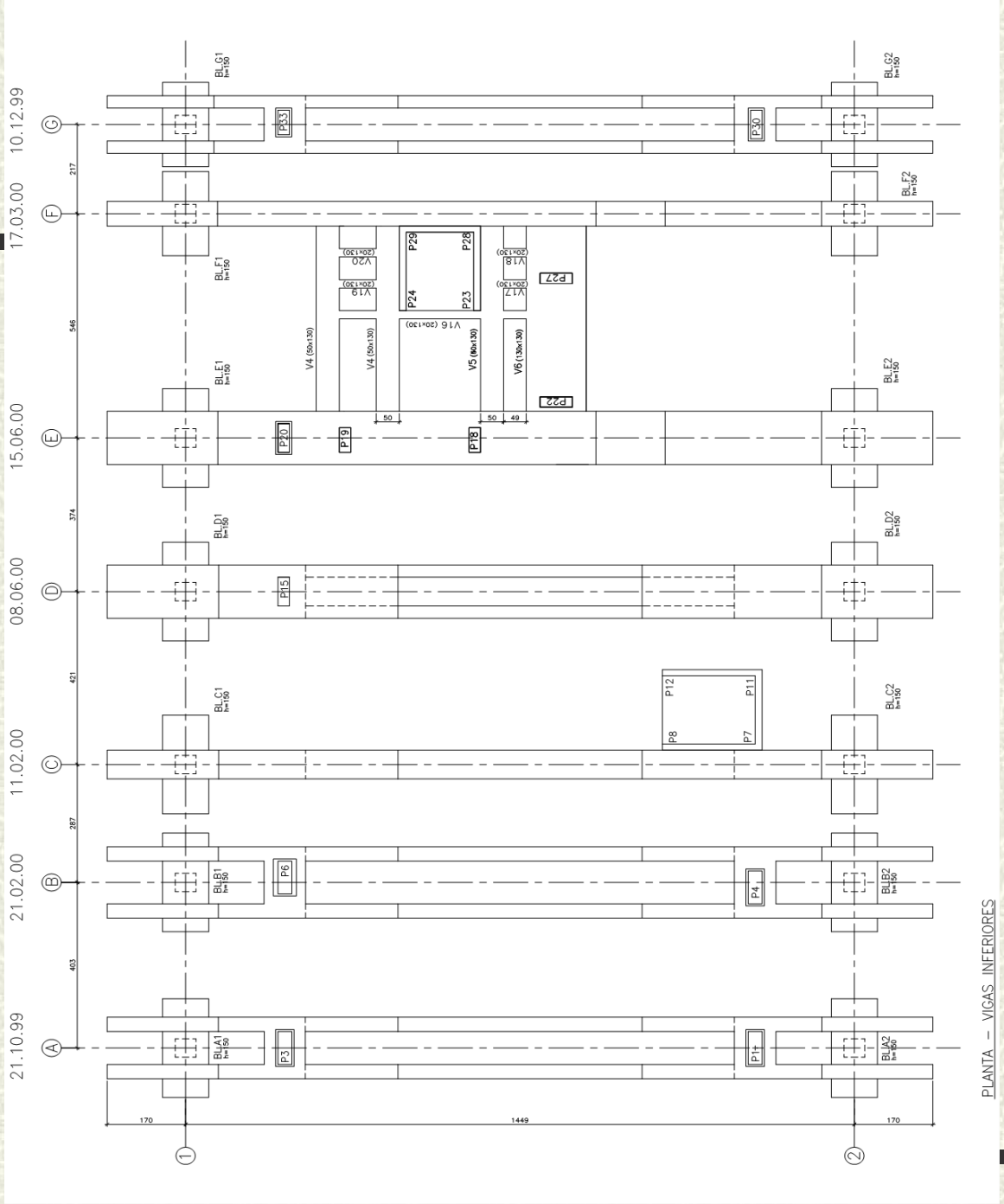

P33
P30
TRANSFER STRUCTURE

Locação das estacas escavadas e dos blocos

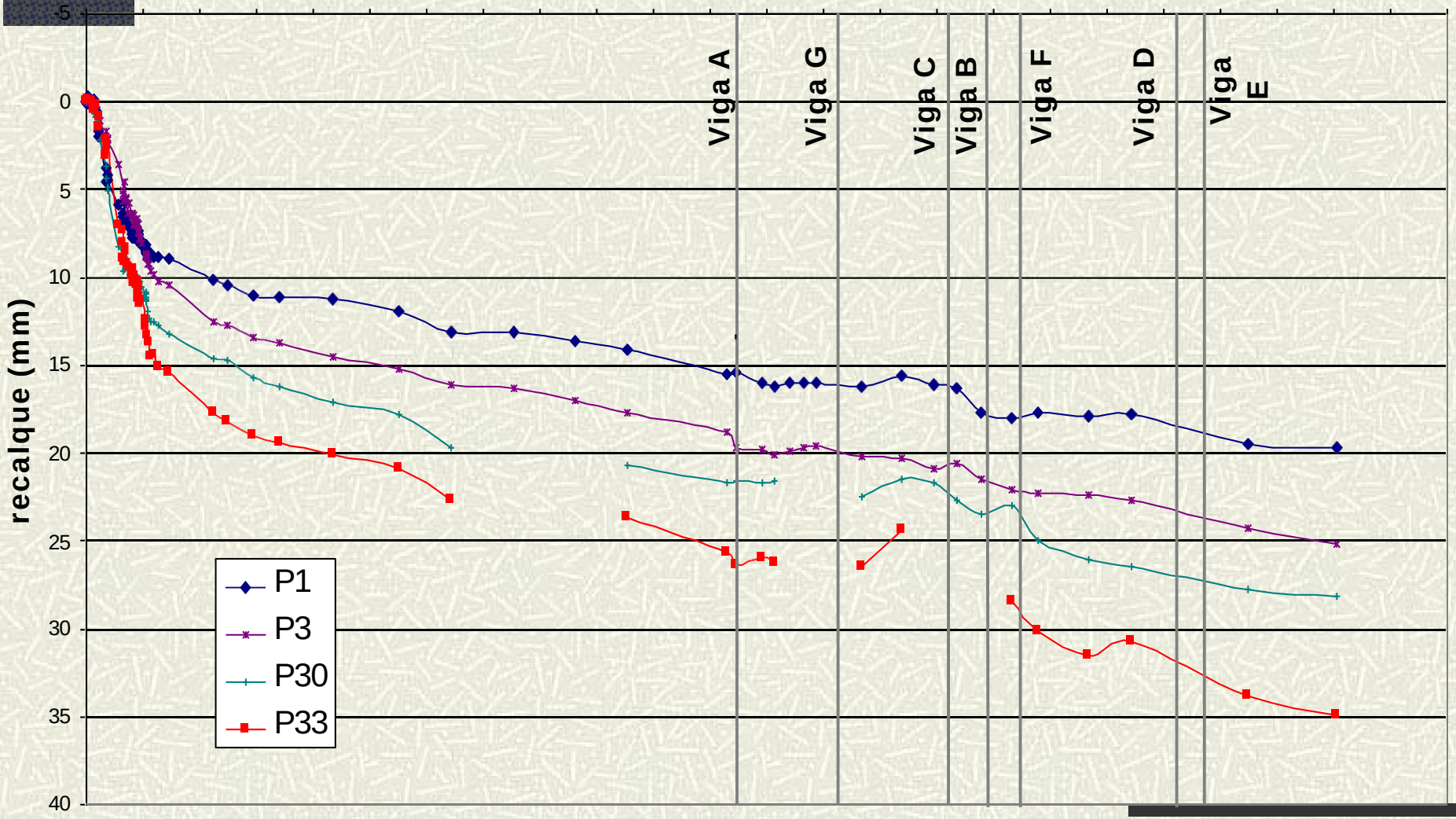



Condomínio Núncio Malzoni - Bloco A
Recalque x tempo (durante a execução dos estacões)
data
nov-98
nov-98
nov-98
nov-98
dez-98
dez-98
dez-98
dez-98
dez-98
dez-98
dez-98
-5,0
0,0
5,0
10,0
15,0
20,0
recalque (mm)
P1
P33
P3
P30

Data da construção das vigas de transição transversais



Condomínio Núncio Malzoni - Bloco A
Recalque x Tempo



Viga de transição

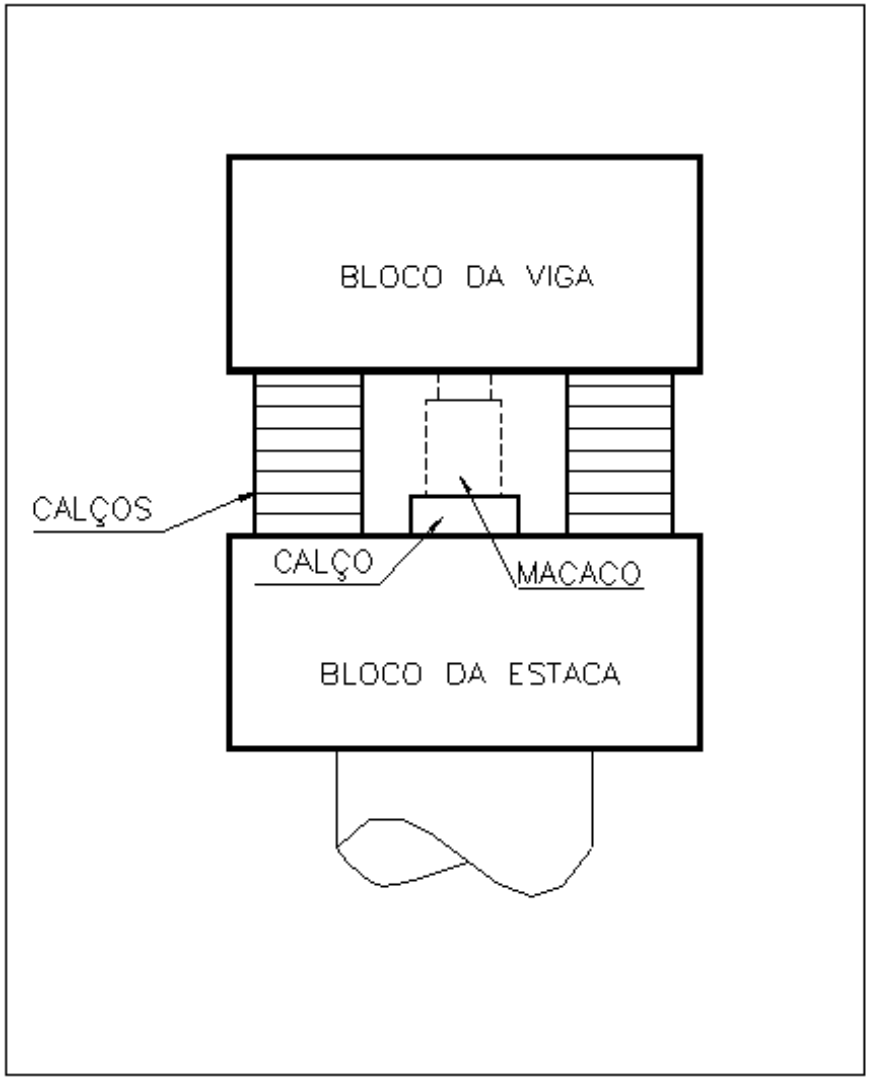
Acréscimo dos recalques ocorridos nos pilares externos em cada uma das etapas de construção dos novos elementos estruturais.

Pilar	Estacões (mm)	Blocos (mm)	Vigas (mm)	Total do reforço (mm)
1	4,2	3,98	5,4	13,58
3	8,9	5,2	6,6	20,7
30	6,4	6,1	7,1	19,6
33	10,7	6	10,1	26,8

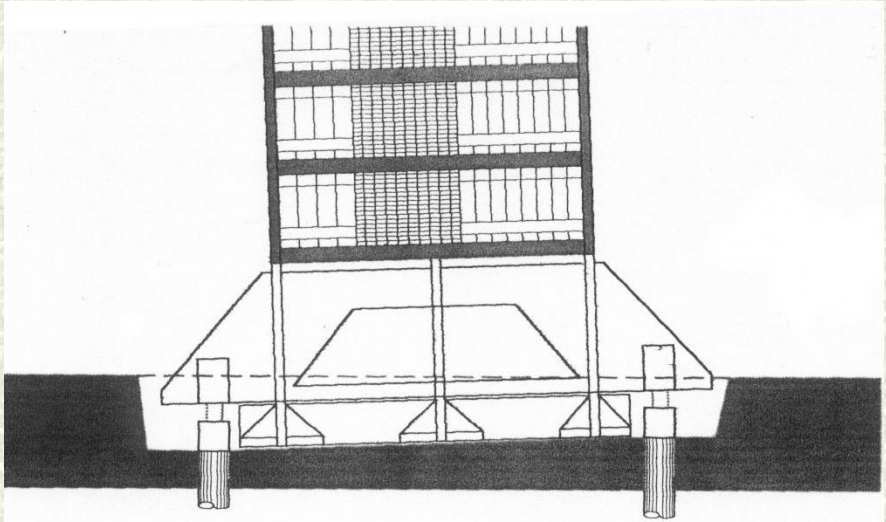
Acréscimo dos recalques diferenciais entre os pilares externos em cada uma das etapas de construção dos novos elementos estruturais.

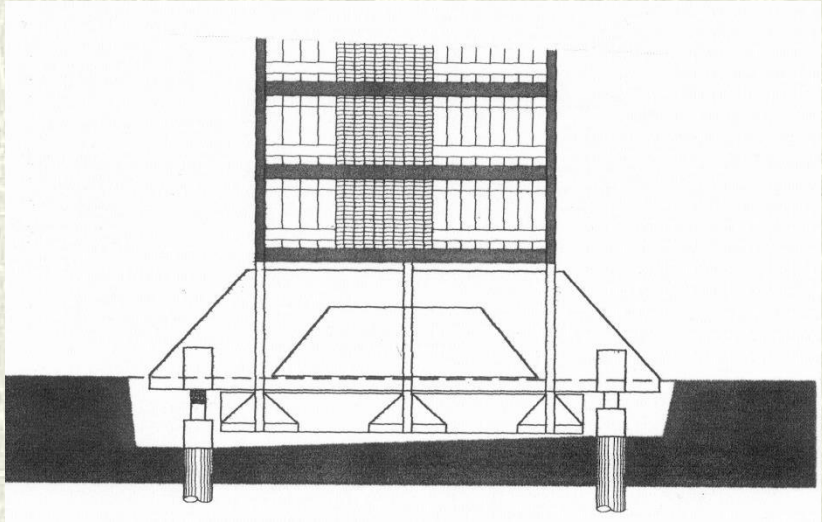
Pilares	Estacões (mm)	Blocos (mm)	Vigas (mm)	Total do reforço (mm)
1-3	4,7	1,22	1,2	7,12
1-30	2,2	2,12	1,7	6,02
1-33	6,5	2,02	4,7	13,22
3-30	1,8	0,9	0,5	3,2
30-33	4,3	0,1	3	7,4
3-33	1,8	0,8	3,5	6,1

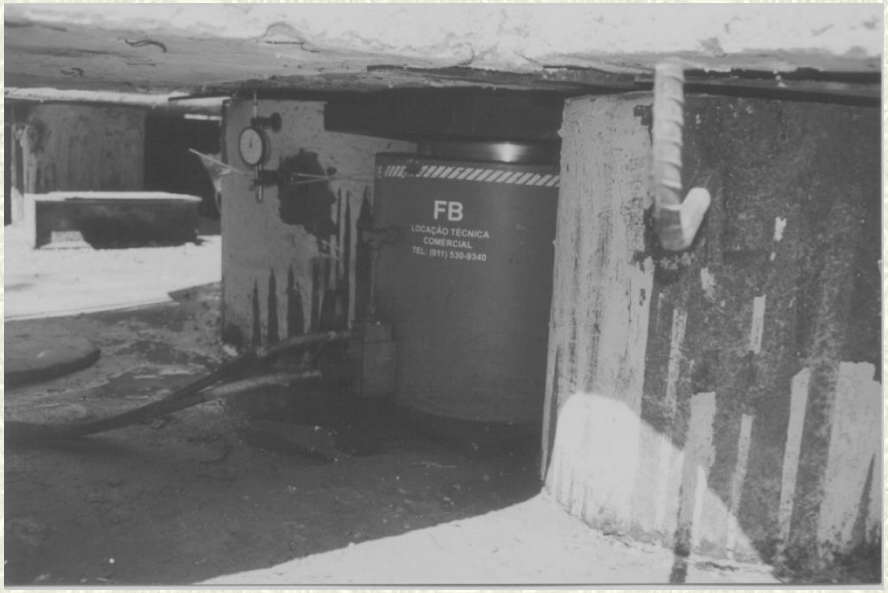
Colocação dos macacos hidráulicos



Macacos hidráulicos antes e durante o macaqueamento

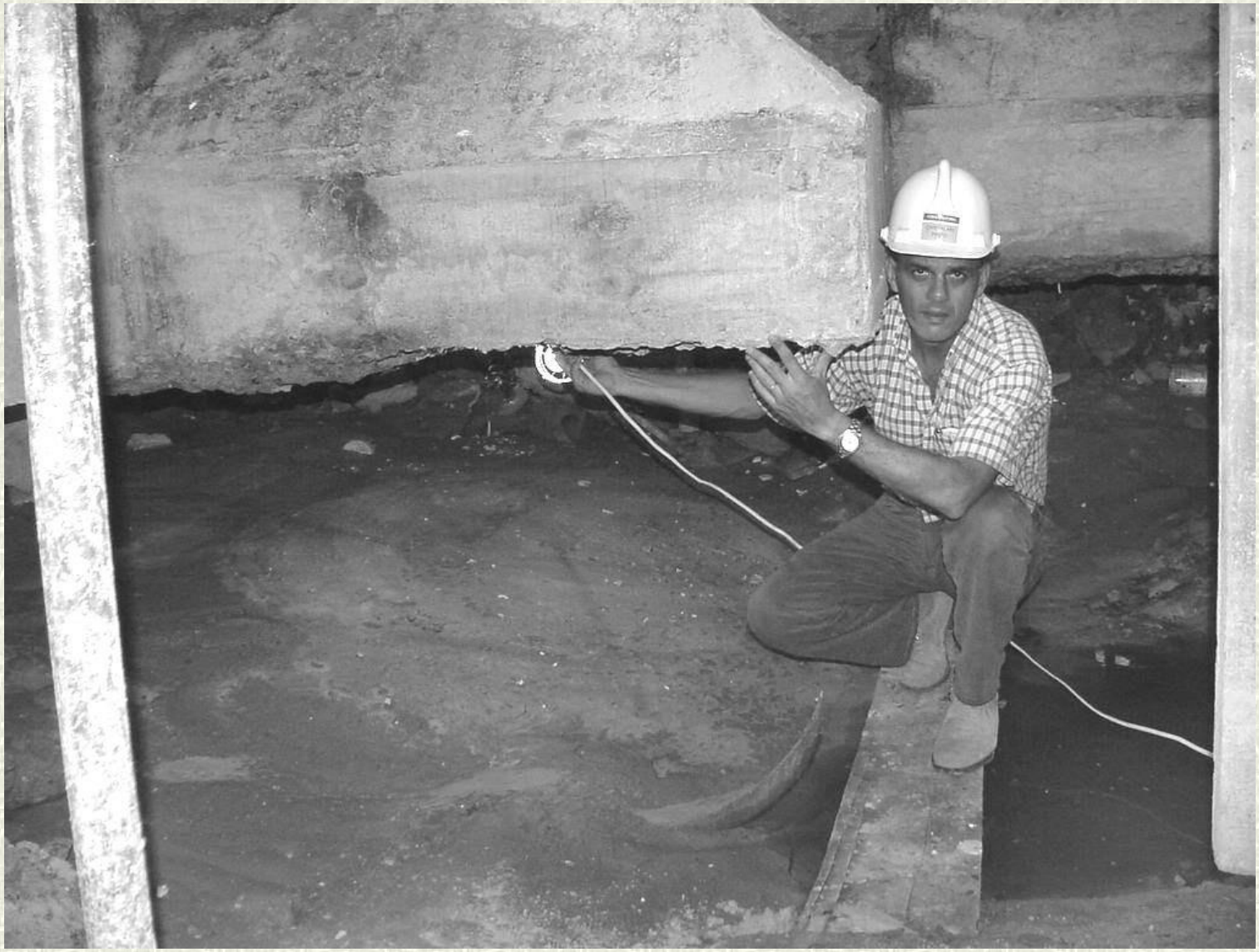


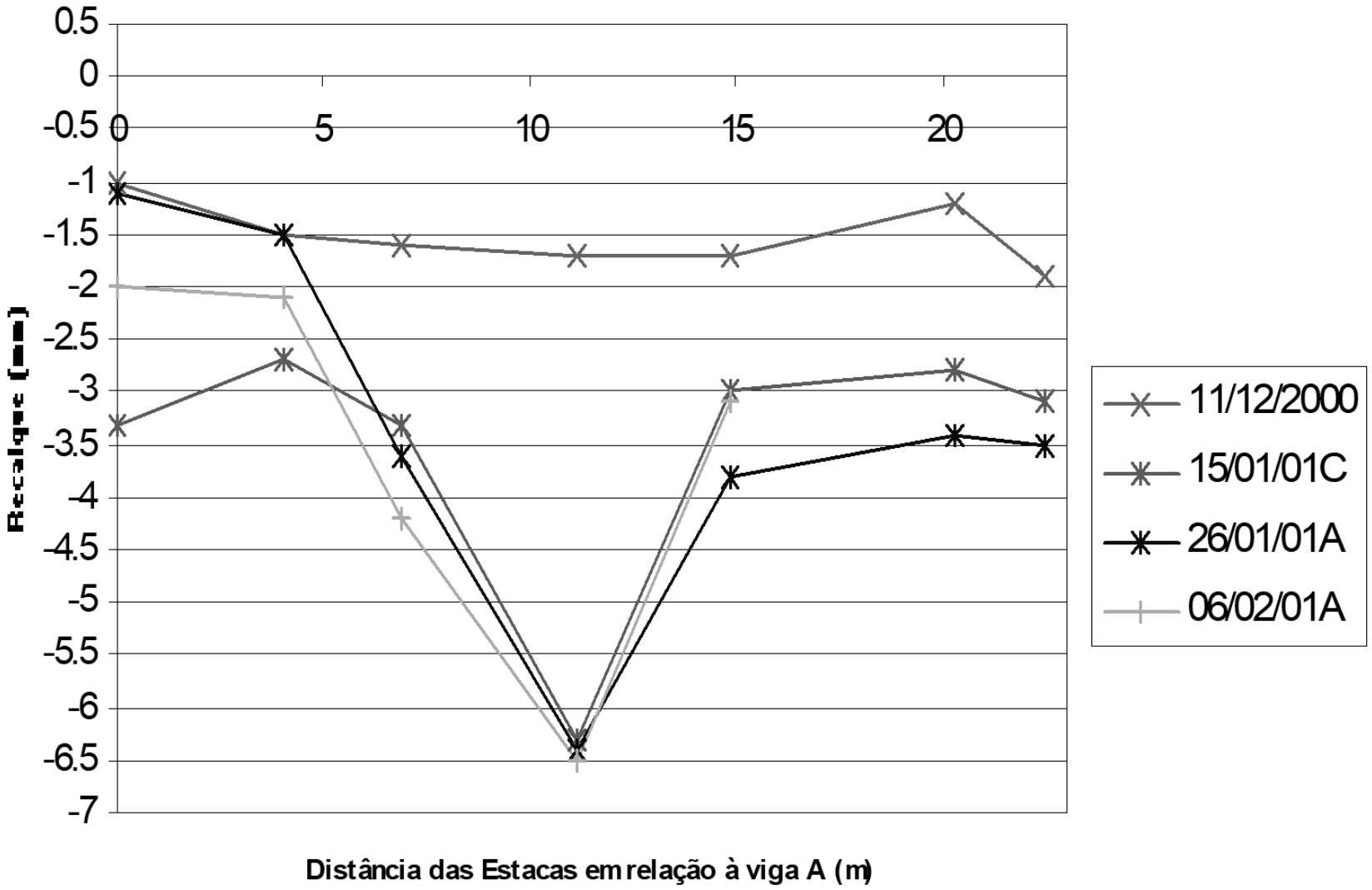


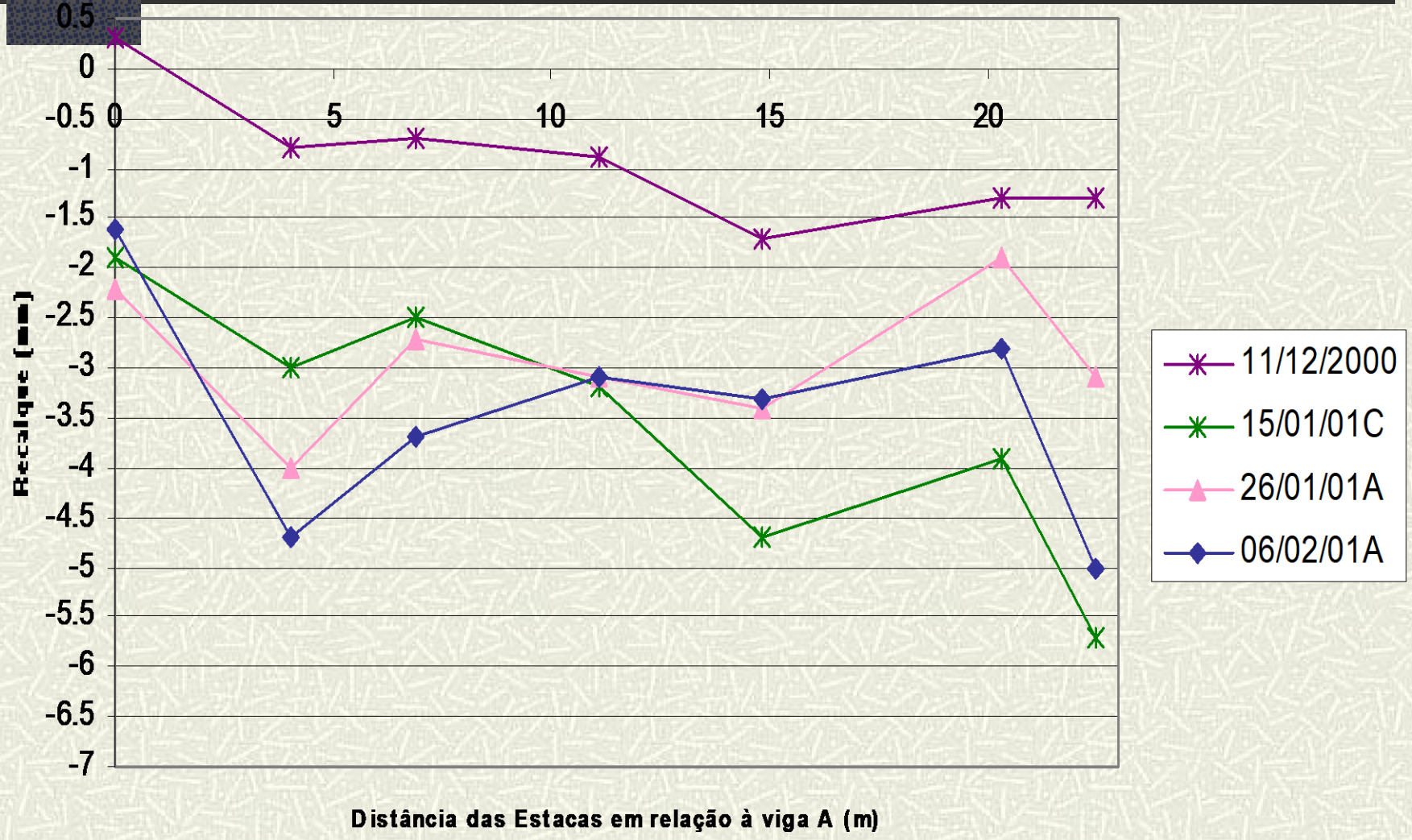


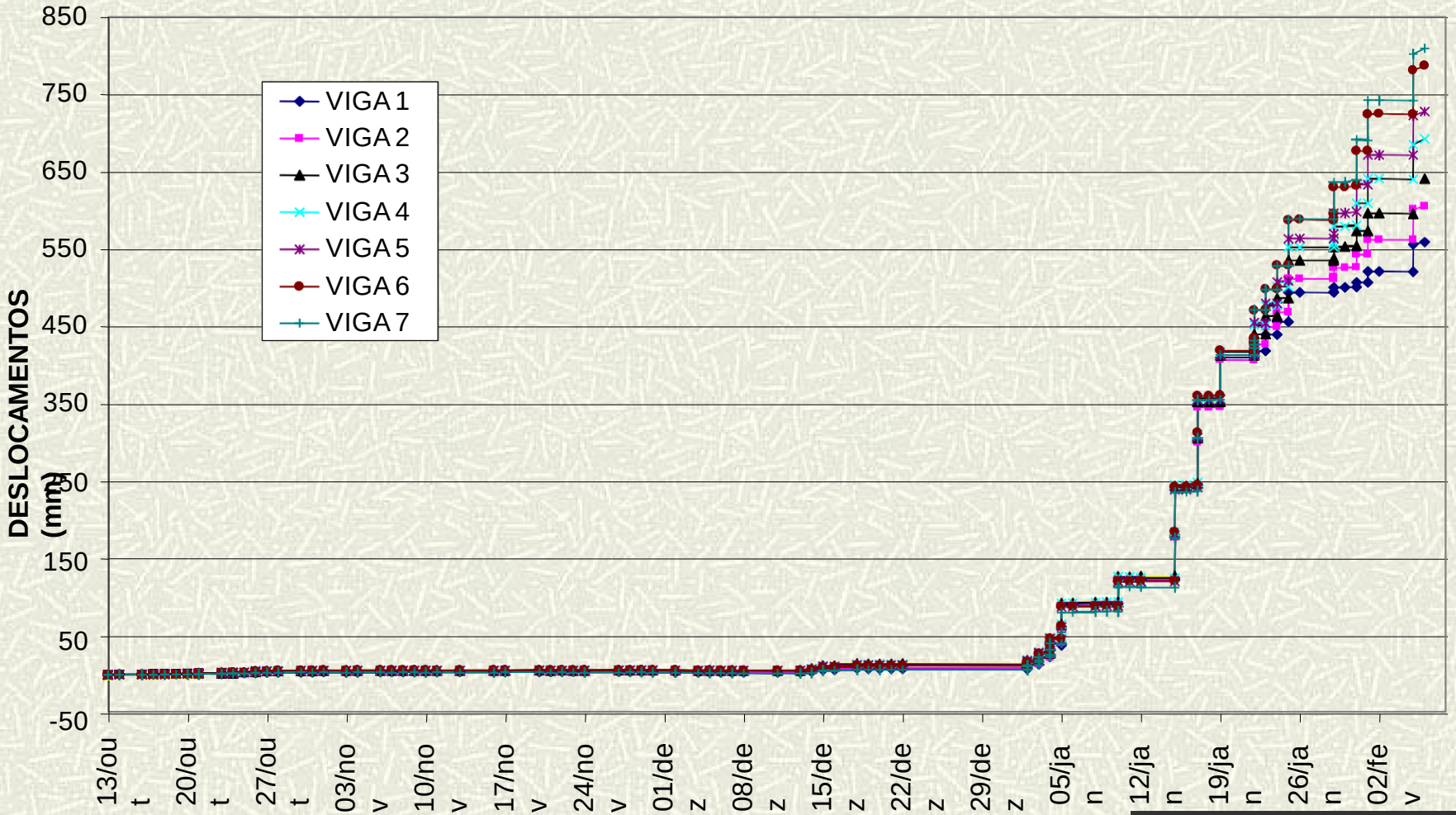
Macacos colocados embaixo das vigas de transição

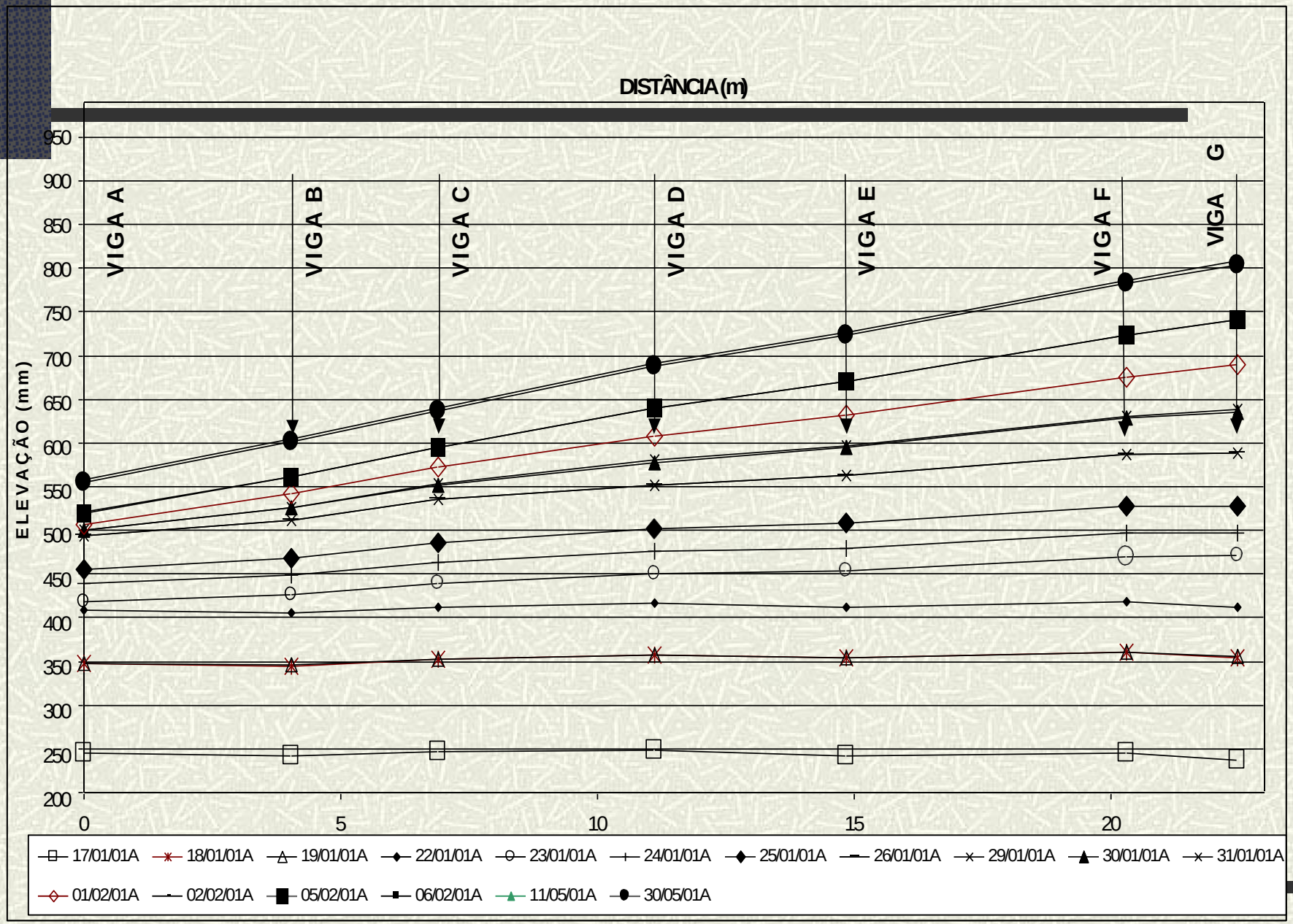
Sapata suspensa




0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5
-3
-3.5
-4
-4.5
-5
-5.5
-6
-6.5
-7
0
5
10
15
20
Recalque (mm)
Distância das Estacas em relação à viga A (m)
11/12/2000
15/01/01C
26/01/01A
06/02/01A


0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5
-3
-3.5
-4
-4.5
-5
-5.5
-6
-6.5
-7
0
5
10
15
20
Recalque (mm)
Distância das Estacas em relação à viga A (m)
11/12/2000
15/01/01C
26/01/01A
06/02/01A


DESLOCAMENTOS (mm)
850
750
650
550
450
350
250
150
50
-50
VIGA 1
VIGA 2
VIGA 3
VIGA 4
VIGA 5
VIGA 6
VIGA 7
13/out
20/out
27/out
03/nov
10/nov
17/nov
24/nov
01/dez
08/dez
15/dez
22/dez
29/dez
05/jan
12/jan
19/jan
26/jan
02/fev


DISTÂNCIA (m)
ELEVAÇÃO (mm)
VIGA A
VIGA B
VIGA C
VIGA D
VIGA E
VIGA F
VIGA G
950
900
850
800
750
700
650
600
550
500
450
400
350
300
250
200
0
5
10
15
20
17/01/01A
18/01/01A
19/01/01A
22/01/01A
23/01/01A
24/01/01A
25/01/01A
26/01/01A
29/01/01A
30/01/01A
31/01/01A
01/02/01A
02/02/01A
05/02/01A
06/02/01A
11/05/01A
30/05/01A

Santos

Edifícios inclinados; exceção: bloco A do Núncio Malzoni

Bloco B do Condomínio Núncio Malzoni

Projeto de reaprumo:

Prof. Dr. Carlos Eduardo Moreira Maffei

Projeto inicial do Bloco B

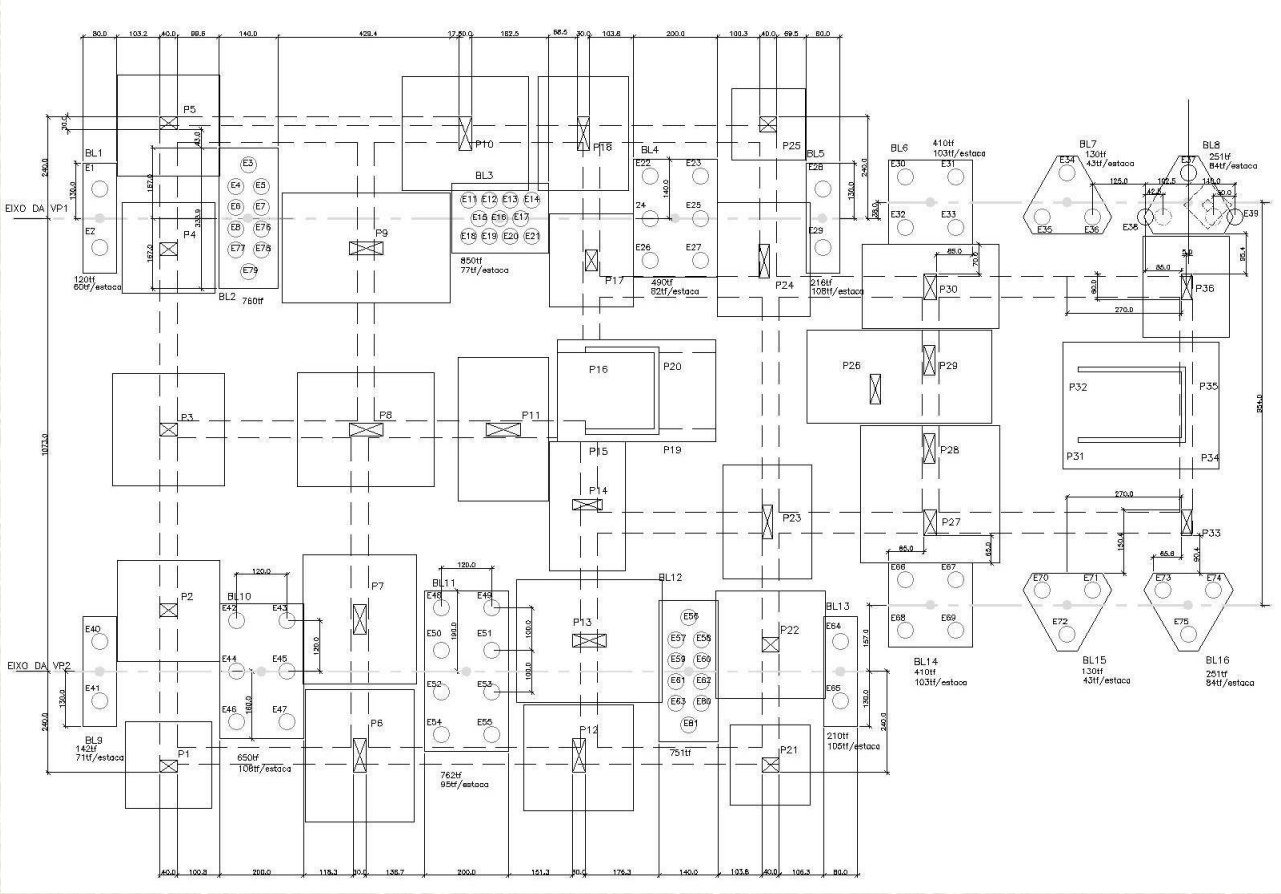
Projeto inicial

Estacas raiz com 55m de comprimento, diâmetro de 40cm armadas com tubo metálico de 7 polegadas de diâmetro. Carga de trabalho: 108tf

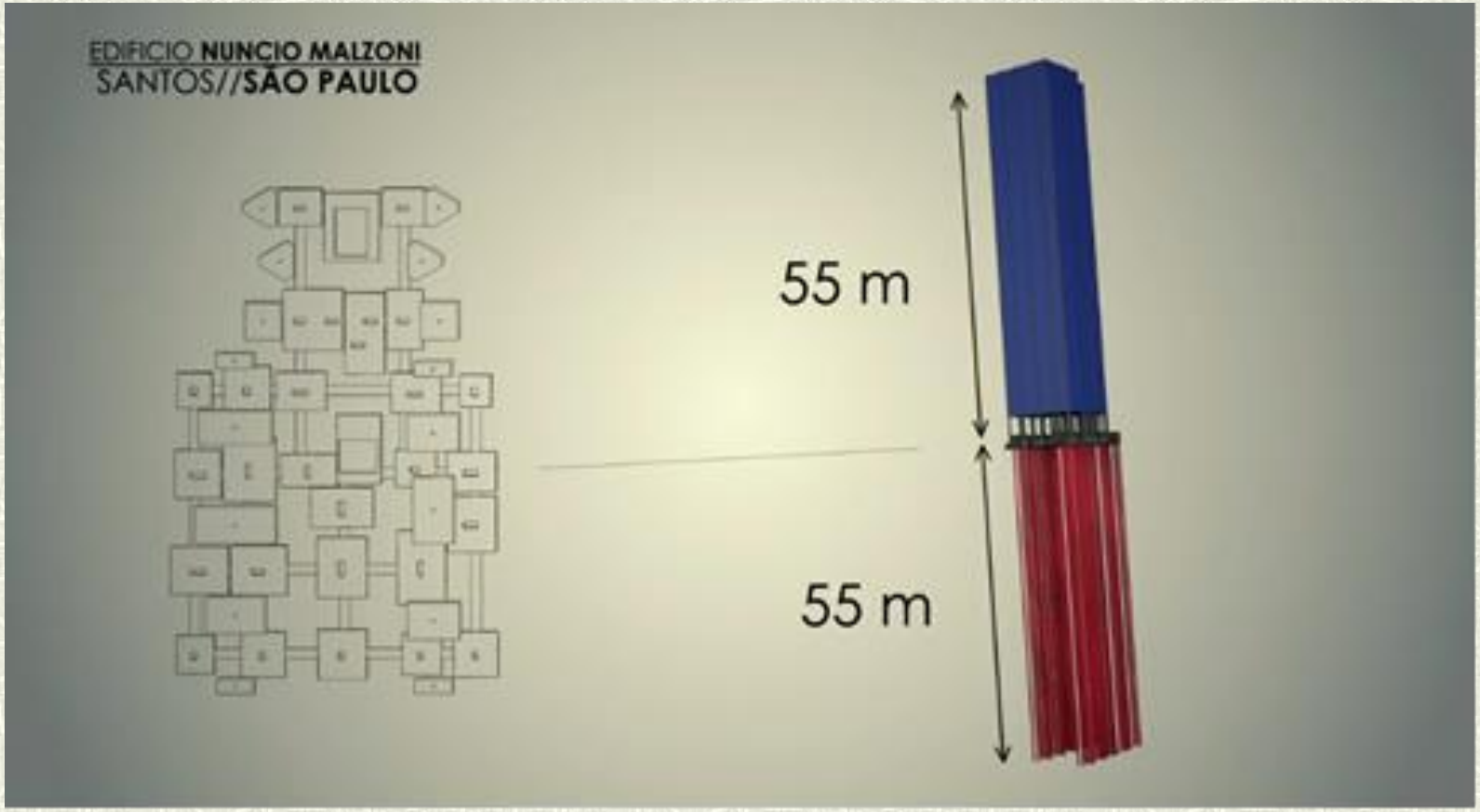
Construção de vigas de transição

Reaprumo do edifício

Distribuição das Estacas e blocos Bloco B (executados em 1999)



Esquema das estacas do Bloco B

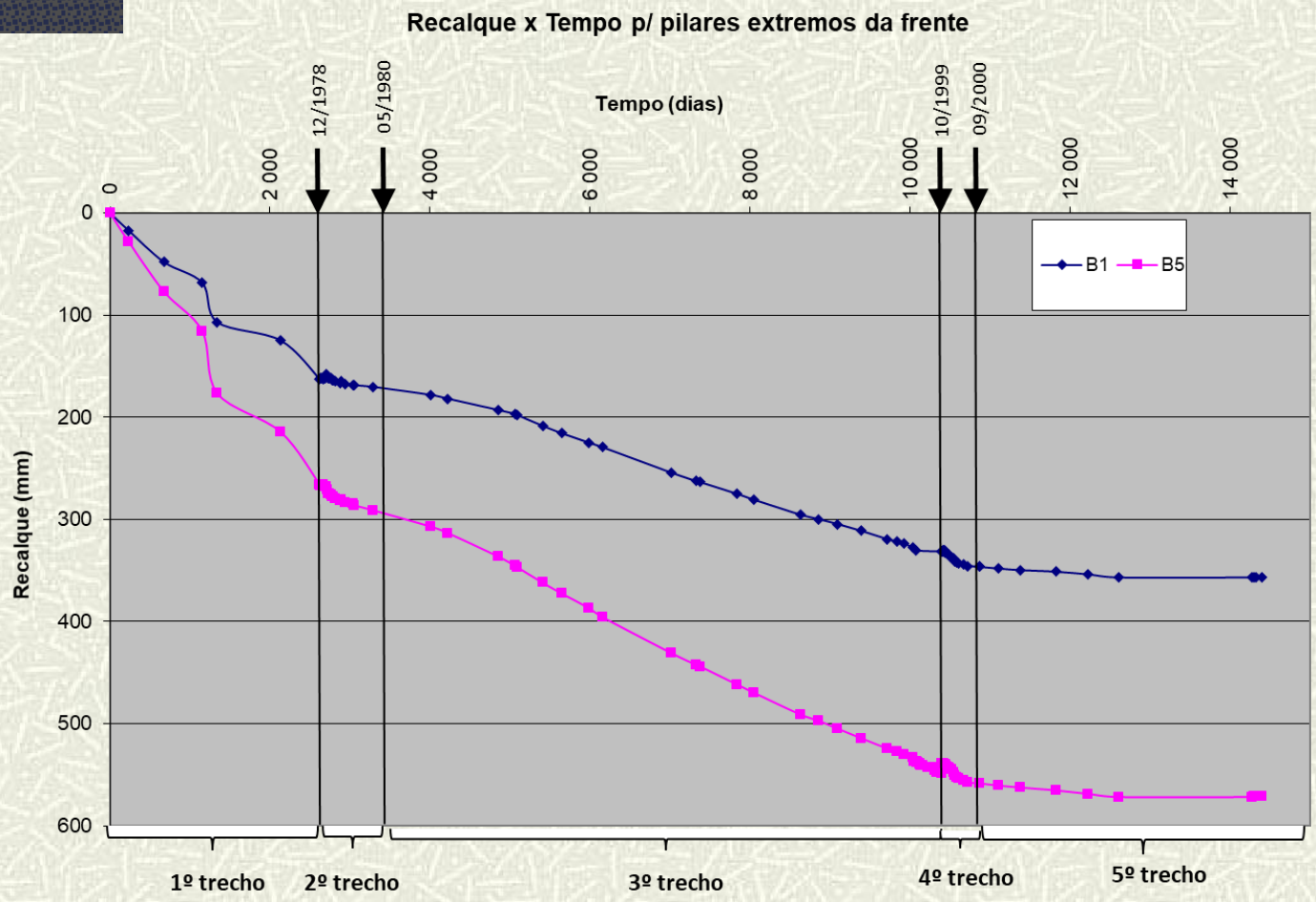


Alteração de projeto em 2010

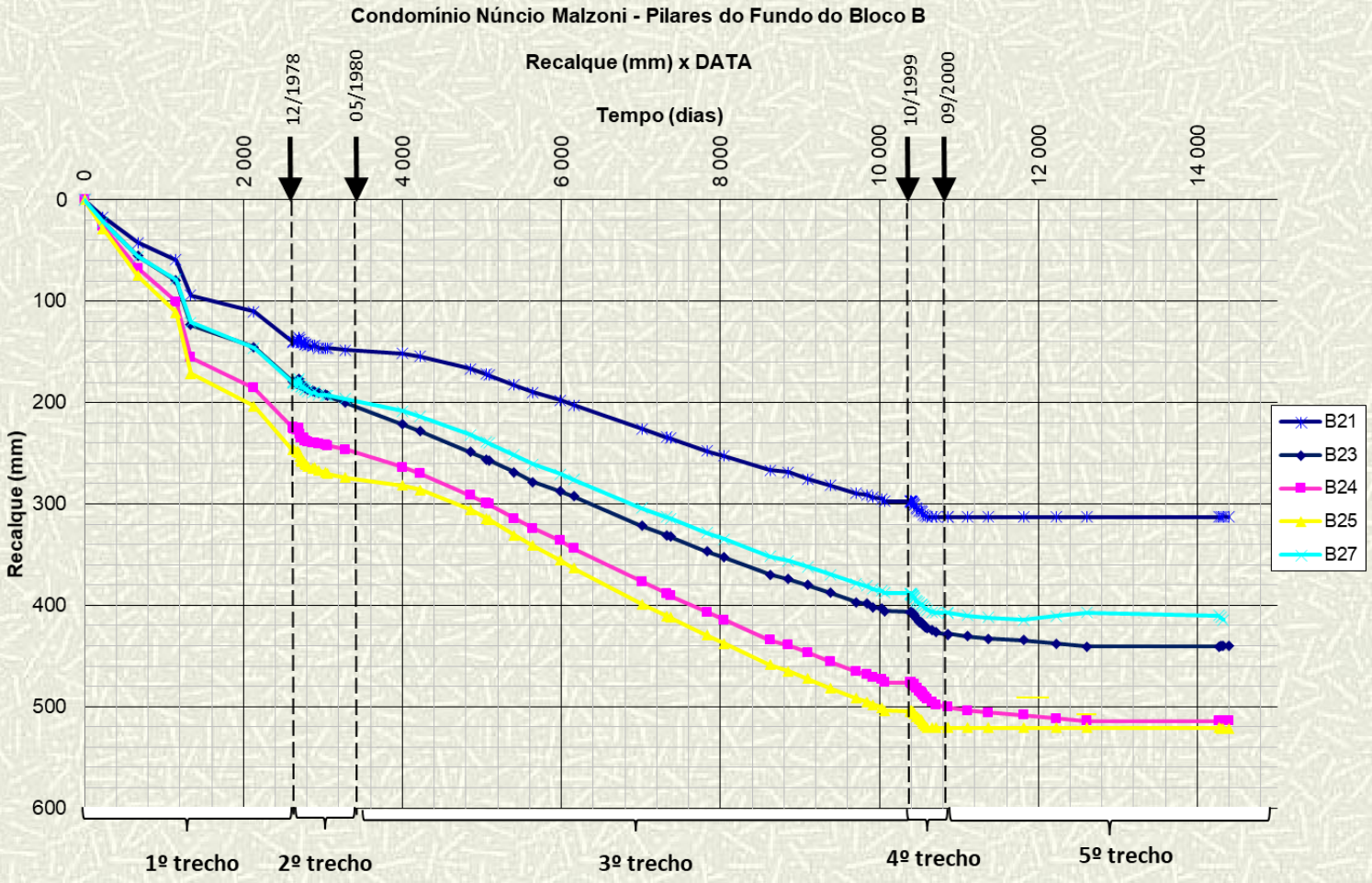
Causas:

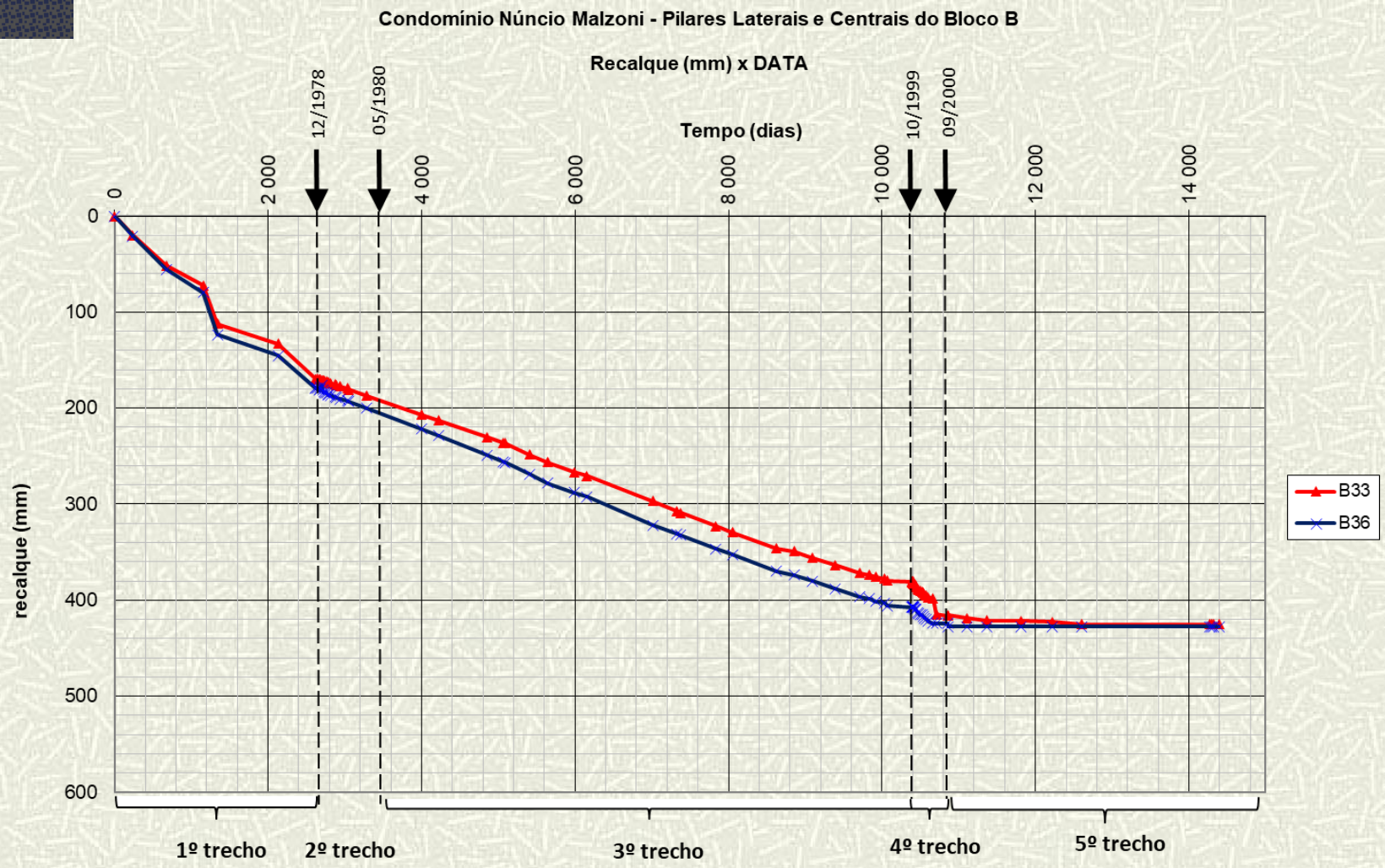
Velocidade de recalque reduzida

Custo mais baixo

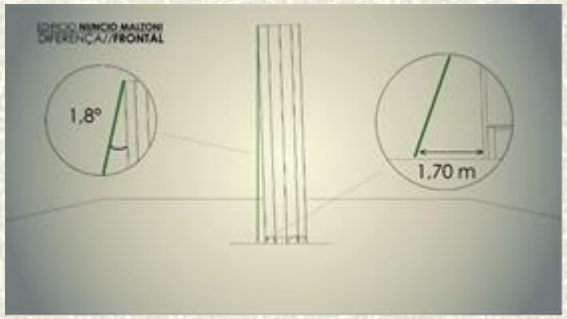

Recalque x Tempo p/ pilares extremos da frente
Tempo (dias)
12/1978
05/1980
10/1999
09/2000
0
2 000
4 000
6 000
8 000
10 000
12 000
14 000
Recalque (mm)
0
100
200
300
400
500
600
B1
B5
1º trecho
2º trecho
3º trecho
4º trecho
5º trecho

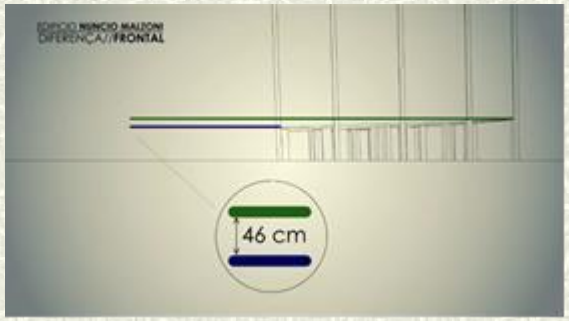
Desenvolvimento do recalque com o tempo

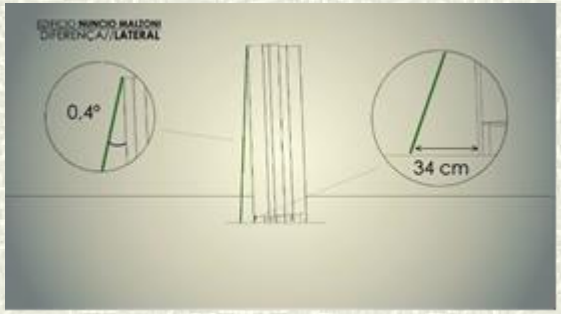


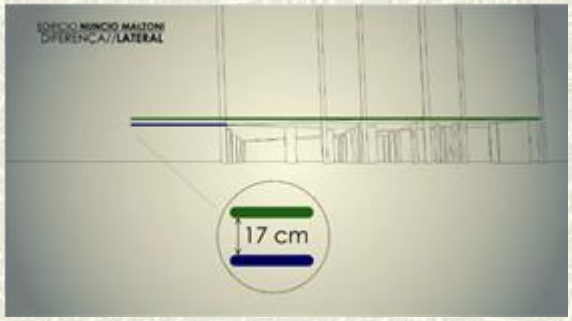

Condomínio Núncio Malzoni - Pilares Laterais e Centrais do Bloco B
Recalque (mm) x DATA
Tempo (dias)
12/1978
05/1980
10/1999
09/2000
0
2 000
4 000
6 000
8 000
10 000
12 000
14 000
recalque (mm)
0
100
200
300
400
500
600
B33
B36
1º trecho
2º trecho
3º trecho
4º trecho
5º trecho

Bloco B em 10/2010









consoles

P1
40
35
P2
40x35
P3
40x35
P8
60x35
AREIA

Centro de um bloco(vermelho)

Consoles

P.13
60X35
P.27
40X35
FB
ENGENHARIA

Colocação de macacos entre os consoles

Corte do pilar

Macacos entre os consoles pilar cortado

Macaco no pilar

Durante o levantamento

SAPI

Pilar do elevador

Nível

INICIO FINAL

Filme Bloco B

Mas, antes os agradecimentos...

Agradecimentos:
À Escola Politécnica
À FAPESP
A todos os meus alunos que trabalharam comigo ao longo de quase 40 anos
A todos os envolvidos nos trabalhos do Condomínio Núncio Malzoni e, em especial, aos moradores e proprietários dos apartamentos.

Um agradecimento especial à Profa Maria Eugênia pelo convite e a todos vocês!