

## Um caso de obra: Aeródromo Caiapó – Mococa - Sp

Eng. Alberto Henriques Teixeira, Eng. Alexandre Alberto Henriques Teixeira  
A H Teixeira Consultoria e Projetos S/C Ltda

Eng. Alberto Casati Zirlis, Geol. Cairbar Azzi Pitta, Eng. George Joaquim Teles de Souza, Eng. Mateus Dechen  
Solotrat Engenharia Geotécnica Ltda.

### Resumo:

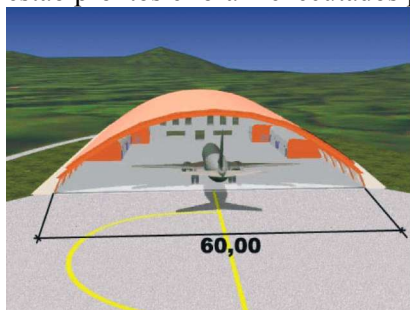
Foi executado no município de Mococa, SP, pela Dumont Engenharia e Consultoria Aeroportuária, o Aeródromo Caiapó de propriedade da Agropecuária Caiapó.

Seu hangar tem área de 4200 m<sup>2</sup>, com cobertura em forma de arco com base de 60,0m e altura de 16,5m. Objetiva alojar uma aeronave Boeing 737-800.

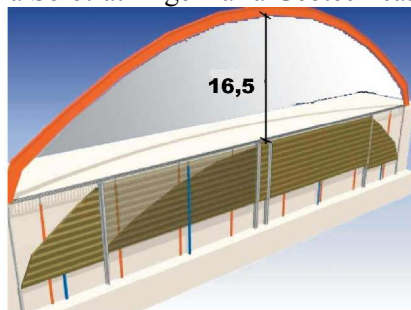
Para permitir o embutimento da porta de entrada do hangar no solo, foi necessária a execução de vala com 60,0m de extensão, 2,0m de largura útil e 9,81m de profundidade.

Este caso de obra é único no mundo.

O projeto de arrimo da vala é de a A.H.Teixeira Consultoria e Projetos. As fundações são em sapatas e estacas-raiz e a contenção vertical dos 1216,0m<sup>2</sup> das paredes é em Solo Grampeado. A estrutura interna de concreto armado foi dimensionada pelo Eng.º Natan J. Levental. Todos os serviços construção da vala já estão prontos e foram executados pela Solotrat Engenharia Geotécnica.



**A) ENTRADA DA AERONAVE**



**B) PORTA RETRÁTIL ABERTA**



**C) GRELHA METÁLICA**



**D) FECHAMENTO DA PORTA**



**E) FECHAMENTO DA PORTA**



**F) PORTA FECHADA**

**FIG.1** – Ilustração gráfica da obra civil.

### 1. OBJETIVO DESTE ARTIGO

Este artigo abordará somente o arrimo em Solo Grampeado, mostrando alguns detalhes geométricos do projeto, detalhes de execução dos trabalhos e alguns valores das deformações da vala medidas durante a construção. Não serão apresentados detalhes técnicos específicos do dimensionamento do projeto. Não é um artigo conclusivo visando sua divulgação promover a discussão dos limites e possibilidades desta técnica de arrimo.

### 2. CONCEITO DE PROJETO

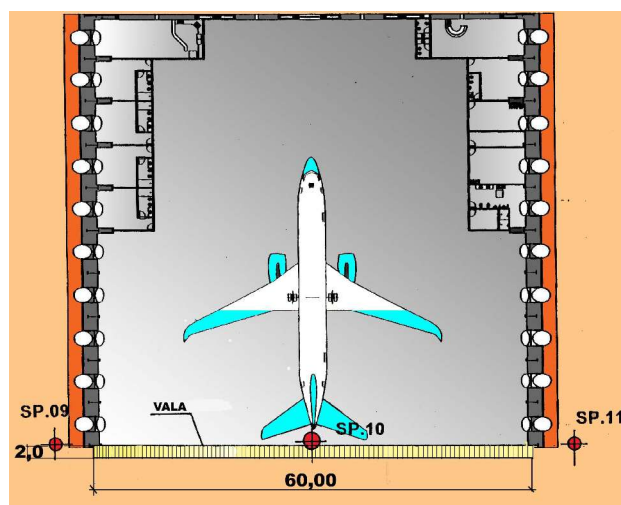
O partido arquitetônico do projeto do hangar prevê que suas portas quando abertas estejam totalmente embutidas no subsolo para o acesso da aeronave. Nesta condição, as mesmas que são retráteis e acionadas por pistões hidráulicos, serão cobertas por grelha metálica permitindo a entrada da aeronave. Esta grelha terá a largura total da vala de 2,0m, sendo articulada hidráulicamente apenas numa extremidade.

Para contenção permanente dos esforços oriundos da escavação foi projetada uma parede vertical em Solo Grampeado. As cargas verticais de transito da aeronave e do solo, foram absorvidas por lajes de transição, vigas e pilares em concreto armado, transferindo a carga para sapatas executadas a partir do fundo da vala, e estacas-raiz a partir da superfície. As estacas-raiz foram projetadas para permitir um dimensionamento estrutural adequado das peças de concreto armado na lateral de articulação da grelha metálica.

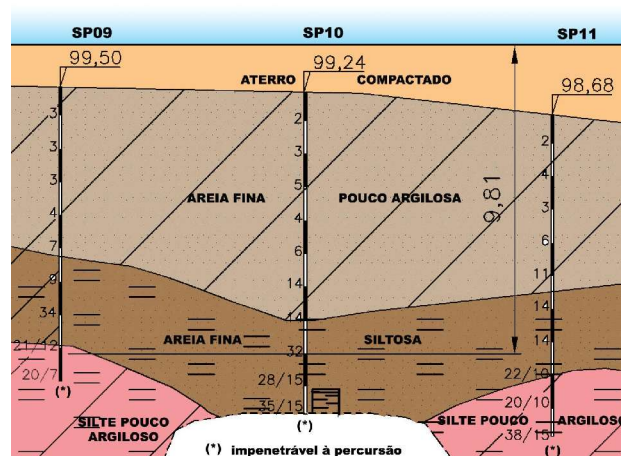
### 3. CARACTERÍSTICA DO SUBSOLO E TREM-TIPO DA AERONAVE

Foram executadas 3 sondagens a percussão com ensaio SPT a cada metro, ao longo do eixo da vala, conforme locação apresentada na figura 2. O perfil geotécnico inferido com base nestas sondagens, está apresentado na figura 3. Compõe-se de aterro compactado de areia fina, com espessura entre 1,4 e 2,3m. Segue com areias finas com compacidade crescente, variando os valores do SPT entre 2 a

partir do topo desta camada a 30 a cerca de 10,0m de profundidade. As sondagens encontraram material não perfurável pelas ferramentas de percussão entre 11,0 e 13,0m. Foi colhida amostra indeformada do subsolo a 7,0m de profundidade, cujas características estão mostradas na figura 4. Como sobrecarga de projeto foi adotada a aeronave Boeing 737-800, para 800 kN, conforme figura 5.



**FIG.2** – Planta do hangar e locação das sondagens



**FIG.3** – Perfil Geotécnico

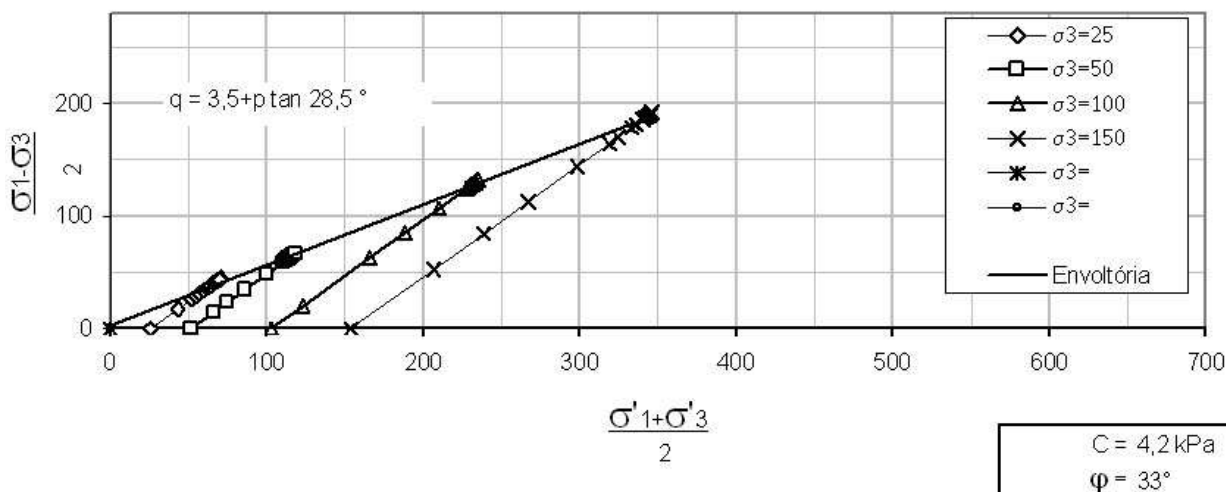


FIG. 4 – Características do subsolo extraídas de amostra indeformada

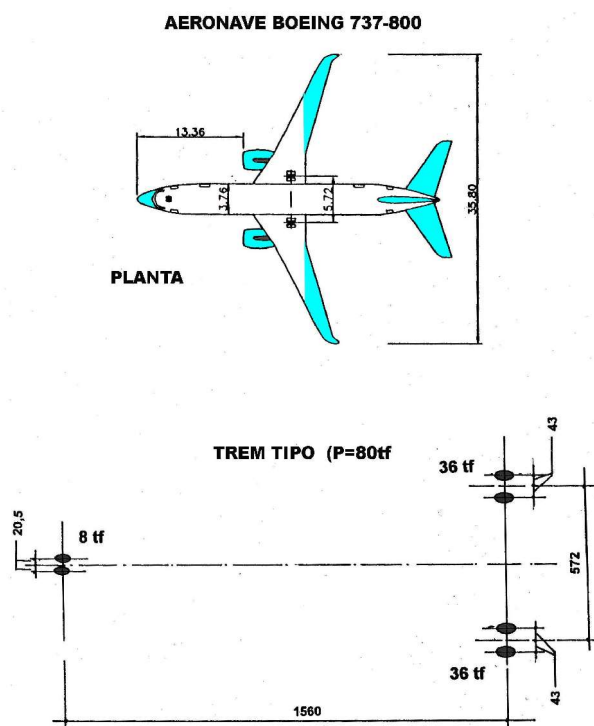


FIG.5 – Trem-Tipo Aeronave Boeing 737-800

#### 4. CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

Devido as diferentes características apresentadas pelo solo local, os comprimentos, as cargas nos grampos e as dimensões da malha, tiveram uma variação significativa conforme a profundidade da vala escavada, utilizando-se no dimensionamento o método de Jewell.

Utilizou-se nos cálculos da capacidade de carga dos grampos fatores de segurança relativos a durabilidade, manuseio dos grampos e ações de possíveis efeitos químicos e biológicos.

A estabilidade geral das paredes do solo grampeado foi verificada através do método de Spencer, determinando a superfície mais crítica entre as 5005 pesquisadas pelo programa computacional SLIDE. O fator de segurança da superfície crítica de ruptura foi de 1,5.

Procedeu-se a uma análise elástica com o intuito de se aferir os comprimentos dos grampos e determinar as deformações teóricas do modelo adotado. O referido programa ainda permitiu que fossem calculados os fatores de segurança em relação a ruptura após instalados os grampos e a parede de concreto projetado. O programa computacional utilizado para elaboração das análises elástica foi p Phase<sup>2</sup> - 5.0.

Os chumbadores que compõem o Solo Grampeado foram instalados em perfurações com diâmetro de 75mm, dotados de 3 tubos para injeção coletiva, conforme figura 6. Sua armação compreende uma cordoalha flexível de 15,2mm, aço CP-190-RB. Este tipo de armação flexível se deveu a impossibilidade de aplicação de barras rígidas por causa da reduzida largura da vala de 2,0m. O espaçamento horizontal dos chumbadores variou entre 1,3 e 1,7m e vertical entre 1,25 e 1,5m, conforme figura 7. Seu comprimento também era variado sendo 12,0m para os chumbadores da linha junto a superfície, reduzindo para 4,5m para linha do pé, conforme figura 7. O concreto projetado, de revestimento da face, era para 20Mpa, com espessura de 100mm, armado com uma tela eletrosoldada Q 196 (fios de 5mm CA 60, malha de 10x10cm, 3,11 kg/m<sup>2</sup>), conforme figura 6.

Para as cargas verticais permanentes e móveis foi construída laje de transição em concreto armado com 2,0m de largura e 20cm de espessura. Disposta ao longo de toda extensão e em cada lado da vala foi vinculada a vigas construídas

adjacentes ao alinhamento de sua face. Este conjunto está apoiado em pares de pilares de 24x24cm a cada lado e junto à parede da vala e em planta espaçados entre 3,2 e 5,3m. Para a laje de transição somente do lado da articulação da grelha, foram executadas estacas-raiz de 200mm de diâmetro a cada eixo de pistões. Estas estacas-raiz foram projetadas para permitir uma condição de dimensionamento estrutural ótima das peças de concreto armado neste lado. A fundação dos pilares foi em sapatas executadas a partir do fundo da vala. Todos estes detalhes estão ilustrados nas figuras 9, 10 e 11.

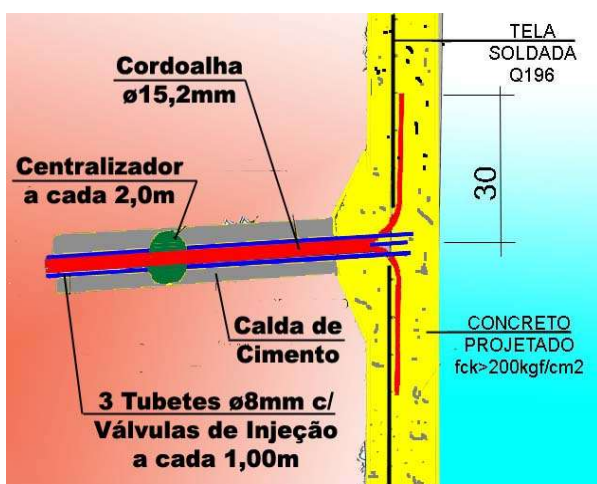


FIG.6 – Detalhe do chumbador, concreto projetado e ferragem

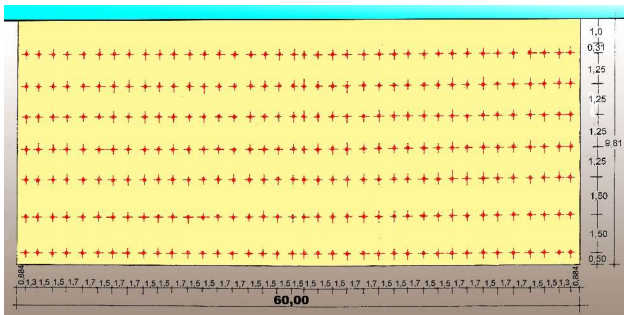


FIG.7 – Vista frontal da parede mostrando os chumbadores

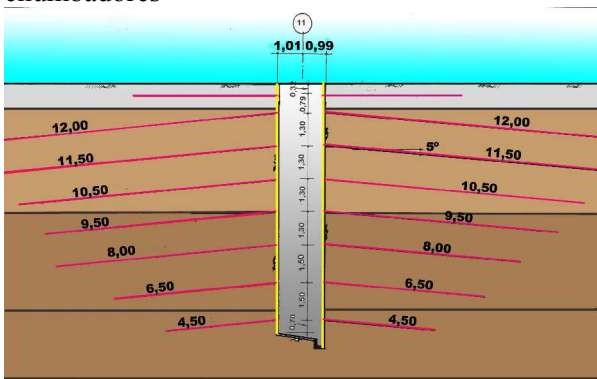


FIG.8 – Seção transversal da vala, mostrando os chumbadores

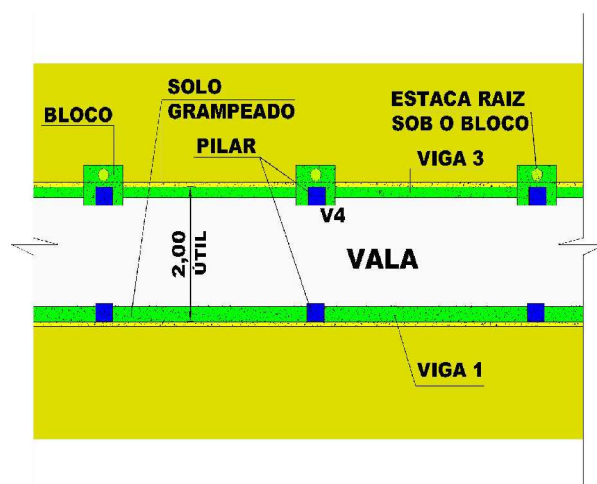


FIG.9 – Planta da vala, mostrando as vigas e posição das estacas-raiz

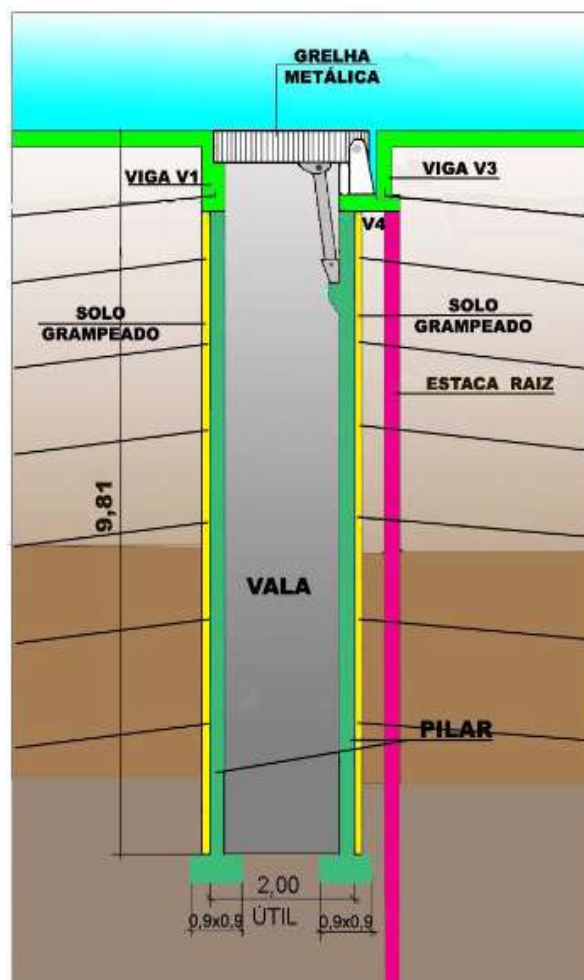


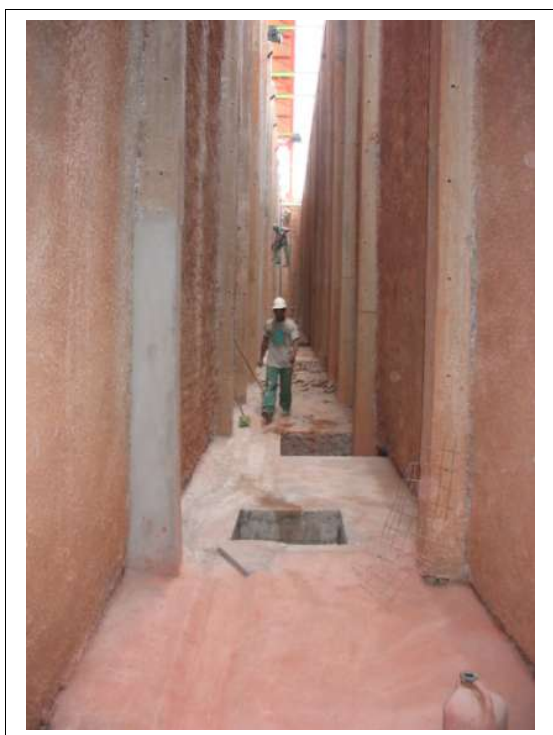
FIG.10 – Seção transversal da vala, mostrando as vigas, pilares, estacas raiz e sapatas



a) Topo de vala



b) Topo da vala



c) Fundo da vala



d) Vista geral

**Fig. 11** – Pormenores da trincheira e vista do hangar

## 5. MÉTODO CONSTRUTIVO GERAL

A obra foi executada em 59 dias com início em 13/10/2003 e encerramento em 11/12/2003. Até o dia 03/11/2003 a obra trabalhou dia e noite e o restante em turno normal de trabalho. Na figura 12 tem-se uma tabela resumo da evolução da contenção e indicação das ocorrências notáveis. Na figura 13, apresenta-se a evolução da escavação com o tempo, indicando para 14 datas a posição da cota inferior da escavação ao longo da vala. Na figura 14, mostra-se a evolução com o tempo da área de parede contida acumulada, e sua porcentagem do total executada, indicando eventos importantes como a ocorrência de trincas e o reforço do solo.

A cota do solo junto ao topo da vala estava 40cm abaixo da cota acabada, que seria completada pelo pavimento do hangar e pista.

A vala foi inicialmente escavada até 3,0m de profundidade em 27/10/2004, com uma escavadeira hidráulica das duas extremidades para o centro, conforme figura 15. A partir de então a escavação passou a ser realizada manualmente com o solo verticalmente içado para superfície por meio de duas pontes rolantes instaladas em dois pórticos móveis, conforme figura 16. Neste momento inicial houve frente de trabalho para execução da primeira e segunda linha de chumbadores, em que a linha superior foi executada com o uso de andaimes. A partir de 3,0m de profundidade eram abertos nichos com abrangência de dois chumbadores em cada face ou seja, com 2,5 a 3,0m de largura para cada linha. Somente para a última linha de chumbadores a largura do nicho foi reduzida para apenas um chumbador em cada face.

Seguiu-se com a execução das 17 estacas raiz a cada eixo das vigas V4 ou V4A, conforme figura 9 Simultaneamente passou-se a execução das peças de concreto armado junto ao topo da vala, dos pilares e das sapatas.



FIG.15-Detalhe da escavação inicial mecanizada

TABELA DA EVOLUÇÃO DA CONTENÇÃO COM O TEMPO E EVENTOS							
dias	DATA	área	% do total	produção	observações		
corridos		contida(m2)	contido	acumulada m2/dia			
0	13/out	0,0	0,0	0,0	trabalho	03/nov trincas na superfície	
7	20/out	267,5	22,0	38,2	em dois	entre 10 e 20mm, execução	
14	27/out	440,2	36,2	31,4	turnos	do primeiro reforço	
21	3/nov	688,3	56,6	32,8	trabalho	07/nov trincas na superfície	
25	7/nov	734,5	60,4	29,4	turnos	entre 2 e 7mm, execução	
35	17/nov	833,0	68,5	23,8	em um	do segundo reforço	
36	18/nov	848,8	69,8	23,6			
37	19/nov	868,2	71,4	23,5			
38	20/nov	926,6	76,2	24,4			
42	24/nov	966,7	79,5	23,0			
43	25/nov	1004,4	82,6	23,4			
45	27/nov	1073,7	88,3	23,9			
49	1/dez	1093,2	89,9	22,3			
50	2/dez	1105,3	90,9	22,1			
56	8/dez	1147,9	94,4	20,5			
59	11/dez	1216,0	100,0	20,6			turno

FIG.12-Tabela resumo da evolução da contenção e indicação de eventos importantes com o tempo

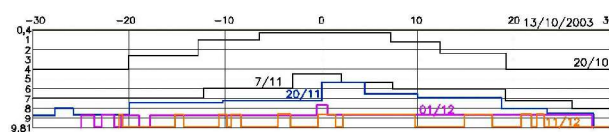


FIG.13-Posição do limite inferior da escavação com o tempo da obra

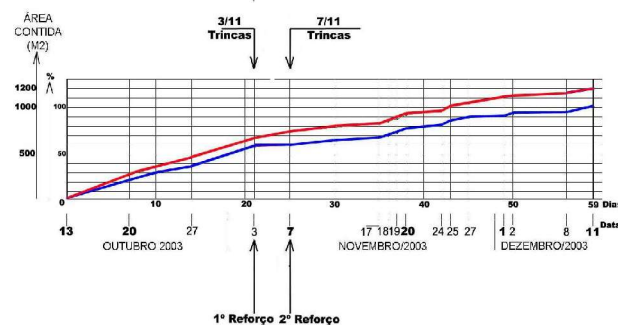


FIG.14- Área de parede contida acumulada, e sua porcentagem do total com o tempo





**FIG.16**-Detalhe da vala, da ponte rolante. e pórtico. Execução do chumbador, escavação parcializada.

## 6. ALGUNS DETALHES CONSTRUTIVOS DOS CHUMBADORES

Face ao exíguo espaço escavado internamente à vala de 2,2m, foi utilizada uma perfuratriz compacta elétrica, com avanço manual. As hastes especiais de perfuração, diâmetro AW, eram compostas por segmentos unitários rosqueáveis de 1,0m. Como fluido de perfuração foi utilizada água. A cavidade perfurada era estabilizada pela lama do próprio

solo, sendo a ferramenta de corte um tricône de vídia com diâmetro de 75mm. Ao término da perfuração a bainha era executada por meio do preenchimento do furo com calda de cimento, bombeada com pressão suficiente para permitir seu fluxo de baixo para cima. A primeira fase de injeção era executada no dia seguinte, e consumia em média 40 litros de calda, com valores da pressão de injeção em torno de 1,0 MPa. A segunda fase de injeção era executada dois dias após a bainha, e em média consumia 20 litros de calda com valores da pressão de injeção entre 1,5 e 2,0 MPa. Já na segunda fase cerca de 50% dos chumbadores nada absorveram. Desta forma não se utilizou a partir da primeira linha de chumbadores 3 tubos de injeção. A composição da calda para a relação água/cimento em peso era de 0,5.

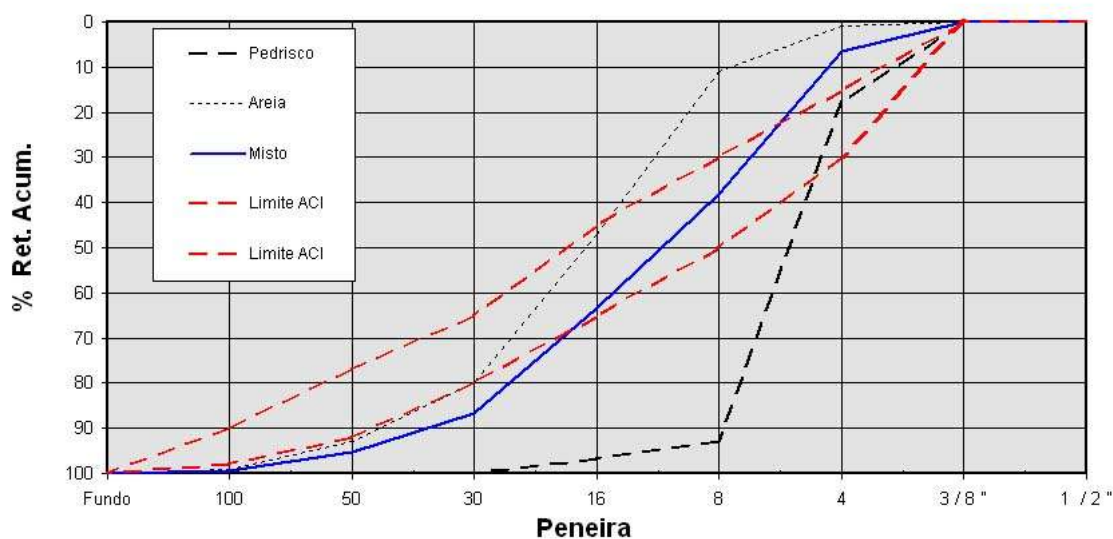
## 7. ALGUNS DETALHES CONSTRUTIVOS DO CONCRETO PROJETADO

O concreto projetado era aplicado imediatamente após a execução do chumbador sobre toda a área exposta. Inicialmente aplicava-se em toda área camada de 3,0cm, instalava-se a tela metálica Q196 e finalmente 7,0cm na extremidade superior da área até cerca de 5,0cm na parte inferior. Este passo era repetido a cada faixa horizontal escavada. Com as sobreposições de camadas construía-se as juntas horizontais. A espessura final mínima era de 10,0cm. A junta vertical foi construída de madeira com 20mm de espessura de cima para baixo a cada 20,0m. O traço do concreto projetado foi ajustado para os agregados existentes no local, de acordo com a ACI conforme a figura 17, resultando para 1 m<sup>3</sup> : 400kg de cimento, 589kg de pedrisco e 1172kg de areia. Os resultados de resistência, obtidos em amostras extraídas de placas para 7 dias variou entre 40.0 MPa e 48.6 MPa , para 28 dias variou entre 57.3 MPa e 62.7 MPa.

## Concreto Projetado

Peneira No.	Abertura mm	% Acum.		Pedrisco	Areia	Misto (%)		Limites ACI	
		Pedrisco	Areia	33%	67%	Ret. Acum.	Ret. Simples	Superior	Inferior
1 / 2 "	12,7	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
3 / 8 "	9,5	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
4	4,8	17,78	1	5,9	0,7	6,5	6,5	15	30
8	2,4	92,96	11	30,7	7,4	38,0	31,5	30	50
16	1,2	96,79	47	31,9	31,5	63,4	25,4	45	65
30	0,6	100	80	33,0	53,6	86,6	23,2	65	80
50	0,3	100	93	33,0	62,3	95,3	8,7	77	92
100	0,15	100	99	33,0	66,3	99,3	4,0	90	98
Fundo	0,0	100	100	33,0	67,0	100,0	0,7	100	100
Total		507,53	331			389,3	100,0	489,3	515,0
Módulo de finura		5,08	3,31			3,89		4,89	5,15

### CURVA DOS AGREGADOS



Dados de Dimensionamento	traço em peso		traço volume real		litros	
	traço em peso	traço volume real	traço para 1sc	Padiolas altura		
CIMENTO	400	127	1			
Ar incorporado	2,00%	20				
Água	180	180	22,5			
Plastificante	%					
Volume agregados		673			litros	
Pedrisco	589	222	74	40	52,65	
Areia natural	1172	451	147	70	82,55	
Água/Cimento	0,45					
Acelerador líquido	%					
Densidade areia real	2,6					
Densidade pedrisco real	2,65					
.....	1,18					

FIG.17 – Ajuste do traço do concreto projetado



## 8. MEDIDAS DE DEFORMAÇÕES

Foram realizadas medidas de deformações verticais e horizontais das paredes e da área adjacente à vala. Dispostos em seis eixos: 1,2,3,4,5,6 conforme mostra a figura 18, foram criados 72 marcos. Em cada eixo havia doze pontos distantes entre si de 5,0m.

Nos eixos 3 e 4 distantes de 1,5m do eixo da vala, os marcos foram executados com 1,5m de profundidade e 75mm de diâmetro, tinham como armação uma barra de aço de 20mm nele fixada com calda de cimento. Outros 48 pontos foram dispostos da mesma forma em grupo de 12 unidades ao longo dos outros quatro eixos, dois a cada lado da vala, e de seu eixo distantes de 5,5m e 9,5m. Consistiam em blocos de argamassa de 10x10x5cm. Os valores da deformação horizontal foram tomados junto à crista, para um par de pontos dos eixos 3 e 4, em cada uma das 12 posições. Media-se a aproximação entre cada par, obtendo-se o “fechamento da vala” e, por conseguinte sua deformação. Esta medição era realizada com régua com precisão de milímetros. Aqui se considerou que as deformações das paredes eram iguais, sendo adotado como valor de cada uma a metade do total medido.

Para as deformações verticais de todos os 72 pontos, foram realizadas medidas com nível ótico com precisão de milímetro.

## 9. TRINCAS - AJUSTES DO PROJETO

No dia 03/11/03, surgiram bruscamente trincas junto à superfície, com espessuras variáveis entre 10 e 20mm, se desenvolveram por toda extensão da vala distando de sua borda entre 3,5 e 6,0 metros, conforme apresentam as figuras 18 e 19. Decidiu-se então pela execução imediata de um primeiro reforço do solo adjacente ao meio da vala e a cada lado. Este trabalho abrangeu a execução de 24 chumbadores verticais com 8,0m cada, e injeção de preenchimento e selagem das trincas com calda de cimento. Estes chumbadores somente receberam a injeção de bainha e foram armados com uma barra de 20mm, aço CA 50A. A partir desta data o avanço dos trabalhos foi alterado para um turno, reduzindo-se a produtividade. Os serviços de contenção foram retomados no dia 05/11/03, e após um pequeno avanço no trecho central e extremidade, houve em 07/11/03 uma nova abertura de trincas. Exatamente na mesma posição que a anterior, porém com valores entre 2 e 7mm. Decidiu-se por executar um segundo reforço mais abrangente junto ao trecho central com 132 chumbadores distribuídos em 3 linhas com 8,0m de comprimento e inclinação de 20° com a vertical, conforme figura 21. Neste momento as áreas já contidas, indicavam profundidades variando entre 3,8m ao centro e 7,2m para cada lado a partir do centro, com cerca de 60,4% da contenção já realizada, de acordo com figura 14. A relação entre a distância da trinca à

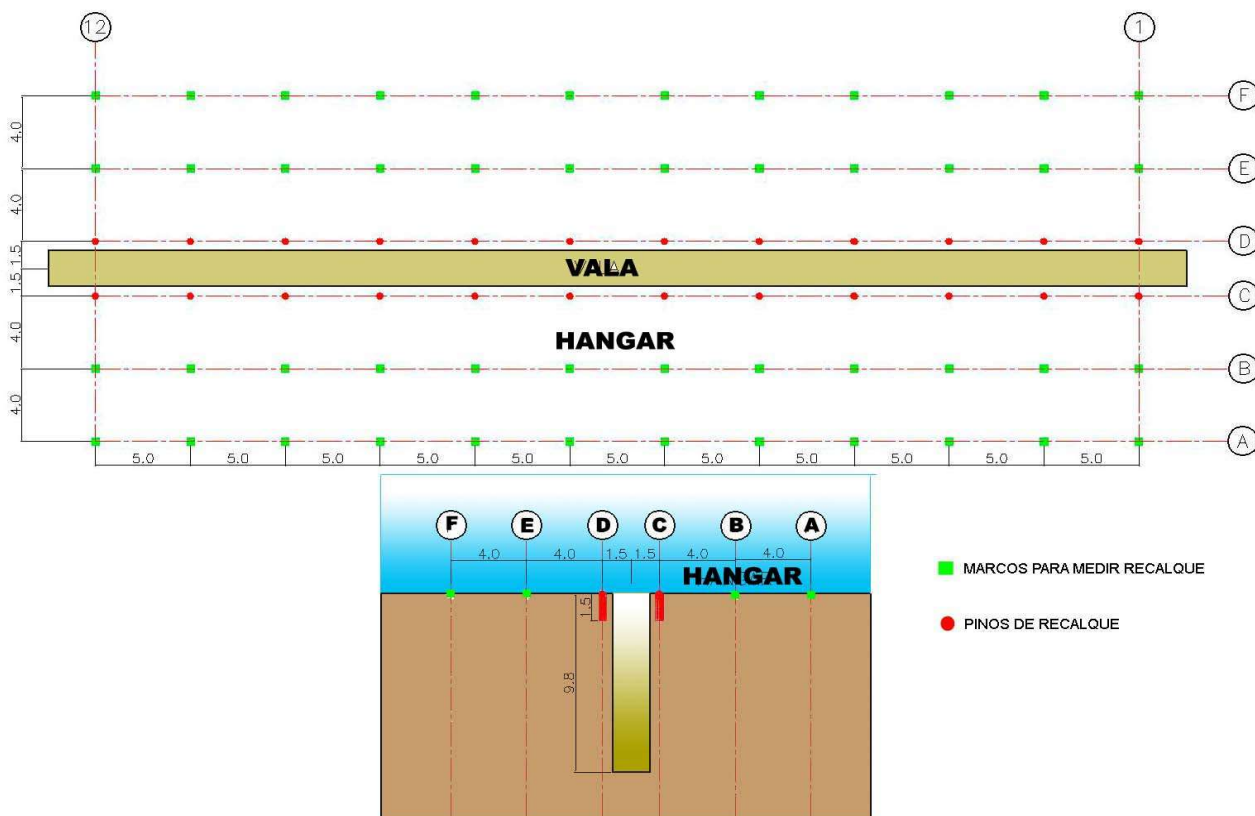


FIG.18- Posição dos marcos de deformações

crista da vala e a profundidade naquele ponto, variou entre 0,7 e 0,92, conforme figura 18.

A partir de 17/11/03 a escavação seguiu ininterruptamente até seu final, porém sempre com milimétricas movimentações horizontais manifestadas a cada avanço da escavação.

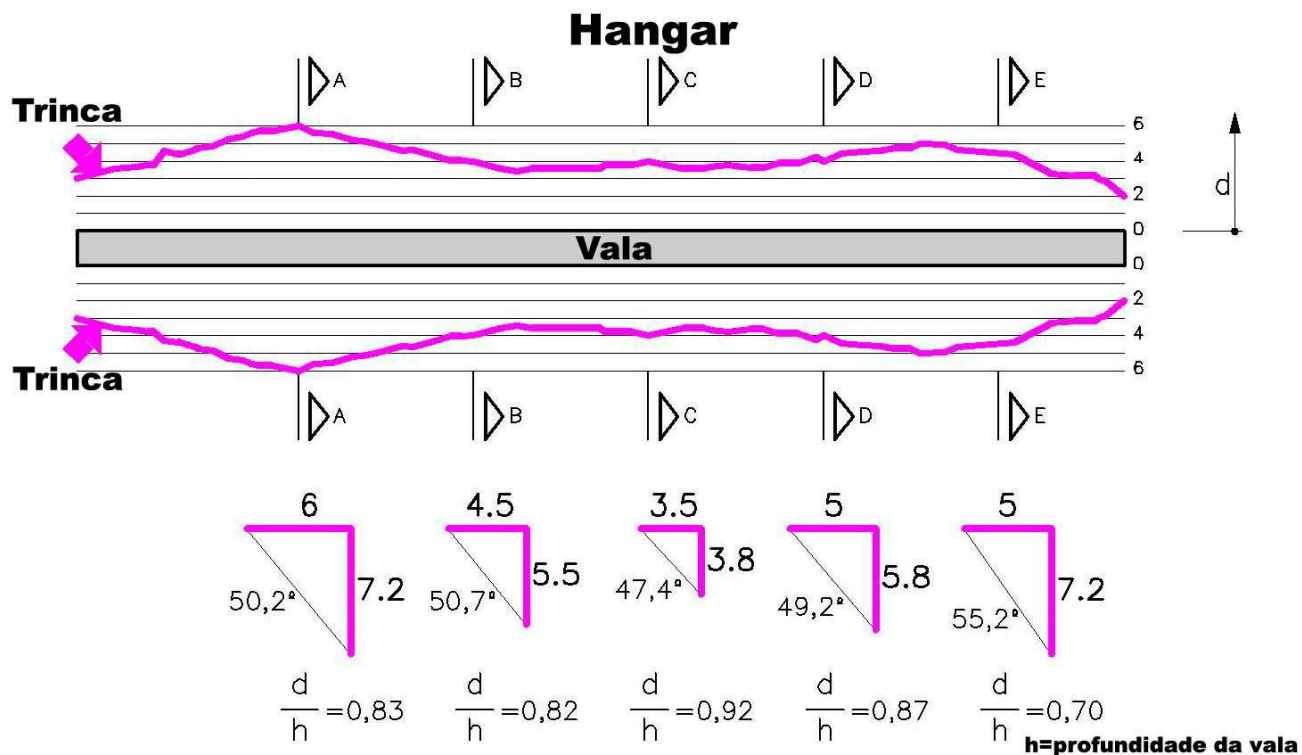
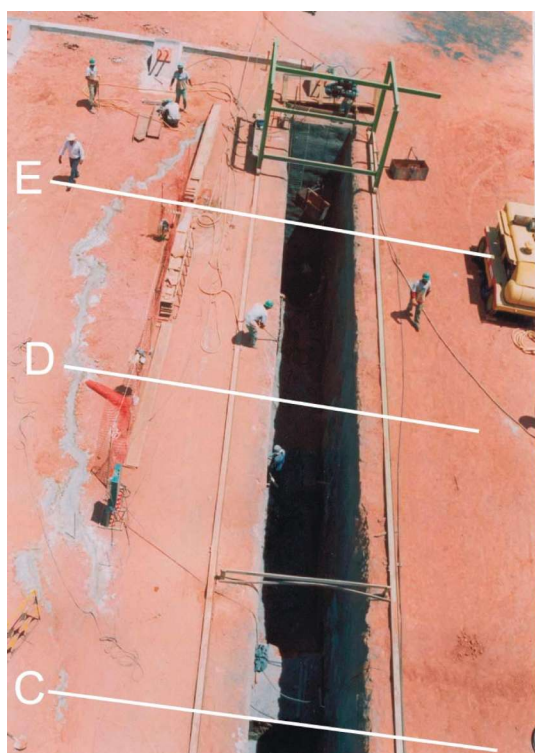
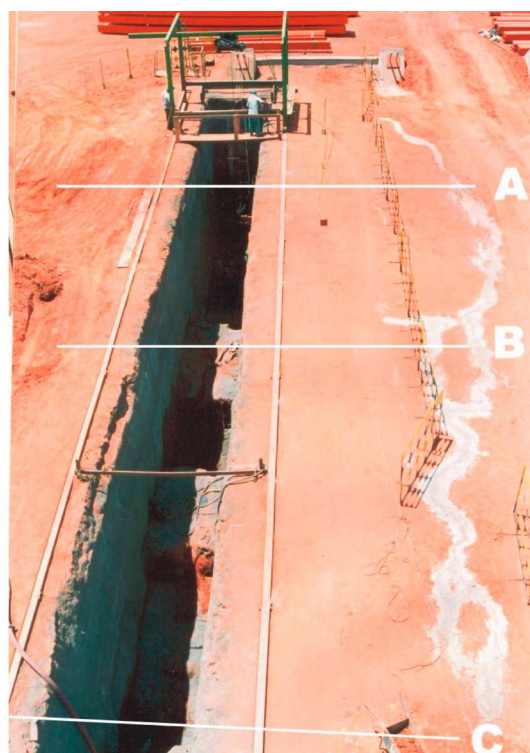


FIG.19-Posição gráfica das trinças junto a superfície



a) lado esquerdo, entre eixos E e C



b) lado direito, entre eixos C e A

FIG.20-Fotografia da posição das trincas junto a superfície e seu preenchimento

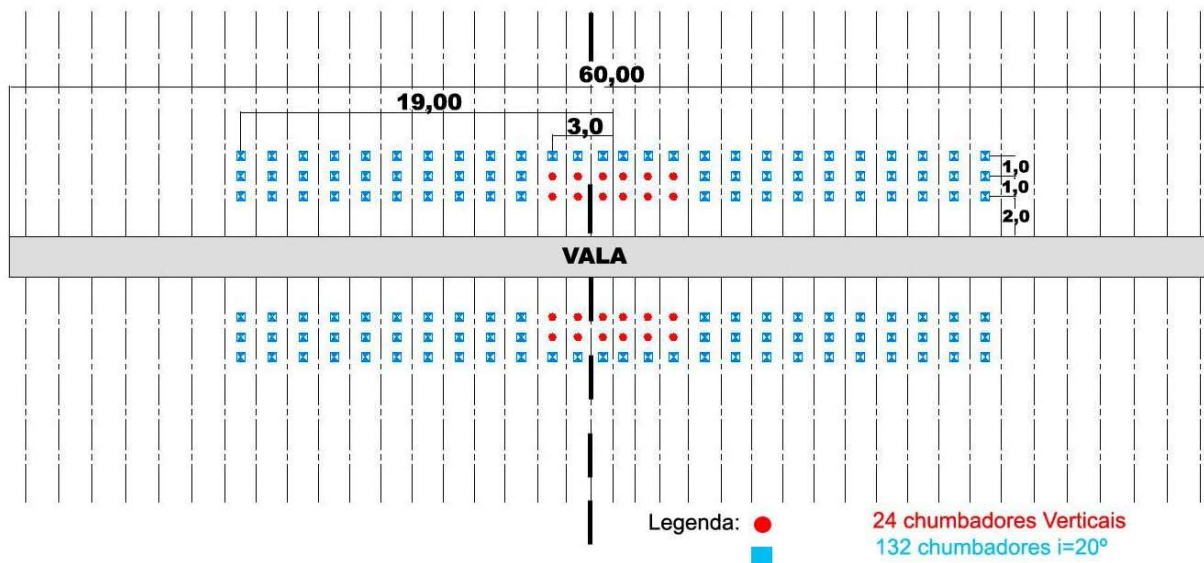


FIG.21-Reforço por meio de chumbadores verticais

### 10. DEFORMAÇÕES HORIZONTAIS DA CRISTA DA VALA

A deformação horizontal máxima da crista da vala estimada em projeto era cerca de 40mm e obteve-se 89mm. Na figura 23 apresentam-se estes valores e na figura 22 as porcentagens de deformação com relação a altura escavada. A relação das deformações com a altura escavada atingiu a 0.91%. Estes valores são muito superiores a alguns extraídos da literatura, conforme comparações mostradas na figura 25.

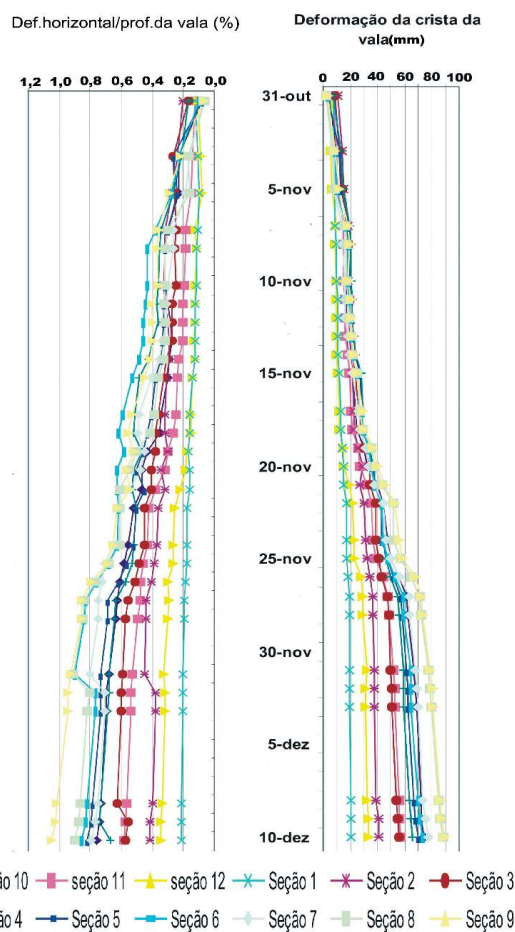


FIG.22- Porcentagem da deformação horizontal da crista da vala com relação a altura escavada conforme seções da fig. 18

FIG.23- Deformações horizontais da crista da vala em milímetros, conforme seções da fig. 18

## 11. DEFORMAÇÕES VERTICAIS DO PISO ADJACENTE A VALA

A bacia de recalques para as deformações verticais atingiu 10mm como deformação máxima, a 1,5m do eixo da vala: linhas 3 e 4. Estes valores reduziram-se para cerca de 4mm ao longo dos eixos 2 e 4. E para os eixos 1 e 6 estiveram em torno de 1mm. A figura 24 ilustra este comportamento.

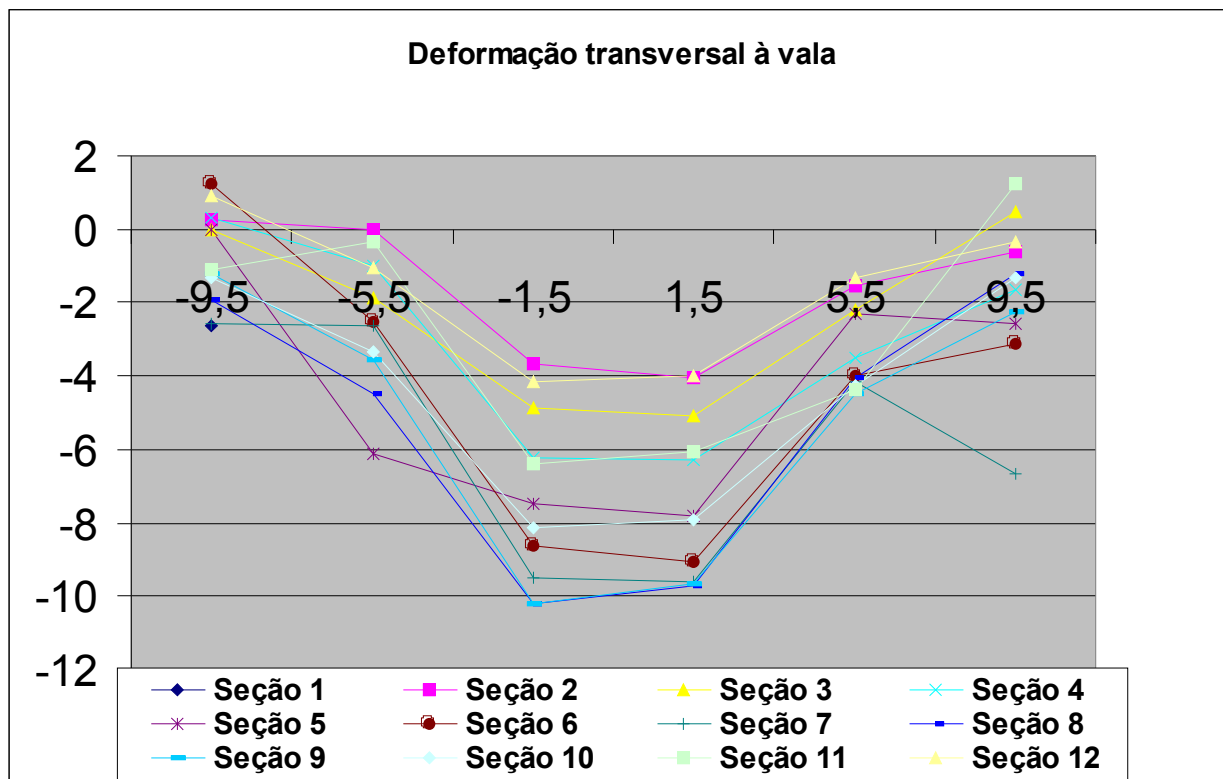


FIG.24-Deformações verticais da área adjacente ao topo da vala

## 12. ALGUMAS CONCLUSÕES OU OBSERVAÇÕES

A relação das deformações com a altura escavada atingiu a 0.91%. Estes valores são muito superiores a alguns extraídos da literatura, conforme comparações mostradas na figura e tabela 25 (ver referência -1- de Pitta e outros). A explicação para tais valores elevados, especialmente neste solo razoavelmente homogêneo de areia fina, pode vir a ser obtida por análises matemáticas. Um detalhe notável que foi a aplicação de cordoalhas de 15,2mm, como a armação do chumbador para viabilizar a execução, pode ter oferecido ao conjunto rigidez inferior que o caso com aplicação de barras maciças. Artigo de Ehrlich, M. em “Solo Grampeado-Comportamento e Procedimentos de Análise” (ref.1-p.129,130), mostra o efeito da variação da rigidez a flexão dos grampos para com a plastificação do solo.

Referência	Ano	Altura(m)
Guilloux (12)	1980	14,0
Shen-Samaritan (16)	1981	13,7
Shen-Davis (17)	1981	9,2
Gassler (11)	1981	6,0
Blondeau & Ledeuil (12)	1982	16,5
Nicholson (12)	1982	9,1
Nicholson (12)	1985	12,3
Clouterre (10)	1991	5,0
Benef. Portuguesa - A3	2002	10,42
Benef. Portuguesa - B3	2002	10,50
Benef. Portuguesa - C2	2002	12,16
Benef. Portuguesa - D1	2002	13,50
Mococa	2003	9,81

FIG.25- Comparações das % de deformações com a altura escavada com alguns valores extraídos da literatura, conforme referência bibliográfica

## 13. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Pitta C.A. , Souza G.J.T. , Zirlis A. C. (2003) Solo Grampeado: Alguns detalhes executivos – Ensaios – Casos de obras – work shop Solo Grampeado – Projeto, execução, instrumentação e Comportamento – Sinduscon S.P. – pg 1 a 8.