

- perda potencial de água acumulada, $\Sigma \text{neg}(I-EP)$, referente à soma mensal dos valores negativos de $(I - P)$;
- Armazenamento de água no solo (AS), capacidade de campo para valores iniciais;
- troca de armazenamento de água no solo (ΔAS), representativo da variação da quantidade de água armazenada no solo, mês a mês;
- evaporação (evapotranspiração) real, $ER = EP + [(I - EP) - \Delta AS]$, que é a quantidade real de perda de água durante dado mês,
- percolação ($PER = P - ES - \Delta AS - ER$);
- vazão mensal que percola a camada de cobertura, $Q_m = \frac{PER \cdot A_{\text{cont}}}{2.592.000}$, em que
 A_{cont} = área de contribuição da seção considerada.

O balanço final, incluindo-se todos os dados de entrada e saída, resulta em um excedente na forma do chorume, resumidamente mostrado na Figura 7.

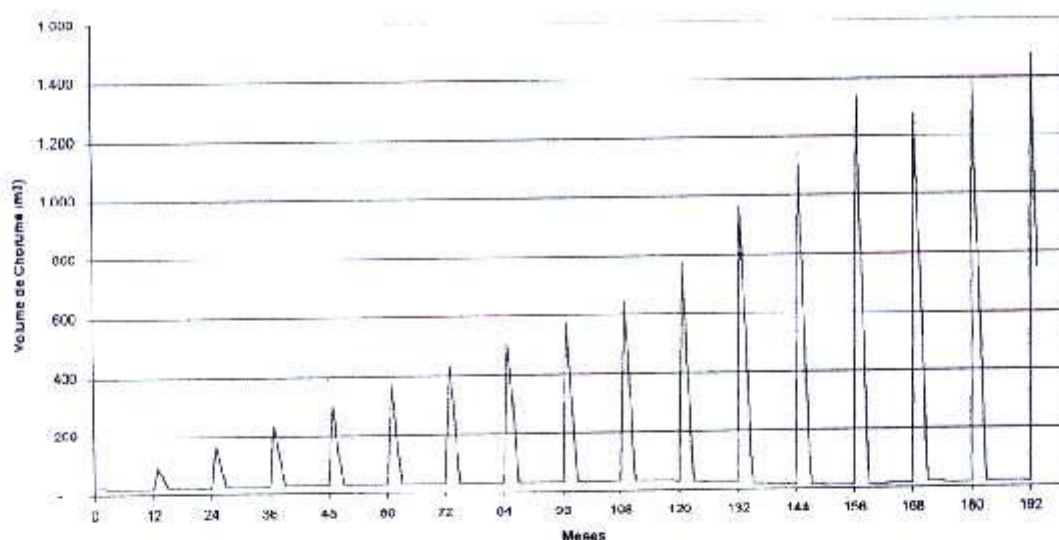


Figura 7 - Resumo o balanço hídrico no aterro durante o período de ocupação do aterro de Olímpia.

4.5.2 Filtros Anaeróbios e Tanque de Armazenamento de Chorume

Seguindo as premissas descritas no item 3.3.2, definiu que o conjunto de filtros biológicos deveriam apresentar um tempo de detenção mínimo de 24 horas, para se esperar eficiências acima de 85%.

Com relação à quantidade efetiva de chorume a ser considerada para tratamento e recirculação, foram efetuadas as considerações que segue.

De um total de 38.328 m² de aterro, a Camada 1 ocupa uma área de 17.875 m², restando para a área nova, 20.453 m². Para a área sob a Camada 1, que não está impermeabilizada, foi considerado que após todos esses anos de disposição de resíduos, cerca de 30% do chorume acabe infiltrando. Para a área nova, embora sejam tomadas as providências visando a impermeabilização das células, foi admitida uma infiltração no solo, de 10%.

A partir dos dados do balanço hídrico, estima-se na condição de pico do sistema, uma geração de 1.484 m³ mensais de chorume, aplicando-se a redução por infiltração nas bases, obtém um volume mensal final de pico de 1.050 m³, ou seja, cerca de 40 m³ por dia.

Cada unidade do sistema de filtros anaeróbios, apresenta um volume interno de 4,4 m³. Mas em função da borda livre e do volume ocupado pelo leito de britas, para um tempo de detenção hidráulico mínimo de 24 horas, serão necessárias pelo menos 6 unidades de tratamento.

Nessas condições, a capacidade volumétrica de tratamento do sistema de filtros anaeróbios, será de 528 m³. Portanto restarão 1.050 - 528 = 522 m³ para recirculação e armazenamento no respectivo tanque de armazenamento. Deve ser salientado que a finalidade do tanque é a regularização e controle de vazão no sistema de filtros, que é o sistema consistente de tratamento de chorume.

4.5.3 Tanque de Recepção e Bombeamento de Chorume e Sistema de Recalque

O sistema de recalque, a ser acionado por um equipamento moto-bomba submersível, atenderá dois tanques de recepção e bombeamento, denominados de TQ1 e TQ2. O volume a ser recalcado desses tanques ou poços de sucção, é proporcional à área que será atendida pelos mesmos. Desta forma o tanque TQ1 atenderá cerca de 60% e o tanque TQ2 40%, ao final da vida útil definida para o aterro.

O volume médio mensal máximo de 1.050 m³, é representado por uma vazão diária de 40 m³/dia. Contudo em função das dificuldade para previsão dos picos de vazão resultantes do regime pluviométrico, adotou-se uma margem de 100% em relação ao valor médio, ou seja, uma vazão de dimensionamento de 80 m³/dia ou 3,33 m³/h.

O sistema de bombeamento não deverá ser operado continuamente, devendo atender períodos que impliquem um total de cerca de 8 h diárias. Em função das características operacionais para esse tipo de equipamento de recalque comercial, estipulou-se um vazão de 10 m³/h. O desnível geométrico máximo de 14 m é relativamente pequeno, de tal forma que a grande maioria das bombas atendem facilmente alturas manométrias dessa amplitude, mesmo considerando-se as perdas de carga, que também são pequenas para a canalização definida na sequência.

Para esse sistema de recalque, considerou-se que uma velocidade de 2,0 m/s é adequada, o que resulta na adoção de um diâmetro para as linhas de recalque, de 42 mm ou comercialmente a canalização de PVC rígido DN 50.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELLANDI, R., et al., Hazardous Waste Site Remediation, The Engineer's Perspective. Van Nostrand Reinhold, New York, 1988.
- McBEAN, E.A., ROVERS, F.A., FARQUHAR, G.J., (1995) *Solid Waste Landfill Engineering and Design*. Prentice Hall, Inc. p. 521, ISBN 0-13-079187-3.
- ROCCA, A.C.C., et al, Resíduos Sólidos Industriais. 2ª ed. CETESB - SP, 253 p. 1993.
- SHARMA, H.D., LEWIS, S.P., Waste Containment Systems, Waste Stabilization, and Landfills: Design and Evaluation. John Wiley & Sons, Inc. 588 p. 1994, ISBN 0-471-57536-4.
- TCHOBANOGLOUS, G., THEISEN, H., VIRGIL, S., Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues McGraw-Hill, Inc., International Edition. 978 p. 1993. ISBN 0-07-063237-5.
- WENTZ, C.A., Hazardous Waste Management. McGraw-Hill, New York, 1989.

ORÇAMENTO

Implantação de Infraestrutura, preparo e disposição na Célula 1.						
Item	Medição	Unidade	Custo unitário R\$	Custo R\$	Custo acumulado R\$	Observações
1 Locação dos elementos de projeto	3	ha	360,00	1.080	1.080	Topográfico cadastral
2 Execução de acessos	530	m	5,00	2.650	3.730	Execução de base das vias
3 Escavação para preparo da Base 1	2.308	m³	2,00	4.798	8.528	Célula 1
4 Compactação para preparo da Base 1	2.430	m³	0,50	1.215	9.741	Célula 1
5 Drenagem de chorume				4.919	14.660	Célula 1
Tubo dren 75 mm	273	m	3,00	819		
Tubo PVC DN100	160	m	4,95	792		
CX-1 Caixa de passagem de chorume	1	un.	250,00	1.000		
TQ-1 e TQ-2 poços de sucção	2	un.	1.000,00	2.000		
Ancoragem com brita nº 4 (ou cascalho)	-	m	2,50	-		
Brita nº 4 ou cascalho (0,2 m³/m)	07	m	4,00	308		
Cobertura de areia média/grossa	-	m	4,50	-		
Geotêxtil (Bidim XT-4) 3 m²/m	-	m	4,20	-		
6 Ureno vertical de gás	1	m	50,00	50	14.710	Célula 1
7 Filtros Anaeróbios				6.795	21.505	
Escavação para preparo da base	180	m²	2,50	450		
Tubo dren 75 mm	125	un	3,00	375		
CDX-1 Caixa de distribuição de chorume	1	un	250,00	250		
CXT-1 Caixa de captação do efluente	1	un	250,00	250		
Brita nº 4	25	un	20,00	500		
Tubos de Concreto CA 02	18	un	250,00	4.500		
Tubo PVC DN100	95	m	4,95	470		
8 Sistema de disposição do Efluente				2.082	23.588	
CPV (3 e 4) Poço de visita		un	350,00	-		
Tubo PVC DN100	52	m	4,95	257		
CIX-1 Caixa p/ infiltração do efluente	1	un	250,00	250		
Galeria de infiltração c/ tubo dren 75 mm	105	m	15,00	1.575		Tubo dren de concreto, brita 2/3
9 Canaletas para drenagem pluvial (400 mm)	120	m	15,00	1.800	25.388	Mela-cana de concreto
10 Canaletas para drenagem pluvial (500 mm)	75	m	21,00	1.575	26.963	Mela-cana de concreto
11 Drenagem Superficial Periférica				-	28.063	
Canaletas para drenagem pluvial (400 mm)		m	9,60	-		Mela-cana de concreto
CPE 1 e 2 Caixa de passagem p/ Águas Sup.		un	200,00	-		
12 Custo operacional (disposição)	3.050	t	4,00	12.200	39.183	6 meses de operação
TOTAL					39.183	Implantação do sistema, com infraestrutura e Preparo e operação da Célula 1

CÉLULA 2						
Item	Medição	Unidade	Custo unitário R\$	Custo R\$	Custo acumulado R\$	Observações
1 Escavação para preparo da Base	3.066	m³	2,00	6.132	6.132	
2 Compactação para preparo da Base	2.816	m³	0,50	1.408	7.540	
3 Drenagem				528	8.068	
CDX-1 Caixa de passagem de chorume	1	un	250,00	250		
Brita nº 4 ou cascalho (0,2 m³/m)	60	m	4,00	270		
4 Dreno vertical de gás	4	m	50,00	200	8.268	
6 Custo operacional	3.817	t	4,00	15.268	23.534	6 meses de operação
TOTAL					23.534	Implantação e operação da Célula 2

CÉLULA 3						
Item	Medição	Unidade	Custo unitário R\$	Custo R\$	Custo acumulado R\$	Observações
1 Escavação para preparo da Base	2.870	m ³	2,00	5.740	5.740	
2 Compactação para preparo da Base	2.554	m ²	0,50	1.277	7.017	
3 Drenagem				526	7.543	
CPX-1 Caixa de passagem de chorume	1	un.	250,00	250		
Brita nº 4 ou cascalho (0,2 m ³ /m)	60	m	4,60	276		
4 Dreno vertical de gás	4	m	50,00	200	7.743	6 meses de operação
5 Custo operacional	3.476	t	4,00	13.912	21.655	
TOTAL					21.655	Implantação e operação da Célula 2

CÉLULA 4						
Item	Medição	Unidade	Custo unitário R\$	Custo R\$	Custo acumulado R\$	Observações
1 Escavação para preparo da Base	2.814	m ³	2,00	5.628	5.628	
2 Compactação para preparo da Base	2.469	m ²	0,50	1.235	6.863	
3 Drenagem				526	7.389	
CPX-1 Caixa de passagem de chorume	1	un.	250,00	250		
Brita nº 4 ou cascalho (0,2 m ³ /m)	60	m	4,60	276		
4 Dreno vertical de gás	4	m	50,00	200	7.589	6 meses de operação
5 Custo operacional	3.345	t	4,00	13.380	20.969	
TOTAL					20.969	Implantação e operação da Célula 2

CÉLULA 5						
Item	Medição	Unidade	Custo unitário R\$	Custo R\$	Custo acumulado R\$	Observações
1 Escavação para preparo da Base	2.800	m ³	2,00	5.600	5.600	
2 Compactação para preparo da Base	2.450	m ²	0,50	1.225	6.825	
3 Drenagem				526	7.351	
CPX-1 Caixa de passagem de chorume	1	un.	250,00	250		
Brita nº 4 ou cascalho (0,2 m ³ /m)	60	m	4,60	276		
4 Dreno vertical de gás	4	m	50,00	200	7.551	6 meses de operação
5 Custo operacional	3.323	t	4,00	13.292	20.843	
TOTAL					20.843	Implantação e operação da Célula 2

CÉLULA 6						
Item	Medição	Unidade	Custo unitário R\$	Custo R\$	Custo acumulado R\$	Observações
1 Escavação para preparo da Base	2.800	m ³	2,00	5.600	5.600	
2 Compactação para preparo da Base	2.436	m ²	0,50	1.218	6.818	
3 Drenagem				526	7.344	
CPX-1 Caixa de passagem de chorume	1	un.	250,00	250		
Brita nº 4 ou cascalho (0,2 m ³ /m)	60	m	4,60	276		
4 Dreno vertical de gás	4	m	50,00	200	7.544	6 meses de operação
5 Custo operacional	3.306	t	4,00	13.224	20.768	
TOTAL					20.768	Implantação e operação da Célula 2

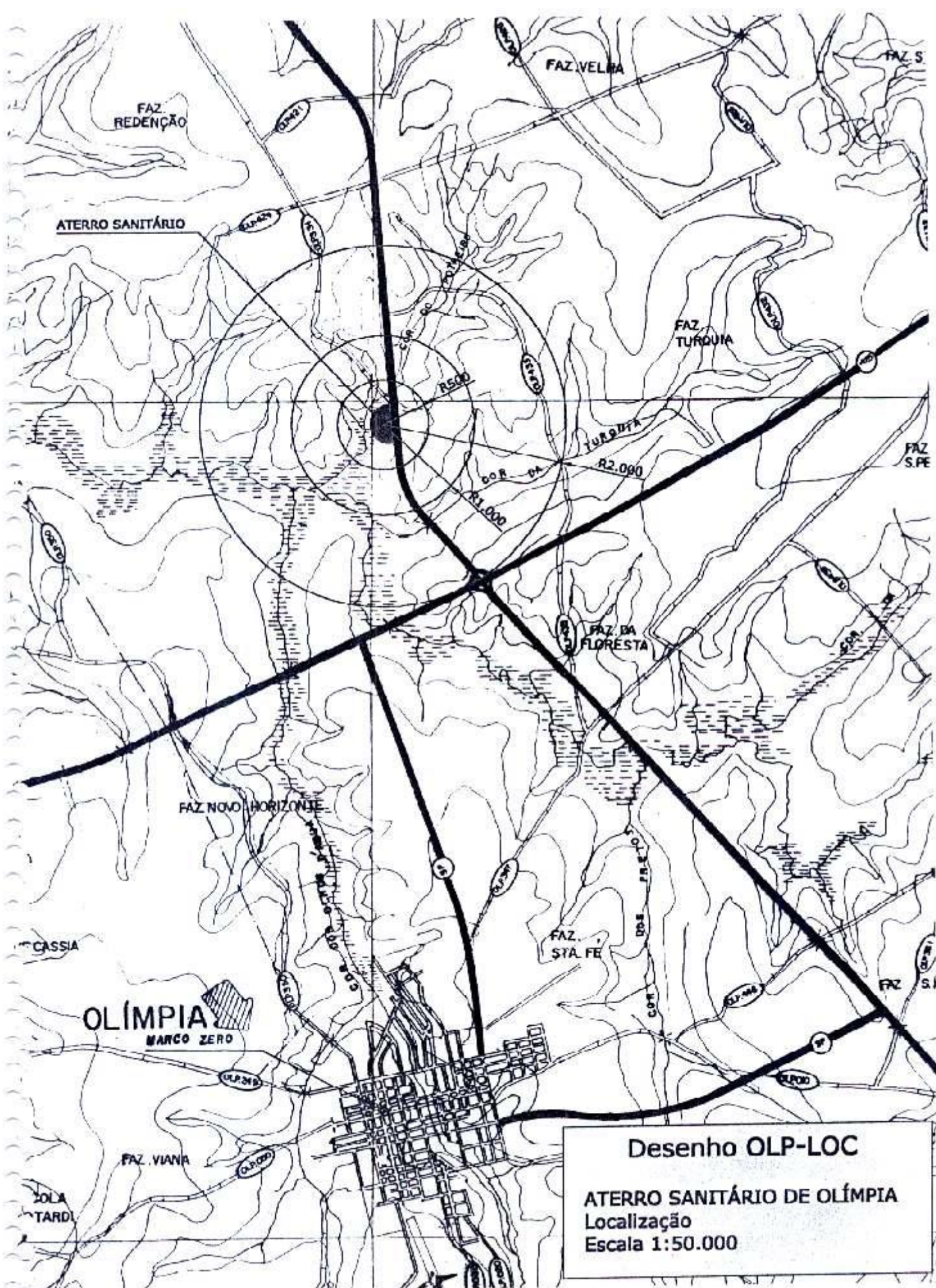
CÉLULA 7						
Item	Medição	Unidade	Custo unitário R\$	Custo R\$	Custo acumulado R\$	Observações
1 Escavação para preparo da Base	2.951	m ³	2,00	5.902	5.902	8 meses de operação
2 Compactação para preparo da Base	3.107	m ³	0,50	1.554	7.456	
3 Drenagem				526	7.982	
CPX-1 Caixa de passagem de chorume	1	un.	250,00	250		
Brita nº 4 ou cascalho (0,2 m ³ /m)	60	m	4,60	276		
4 Dreno vertical de gás	4	m	50,00	200	8.182	Implantação e operação da Célula 2
5 Custo operacional	4.156	t	4,00	16.632	24.814	
TOTAL					24.814	

COMPLEMENTO						
Item	Medição	Unidade	Custo unitário R\$	Custo R\$	Custo acumulado R\$	Observações
1 Escavação para preparo da Base	-	m ³	2,00	-	-	25 meses de operação
2 Compactação para preparo da Base	2.191	m ³	0,50	1.096	1.096	
3 Drenagem				526	1.622	
CPX-1 Caixa de passagem de chorume	1	un.	250,00	250		
Brita nº 4 ou cascalho (0,2 m ³ /m)	60	m	4,60	276		
4 Dreno vertical de gás	4	m	50,00	200	1.822	Implantação e operação da Célula 2
5 Custo operacional	18.244	t	4,00	72.976	74.798	
TOTAL					74.798	

Bariani

6 ANEXOS

DESENHOS



FOTOS

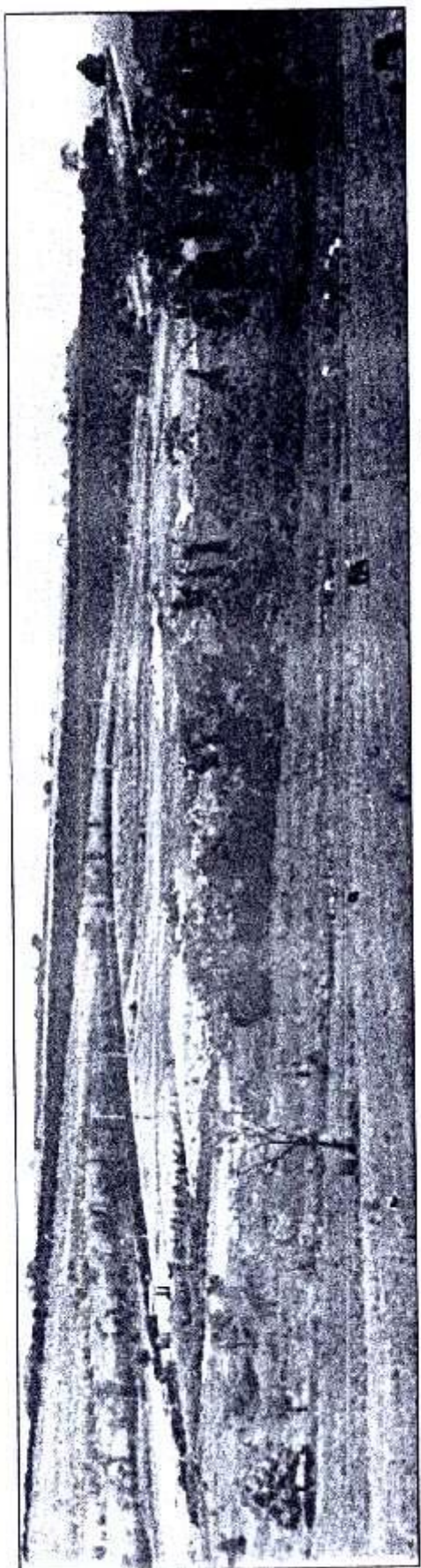


Foto 1 - Visão geral da área do aterro de Olímpia em outubro de 1998

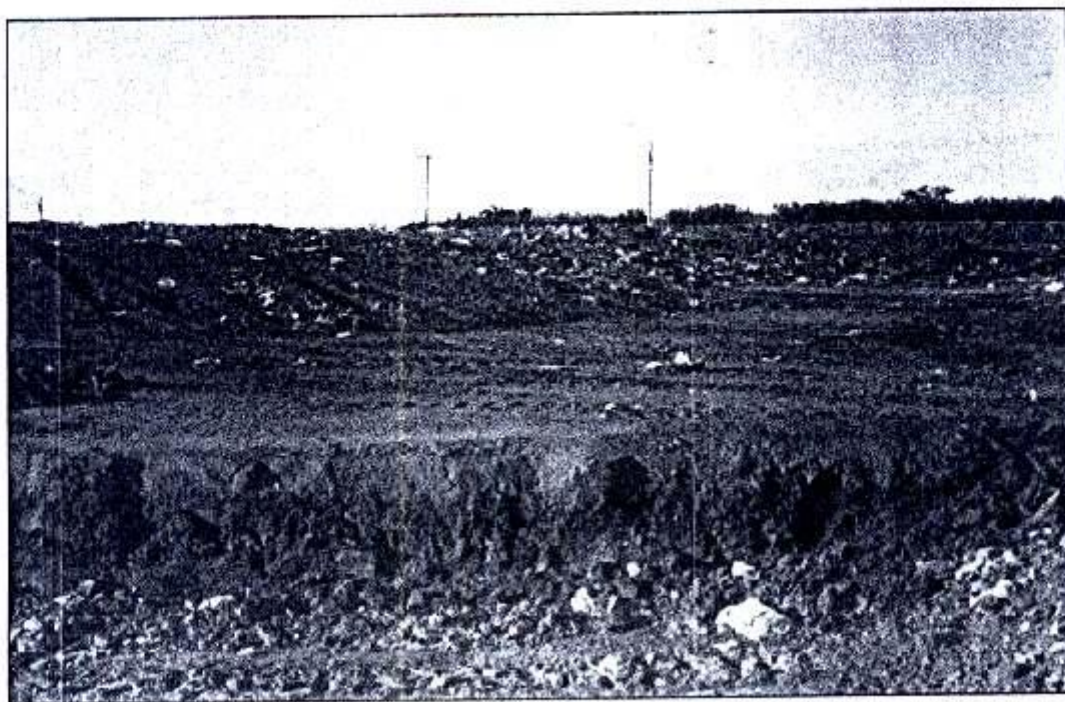


Foto 2 – Detalhe atual da parte central do aterro, em condições para abertura de célula (ausência de lixo no corte)



Foto 3 – Vala rasa, aberta para disposição do lixo, que permanece próximo à superfície.



Foto 3 – Abertura de um furo de sondagem a trado. Preparação para ensaio de permeabilidade na extremidade inferior do aterro.

CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

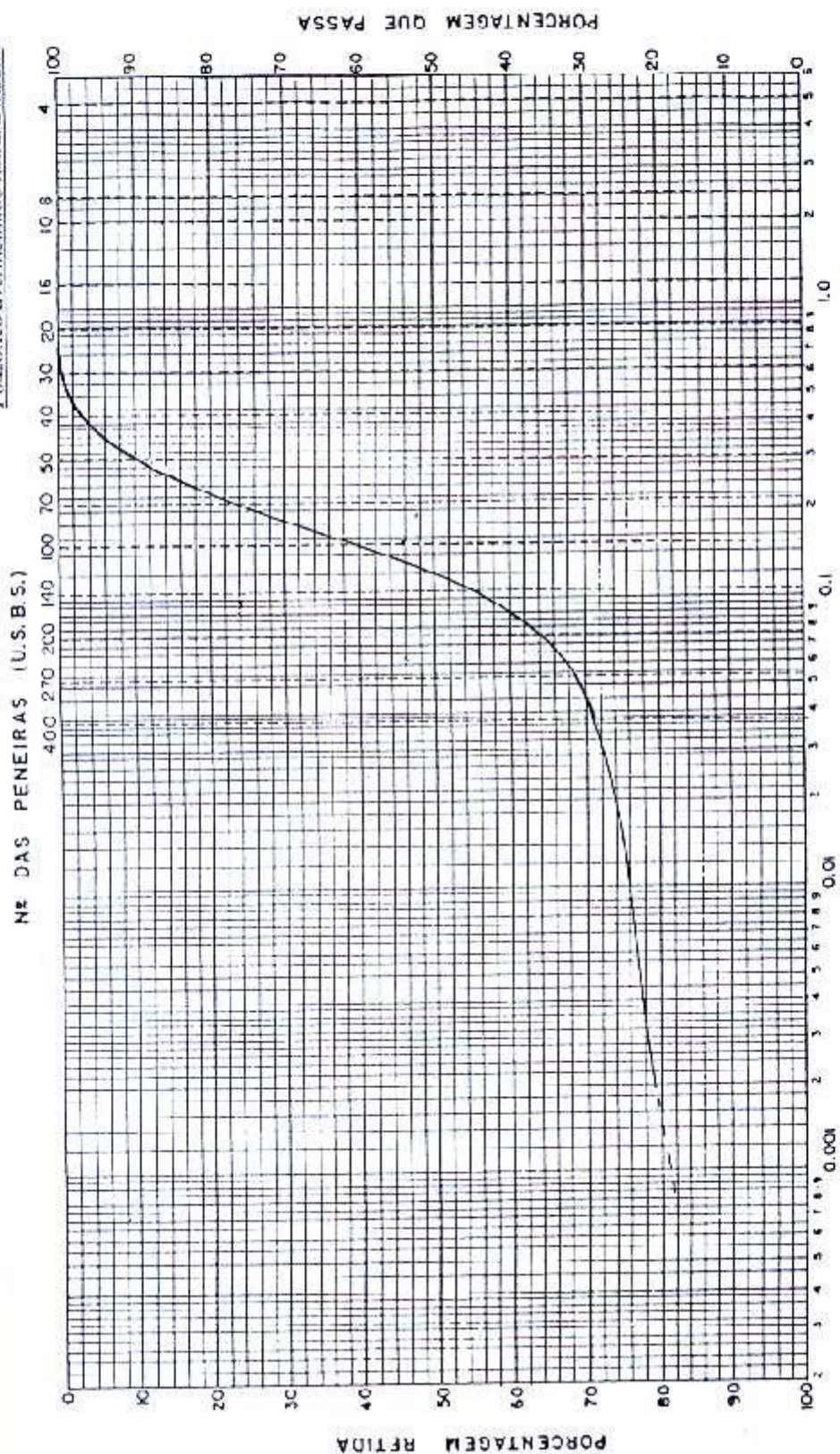
AMOSTRA "1": *Amostra média representativa do solo da área no contorno da área degradada (Profundidade = 0,3 a 0,5 metro).*

<u>SOLO:</u>	Podzólico avermelhado textura média (Solo areno-argilo-siltoso)
<u>ORIGEM:</u>	Formação Adamantina.
<u>TEXTURA:</u>	% areia = 67,8 % silte = 11,4 % argila = 20,8.
<u>CLASSE TEXTURAL:</u>	Franco argilo arenoso (S.B.C.S.). Areia argilosa (Sheppard).
<u>PERMEABILIDADE:</u>	K "in loco" = $1,3 \cdot 10^{-3}$ cm/s. K compactado (Proctor – 90 %) = $2,9 \cdot 10^{-6}$ cm/s.
<u>COMPACTAÇÃO</u>	Umidade ótima = 16,1 %.
<u>FINURA (MÓDULO AFS):</u>	Solo natural = 181; Fração areia = 84.
<u>PICO GRANULOMÉTRICO:</u>	Peneira ASTM nº 100.
<u>D₅₀ do SOLO:</u>	0,120 mm.
<u>MASSA ESPECÍFICA</u>	2,73 g/cm ³ .
<u>CONSISTÊNCIA:</u>	Límite de liquidez – 28,1 Límite de plasticidade = 20,9 Índice de plasticidade = 7,2

OBS:- Faixa superior do solo no entorno da área em processo de degradação, junto à cerca de arame farpado. Faixa de solo fofo (pouco compacto).

AMOSTRA "1": Amostra média representativa de solo da área no entorno do local em degradação - Profundidade = 0.3 a 0.5 m.

Podzólico avermelhado textura média.



CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

AMOSTRA "2": *Amostra média representativa do solo da área no contorno do local em processo de degradação (Profundidade - 0,5 a 1,0 metro).*

SOLO: Podzólico avermelhado textura média (solo areno-silto-argiloso).

ORIGEM: Formação Adamantina.

TEXTURA: % areia = 48,5 % silte = 28,3 % argila = 23,2.

CLASSE TEXTURAL: Franco (S.B.C.S.).
Areia siltica argilosa (Sheppard).

PERMEABILIDADE: K "in loco" = $3,7 \cdot 10^{-4}$ cm/s.
K compactado (Proctor - 90 %) = $1,9 \cdot 10^{-6}$ cm/s.

COMPACTAÇÃO Umidade ótima = 16,4 %

FINURA (MÓDULO AFS): Solo natural = 242; Fração areia = 91.

PICO GRANULOMÉTRICO: Peneira ASTM nº 140.

D₅₀ do SOLO: 0,055 mm.

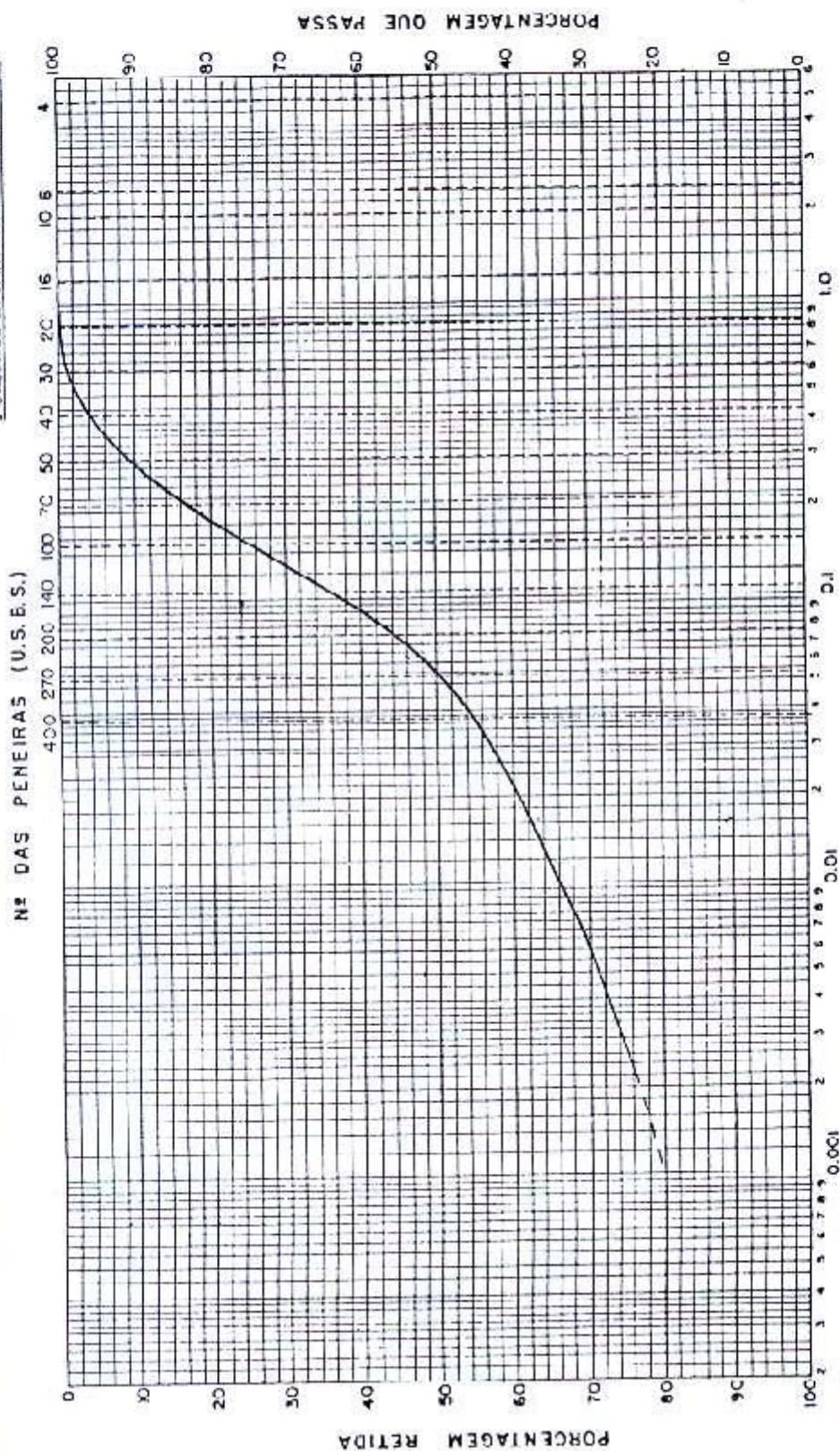
MASSA ESPECÍFICA 2,70 g/cm³

CONSISTÊNCIA: Limite de liquidez = 29,8
Limite de plasticidade = 21,1
Índice de plasticidade = 8,7

OBS:- Faixa de solo encontrada à profundidade de 0,5 a 1,0 metro nos 5 furos com trado (F.1, F.2, F.3, F.4 e F.5) executados no entorno da área em processo de degradação, junto à cerca de arame farpado.

AMOSTRA "2": Amostra média representativa do solo da área no entorno do local em degradação - Profundidade = 0,5 a 1,0 m.

Podzólico avermelhado textura média



DIÂMETRO DOS GRÃOS (mm)

ARGILAS		FINO		MÉDIO SILTE		GROSSO SILTE		FINA		MÉDIA AREIA		GROSSA AREIA		PEDREGULHOS	
	23,2 %						28,3 %					48,5 %			

CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

AMOSTRA "3": *Amostra média representativa do solo da área no contorno do local em processo de degradação (Profundidade – 1,0 a 1,3 metros).*

SOLO: Podzólico avermelhado textura média (solo areno-argilo-siltoso).

ORIGEM: Formação Adamantina.

TEXTURA: % areia = 54,6 % silte = 19,1 % argila = 26,3.

CLASSE TEXTURAL: Franco argilo arenoso(S.B.C.S.).
Areia argilosa (Sheppard).

PERMEABILIDADE: K "in loco" = $2,3 \cdot 10^{-4}$ cm/s.
K compactado (Proctor – 90 %) = $1,8 \cdot 10^{-6}$ cm/s.

COMPACTAÇÃO Umidade ótima = 16,7 %.

FINURA (MÓDULO AFS): Solo natural = 218; Fração areia = 86

PICO GRANULOMÉTRICO: Peneira ASTM nº 140.

D₅₀ do SOLO: 0,076 mm.

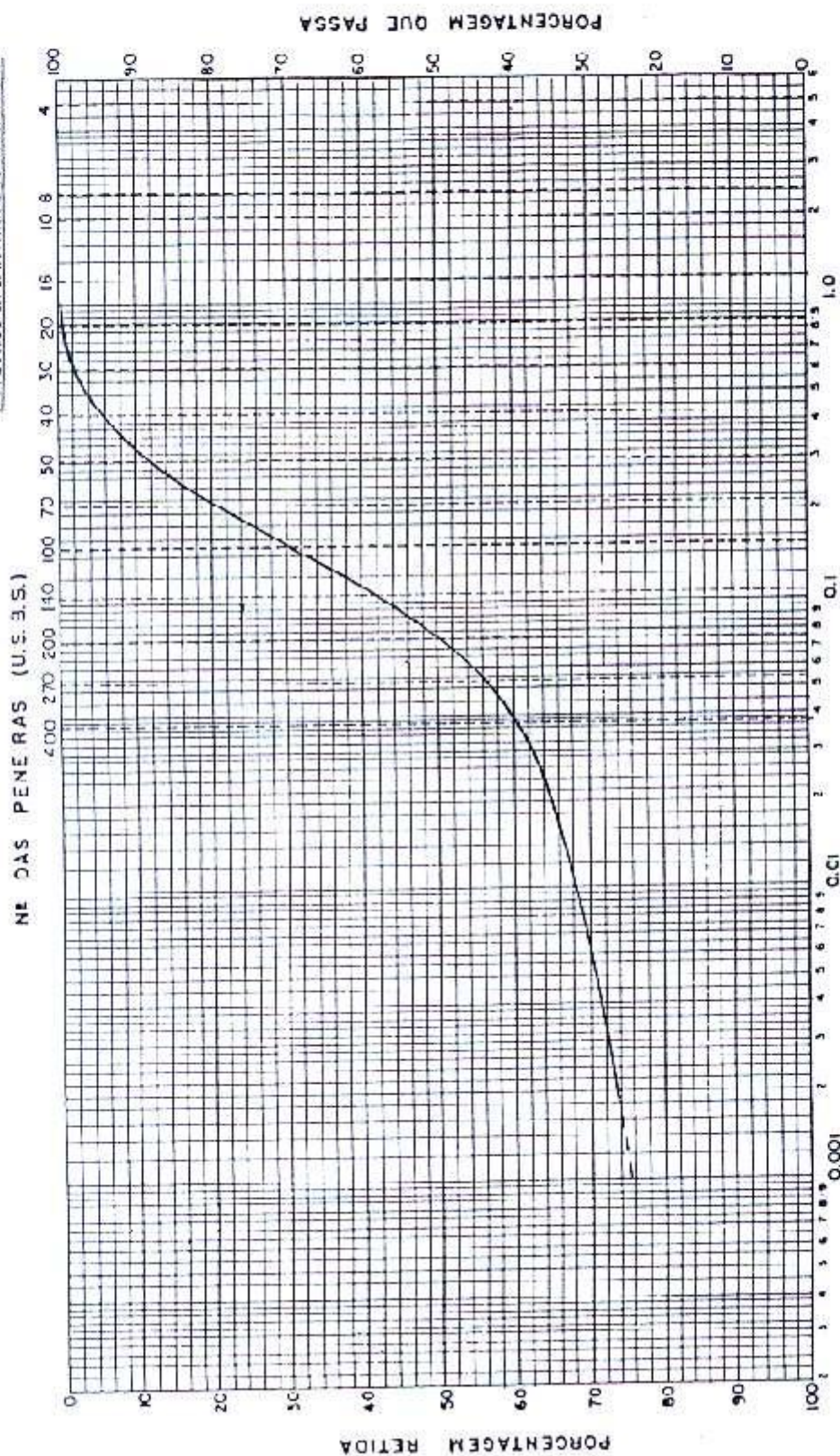
MASSA ESPECÍFICA 2,72 g/cm³.

CONSISTÊNCIA: Limite de liquidez = 32,1
Limite de plasticidade = 22,3
Índice de plasticidade = 9,8

OBS:- Faixa de solo encontrada à profundidade de 1,0 a 1,3 metros nos 5 furos com trado (F.1, F.2, F.3, F.4 e F.5) executados no entorno da área em processo de degradação, junto à cerca de arame farpado.

AMOSTRA "3": Amostra média representativa do solo da área no entorno do local em degradação - Profundidade = 1,0 a 1,3 m.

Podzóbico avermelhado textura média.



DIÂMETRO DOS GRÃOS (mm)

	FINO	MÉDIO	GRANDE	FINA	MÉDIA	GROSSA	
ARGILAS	26,3 %						
		SILTE	19,1 %		AREIA	54,6 %	PEQUENULHOS

CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

AMOSTRA "47": *Amostra média representativa da rocha semi-decomposta da área*

<u>SOLO:</u>	Rocha semi-decomposta parcialmente lixiviada.
<u>ORIGEM:</u>	Formação Adamantina.
<u>TEXTURA:</u>	% areia – 80,3 % silte – 10,9 % argila – 8,8.
<u>CLASSE TEXTURAL:</u>	Areia franca (S.B.C.S.). Areia (Sheppard).
<u>PERMEABILIDADE:</u>	K "in loco" = $2,6 \cdot 10^{-3}$ cm/s. K compactado (Proctor – 90 %) = $8,9 \cdot 10^{-5}$ cm/s.
<u>COMPACTAÇÃO</u>	Umidade ótima – 13,1 %.
<u>FINURA (MÓDULO AFS):</u>	Solo natural = 130; Fração areia = 68.
<u>PICO GRANULOMÉTRICO:</u>	Peneira ASTM nº 70.
<u>D₅₀ do SOLO:</u>	0,190 mm.
<u>MASSA ESPECÍFICA</u>	2,68 g/cm ³ .
<u>CONSISTÊNCIA:</u>	Limite de liquidez = 14,7 Limite de plasticidade = 10,0 Índice de plasticidade = 4,7

OBS:- Rocha semi-decomposta lixiviada encontrada à profundidade de 1,3 a 1,5 metros nos 5 furos com trado (F.1, F.2, F.3, F.4 e F.5) executados no contorno encurvado da área em processo de degradação, junto à cerca de arame farpado. Nas sondagens à percussão (SP 1 e SP 2) anteriormente executadas nas partes topograficamente mais elevadas, foi encontrada em profundidades maiores (até 6,0 metros).

AMOSTRA "4": Amostra média representativa da rocha semi-decomposta parcialmente lixiviada da área em questão.

Arenito, silto argiloso creme semi-decomposto lixiviado.

Nº DAS PENEIRAS (U.S.B.S.)

