



CETESB

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

CETESB - C.O. SANEAMENTO AMBIENTAL
Av. Prof. Frederico de Mello Prado, 100 - JARDIM PINEIROS
SÃO PAULO - BRASIL

4-SISTEMAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS:
ATERRO SANITÁRIO - DRENAGEM
DE ÁGUAS PLUVIAIS E LÍQUIDOS
PERCOLADOS

- <u>CONSIDERAÇÕES GERAIS</u>	6
1 - INTRODUÇÃO.....	6
2 - IMPERMEABILIZAÇÃO.....	6
3 - CHORUME-LÍQUIDOS PERCOLADOS-PARÂMETROS.....	6
4 - DRENAGEM DE ÁGUAS DE CHUVAS E DE NASCENTES.....	8
5 - DRENAGEM DE GASES.....	9
6 - DRENAGEM DE CHORUME OU SUMEIRO.....	11
7 - TRATAMENTO DE CHORUME.....	11
7.1 - PRODUÇÃO DE LÍQUIDO NO ATERRO.....	12
7.2 - CARGA ORGÂNICA DO LÍQUIDO PERCOLADO.....	14
7.3 - LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO FACULTATIVAS.....	14
7.4 - VANTAGENS DO EMPREGO DE LAGOAS.....	17
7.5 - FILTROS BIOLÓGICOS.....	18
8 - ATERRO COM CAPTAÇÃO DE GASES.....	19
9 - DEFINIÇÃO.....	22
10 - ASPECTOS AMBIENTAIS.....	22
11 - MEDIDAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL.....	23
12 - MEDIDAS QUE DEVEM SER TOMADAS PARA ESCOLHA DA ÁREA.....	23
13 - FORMAS DE DISPOSIÇÃO.....	23

13.1 - TÉCNICA DA TRINCHEIRA.....	23
13.2 - TÉCNICA DE RAMPA.....	25
13.3 - TÉCNICA DA ÁREA.....	25
14 - FORMA DE OPERAÇÃO.....	25
15 - FRENTE PARA DIAS DE CHUVA.....	30
16 - PARTES DE UM ATERRO SANITÁRIO.....	30
16.1 - CERCAS.....	30
16.2 - PORTARIA.....	30
16.3 - BALANÇA.....	31
16.4 - INSTALAÇÕES DE APOIO.....	32
16.5 - ALMOXARIFADO.....	32
16.6 - PÁTIO PARA ESTOCAGEM DE MATERIAIS.....	32
16.7 - GALPÕES PARA ABRIGO DE VEÍCULOS.....	33
16.8 - ACESSOS INTERNOS.....	33
16.9 - ILUMINAÇÃO.....	34
17 - EQUIPAMENTO.....	35
- <u>PROJETO DE ATERRO SANITÁRIO</u>	36
1 - PREVISÃO DA PRODUÇÃO DO LIXO DOMICILIAR.....	36
2 - DADOS BÁSICOS.....	36
2.1 - CAPACIDADE E PREVISÃO DE SATURAÇÃO DO ATERRO.....	36
2.2 - SONDAgens.....	38

2.3 - TOPOGRAFIA.....	41
3 - PROJETO PROPRIAMENTE DITO.....	41
3.1 - CÁLCULO DA CÉLULA IDEAL.....	41
3.2 - OPERAÇÃO.....	42
3.3 - ACESSOS.....	43
3.4 - INSTALAÇÕES FIXAS.....	43
3.5 - DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	47
3.6 - DRENAGEM DE GASES.....	48
3.7 - DRENAGEM DE LÍQUIDOS PERCOLADOS.....	48
3.8 - ÁREAS DE EMERGÊNCIA.....	50
4 - PRODUÇÃO ESTIMADA DOS EQUIPAMENTOS.....	50
4.1 - TRATOR DE ESTEIRA D4E CATERPILLAR.....	50
4.2 - PÁ CARREGADEIRA 930 CATERPILLAR.....	51
4.3 - CAMINHÃO BASCULANTE MERCEDES BENZ.....	52
ANEXO: CÁLCULO DA ÁREA MÍNIMA DE COBERTURA.....	53
- <u>DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS E LÍQUIDOS PERCOLADOS</u>	57
1 - DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	57
1.1 - DETERMINAÇÃO DA VAZÃO A SER DRENADA.....	57
1.2 - DIMENSIONAMENTO DOS DRENOS.....	64
2 - DRENAGEM DE LÍQUIDOS PERCOLADOS.....	66
2.1 - VAZÃO A SER DRENADA.....	66
2.2 - DIMENSIONAMENTO DA REDE SUB-SUPERFICIAL.....	68

4 - SISTEMAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS: ATERROS SANITÁRIOS

- CONSIDERAÇÕES GERAIS

Maria Helena de A. Orth

Celso Kiyoshi Takeda

1 - INTRODUÇÃO

No momento atual, por razões econômicas, não se exclui ainda, como sistema de destinação final do lixo, o aterro sanitário, que continuará sendo, durante muitos anos, a forma mais importante de disposição. É, portanto, fundamental disciplinar a construção dos mesmos, de acordo com técnicas de engenharia e normas sanitárias adequadas.

2 - IMPERMEABILIZAÇÃO

A impermeabilização da parte inferior do aterro pode ser feita através de camadas de solo impermeável (argila) ou da aplicação de lençóis impermeabilizantes, utilizando-se resinas asfálticas ou membranas plásticas, como por exemplo; Hypalon.

3 - CHORUME - LÍQUIDOS PERCOLADOS - PARÂMETROS

A decomposição do lixo produz um líquido mal cheiroso de coloração negra, muito parecido com o esgoto doméstico (DBO* 200 - 400 mg/L), porém bem mais concentrado e com DBO da ordem de 19.000 mg/L.

O chorume é formado de enzimas expelidas pelas bactérias de decomposição e de água de constituição. As águas de chuva que caem sobre o aterro, bem como de nascentes, percolam através do lixo e carregam o chorume e a matéria orgânica, dando origem ao percolato que, dependendo do volume, pode causar problemas à operação do aterro ou ainda, contaminar o solo e a água de nascentes e poços vizinhos.

Em estudos realizados nos aterros de Engenheiro Goulart, Via Raposo Tavares, Perdreira da CIT, Vila Albertina, obtiveram-se parâmetros do líquido percolato, con-

(*) Demanda bioquímica de oxigênio - DBO - é um padrão utilizado para avaliar o grau de poluição de líquidos com matéria orgânica, ou seja, fornece a quantidade de oxigênio absorvida pelos líquidos, sob condições controladas.

forme mostra o Quadro 1.

QUADRO 1
COMPARAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BACTERIOLÓGICOS DE LÍQUIDOS PERCOLADOS DOS ATERROS SANITÁRIOS DE SÃO PAULO

PARÂMETRO	UNIDADE	ATERRO SANITÁRIO														
		V. ALBERTINA			ENG. GOULART			RAPOSO TAVARES Km 14,5			PEDREIRA CIT			GERAL		
		MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	AMPLIT.
pH	-	5,9	6,6 *	7,3	-	-	-	8,4	6,5 *	8,7	7,2	7,2 *	7,3	5,9	8,7	2,8
Resíduo Total	mg/l	9 850	14431	19800	3 100	3 155	3 200	15900	18709	21400	11800	16575	26300	3 100	26300	23200
Resíduo Fixo	mg/l	5020	7825	12600	270	1 646	3 270	11500	12967	15100	7500	8815	10900	270	15100	14830
Resíduo Volat.	mg/l	3800	6740	10400	248	1 715	3 505	3600	5769	9700	4100	7753	15400	248	15400	15152
Res. Filtrável	mg/l	4530	10764	18650	511	3 106	6 442	15000	18701	21100	10400	14975	24590	511	24500	23989
Res. Não Filtr.	mg/l	74	3678	10600	32	249	816	44	178	330	1170	1610	1830	32	10600	10568
Res. Sediment.	ml/l	1,0	20,5	62,0	<0,1	<1,3	5,0	<0,1	<0,5	1,2	1,5	4,3	8,0	<0,1	62,0	>61,9
Nitr. Amoniaca	mg/1N	308	549	760	6	75	175	2280	2564	2900	818	881	950	6	2900	2894
Nitr. Nitrito	mg/1N	0,000	0,003	0,010	0,000	0,020	0,040	-	-	-	-	-	-	0,000	0,040	0,040
Nitr. Nitrato	mg/1N	0,16	0,65	1,65	0,03	0,13	0,32	1,74	2,24	2,74	-	5,53	-	0,03	5,53	5,50
Nitr. Kjeldhal	mg/1N	440	700	1050	15	127	275	2430	2729	3140	940	1003	1100	15	3140	3125
DEO5 (5 dias, 20°C)	mg/l	690	10919	19800	480	3736	7700	7000 ^{II}	1380 ^{III}	2270	3260 ^{III}	3675	4020	480	19800	19320
DBO	mg/l	4380	18110	28000	966	5836	12500	6090	6671	7640	6500	7163	8100	966	28000	27034
Cloreto	mg/lCl	854	2341	11000	50	311	550	60	138	180	1450	1530	1650	50	11000	10950
Sulfeto	mg/150 ₂	<2	<70	160	0	33	106	1100	1223	1490	800	1170	1800	0	1800	1800
Fósforo Total	mg/l P	3,70	7,40	14,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,70	14,30	10,60
Ferro	mg/lFe	128	1121	6000	0,2	84,4	234,0	15,2	20,1	24,6	61,0	93,3	155,0	0,2	6000	6000
Cobre	mg/lCu	0,06	0,29	1,20	<0,01	0,05	0,19	0,14	0,28	0,67	0,09	0,14	0,21	<0,01	1,20	>1,19
Chumbo	mg/lPb	0,18	0,68	2,30	0,00	0,09	0,22	0,30	0,44	0,50	0,30	0,58	0,90	0,00	2,30	2,30
Zinco	mg/lZn	0,50	10,36	35,60	0,12	2,33	9,40	0,72	1,03	1,50	3,20	6,25	9,00	0,12	35,60	35,48
Manganês	mg/lMn	0,93	15,17	26,00	0,61	4,19	11,00	0,09	0,21	0,32	0,95	2,43	3,76	0,09	26,00	25,91
Cádmio	mg/lCd	0,01	0,06	0,20	0,00	0,01	0,02	-	-	-	-	-	-	0,00	0,20	0,20
Cromo Hexav.	mg/lCr	<0,010	<0,014	<0,014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,010	<0,014	>0,04
Cromo Total	mg/lCr	0,06	0,75	1,63	0,00	0,35	3,85	0,80	0,97	1,15	0,30	0,41	0,48	0,00	3,85	3,85
Colif. Totais	mg/100ml	230	1,7x10 ⁶	1,7x10 ⁶	-	-	-	4,9x10 ⁶	2,3x10 ⁶	7,9x10 ⁶	1,4x10 ⁶	1,6x10 ⁶	2,4x10 ⁷	230	1,7x10 ⁶	1,7x10 ⁶
Colif. Fecais	mg/100ml	49	1,7x10 ⁶	4,9x10 ⁷	-	-	-	140	3,3x10 ⁶	3,3x10 ⁶	1,4x10 ⁵	1,2x10 ⁵	2,4x10 ⁷	45	4,9x10 ⁷	1,9x10 ⁷

* Valor mediano

(1) Presença provável de inibidores

Nota-se que há grandes variações de um mesmo parâmetro do líquido percolado, quando se comparam aterros diferentes, mas nota-se que essas variações são menores no percolado produzido num mesmo aterro.

Provavelmente, as variações dos parâmetros do percolado, de um aterro para outro, devem-se mais às características de operações e meio ambiente de cada caso, do que a possíveis diferenças de constituição média dos resíduos sólidos ali depositados.

Particularmente em Vila Albertina, as concentrações encontradas de parâmetros são bem superiores às dos demais aterros; assim, para os três aterros (Engenheiro Goulart, km 14,5 e de CIT), a DBO teve valores médios oscilando em torno de 7.700 mg/l, com mínimo de 480 e máximo de 7.700 mg/l e no caso de Vila Albertina, essa média foi de 10.919 mg/l alcançando um máximo de 19.800 mg/l, cerca de três vezes mais.

Portanto, ao se construir um aterro é primordial reduzir o volume do percolado. E como fazê-lo? Através de uma adequada drenagem de águas de chuvas e de nascentes.

4 - DRENAGEM DE ÁGUAS DE CHUVAS E DE NASCENTES

As águas de chuva que caem sobre o aterro e em suas áreas vizinhas, muitas vezes escoam até ele, causando dificuldades na sua operação. A maneira mais indicada de resolver esse problema é abrindo valetas a meia encosta ou uma canaleta em volta de todo o aterro, bem como dando calçamento apropriado à cobertura diária do aterro, para evitar empoçamentos.

Toda a água canalizada deverá ser conduzida para um ponto distante, onde não cause transtornos ao aterro.

Cuidado especial deve ser dado às águas de nascentes, que devem ser canalizadas, não com a finalidade de preservar a água, que fatalmente se contaminará por infiltrações de líquidos e gases pelo subsolo, mas sim para reduzir o volume do percolado.

A drenagem das águas superficiais divide-se basicamente em:

- *provisória*: tem por finalidade permitir a execução do aterro sob qualquer condição climática. Parte desta rede pode futuramente servir para drenagem de chorume e/ou drenagem superficial permanente.
- *permanente*: tem como finalidade interceptar e desviar o escoamento superficial após a conclusão do aterro.

O dimensionamento da rede de drenagem das águas pluviais implica no conhecimento prévio da vazão contribuinte, que pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$Q = C \times i \times A$$

onde:

Q = vazão na seção considerada (m^3/s)

C = coeficiente de escoamento superficial que depende das características da bacia contribuinte

A = área da bacia contribuinte (m^2)

i = intensidade da chuva crítica que varia de local para local (m/s)

A intensidade de uma chuva num determinado local depende do seu tempo de duração e do período de retorno desta chuva.

Para efeito de cálculo de drenos em aterros sanitários, considera-se o período de retorno igual à vida útil do aterro.

A intensidade da chuva crítica é aquela em que o tempo de duração da chuva é igual ao tempo de concentração da bacia, ou seja, aquele gasto para que uma gota d'água que cai no ponto mais longínquo da bacia em relação à seção considerada atinja esta seção.

Conhecida a vazão, as características geométricas do dreno são determinadas através da seguinte expressão:

$$Q = \frac{R_h^{2/3} S i^{1/2}}{n}$$

onde:

Q = vazão na seção considerada (m^3/s)

n = coeficiente de rugosidade

R_h = raio hidráulico da seção = $\frac{\text{seção molhada}}{\text{perímetro molhado}} = \frac{S}{P}$

S = área da seção transversal ocupada pelo líquido, descontando-se a linha de superfície livre (m)

i = declividade do canal (m/m)

Em se tratando de canais de terra, as velocidades a serem estabelecidas devem ser superior a 0,3 m/s e inferiores a 0,8 m/s, evitando assim assoreamentos ou erosões acentuadas.

Excetuando-se os drenos de menor importância, que podem ter seção transversal retangular, recomenda-se que os demais tenham seção trapezoidal, o que permite a estabilidade das paredes. A inclinação das paredes depende da natureza do seu material constituinte, podendo variar de 1:1 até 1:3. De modo geral, recomenda-se a inclinação 1 (v):2 (h).

Nos pontos de concordância entre canais e nas curvas acentuadas saídas dos canais e degraus, devem ser previstas obras que garantam a estabilidade das paredes, assim como evitem a erosão dos canais.

Nos casos em que as velocidades reinantes nos canais forem altas, de modo a provocarem erosões, deve-se efetuar uma proteção das paredes e do fundo dos canais com pedra, brita, seixo rolado ou rachão, conforme a disponibilidade local.

5 - DRENAGEM DE GASES

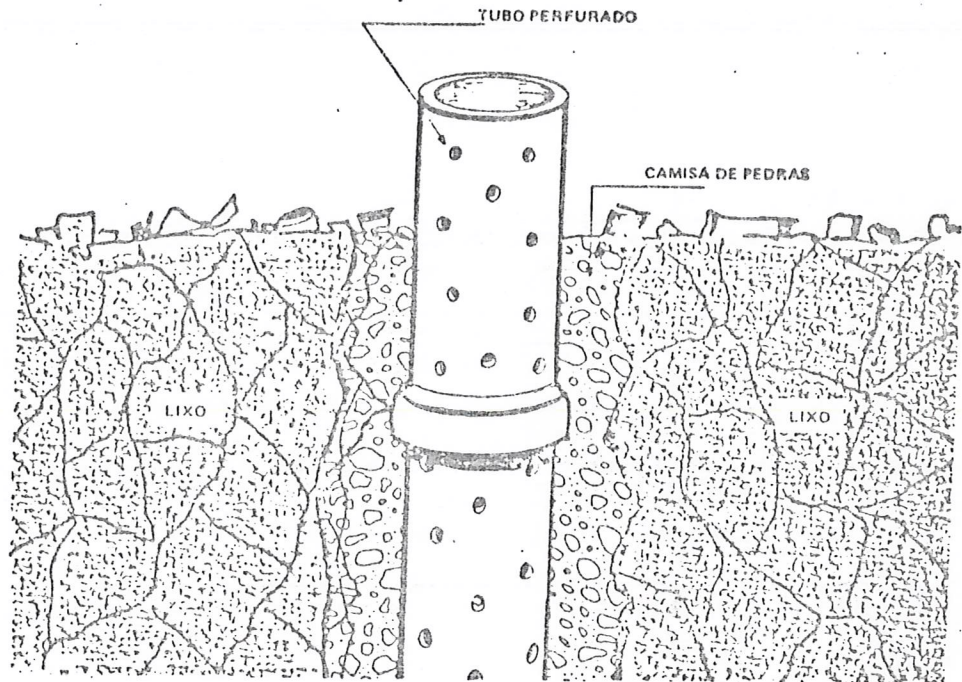
A decomposição do lixo confinado nos aterros sanitários produz gases, entre eles o gás carbônico (CO_2) e o metano (CH_4), que é inflamável.

Os gases, sob condições peculiares, podem se infiltrar no sub solo, atingir as redes de esgoto, fossas e poços absorventes, e causar problemas, uma vez que o metano poderá formar, com o ar, uma mistura explosiva (concentrações de CH_4 entre 5 a 15%).

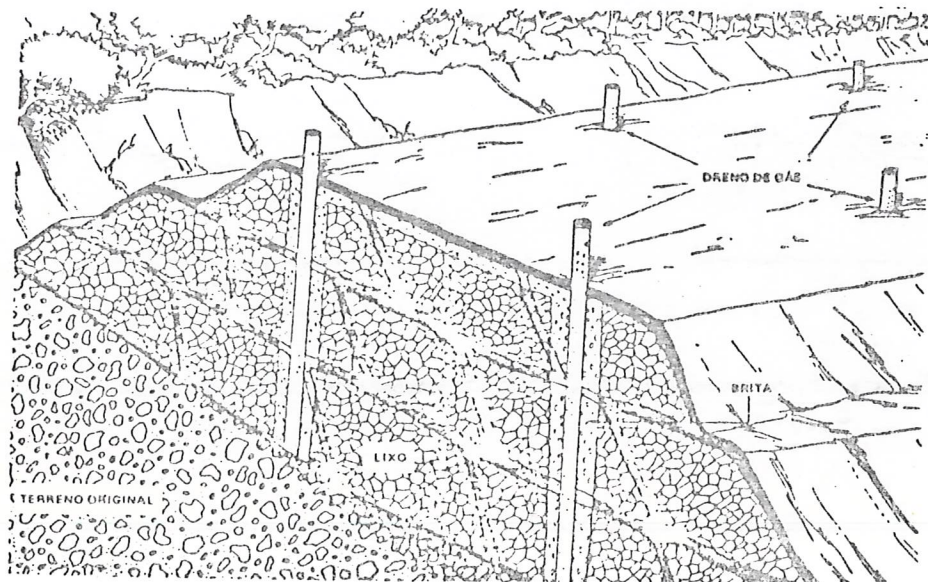
O controle da geração e migração desses gases é realizado através de um adequado sistema de drenagem, constituído por drenos verticais colocados em diferentes pontos do aterro.

Os drenos são formados pela superposição de tubos perfurados de concreto revestidos de brita, que atravessam no sentido vertical todo o aterro, desde o solo até a

camada superior, como se fossem chaminés.



Recomenda-se a instalação de drenos a cada 50 a 100 metros; nas extremidades devem ser queimados gases, com a finalidade de evitar mau odores.



Vista geral da distribuição dos drenos de gases em um aterro

6 - DRENAGEM DO CHORUME OU SUMEIRO

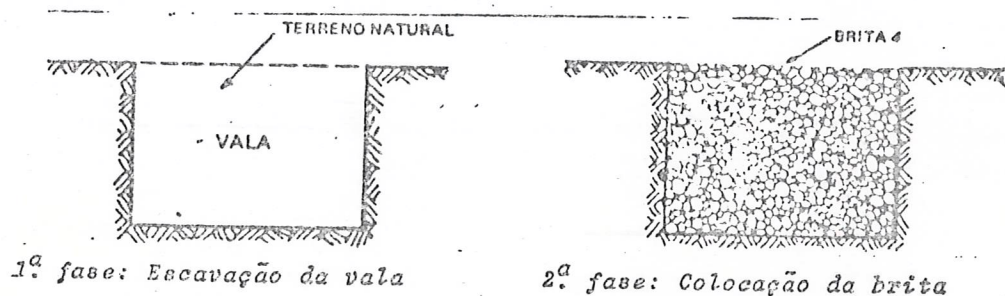
Drenadas e desviadas as águas pluviais e de nascentes, o percolado se resume no chorume, que na maioria das vezes é em muito pequeno volume e pode se infiltrar no subsolo sem apresentar riscos, desde que o aterro seja de lixo domiciliar e a sua primeira camada esteja a 2,5 m acima do lençol freático.

Essa segurança deve-se ao fato do solo ser um filtro por excelência. Se o volume do chorume for pequeno e sua velocidade de caminamento for muito lenta, ele não precisará ser captado. Caso contrário, o chorume deverá ser drenado, coletado e tratado.

O sistema de drenagem do líquido percolado é formado por drenos horizontais preenchidos com brita. Esses drenos devem ser abertos com uma retro-escavadeira, sobre as camadas de lixo e na direção de um local de saída do aterro ou um poço de captação ou diretamente a um sistema de tratamento. Para que o chorume possa escoar pelos drenos, estes devem ter uma inclinação de fundo de pelo menos 2%. A profundidade dos drenos depende da altura das células de lixo.

Depois de aberto o dreno horizontal e preenchido com brita, sobre as pedras deve ser colocado um material que facilite a percolação de líquidos e que retenha suspensões que possam vir a colmatar o dreno. Esse efeito pode ser conseguido com materiais sintéticos, como o bidim, ou simplesmente com capim seco.

Para se obter uma maior eficiência na drenagem dos gases e líquidos do aterro, os drenos horizontais e verticais devem ser interligados.



Devido a sua composição, o chorume necessita de tratamento antes de ser lançado em rios ou córregos.

7 - TRATAMENTO DO CHORUME

Face à alta concentração de materiais sólidos no líquido a ser tratado, processos estritamente químicos são extremamente onerosos. Como o percolado apresenta características semelhantes às dos esgotos domésticos, com grande porcentagem de matéria orgânica biodegradável de difícil decantação, procura-se estudar e aplicar os tratamentos biológicos, a fim de melhorar, o quanto possível, a qualidade do efluente dos aterros.

Assim, tem-se os seguintes processos que podem ser utilizados no tratamento do percolado; lagoas de estabilização e filtros biológicos.

Para o estudo de quaisquer tratamentos, deve-se levar em conta o valor dos seguintes parâmetros: produção (volume) do líquido percolado no aterro e a carga orgânica do percolado.

7.1 - Produção de líquido no aterro

O volume de líquido percolado depende fundamentalmente dos seguintes fatores:

- precipitação na área do aterro;
- escoamento superficial e/ou infiltração subterrânea;
- umidade natural do lixo;
- grau de compactação e,
- capacidade do solo de reter umidade.

No caso de um aterro já com produção de chorume, mede-se o seu volume através de um medidor de vazão, que pode ser do tipo vertedor triangular.

É necessário calcular a produção (o volume) de chorume em função da precipitação pluviométrica. É certo que as chuvas que caem na área do aterro fazem com que a produção do percolado aumente, seja pela precipitação direta sobre os resíduos depositados, seja pelo aumento da infiltração através de fendas nas rochas, se o aterro for construído em pedreira.

Como exemplo, apresenta-se no Gráfico 1 a relação entre a produção de chorume e a precipitação pluviométrica determinada no aterro sanitário de Vila Albertina.

Da análise da regressão linear, apresentada no gráfico, pode-se ter o volume de chorume esperado para o aterro, ou seja, a taxa em litros de chorume por tonelada de lixo.

Devido às diferentes condições de operação e localização de cada aterro, as taxas esperadas podem variar de aterro para aterro e devem ser calculadas para cada caso em particular.

Para efeito de projeto, diante das dificuldades em se precisar o volume de chorume produzido no aterro sanitário, são comumente utilizados para o seu cálculo coeficientes empíricos que correlacionam os fatores anteriormente mencionados.

Pelo método suíço, pode-se estimar a vazão do líquido do percolado por meio da expressão:

$$Q = \frac{Z}{t} P A K$$

onde:

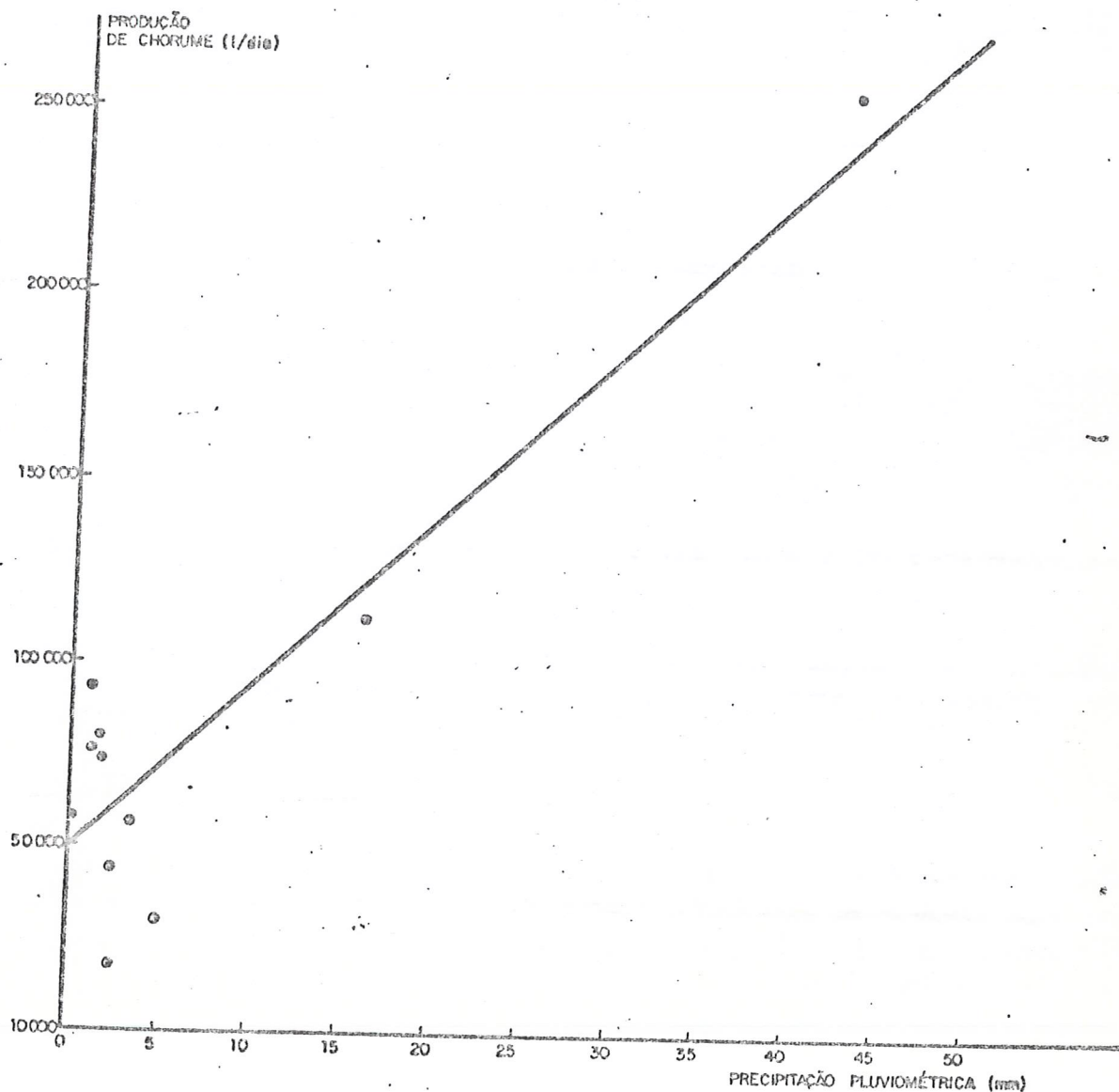


GRÁFICO 1 - Relação entre produção de chorume e precipitação pluviométrica

Q = vazão média de líquido percolado (l/s);

P = precipitação média anual (mm);

A = área do aterro (m^2);

t = nº de segundos em 1 ano (31.536.000 s);

K = coeficiente que depende do grau de compactação do lixo, cujos valores recomendados são os seguintes:

- para aterros fracamente compactados com peso específico de $0,4$ a $0,7 \text{ t/m}^3$, estima-se uma produção de chorume equivalente a 25 a 50% ($K = 0,25$ a $0,50$) da precipitação média anual contribuinte à área do aterro;
- para aterros fortemente compactados com peso específico $\geq 0,7 \text{ t/m}^3$, estima-se uma produção de chorume equivalente a 15 a 25% ($K = 0,15$ a $0,25$) da precipitação média anual contribuinte à área do aterro.

7.2 - Carga orgânica do líquido percolado

O seu conhecimento é necessário para o estudo e o dimensionamento de tratamento por processos biológicos, já que o parâmetro de controle de tratamento escolhido é a DBO.

A carga orgânica diária do líquido percolado produto entre a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e o correspondente volume produzido e é dado em "kg de DBO/dia".

$$CO = DBO \times V \text{ produzido (kg de DBO/dia)}$$

Assim, representa os quilogramas de oxigênio necessário, por dia, para estabilização biológica do percolado.

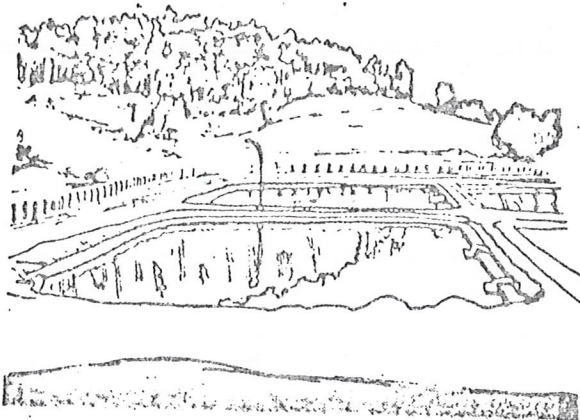
A quantificação da carga orgânica é necessária para o dimensionamento das unidades de tratamento e pode ser obtida através da análise das alturas pluviométricas registradas durante o ano.

7.3 - Lagoas de estabilização facultativas

Lagoas de estabilização facultativas são lagoas nas quais ocorre o tratamento natural da matéria orgânica degradável existente num corpo líquido, em duas fases distintas, caracterizadas por atividades microbiológicas anaeróbias e aeróbias (na superfície do líquido). Diz-se que esse tratamento é aeróbio quando se dá em presença de oxigênio. Na ausência deste, o processo é dito anaeróbio.

Pode-se medir a eficiência do processo pela comparação entre as características do afluente e do efluente da lagoa.

Este sistema consiste basicamente na abertura de valas no terreno, na forma de grandes tanques, onde o chorume deve ficar retido por um período de dias (5 a 57), que varia em função do volume e da DBO do chorume.



A altura pode variar de 1,5 a 4,5 metros e o seu comprimento e largura dependem do volume a ser tratado.

O chorume tratado dessa maneira nem sempre apresenta condições ideais para ser lançado em cursos d'água. Assim torna-se necessária a construção de uma série de duas ou mais lagoas por onde o chorume deve passar.

A seguir, exemplifica-se o tratamento do percolado em lagoas pelo "Sistema Australiano de Lagoas de Estabilização", que consiste na associação de uma lagoa anaeróbia com uma lagoa facultativa.



Para os cálculos utiliza-se como produção de chorume o volume de 50.000 l/dia e a DBO afluente de 17.180 mg/l.

São apresentados os critérios de cálculos adotados para as lagoas citadas.

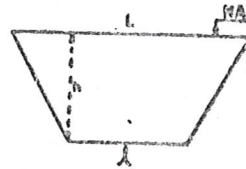
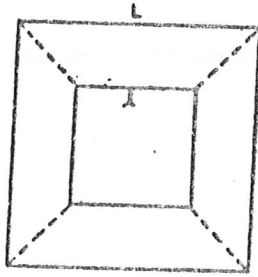
7.3.1 - Lagoa anaeróbia

Fixa-se o tempo de detenção do líquido a ser tratado no interior da lagoa.

Esse tempo de detenção foi fixado em dez dias, baseando-se num tempo médio obtido de recomendações de diversos setores.

$$\text{o volume da lagoa} = 50 \text{ m}^3 \text{ de chorume/dia} \times 10 \text{ dias} = 500 \text{ m}^3$$

Para o cálculo das dimensões do corpo da lagoa, considerou-se o esquema seguinte, com profundidade fixada em 2 m e relação 1:2 com taludes laterais:



Chegou-se às seguintes dimensões:

Área superior = 392 m²

Área inferior = 139 m²

Comprimento L = 19,8 m

Comprimento l = 11,8 m

Profundidade (altura útil) = 2,0 m

Pode-se aumentar a profundidade para 3,0 m a fim de se deixar uma revanche de 1,0 m do nível de líquido, aumentando-se consequentemente o comprimento L.

7.3.2 - Lagoa facultativa

O critério adotado baseia-se em experiências de Hermann e Gloyna, em modelos reduzidos e em lagoas pilotos. Utiliza-se a seguinte equação:

$$D = 3,5 \frac{Y}{200} \cdot 1,072^{(35 - T)}$$

onde:

D = tempo de detenção. (dias)

T = temperatura (°C)

Y = DBO (mg/l)

Exemplo: Calcular a lagoa facultativa para tratar o efluente da lagoa anaeróbia exemplificada anteriormente.

Tem-se os seguintes dados:

Volume de chorume = 50.000 l/dia

DBO efluente = 17.180 mg/l

Considerando-se uma redução de 50% na DBO do percolato tratado na lagoa anaeróbia, a DBO afluente na lagoa facultativa será 17.180 x 0,5 = 8.590 mg/l.

Adota-se para a temperatura na área o valor médio de 25°C.

- Cálculo do tempo de detenção:

$$D = 3,5 \frac{8.590}{200} 1,072 (35-25)$$

$$D = 300 \text{ dias}$$

- Cálculo do volume da lagoa:

$$V = 50 \text{ m}^3 \text{ chorume/dia} \times 300 \text{ dias} = 15.000 \text{ m}^3$$

Adotando-se o mesmo esquema que para a lagoa anaeróbia, a relação 1:2 nos talúdes e profundidade da lagoa de 1,8 m chega-se as seguintes dimensões:

$$\text{Área superior} = 9.006 \text{ m}^2$$

$$\text{Área inferior} = 7.691 \text{ m}^2$$

$$\text{Comprimento L} = 94,9 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento l} = 37,7 \text{ m}$$

$$\text{Profundidade} = 1,8 \text{ m}$$

Da mesma forma que para a lagoa anaeróbia, pode-se aumentar a profundidade para se deixar uma revanche de 1,0 m de nível de líquido aumentando-se consequentemente o comprimento L.

7.4 - Vantagens do emprego de lagoas

As lagoas de estabilização, tanto as anaeróbias como as facultativas, são de eficiência elevada, têm baixo custo de construção e apresentam operação e manutenção fáceis e econômicas quando comparadas com a maioria dos processos convencionais de tratamento de esgotos.

Sob o ponto de vista estético, as lagoas facultativas têm a possibilidade de serem enquadradas em planos de urbanização, em vista de seu aspecto agradável e da ausência de odores ofensivos, o que não se verifica com as lagoas anaeróbias.

Outra vantagem é a de serem praticamente insensíveis a sobrecargas temporárias. Ainda sobre as lagoas anaeróbias, as facultativas têm a vantagem de não dependerem da remoção de lodo e de algas. Lagoas facultativas dispensam a condição de aerobiose no seio da massa de lodo que se acumula sobre o fundo e não há necessidade de aeração da massa líquida.

Em São Paulo, no aterro sanitário de Engenheiro Goulart, os líquidos percolados foram tratados em lagoas de estabilização facultativas, utilizando-se lagoas já existentes no local. A DBO inicial do percolado era de 1.500 mg/l e obtiveram-se por ocasião da estação de verão, eficiências nas reduções de DBO acima de 50%.

7.5 - Filtros biológicos

Filtros biológicos são unidades de tratamento cuja finalidade é propiciar um intenso contato entre o líquido a ser tratado e os microrganismos responsáveis por esse tratamento e que estão dispersos por uma grande área superficial.

Essa área é obtida por um leito de brita (nº 4) em cujo meio, devido à passagem constante do chorume, existem condições favoráveis ao crescimento desses microrganismos.

O funcionamento dos filtros biológicos está condicionada à capacidade dos microrganismos de removerem a matéria orgânica contida no líquido a ser tratado, o que é realizado através da adsorção provocada pela película ativa aderida ao meio filtrante.

Para o dimensionamento do filtro biológico é necessário o conhecimento da carga orgânica específica e da carga hidráulica específica.

A carga orgânica específica representa a carga orgânica (CO) que se pode aplicar em uma unidade de volume de filtro biológico e é dada em kg de DBO/m³. dia.

A carga hidráulica específica representa a vazão de líquido a ser tratado por unidade de superfície do referido filtro e é dada em m³/m². dia.

Das pesquisas bibliográficas, chegou-se a adotar o seguinte critério básico (segundo o Engº Max Lothar Hess):

- carga orgânica específica: 1,0 kg DBO/m³. dia
- carga hidráulica específica: 2,0 m³/m². dia

Quanto à profundidade ou altura do filtro, os conceitos norte-americanos recomendam aproximadamente 1,5 metros, enquanto os técnicos alemães têm adotado valores em torno de 10 metros.

O formato do filtro é cilíndrico, devido a maior facilidade na distribuição do chorume pela sua superfície superior.

A seguir, exemplifica-se o cálculo das dimensões do leito filtrante, de um filtro biológico para tratar chorume cuja produção é de 95.000 l/dia e a DBO afluente de 17.180 mg/l.

Cálculo da carga orgânica do percolado:

$$CO = 95 \text{ m}^3 \times 17.180 \times \frac{10^{-3} \text{ kg DBO}}{\text{m}^3 \text{ dia}}$$

$$CO = 1.632 \text{ kg DBO/dia}$$

Para o cálculo das dimensões do filtro adota-se a carga orgânica-específica $CO_{esp} = 1,0 \text{ kg/DBO/dia.m}^3$ de leito filtrante.

$$\text{Volume do filtro} = \frac{CO}{CO_{esp}}$$

$$\text{Volume do filtro: } \frac{CO}{CO_{esp}} = \frac{1.632 \text{ kg DBO/dia}}{1,0 \text{ kg DBO/m}^3 \cdot \text{dia}} = 1.632 \text{ m}^3$$

Será adotada a altura de 4,0 m indicada para filtros cuja construção é considerada mais prática.

$$\text{Área superficial: } \frac{V}{h} = \frac{1.632 \text{ m}^3}{4 \text{ m}} = 408 \text{ m}^2$$

$$\text{Diâmetro do filtro} = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 408 \text{ m}^2}{3,14}} = 22,8 \text{ m}$$

Adotando-se carga hidráulica específica - $CH_{esp} = 20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$, tem-se:

$$\text{Área superficial} = \frac{V_{percolado}}{CH_{esp}} = \frac{85 \text{ m}^3/\text{dia}}{20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}}$$

$$\text{Área superficial} = 4,22 \text{ m}^2$$

Portanto, os cálculos devem atender às exigências da carga específica, já que a condição da carga hidráulica específica é automaticamente satisfeita.

Assim, tem-se as dimensões do leito filtrante de pedras britadas (nº 4) para o caso exemplificado:

Volume	: 1.632 m ³
Área superficial:	408 m ²
Altura	: 4,0 m
Diâmetro	: 22,8 m

8 - ATERROS COM CAPTAÇÃO DE GASES

Estão sendo construídos dois grandes aterros sanitários em São Paulo. (Bandeirantes e Sapopemba) com a finalidade de:

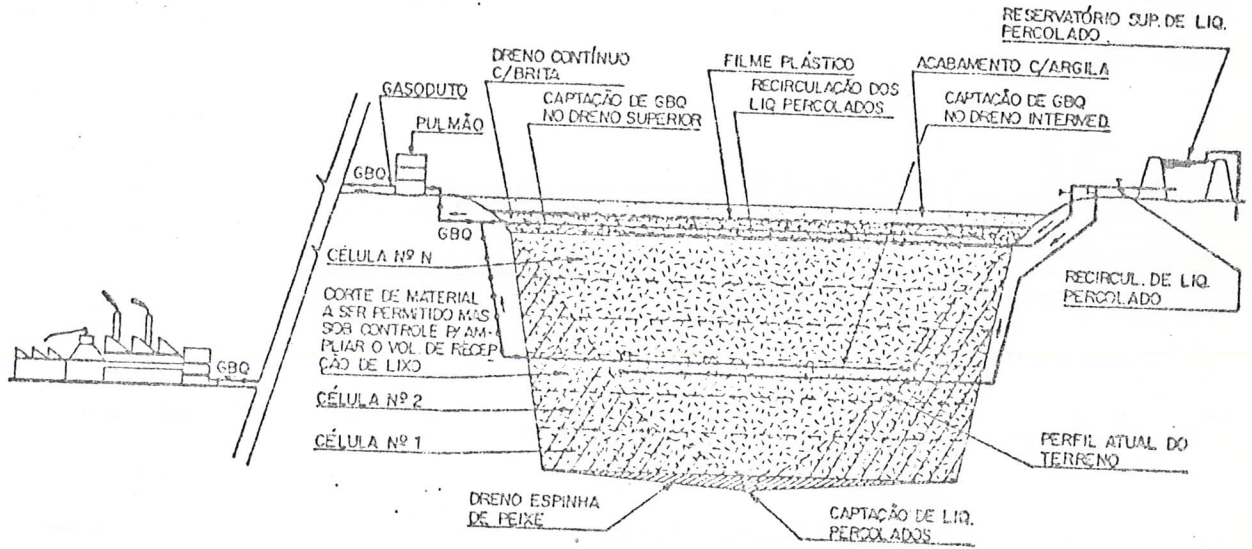
- eliminar a poluição causada pelos percolados;
- captar os gases formados, evitando a poluição atmosférica, causada pelos mesmos;
- aproveitar, na medida do possível, a energia contida nos gases.

Foram desenvolvidos estudos para a disposição do lixo da Baixada Santista em ater-

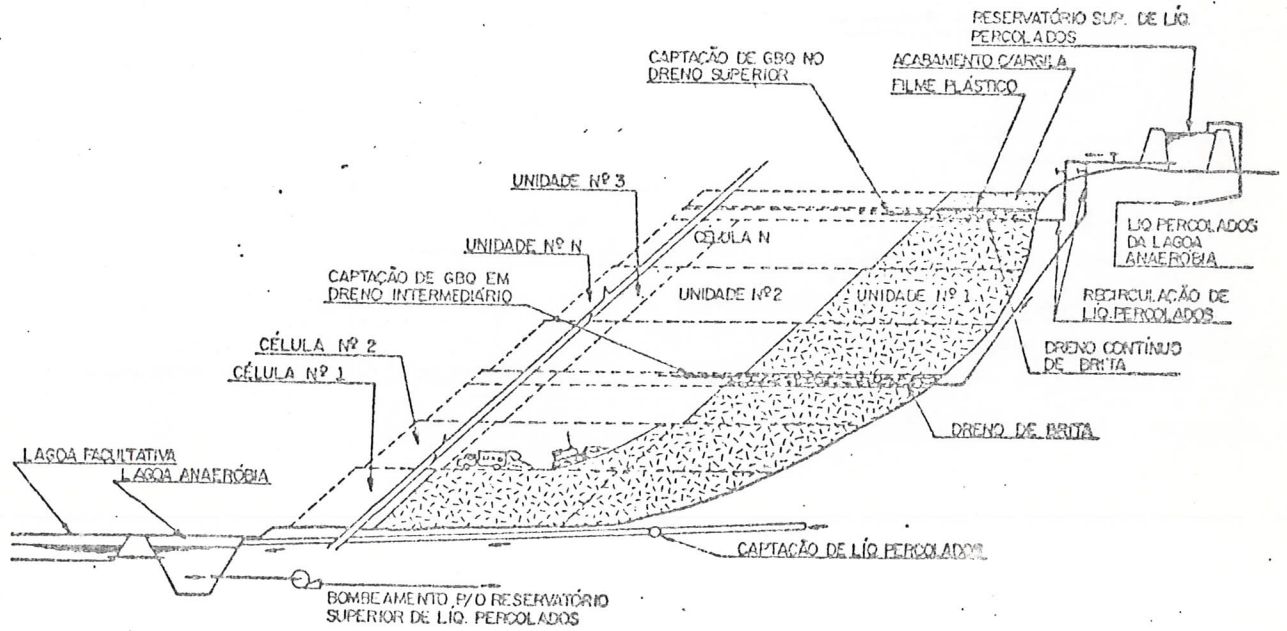
ros com geração de gás que conduziram a projetos* que são esquematizados nas figuras a seguir, onde destacam-se os seguintes pontos:

- os líquidos percolados serão captados através de drenos localizados na parte inferior dos aterros e conduzidos ao sistema de tratamento;
- o sistema de tratamento constará de lagoas de estabilização em série (anaeróbia + facultativa + maturação) durante a fase de construção dos aterros;
- concluídas as etapas úteis dos aterros, os líquidos percolados passarão a ser recirculados para o interior da massa de lixo, percolando novamente;
- os aterros deverão ser construídos em células com 5 metros de espessura e cobertura mínima com argila (15 a 30 cm). Esta cobertura será removida por ocasião da execução da célula superior, misturando-se a argila com o lixo ao ser este acondicionado na nova célula em execução, serão evitados, assim, compartimentos estanques que dificultarão a descida dos líquidos e a subida dos gases;
- os gases serão drenados através de sistema combinado de drenos verticais e horizontais. Os verticais serão executados em conjunto com os aterros, estarão distante cerca de 50 metros entre si e serão feitos com formas deslizantes, no interior das quais se montarão tubos de drenagem de concreto seguidos de um anel de pedra britada;
- a cada duas ou três células serão projetados drenos horizontais intermediários, no interior dos quais, protegidos por brita revestida externamente com geomembranas sintéticas, serão lançadas duas tubulações ranhuradas, uma para circulação dos líquidos percolados e outra, alguns centímetros acima, para captação de GBO;
- na superfície superior final dos aterros serão construídos drenos contínuos de pedra britada, com 15 cm de espessura, cobrindo todo o aterro;
- sobre estes drenos serão colocadas geomembranas sintéticas para proteção dos filmes plásticos dispostos a seguir. Em seguida, será feita a proteção final com 1 m de espessura de argila. Na superfície da camada final será aplicada hidrosemeadura para evitar erosão, assim como implantado um eficiente sistema de coleta de águas pluviais.

* Pela CETESB, HICSAE Ltda e E.M.C. e consultores.



Esquema transversal do aterro sanitário com aproveitamento de GBQ



Esquema Longitudinal do aterro sanitário com aproveitamento de GBQ

9 - DEFINIÇÃO

O aterro sanitário é o processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo que, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite uma confinamento segura dos resíduos em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública.

Esta forma de dispor o lixo sobre o solo é basicamente constituída da compactação dos resíduos e cobertura diário com camadas de terra de espessura conveniente aos problemas causados pela simples descarga de lixo ou lixões.

10 - ASPECTOS AMBIENTAIS

Os lixões, vazadouros ou bota-foras, além dos inconvenientes de ordem estética provocam problemas ambientais decorrentes da disposição do lixo, a poluição e/ou a contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

A constante lixiviação dos resíduos pelas águas de chuva, assim como a sua decomposição, resulta na formação de um líquido de cor acentuada e odor desagradável, de elevado potencial poluidor, comumente denominado chorume. Esse líquido é basicamente formado por: umidade natural do lixo; água de chuva; água de constituição de determinados componentes do lixo, liberados na sua decomposição; água gerada no processo de decomposição biológica; substâncias orgânicas e inorgânicas solúveis, naturalmente presentes no lixo; e substâncias orgânicas solubilizadas pela ação de microrganismos no processo de decomposição.

Caracteriza-se desta forma, o chorume, por um elevado teor de matéria orgânica biodegradável, representando uma demanda potencial de oxigênio, quando encaminhado para um curso d'água.

A redução dos teores de oxigênio dissolvido poderá atingir níveis incompatíveis com a sobrevivência de organismos aquáticos.

Em termos de demanda bioquímica de oxigênio - DBO (quantidade de oxigênio necessária para oxidar biologicamente a matéria orgânica presente) o chorume apresenta teores da ordem de 10 a 100 vezes a do esgoto doméstico, cujo valor de DBO oscila entre 200 e 300 mg/l. Em estudos realizados pela CETESB, observaram-se no chorume valores DBO compreendidos entre 3 000 a 19 800 mg/l.

Ainda sob o ponto de vista ambiental, o chorume caracteriza-se como fonte potencial de microrganismos patogênicos, comumente presentes no lixo domiciliar.

A lixiviação do lixo pelas águas de chuva contribui de forma significativa para o enriquecimento do chorume em substâncias químicas nocivas eventualmente presentes no lixo (metais pesados, tóxicos, etc.).

11 - MEDIDAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL

Entre as medidas de proteção do lençol freático incluem-se:

- estabelecimento de uma altura mínima de 2 m entre a parte inferior do aterro e o lençol freático;
- impermeabilização da parte inferior do aterro através de camadas de argila;
- drenagem do líquido percolado;
- desvio de águas pluviais para fora de área do aterro contribuindo para redução do volume do chorume e para operação do mesmo;
- tratamento do líquido percolado;
- cobertura do lixo;
- isolamento da área.

12 - MEDIDAS QUE DEVEM SER TOMADAS PARA ESCOLHA DA ÁREA

As simples descargas, vazadouros ou lixões - muitas vezes por falta de conhecimento técnico - são realizados sem qualquer cuidado no que se refere à poluição hídrica, à disponibilidade de material de recobrimento e outras exigências fundamentais. Também causam problemas como fumaça, urubus, maus odores, vetores, presença e engorço de animais (como porcos) que podem contrair doenças transmissíveis ao homem e outros.

Por ocasião da escolha do local é fundamental o respeito à legislação relativa ao uso do solo, áreas de proteção aos mananciais, localização em zonas rurais, evitando-se assim o acesso através de zonas residenciais ou de vias congestionadas. Nascentes ou pequenos córregos, existentes na área, constituem sempre um problema sendo o ideal a opção por áreas secas. Se possível, deve-se considerar também a direção dos ventos dominantes.

Com relação a vizinhança, cabe uma sugestão aos administradores ou aos responsáveis pela implantação dos aterros sanitários: como essa solução encontra-se desacreditada, especialmente em virtude da confusão existente entre simples descarga e aterro sanitário, é recomendável uma campanha de esclarecimento junto aos meios de comunicação, escolas, associações locais e clubes, demonstrando suas vantagens para a comunidade e a garantia de que nenhum prejuízo ou inconveniente resultará.

13 - FORMAS DE DISPOSIÇÃO

No aterramento do lixo são empregadas as técnicas: (trincheira, rampa e da área)

13.1 - Técnica da trincheira

É comumente utilizada em áreas de topografia plana e suave. Escava-se inicialmente uma trincheira de dimensões adequadas, de forma a permitir a operação dos equipamentos utilizados no aterramento. O material removido desta escavação é estocado para emprego futuro. O lixo depositado diretamente na trincheira é confinado em um de seus extremos, formando células de 2 a 4 metros de altura, em camadas sucessivas.

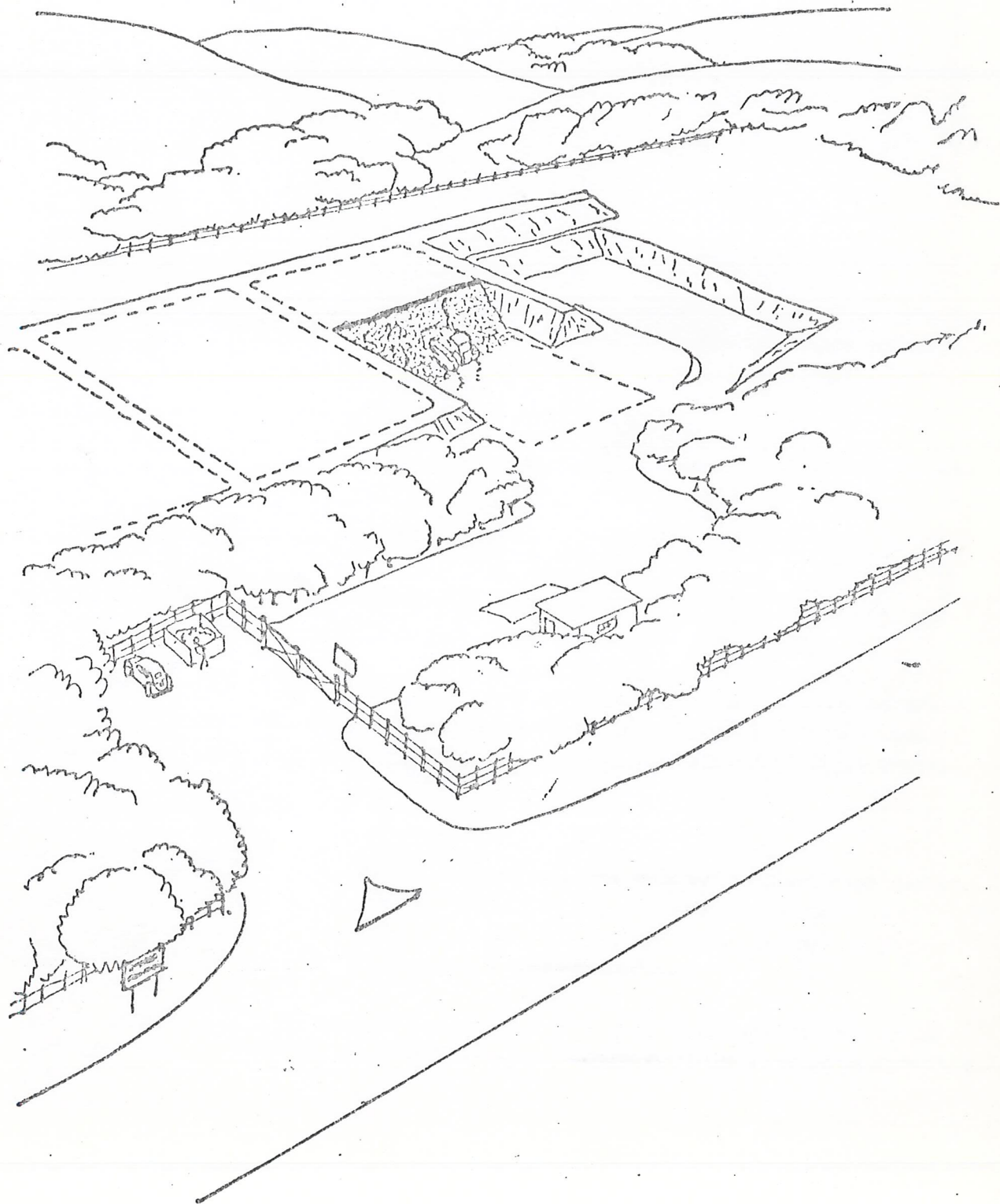


FIGURA Nº 1 - Técnica da trincheira

No fim do dia, o lixo é coberto com o material escavado do fundo ou da lateral da trincheira.

Uma vez preenchida a trincheira, novas camadas de células podem ser superpostas, utilizando-se a terra anteriormente escavada da trincheira, para construção de diques de contenção, formando assim uma nova camada de lixo sobre a trincheira.

13.2 - Técnica de rampa

Emprega-se em áreas relativamente secas e planas que apresentem disponibilidade de material de cobertura. Inicialmente é feito um serviço de terraplenagem, se necessário com cortes e aterros de terras, para o preparo da área. O início da operação é efetuado junto a uma rampa, compactando-se o lixo de baixo para cima e finalmente cobrindo-o com terra.

As camadas de lixo poderão ser sobrepostas para um melhor aproveitamento da área desde que as camadas inferiores estejam bem compactadas.

13.3 - Técnica da área

É utilizada em locais onde a topografia é apropriada ao recebimento do lixo sobre a superfície, sem alteração de sua configuração natural.

O lixo é descarregado, disposto e compactado conforme descrito a seguir e coberto com terra no fim do dia. Dependendo da dimensão da área torna-se muitas vezes necessária a importação do material de cobertura gerando dificuldades operacionais.

14 - FORMA DE OPERAÇÃO

A compactação do lixo nos aterros sanitários, realizada à medida em que se formam as células, tem por objetivo, além da redução do volume, possibilitar o tráfego dos veículos de coleta carregados e dos equipamentos utilizados na operação do aterro bem como reduzir o rebaixamento futuro da massa aterrada.

Para obtenção de bons resultados recomenda-se que a compactação se desenvolva no sentido ascendente e que seja repetida três a cinco vezes sobre cada camada de lixo.

A técnica correta estabelece que o lixo seja descarregado no solo e empurrado pelo trator, formando rampas, com inclinação correspondente a 1 (v):3 (h). Desta forma, o peso do trator, concentrando-se na traseira do sistema de esteiras, quebra e amassa caixas, latas, garrafas, etc., reduzindo o volume do lixo de maneira mais eficiente. Nos aterros em que o lixo é empurrado de cima de um barranco para baixo, a operação de compactação é praticamente inexistente, uma vez que o trator não realiza esta função, a não ser quando passa a rodar sobre o lixo.

Verifica-se o efeito da compactação, desde que corretamente realizada no mesmo dia ou no dia seguinte, sendo possível até trafegar sobre a célula com caminhões de co-

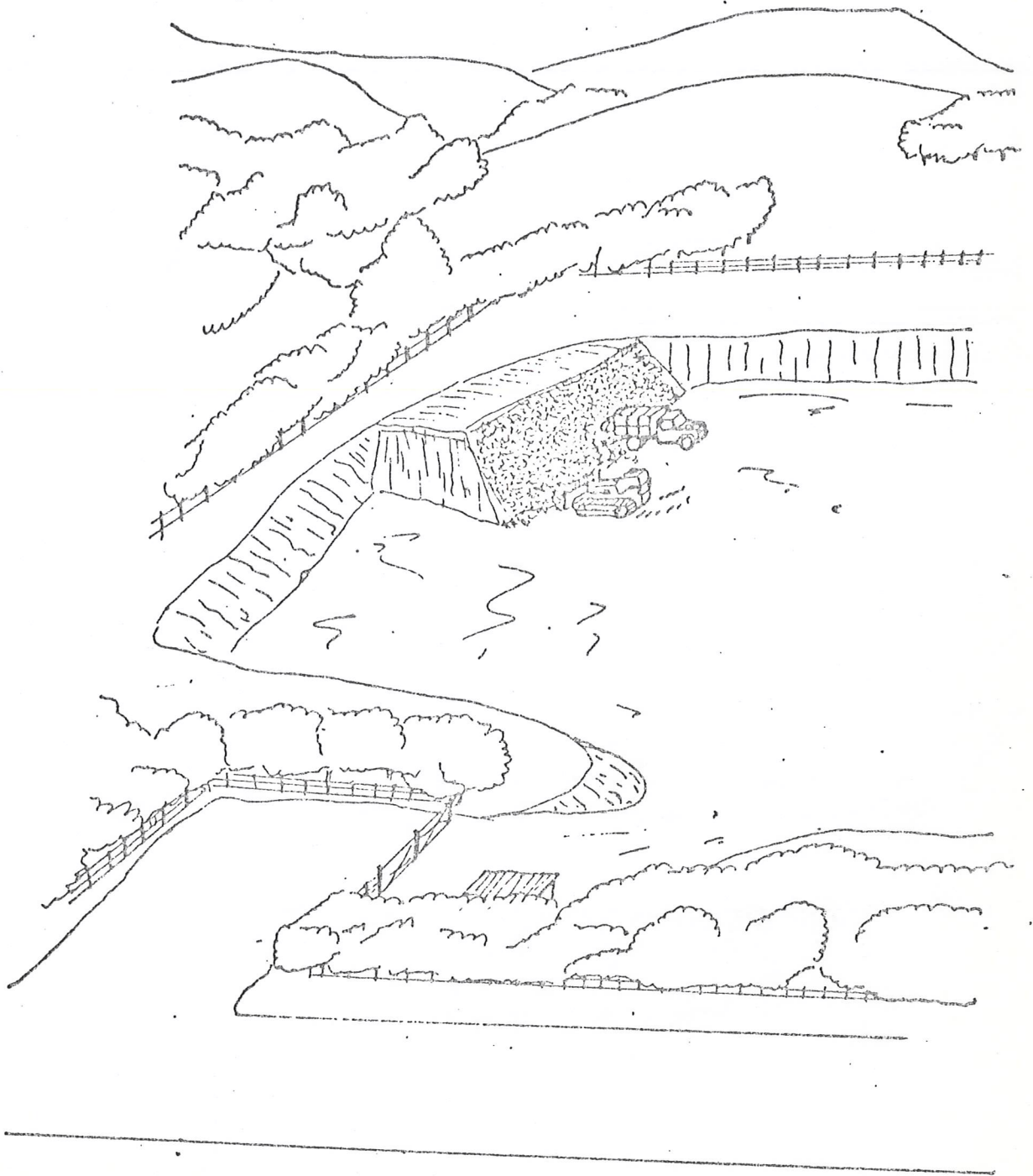


FIGURA Nº 2 - Técnica da rampa

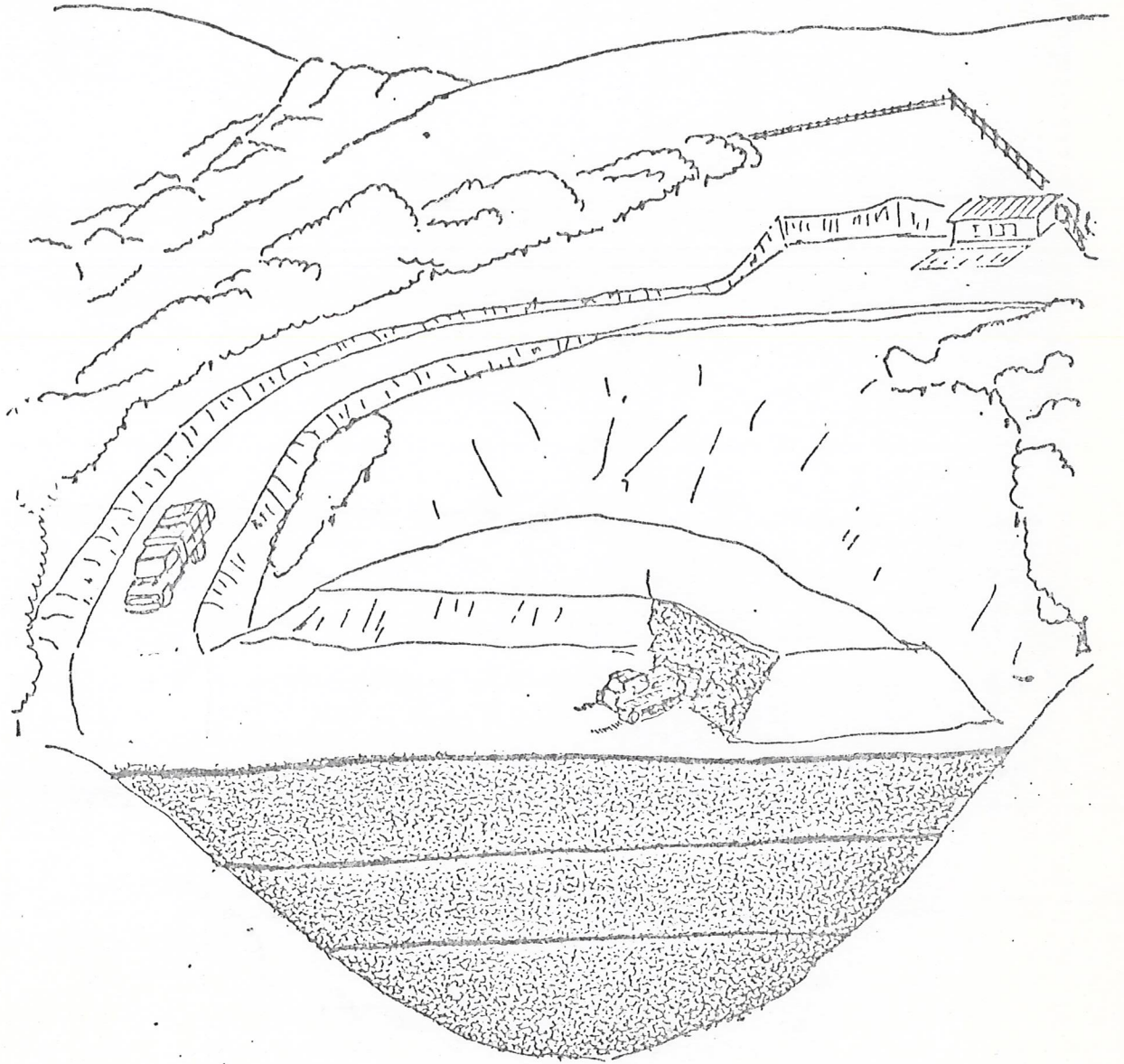


FIGURA Nº 3 - Técnica da área

leta ou basculantes totalmente carregados com material de cobertura, sem qualquer prejuízo. A capacidade de carga, em aterros nos quais o lixo é empurrado de cima para baixo, não alcança $0,50 \text{ kg/cm}^2$ o que é insuficiente até para estacionamento de veículos. Nestes aterros, observa-se um abatimento na altura, provocada pela decomposição do lixo, de até 25%, atingindo-se no final, uma capacidade de carga de aproximadamente $1,0 \text{ kg/cm}^2$.

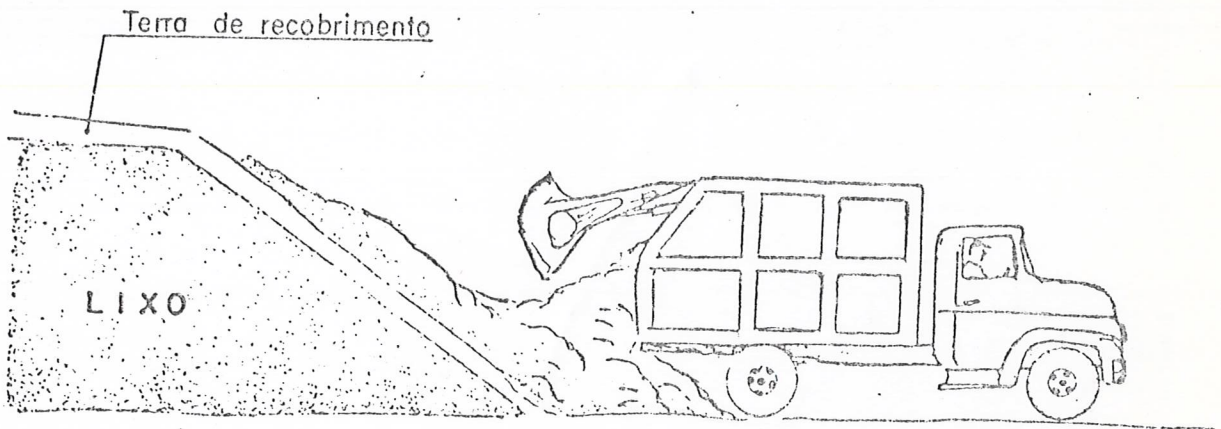


FIGURA Nº 4 - Para a formação de outra célula, os caminhões de coleta de lixo descarregam os resíduos no sopé da elevação natural ou da célula inicial de lixo, já pronta.

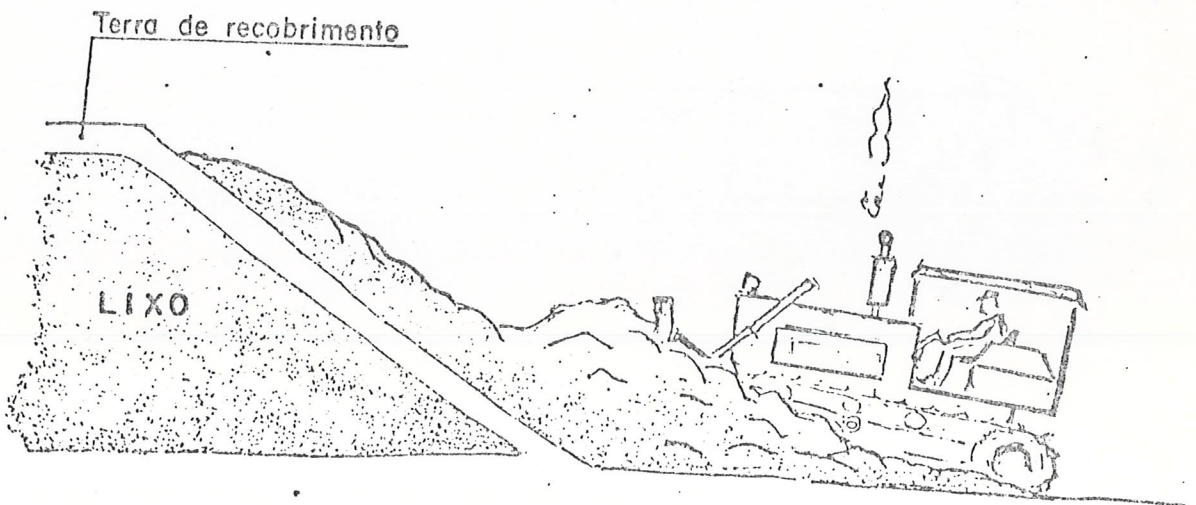


FIGURA Nº 5 - Com o auxílio de um trator de esteiras, o lixo deve ser empurrado contra elevação inicial, formando uma rampa com inclinação de 1:2 (1 vertical:2 horizontal).

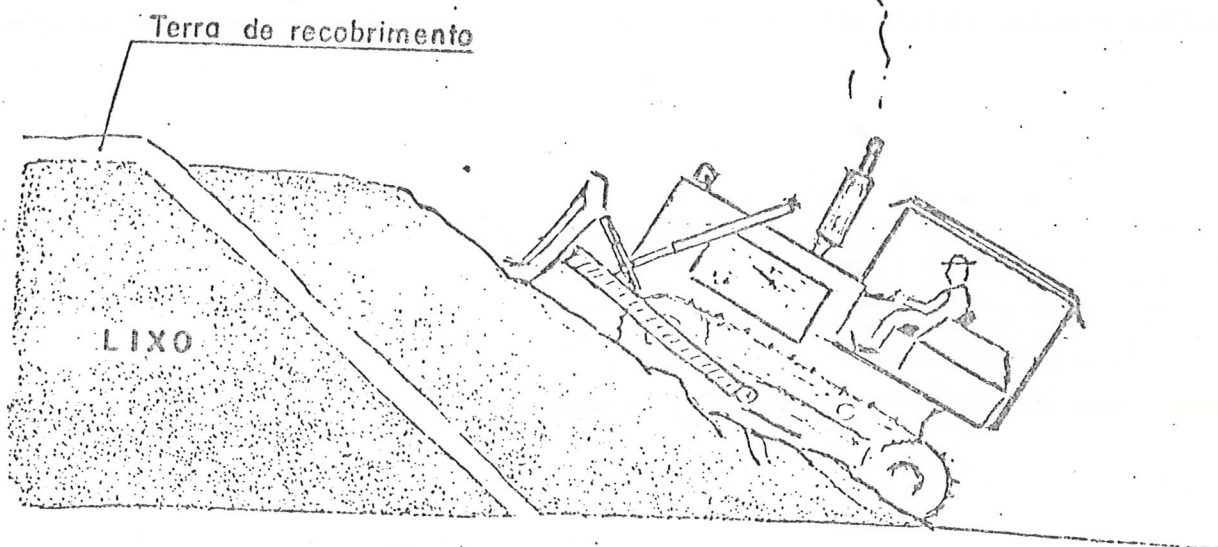


FIGURA Nº 6 - O lixo é espalhado sobre esta rampa pelo trator de esteiras, que o empurra de baixo para cima. Os resíduos espalhados na forma de camadas são compactados pelo trator que deverá subir e descer de 3 a 5 vezes sobre esta rampa.

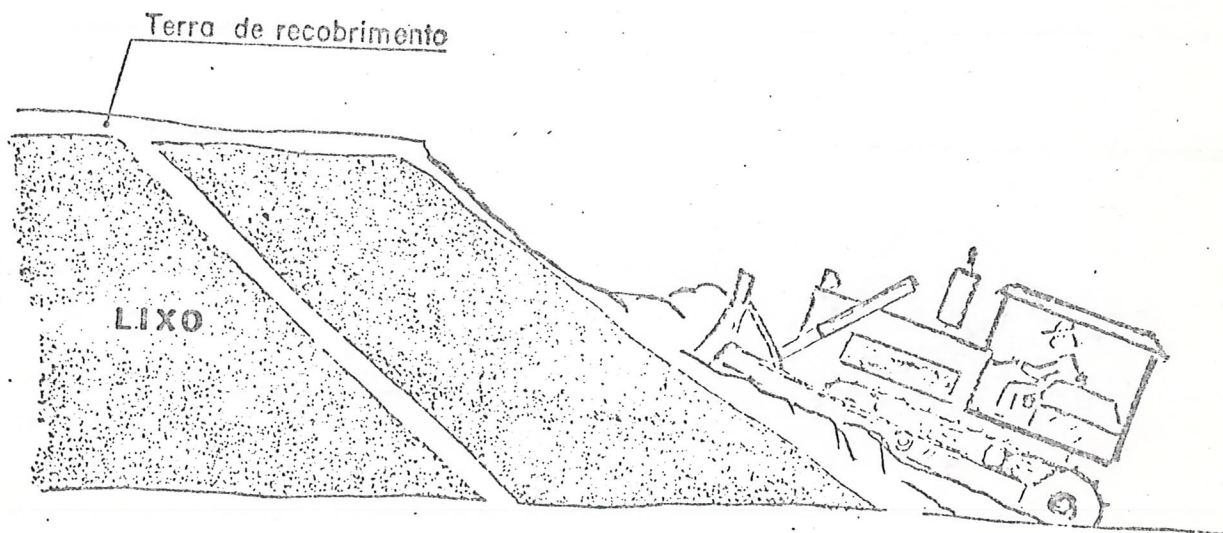


FIGURA Nº 7 - No final do dia, ou quando a coleta de lixo estiver terminada, esse novo monte de lixo deverá receber uma cobertura de terra, formando uma nova célula de lixo. A terra de cobertura também deverá ser espalhada pelo trator de esteiras, em movimento de baixo para cima.

15 - FRENTE PARA DIAS DE CHUVA

Nas épocas das chuvas uma frente de trabalho deve ser conservada em condições de suportar o tráfego, mas reservada exclusivamente para os períodos de chuvas prolongadas.

A frente do aterro destinada para as épocas de chuva deve ser fechada ao acesso regular. Deve ser mantido em estoque na área cascalho ou pedra britada para aplicação, sempre que necessária, nos acessos e na frente de trabalho.

Sem esses cuidados, desorganizam-se os serviços da coleta e do aterro nos períodos de chuva. Os encalhes dos caminhões coletores nos acessos ou nas frentes mal conservadas e os efeitos de sua remoção pelo equipamento de terraplanagem, além de retardarem e prejudicarem os dois serviços, isto é, o de coleta e do aterro, resultam frequentemente em danos para os chassis, agravando-se os problemas.

16 - PARTES DE UM ATERRO SANITÁRIO

Para que um aterro sanitário mantenha um bom padrão é necessário que exista uma estrutura que o controle e o proteja. Assim, um aterro sanitário deve ser constituído de:

16.1 - Cercas

Têm a função principal de evitar o ingresso no local de catadores, animais e quaisquer outros elementos estranhos que poderiam vir a prejudicar o andamento dos serviços.

Recomenda-se a preservação da vegetação natural existente ou o plantio de arbustos sempre que possível, para evitar a constante visualização do aterro, que gera reclamações de transeuntes ou possíveis moradores das imediações que, mesmo afastados do local, tenham possibilidade de observar os serviços.

16.2 - Portaria

A função do encarregado da portaria é controlar a entrada e a saída de veículos na área do aterro. É de sua responsabilidade a observação de materiais a serem aterrados, especialmente de resíduos que possam prejudicar o andamento das obras ou colocar em risco a saúde dos operadores, bem como causar danos ao meio ambiente, por exemplo: lodos tóxicos, materiais graxos ou oleosos, líquidos em geral, pesticidas, enfim, todos elementos que mereçam acondicionamento ou tratamento prévio.

Não deve ser impedida sumariamente a entrada de quaisquer desses materiais, pois eles poderiam vir a ser descarregados clandestinamente em outros locais, causando danos ainda maiores. Se for constatada sua presença, devem ser prevenidos os responsáveis pelo aterro ou as autoridades competentes para que os produtores desses resíduos providenciem seu tratamento adequado.

É também função do encarregado da portaria controlar a saída de materiais do aterro que tenham sido separados do meio do lixo.

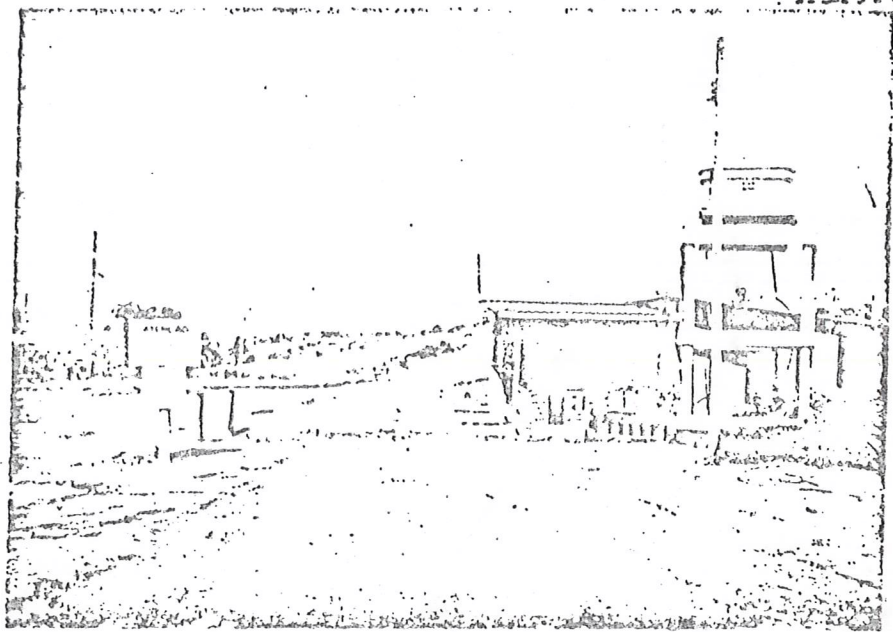


FIGURA Nº 8 - Portaria

16.3 - Balança

A função da balança é controlar e registrar a entrada de resíduos e outros materiais no aterro. No caso dos aterros empreitados a balança é a forma mais indicada de controle e remuneração dos serviços prestados.

Pode-se utilizar balanças do tipo rodoviário, que possuem parte de suas funções controladas manualmente, porém é aconselhável que se utilizem balanças automáticas já que estas independem do operador, restringindo assim os possíveis erros de medição.

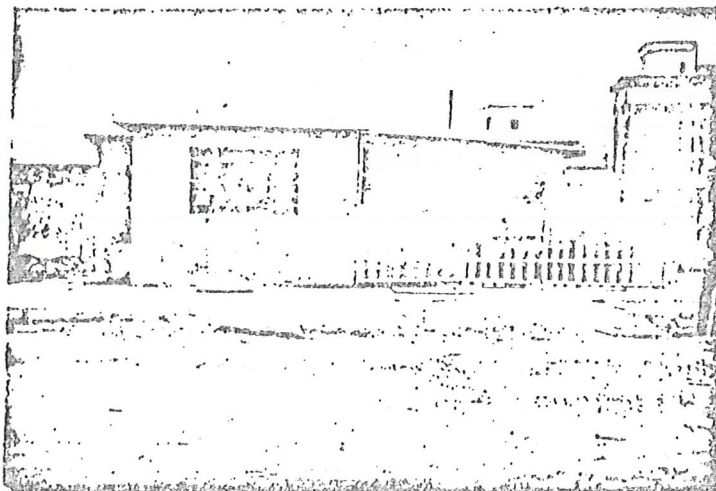


FIGURA Nº 9 - BALANÇA

16.4 - Instalações de apoio

Essas instalações podem ser subdivididas da seguinte forma:

- escritórios: contabilizam a entrada dos resíduos e materiais diversos que serão utilizados na construção da infra-estrutura do aterro; controlam e registram a frequência dos funcionários;
- refeitório: são instalações que devem ser apropriadas para o abrigo de operários durante a refeição; e
- vestiários e sanitários: são indispensáveis para a mudança de roupas, antes e após os trabalhos, além de propiciar banhos aos operadores. Os sanitários devem atender também ao pessoal da coleta.

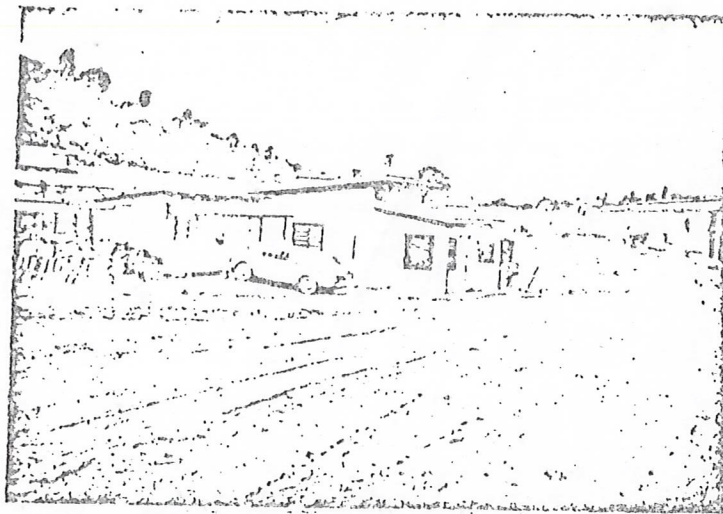


FIGURA Nº 10 - Escritório

16.5 - Almozarifado

Para aterros que operam com grandes quantidades de resíduos é aconselhável a manutenção de um almozarifado para armazenamento e distribuição de materiais. Al são incluídas peças de reposição.

16.6 - Pátio para estocagem de materiais

Deve-se dispor de local apropriado, na área do aterro, para o armazenamento de terra, pedras, tubos e outros materiais indispensáveis para o desenvolvimento das obras.



FIGURA Nº 11 - Pátio para estocagem de materiais

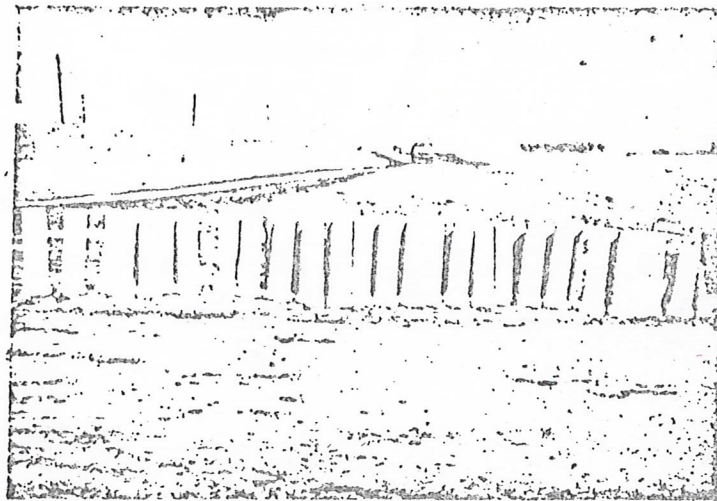


FIGURA Nº 12 - Pátio para estocagem de materiais

16.7 - Galpões para abrigo de veículos

Para que as máquinas nos períodos de ociosidade não permaneçam sob efeitos das intempéries, deve ser construído um galpão coberto onde esses equipamentos possam ficar abrigados. Neste local, podem ser feitos também pequenos reparos no equipamento.

16.8 - Acessos internos

Interligando os diversos pontos da área do aterro devem ser preparados acessos que suportem o fluxo de veículos nas mais diversas condições. Se necessário, devem ser mantidos acessos que possibilitem o tráfego normal em dias de chuvas.

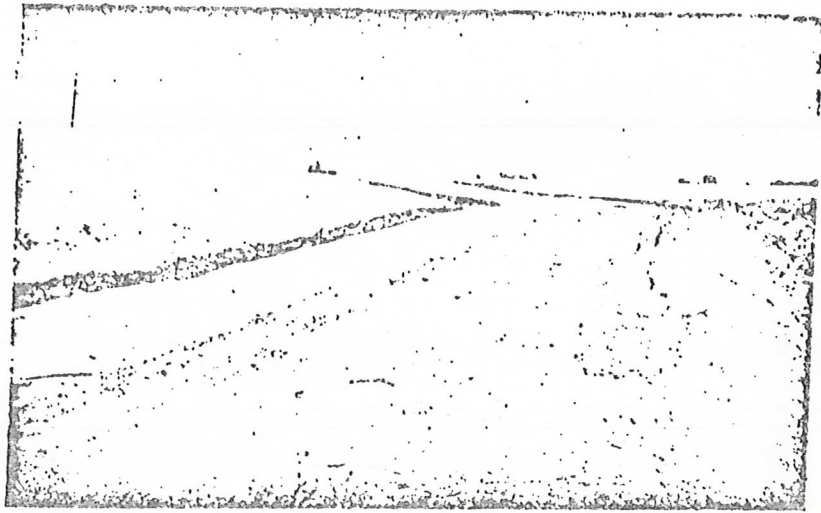


FIGURA Nº 13 - Acessos internos

16.9 - Iluminação

É recomendável que os aterros sejam servidos por energia elétrica, principalmente quando houver regime de coleta noturna, o que torna indispensável um eficiente sistema de iluminação.

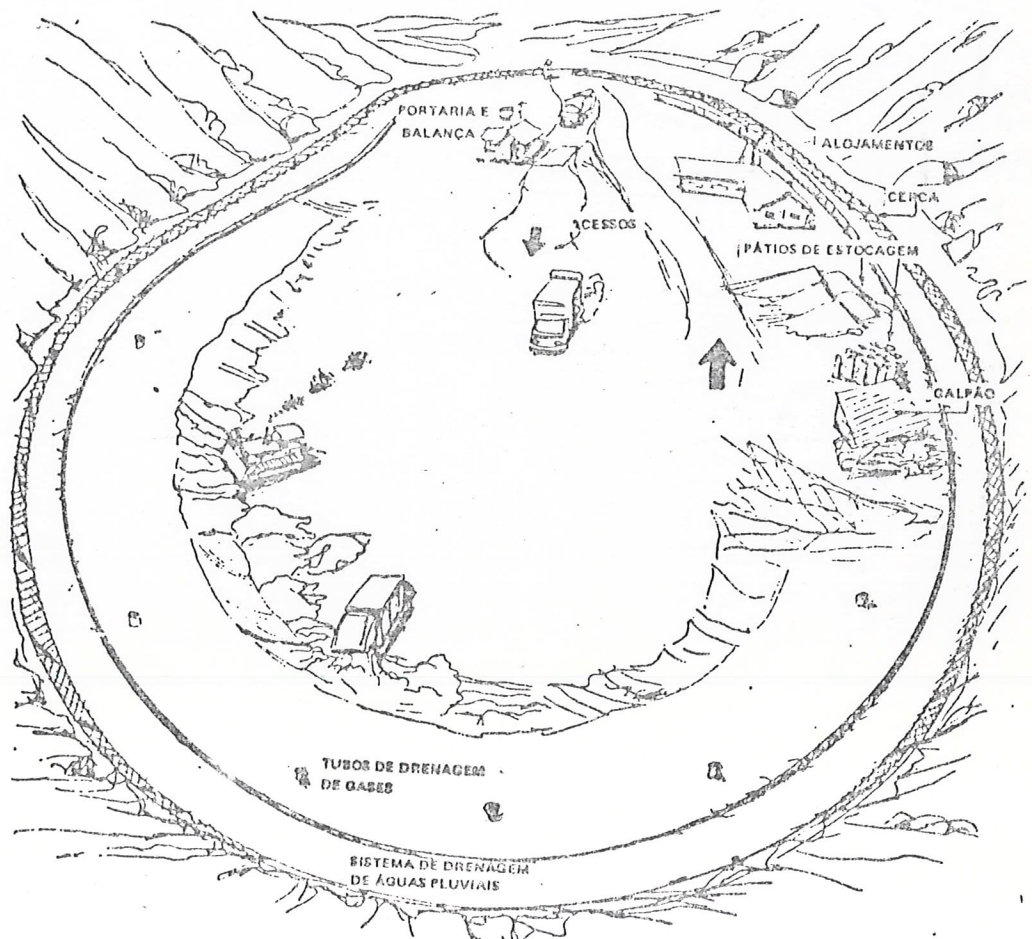


FIGURA Nº 14 - Vista global de todas as partes de um aterro sanitário

17 - EQUIPAMENTO.

Para as condições brasileiras o equipamento indicado é o trator empurrador de esteiras.

Se a produção for grande há possibilidade de adaptação de lâmina especial para lixo conhecida como lâmina "BALDERSON" que permite o manuseio de maior quantidade de material, sem prejuízo do equipamento, já que o lixo apresenta peso específico bem inferior ao da terra. A grade superior destina-se a facilitar a visão por parte do operador e a reduzir o peso da lâmina.

Equipamento provido de pneus não é apropriado para trabalho no lixo, nas nossas condições. O alto teor de matéria orgânica e de umidade provoca patinação do sistema rodante, agravado nos períodos de chuva.

Há equipamentos de rodas adaptados para trabalho com lixo. Trata-se em geral de pás carregadeiras cujas caçambas foram substituídas por lâminas e o conjunto de pneus substituídos ou envolvidos por radagem de ferro. Tal adaptação resulta, no entanto, em sobrecarga para o sistema de tração, sacrificando o equipamento.

Há contudo, equipamento específico para trabalho em aterro de lixo, formado por um rolo compactador articulado, dotado de quatro rodas ou de um rolo na parte dianteira e duas rodas traseiras, todas providas de pés de carneiro. Pesa mais de 20 t, apresenta um rendimento elevado e uma capacidade de compactação alta, desde que ela se dê ao longo da linha geratriz nos cilindros e não em toda a área das esteiras. Trata-se, todavia, de equipamento importado e apropriado para aterros que recebem grandes volumes (mais de 1.000 t/dia) de lixo.

-PROJETO DE ATERRO SANITARIO

Alfredo Carlos C. Rocca
Celso Kiyoshi Takeda
João Antonio Fuzaro
Luiz Augusto R. Stellin
Pedro José Stech

OBJETIVO: O Projeto visa a disposição adequada dos resíduos sólidos.

METODOLOGIA:

1. PREVISÃO DA PRODUÇÃO DO LIXO DOMICILIAR.

Os Levantamentos e Estudos de caracterização realizados no Município de Cubatão, indicaram um coeficiente "per capita" de produção de lixo domiciliar da ordem de 600 g/dia e uma produção de 37,15 T/dia de resíduos provenientes do escritório, restaurante e varrição das indústrias.

Desta forma, temos para o Município de Cubatão, as seguintes previsões:

TABELA 1.1: Projeção da população e da quantidade dos resíduos sólidos.

2. DADOS BÁSICOS

2.1. Capacidade e Previsão de Saturação do Aterro

Com dados de população estimada, pre

T A B E L A 1.1. PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO E DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS SÓLIDOS

ANO	POPULAÇÃO URBANA PREVISTA (Hab) (1)	QUANTIDADE DE LIXO DOMICILIAR PREVISTA (T/dia) (2)	VOLUME DE LIXO DOMICILIAR COMPACTADO PREVISIVO (M ³ /dia) (3)	QUANTIDADE TOTAL DE RESÍDUOS (T/dia) (4)	VOLUME TOTAL DE RESÍDUOS (M ³ /dia) (3)
1983	89.379	53,6	89	91	152
1984	93.257	55,9	93	93	155
1985	97.296	58,4	97	96	160
1986	101.501	60,9	102	98	163
1987	105.878	63,5	106	101	168

(1) Projeção demográfica CESP/RMS - 14.09.81

(2) Produção "Per Capita" de Lixo Domiciliar = 0,60 Kg/hab.dia - 100% de atendimento na coleta

(3) Peso específico do lixo compactado = 0,6 T/m³

(4) Considerando-se lixo domiciliar e resíduos sólidos industriais (restaurante, escritóri, varrição = 37,15 T/dia)

ve-se a produção de lixo diária e, em função do grau de atendimento da coleta, estima-se a quantidade de lixo coletada por dia.

De posse desses dados, calcularam-se os volumes diários e anuais de terra necessários para cobertura das células. Estes valores são apresentados na tabela 2.1.1.

Admitindo-se o início de funcionamento do aterro em janeiro de 1983 a área estará saturada em fevereiro de 1986, caso seja disposto no aterro apenas lixo domiciliar. Se forem dispostos também os residuos industriais, a área estará esgotada em novembro de 1984. (Gráfico 2.1.1.)

2.2. SONDAGENS

Devem ser executadas em pontos pré-determinados, destacando-se:

- Áreas de empréstimo de terra, estabilidade dos taludes (natureza do solo)
- Trincheiras, áreas para dias de chuva (natureza do solo).
- Determinação do lençol no ponto de cota mais baixa do levantamento topográfico.
- As sondagens devem ser locadas nas plantas.

T A B E L A 2.1.1.1

VOLUMES DIÁRIOS - PREVISÃO DE SATURAÇÃO

A N O	VOLUME DIÁRIO DE LIXO DOMICILIAR COMPACTADO (m ³ /dia)	VOLUME DE TERRA P/ COBERTURA (m ³ /dia) (1)	VOLUME DE LIXO DOMICILIAR E TERRA P/ COBERTURA (m ³ /ano) (2)	VOLUME ACUMULADO DE LIXO DOMICILIAR E TERRA P/ COBERTURA (m ³)	VOLUME TOTAL DE RESÍDUOS DE RESÍDUOS (m ³ /dia) (3)	VOLUME DE TERRA P/ COBERTURA (m ³ /dia) (1)	VOLUME TOTAL DE RESÍDUOS E TERRA P/ COBERTURA (m ³ /ano) (2)	VOLUME TOTAL ACUMULADO DE RESÍDUOS E TERRA P/ COBERTURA (m ³)
1983	89	18	39.055	39.055	152	30	66.430	66.430
1984	93	19	40.880	79.935	155	31	67.890	134.320
1985	97	20	42.705	122.640	160	32	70.080	204.400
1986	102	20	44.530	167.170	163	33	71.540	275.940
1987	106	21	46.355	213.525	168	34	73.730	349.670

OBS. (1) Volume de terra igual a 1/5 do volume do lixo compactado

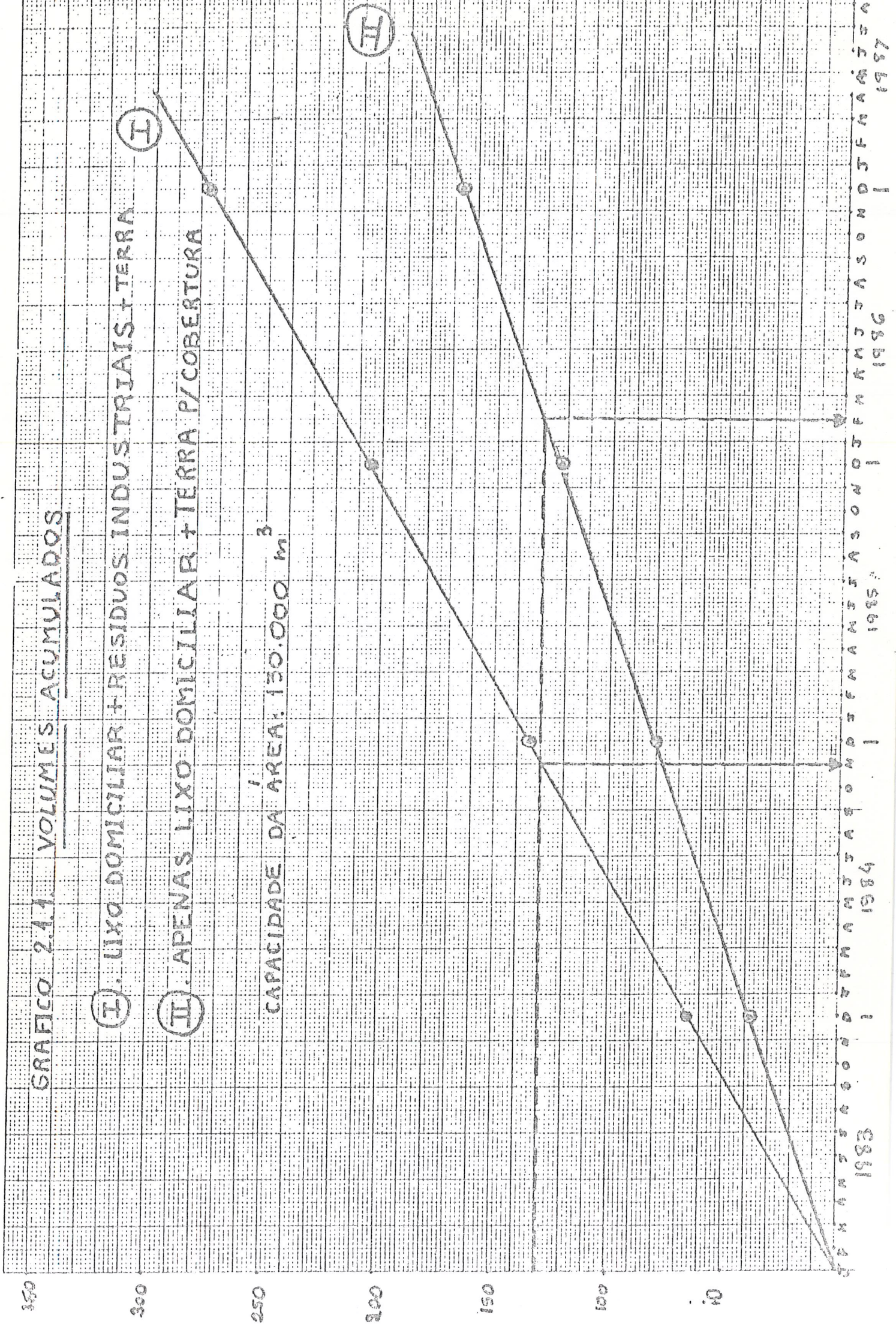
(2) 365 dias/ano

(3) Considerando lixo domiciliar + resíduos sólidos industriais (restaurante, escritório, vestuário e varrição industrial)

GRAFICO 2.1.1. VOLUMES ACUMULADOS

- (I) LIXO DOMICILIAR + RESIDUOS INDUSTRIAIS + TERRA
- (II) APENAS LIXO DOMICILIAR + TERRA P/ COBERTURA

CAPACIDADE DA AREA: 130.000 m³



1981 1984 1985 1986 1987

2.3. TOPOGRAFIA

Para o desenvolvimento do projeto, serão executados levantamentos Plani-Altimétricos da área, apresentadas plantas nas escalas 1:500 ou 1:1000

3. PROJETO PROPRIAMENTE DITO

3.1. CÁLCULO DA CÉLULA IDEAL

Produção Lixo: 91 t (considerando-se lixo domiciliar + resíduos industriais)

Volume do lixo compactado: $152\text{m}^3/\text{dia}$

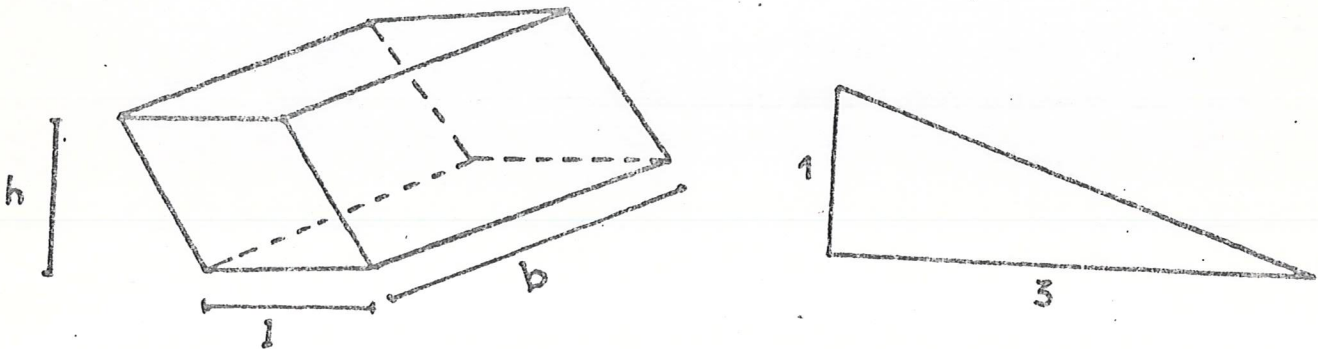
Talude : (1: p) (p = 3)

Volume compactado: $V = b \cdot l \cdot h$

b = Frente Serviço

h = Altura

l = Largura



- Economia Terra

- Facilidade Cobertura

CONDIÇÃO IDEAL: $l = b$

$$V = b \cdot l \cdot h = b^2 \cdot h$$

$$A = b^2 + 2bh (\sqrt{1 + p^2}) \quad \frac{dA}{dh} = 0$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{V}{1 + p^2}} \quad l = b = \left(\frac{V}{h}\right)^{1/2}$$

Altura da célula para mínima área de cobertura.

$$V = 152 \text{ m}^3 \rightarrow h = \left(\frac{152}{9 + 1}\right)^{1/3} = 2,5\text{m}$$

(Facilidade Operação)

Adotado $h = 3,0 \text{ m}$

$$b = \left(\frac{152}{3,0}\right)^{1/2} = 7,00 \text{ m}$$

3.2. OPERAÇÃO

- Preparo da área — aterro de impermeabilização inferior com solo argiloso para garantir distância mínima do lençol freático.

Adotando-se altura de 3,00m, delimitam-se nas plantas as diferentes camadas de células destacando-se:

- Volume disponível cada camada
- Volume de lixo aterrado
- Volume de terra para cobertura
- Vida útil da camada
- Áreas de empréstimo de terra
- Áreas de estoque de terra e brita
- Acessos internos.

(Tabela 3.2.1)

O aterro será operado de baixo para cima, frente de serviço de 7,00m, camada de cobertura de cerca de 0,20m, consumindo, em média $30\text{m}^3/\text{dia}$ de terra.

Conforme figuras 3.2.1 e 3.2.2.

3.3. ACESSOS:

Executados sobre terra compactada e revestidos com camada de ordem de 10cm de brita 4 ou cascalho.

Serão indicados nas plantas de operação.

3.4. INSTALAÇÕES FIXAS

- cerca
- portão
- guarita
- sanitários

Não há necessidade de balança, pois a própria Prefeitura coleta o lixo.

TABELA 3.2.1 - CAMADAS DO ATERRO

CAMADA	VOLUME DISPONÍVEL (m ³)	VOLUME DE LIXO ATERROADO (m ³)	VOLUME DE TERRA P/ COBERTURA (m ³)	VIDA ÚTIL DA CAMADA (dias)
1. ^a	34.103	28.419	5.684	187
2. ^a	32.160	26.800	5.360	176
3. ^a	26.513	22.094	4.419	143
4. ^a	20.520	17.100	3.420	111
5. ^a	15.405	12.838	2.567	83

19 A

29 A

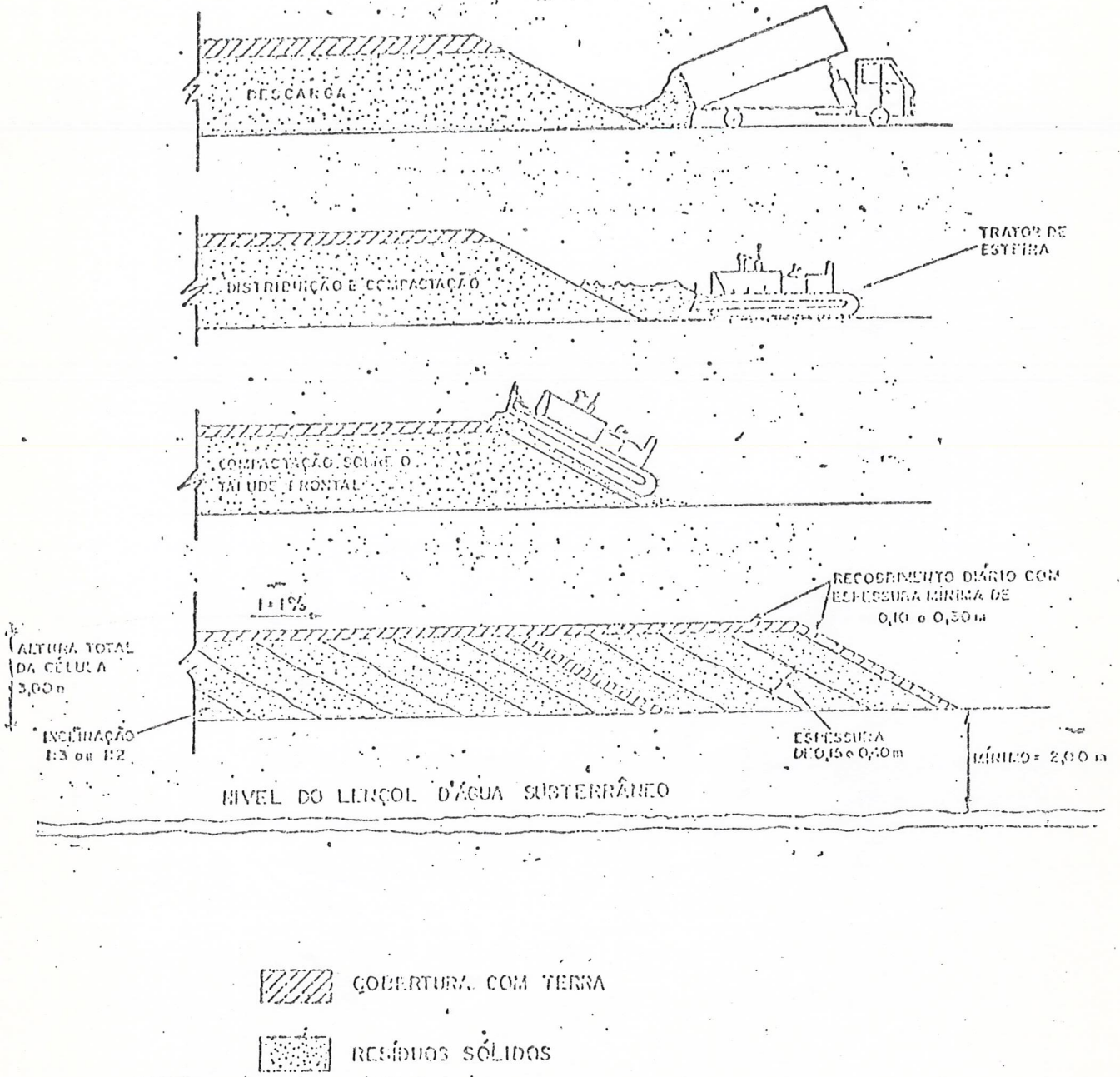


FIGURA Nº3.2.1
FORMAÇÃO DA CÉLULA

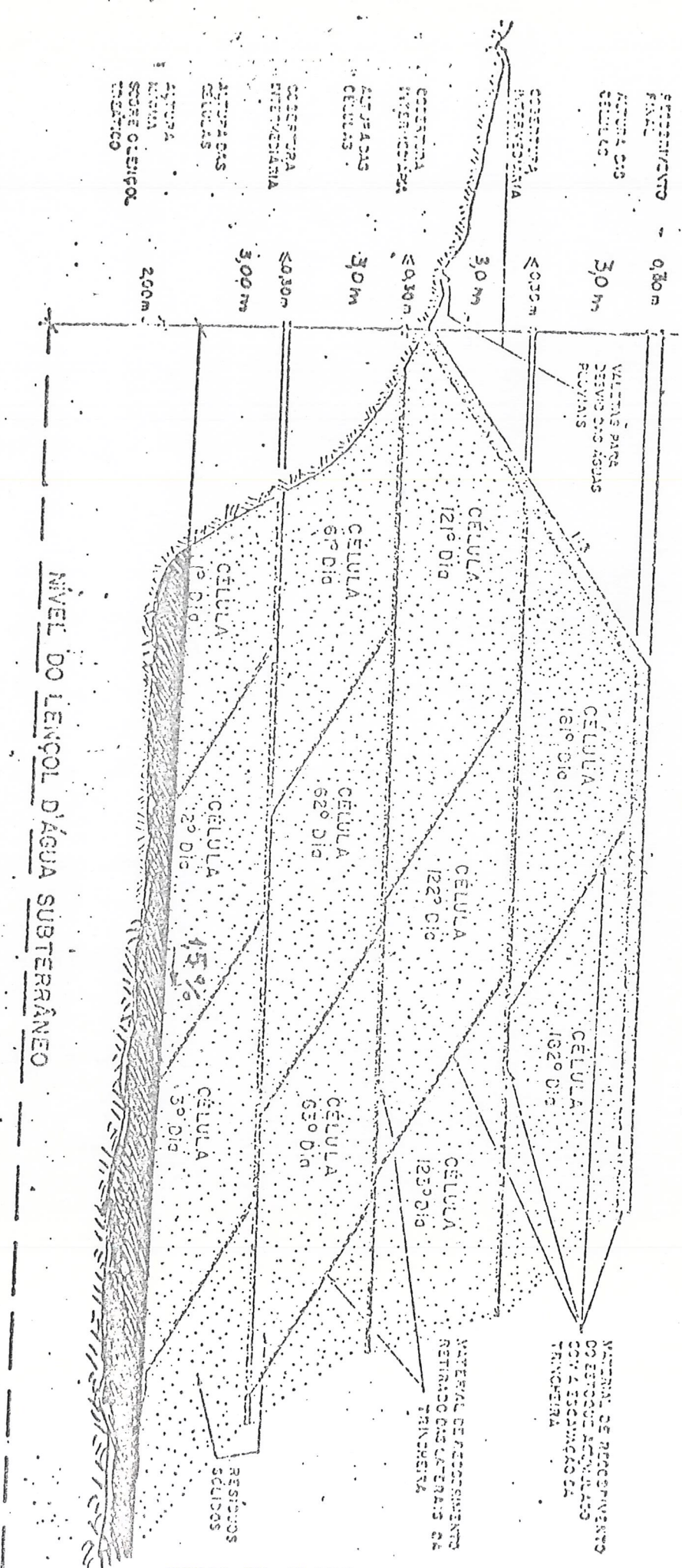


FIGURA 3.2.2. Esquema para execução de aterro sanitário

3.5. DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

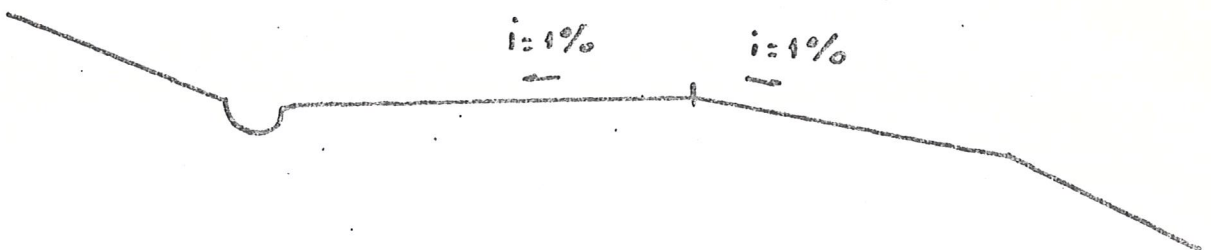
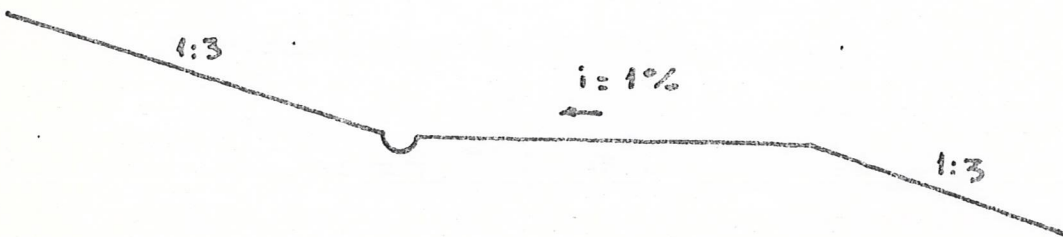
- Escoamento durante a construção do aterro

Compõe-se de meias-canais de concreto armado ($\phi = 0,6m$), nos trechos de encosta de morro (declividades acentuadas) e canais trapezoidais em terra, nos trechos planos ($i = 2\%$).

- Escoamento após conclusão do aterro

Compoẽ-se de meias-canais de concreto ($\phi = 0,30m$) localizadas nos "pês" dos taludes do aterro.

- DRENAGEM NOS ACESSOS



3.6. DRENAGEM DOS GASES

Devem ser previstos drenos verticais, que serão usados para drenagem de gases, conforme figura 3.6.1 .

3.7. DRENAGEM DE LÍQUIDOS PERCOLADOS

Será executada por um sistema de drenos horizontais ($i = 1,5\%$) com seção quadrada em terra e preenchidos por "brita 4" (figura 3.7.1) que conduzirão os líquidos percolados a um tanque de concentração, de onde serão conduzidos a um tratamento adequado.

- Estimativa da vazão média de líquidos percolados

$$Q = \frac{1}{t} \text{ PAK}$$

Q - vazão média de líquidos percolados

P - Precipitação media anual
- 2.600 mm (Cubatão)

A - área do Aterro = 13.000 m²

t - número de segundos em um ano (31.536.000s)

K - coeficiente que depende do grau de compactação do lixo (K = 0,35 - aterro medianamente compactado)

$$Q_M = \frac{2.600 \text{ mm} \times 13.000 \text{ m}^2 \times 0,35}{31.536.000} = 0,38 \text{ l/s}$$

ou $Q_M = 1,35 \text{ m}^3 / \text{hora}$

FIGURA 3.6.1.

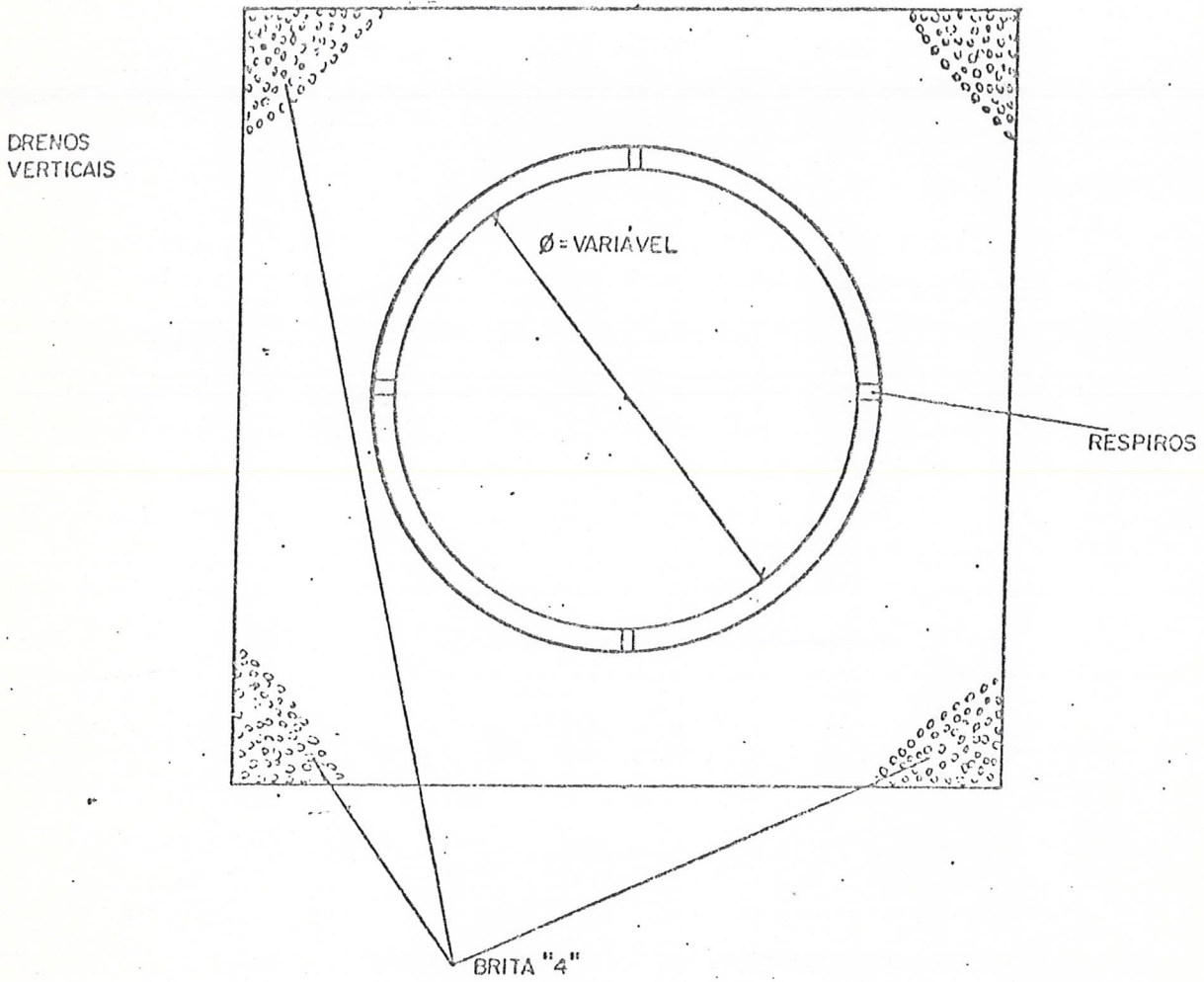
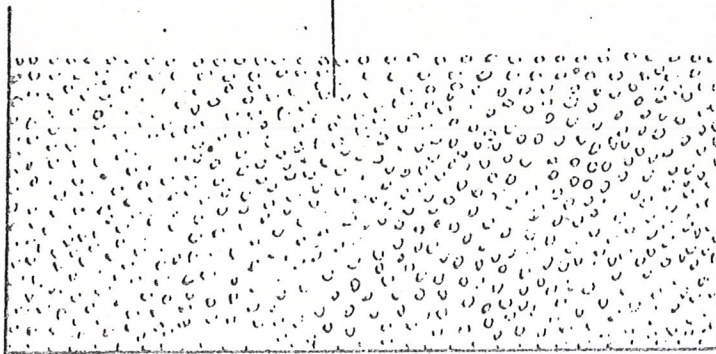


FIGURA 3.7.1.

DRENOS HORIZONTAIS



3.8. ÁREAS DE EMERGÊNCIA

Devem ser previstas áreas de emergência que servirão para descarga fácil dos caminhões, nos dias de precipitações muito elevadas, quando, eventualmente, a frente de operação do aterro estiver bloqueada ou com acesso impraticável.

4. PRODUÇÃO ESTIMADA DOS EQUIPAMENTOS

4.1. Trator de Esteira D4E Caterpillar

Manual Caterpillar

Produção teórica (distância 30m) - $150\text{m}^3/\text{h}$

Correção das condições de trabalho

Coefficientes

- operador médio - 0,75
- material de difícil transporte - 0,80
- lâmina angulável - 0,65
- rampa de 30% - 0,40
- eficiência de trabalho - 40 min/h = 0,67
- peso específico do lixo - $1370/300$

$$\text{Produção real} = 150 \times 0,75 \times 0,80 \times 0,65 \times 0,40 \times 0,67 \times \frac{1370}{300}$$

$$\text{Pr} = 71,60 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{- peso específico do Lixo} = 300 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{- produção (T/h)} = 71,60 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,3\text{T/m}^3 = 22 \text{ T/h}$$

Para 91 T/dia de Lixo

$$\text{nº horas} = 4,5 \text{ h serviço/dia}$$

4.2 - Pã Carregadeira 930 Caterpillar

Capacidade coroadada: $1,73 \text{ m}^3$

Fator de Carregamento: 85%

Capacidade Caçamba - $1,47 \text{ m}^3$

- Tempo de cicho - carga

$T_e = 0,40$ (médio)

fatores de carregaçãõ

- material — + 0,04
de corte

- operação inconstante + 0,04

$T_c = 0,40 + 0,04 + 0,04 = 0,48 \text{ min}$

Capacidade Caçamba : $1,47 \text{ m}^3$

Terra para cobertura: $30 \text{ m}^3/\text{dia}$

$$\frac{30 \text{ m}^3/\text{dia}}{1,47 \text{ m}^3} \quad \text{—} \quad 21 \text{ caçambas/dia}$$

cada caçambada: 0,48 minutos

$21 \times 0,48 = 10 \text{ minutos}$

outros serviços: 2h

total: 2,17 h/dia

4.3. Caminhão Basculante

Mercedes Bens LK -1113/36 (4 m³)

Distância 200 m

Tempo de transporte - 2 minutos

Terra para cobertura - 30 m³/dia

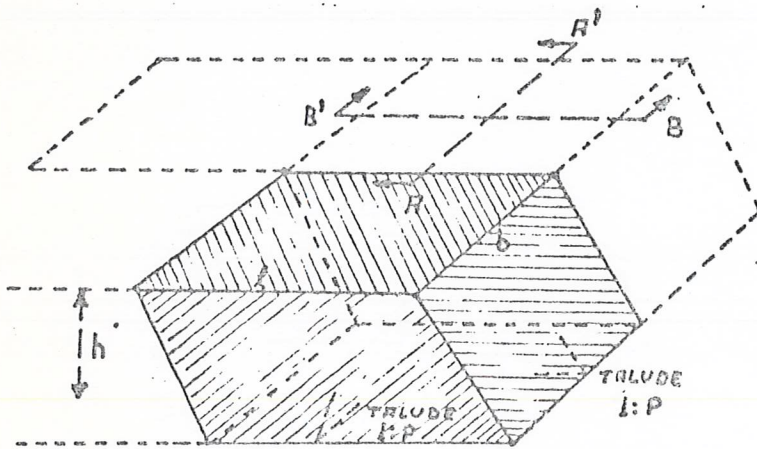
$$\text{n}^{\circ} \text{ viagens/dia} : \frac{30 \text{ m}^3/\text{dia}}{4 \text{ m}^3} = 8 \text{ viagens/dia}$$

16 minutos/dia

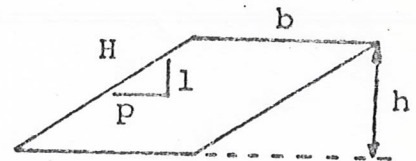
outros serviços - 2h/dia

ATERRO SANITÁRIO - CÁLCULO DA ÁREA MÍNIMA DE COBERTURA

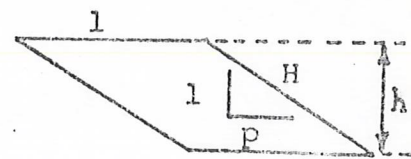
ESQUEMA DA CÉLULA DE LIXO



CORTE AA'



CORTE BB'



$$H = \sqrt{h^2 + h^2 p^2} = h \sqrt{1 + p^2}$$

DIMENSÕES DA CÉLULA DE LIXO (A SER COBERTA)

- h - altura (m)
- l - frente de trabalho
- b - profundidade (m)
- Q - volume de lixo da célula (m³)
- p - talude 1 (v) : p (H)
- A - área a ser coberta (m²)

Fórmulas

$$Q = b \cdot l \cdot h$$

$$A = b \cdot l + b \cdot H + l \cdot H = b \cdot l + bh \sqrt{1+p^2} + lh \sqrt{1+p^2}$$

PARA ÁREA MÍNIMA

$$l = b$$

$$Q = b \cdot l \cdot h = b^2 h \quad \text{ou} \quad b^2 = \frac{Q}{h}$$

$$A = b \cdot l + h \cdot \sqrt{1 + p^2} \cdot (b + l) = b^2 + 2h \cdot \sqrt{1 + p^2} \cdot b$$

$$\text{ou} \quad A = \frac{Q}{h} + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + p^2} \cdot \sqrt{\frac{Q}{h}}$$

$$A = Q \cdot h^{-1} + 2 \sqrt{1 + p^2} \cdot \sqrt{Q} \cdot h^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{dA}{dh} = -\frac{Q}{h^2} + \sqrt{1 + p^2} \sqrt{Q} \cdot \frac{1}{h^{1/2}} = 0$$

$$\frac{Q}{h^2} = \frac{\sqrt{Q} \cdot \sqrt{1 + p^2}}{h^{1/2}} \Rightarrow \frac{h^2}{h^{1/2}} = \frac{Q}{\sqrt{1 + p^2} \cdot \sqrt{Q}}$$

$$\sqrt{h^3} = \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt{1 + p^2}} \quad \text{ou} \quad h^3 = \frac{Q}{1 + p^2}$$

∴ ALTURA DA CÉLULA PARA MÍNIMA ÁREA DE COBERTURA

$$h = \sqrt[3]{\frac{Q}{1 + p^2}}$$

$$l = b = \sqrt{\frac{Q}{h}}$$

TABELA - DIMENSÕES DA CÉLULA EM FUNÇÃO DO VOLUME DE LIXO (Q) PARA ÁREAS MÍNIMAS DE COBERTURA

VOLUME DE LIXO DA CÉLULA Q (m ³)	TALUDE 1:2			TALUDE 1:3			Relação Área a ser coberta - volume da célula La A/Q (m ² /m ³)	ÁREA A SER COBERTA A (m ²)	Relação Área a ser coberta - volume da célula La A/Q (m ² /m ³)
	ALTURA DA CÉLULA h (m)	l (1) = b (2) (m)	ÁREA A SER COBERTA A (m ²)	ALTURA DA CÉLULA h (m)	l (1) = b (2) (m)	ÁREA A SER COBERTA A (m ²)			
10	1,26	2,82	23,8	1,00	3,16	30,0	2,38	30,0	3,00
20	1,59	3,55	37,8	1,26	3,98	47,6	1,89	47,6	2,38
30	1,82	4,06	49,5	1,44	4,56	62,4	1,65	62,4	2,08
40	2,00	4,47	60,0	1,59	5,02	75,6	1,50	75,6	1,89
50	2,15	4,82	69,6	1,71	5,41	87,7	1,39	87,7	1,75
60	2,29	5,12	78,6	1,82	5,75	99,1	1,31	99,1	1,65
80	2,52	5,63	95,2	2,00	6,32	120,0	1,19	120,0	1,50
100	2,71	6,07	110,5	2,15	6,81	139,3	1,11	139,3	1,39
120	2,88	6,45	124,8	2,29	7,24	157,3	1,04	157,3	1,31
150	3,11	6,95	144,8	2,47	7,80	182,5	0,97	182,5	1,22
200	3,42	7,65	175,4	2,71	8,58	221,0	0,88	221,0	1,11
250	3,68	8,24	203,6	2,92	9,25	256,5	0,81	256,5	1,03
300	3,91	8,75	229,9	3,11	9,83	289,7	0,77	289,7	0,97
500	4,64	10,38	323,2	3,68	11,65	407,2	0,65	407,2	0,81
1.000	5,85	13,08	513,0	4,64	14,68	646,3	0,51	646,3	0,65
5.000	10,00	22,36	1.500,00	7,94	25,10	1.889,9	0,30	1.889,9	0,38

(1) l - frente de trabalho (m)

(2) b - profundidade (m)

(3) Q - volume da célula (m³)

$$h = \sqrt[3]{\frac{Q}{l + p^2}}$$

$$l = b = \sqrt{\frac{Q}{h}}$$

h. ALTURA (h) DA CÉLULA EM FUNÇÃO DO VOLUME DE

LIXA (L) PARA ÁREA MÍNIMA DE COBERTURA.

h. (cm) 7 6 5 4 3 2 1 0

0

250

500

1000

1500

2000

3000

4000

5000

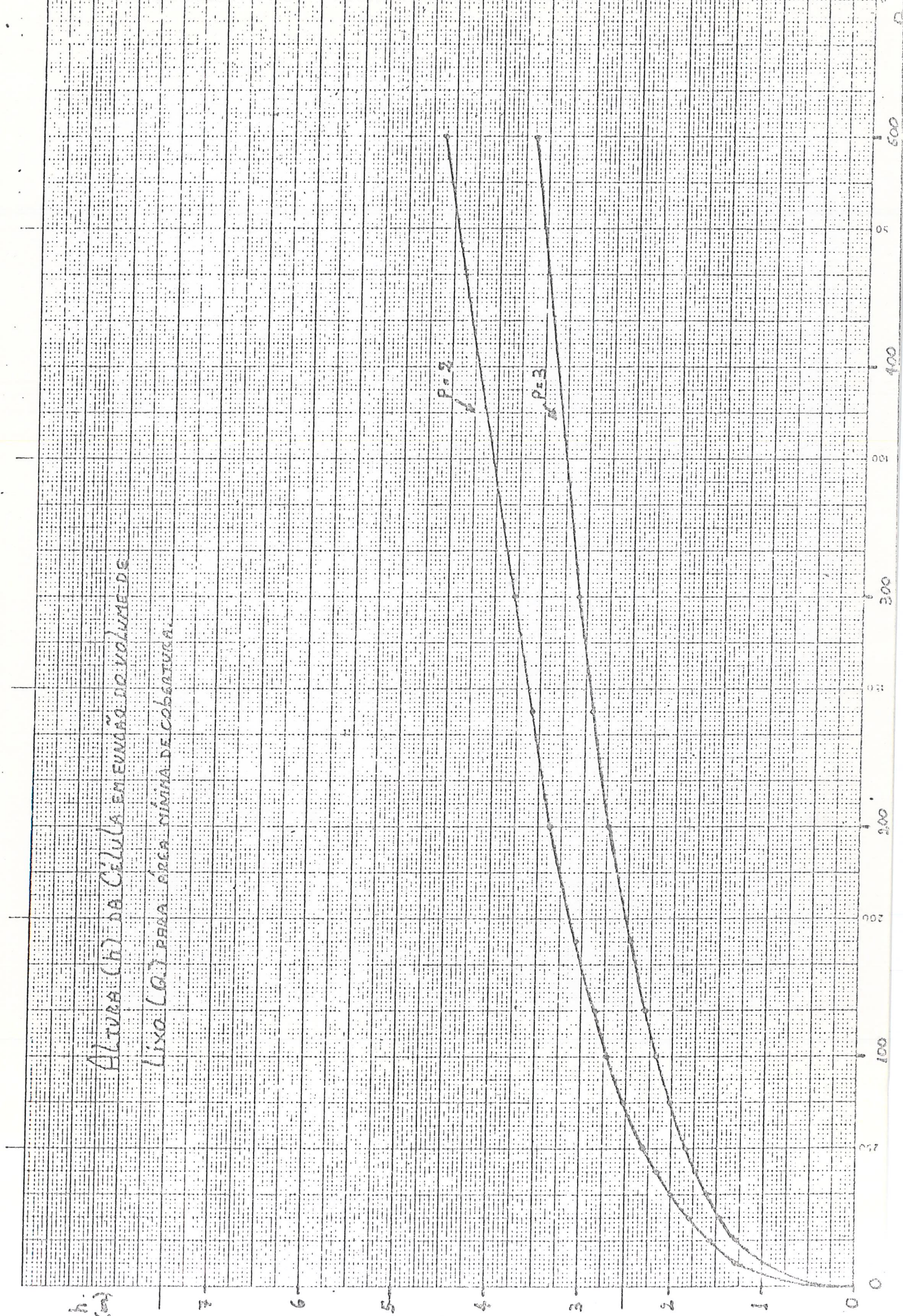
6000

7000

8000

$p=2$

$p=3$



-DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS E LÍQUIDOS PERCOLADOS

Alfredo Carlos C. Rocca

1 - Drenagem de Águas Pluviais.

1.1 - Determinação da Vazão a ser Drenada.

No cálculo de vazão para aterros pode-se utilizar o método racional que vale para pequenas bacias (áreas até 50 hectares).

$$Q = c.i.A$$

onde:

Q - vazão a ser drenada na seção considerada (m^3/s)

C - coeficiente de escoamento superficial

A - área da bacia contribuinte (m^2)

i - intensidade da chuva crítica (m/s)

O coeficiente de escoamento superficial, no nosso caso, pode ser obtido na tabela 1

TABELA 1 - VALORES DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

TIPO DE COBERTURA	SOLO ARENOSO DECLIVIDADE		SOLO ARGILOSO DECLIVIDADE	
	$\leq 7\%$	$> 7\%$	$\leq 7\%$	$> 7\%$
áreas com matas	0,20	0,25	0,25	0,30
campos cultivados	0,30	0,35	0,35	0,40
áreas gramadas	0,30	0,40	0,40	0,50
solos sem cobertura vegetal	0,30	0,60	0,60	0,70

Intensidade da chuva crítica é a que causa maior vazão na seção considerada e tem duração

igual ao tempo de concentração ($t = t_c$).

O tempo de concentração pode ser calculado por uma das seguintes fórmulas:

$$t_c = 5,3 \left(\frac{L}{I} \right)^{1/3} \quad (\text{em min.})$$

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (\text{em min.})$$

onde:

L = comprimento do talvegue máximo da bacia (km);

H = altura máxima do perfil longitudinal do talvegue máximo (m);

I = declividade média do talvegue máximo (m/m)

$$I = H/L$$

Para determinação da intensidade da chuva crítica podemos usar entre outras, a seguinte equação:

$$i(t_c, T) = \frac{1}{t_c} \left[(0,21 \ln T + 0,52) \times (0,54 t_c^{0,25} - 0,50) \right] \times$$

$$\times P(60, 10)$$

onde:

i = intensidade da chuva crítica (mm/min)

t_c = tempo de concentração (min)

T = período de retorno (anos)

P(60, 10) = precipitação com duração de 60 minutos e período de retorno de 10 anos (mm, já ocorrida) com valores tabelados a seguir:

TABELA 2 - VALORES DE P (60,10) PARA 80 LOCALIDADES
BRASILEIRAS

ESTADO	POSTO *	CIDADE	P (60,10) min
RIO GRANDE DO SUL	1	Alegrete	62
	7	Bagé	49
	21	Caxias do Sul	54
	24	Cruz Alta	65
	27	Encruzilhada	48
	35	Iraí	56
	56	Passo Fundo	43
	61	Porto Alegre	64
	68	Rio Grande	68
	71	Santa Maria	62
	73	Sta. Vitória do Palmar	62
SANTA CATARINA	14	Blumenau	72
	29	Florianópolis	70
	77	S. Francisco do Sul	65
PARANÁ	26	Curitiba	68
	37	Jacarezinho	52
	53	Paranaguá	70
	60	Ponta Grossa	54
SÃO PAULO	6	Avaré	64
	42	Lins	52
	59	Piracicaba	58
	74	Santos-Itapema	140
	75	Santos	84
	76	São Carlos	70
	81	São Simão	51

Continua

Continuação

ESTADO	POSTO *	CIDADE	P (60,10) mm
	2	Alto Itatiaia	60
	8	Bangu	68
	16	Cabo Frio	50
	17	Campos	55
	34	Ipanema	72
	38	Jardim Botânico	67
	41	Km 47 Rod.Pres.Dutra	78
	48	Niteroi	64
	49	Nova Friburgo	60
RIO DE	57	Petrópolis	76
JANEIRO	58	Pinheiral	64
	63	Praça XV	74
	64	Praça Saens Peña	60
	66	Resende	70
	70	Santa Cruz	57
	89	Teresópolis	66
	95	Vassouras	58
	98	Volta Redonda	67
ESPÍRITO SANTO	97	Vitória	56
	9	Barbacena	58
	13	Belo Horizonte	62
MINAS GERAIS	55	Passa Quatro	44
	83	Sete Lagoas	52
BAHIA	69	Salvador	60
SERGIPE	5	Aracaju	66
ALAGOAS	43	Maceió	55
PERNAMBUCO	47	Nazaré	44
	50	Olinda	60

Continua

Continuação

ESTADO	POSTO*	CIDADE	P(60,10) mm
PARAÍBA	40	João Pessoa	50
	78	São Gonçalo	62
RIO GRANDE DO NORTE	46	Natal	56
TER. FERNANDO DE NORONHA	28	Fernando de Noronha	70
CEARÁ	31	Fortaleza	54
	33	Guaramirangã	54
	65	Quixeramobim	66
PIAUI	88	Teresina	90
MARANHÃO	10	Barra do Corda	70
	79	São Luiz	59
	91	Turiassu	66
PARÁ	3	Alto Tapajós	80
	12	Belém	62
	84	Soure	86
	85	Taperinha	76
AMAZONAS	39	Juaretê	82
	44	Manaus	68
	54	Parintins	80
	92	Vaupês	80
RONDÔNIA	62	Porto Velho	72
MATO GROSSO	25	Cuiabá	68
GOIÁS	19	Catalão	60
	30	Formosa	57
	32	Goiânia	70

* Numeração original do autor.

Fonte: Pfafstetter, Otto; Chuvas Intensas no Brasil.
Publicação do Ministério da Viação e Obras Públicas e Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1957.

Para quatro cidades brasileiras foram definidas equações específicas:

• SÃO PAULO:
$$i = \frac{1747,9 T^{0,181}}{(t_c + 15)^{0,89}}$$

• RIO DE JANEIRO:
$$i = \frac{1239 T^{0,150}}{(t_c + 20)^{0,74}}$$

• CURITIBA:
$$i = \frac{5950 T^{0,217}}{(t_c + 26)^{1,15}}$$

• PORTO ALEGRE:
$$i = \frac{23}{t_c + 2,4} \quad (p/T = 5 \text{ anos})$$

Sendo T em anos, t_c em minutos e i em mm/hora.

Conhecido o material, pela tabela obtém-se o valor de Cv e com a declividade do dreno é calculada a velocidade de percolação. Determina-se então, a seção transversal do dreno (S') pela equação da continuidade.

$$S' = \frac{Qp}{V}$$

Essa seção é então majorada por um coeficiente de segurança $\lambda = 2$.

$$S = \lambda S'$$

É conveniente verificar o valor do nº de Reynolds do escoamento para se verificar se o regime está na faixa de validade da equação de Wilkins ($1,0 < Re < 3.000$)

$$Re = \frac{V D_s}{6 \nu (1-p)} \quad \text{onde}$$

ν = coeficiente de viscosidade cinemática considerado igual a $1,01 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$.

1.2 - Dimensionamento dos Drenos

Conhecida a vazão de projeto o dimensionamento pode ser feito através da equação:

$$Q = \frac{1,49}{n} \cdot S \cdot R_h^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad \text{onde}$$

Q - vazão de projeto

n - coeficiente de rugosidade

S - seção molhada (área da seção transversal ocupada pelo líquido (m²))

R_h - raio hidráulico da seção (m)

$$R_h = \frac{s}{p} = \frac{\text{seção molhada}}{\text{perímetro molhado}}$$

i = declividade do canal

P = perímetro molhado, perímetro da seção ocupada pelo líquido, descontando-se a linha da superfície livre (m)

Valores do coeficiente de rugosidade podem ser vistos na Tabela 3.

TABELA 3

MATERIAL DO CANAL	n
Concreto	0,013
Terra	0,025
Brita	0,030

Excetuando-se os drenos de menor importância, recomenda-se que os de mais tenham seção trapezoidal que permite mais estabilidade para as paredes. A inclinação das paredes depende do material constituinte podendo ser obtida da Tabela 41.

T A B E L A 4, Inclinação dos Taludes

Material do Canal	Inclinação dos Taludes
Concreto Simples Argila Rija	1 (V) : 1 (H)
Solo Argiloso	1 (V) : 1,5 (H)
Solo Siltoso Solo Arenoso Cascalho ou Brita Terra Solta	1 (V) : 2 (H)

A velocidade máxima admissível, para se evitar erosões é dada na Tabela 5.

T A B E L A 5. Valores da Velocidade Máxima

Superfície do Canal	V _m (m/s)
Solo Arenoso	0,60
Solo Siltoso	0,70
Solo Argiloso	0,80
Argila rija	1,00
Cascalho Fino	1,20
Pedregulhos e cascalho grosso	1,60
Concreto	3,00

2 - Drenagem de Líquidos Percolados

Para drenagem de líquidos percolados são empregadas estruturas drenantes sub-superficiais, geralmente constituídas por drenos de brita escavados no solo ou na camada de resíduos, acompanhando o terreno mas que devem ter uma declividade mínima de 2%. Para o dimensionamento dessas estruturas é fundamental o conhecimento da vazão a ser drenada e das condicionantes geométricas da própria estrutura.

2.1 - Vazão a ser Drenada.

O volume de líquido a ser drenado é uma função da:

- . precipitação na área do aterro;
- . evapotranspiração na área do aterro;
- . declividade e tipo de cobertura da superfície do aterro;
- . capacidade da camada superficial do aterro de reter água, e
- . possíveis infiltrações subterrâneas nos drenos.

A vazão a ser drenada pode ser avaliada para os casos mais simples pela seguinte expressão:

$$Q = \frac{1}{t} P.A.K \quad \text{onde,}$$

Q = vazão média de líquido percolado (l/s)

P = Precipitação média anual (mm)

A = área do aterro (m²)

t = nº de segundos em 1 ano (31.536.000 s)
 K = coeficiente que depende do grau de compactação do lixo.

O coeficiente K é obtido da Tabela 6 .

TABELA 6 - VALORES DE K .

PESO ESPECÍFICO DOS RESÍDUOS NO ATERRO	K
0,4 a 0,7 t/m ³	0,25 a 0,5
>0,7 t/m ³	0,15 a 0,25

Um método mais preciso e que deve ser obrigatoriamente utilizado para obras de maior responsabilidade é o Método do Balanço de Água.

Este método pretende representar os fenômenos físicos da percolação em um maciço homogêneo constituído por um material poroso.

Da água que precipita sobre o aterro, parte é devolvida à atmosfera pela evapotranspiração, parte esco superficialmente e o restante se infiltra, podendo ficar retida na camada de cobertura ou produzir um fluxo de percolação quando for atingida a saturação desta camada.

2.2 - Dimensionamento da Rede Sub-Superficial.

O dimensionamento da rede sub-superficial pode ser feito pela utilização da Lei de Darcy. Para essa utilização recomenda-se usar um coeficiente de segurança $C = 1,5$ para o cálculo da vazão de dimensionamento visando com isso compensar:

- medição imprecisa da vazão;
- emprego da Lei de Darcy para escoamentos não laminares;
- perdas de cargas localizadas, e
- infiltração de águas superficiais.

-- Seção Drenante com Tubo Condutor.

Pode ser calculada pela fórmula de Manning

$$Q = \frac{\sqrt{I}}{n} R_h^{2/3}$$

Exemplo: $Q = 7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
tubo circular de cimento liso ou fofa
(0,012)

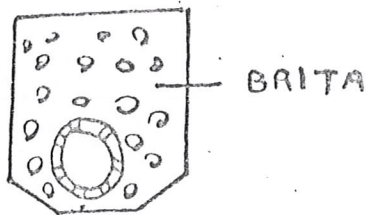
$$i = 1\%$$

operando a 75% do diâmetro

$$\phi = \left[\frac{Q}{2,364} \right]^{0,375}$$

$$\phi = \left[\frac{7 \times 10^{-4}}{2,367} \right]^{0,375}$$

$$\phi = 0,0475 \text{ m (2")}$$



- Seção Drenante Sem Tubo Condutor (Dreno Cego)

Neste caso na utilização da lei de Darcy adotamos o gradiente hidráulico (i) como igual à declividade do dreno.

$$Q = K \cdot i \cdot A$$

Para a mesma vazão anterior e usando brita nº3 (k = 45 cm/s), temos:

$$A = \frac{Q}{K \cdot i} = \frac{700}{45 \times 0,01} = 1560 \text{ cm}^2$$

Fixando a largura do dreno em 40cm (mínimo para a descida de um operário na vala) tem-se :

$$h = \frac{A}{l} = \frac{1560}{40} = 40 \text{ cm}$$

- Equação de Wilkins

O escoamento em drenos de brita se dá em geral na faixa de transição entre o regime laminar, onde vale a lei de Darcy, e o regime turbulento. Nesta faixa o número de Reynolds se situa entre 1 e 3000 ($1,0 < Re < 3000$)

A equação de Wilkins é a seguinte:

$$v = 52,45 \cdot p \cdot R_h^{0,5} \cdot I^{0,54}$$

- V - velocidade média de percolação (cm/s);
- I - declividade do dreno (m/m);
- R_h - raio hidráulico do meio poroso considerado (cm)

$$R_h = \frac{p \cdot D_s}{6(1-p)}$$

p - porosidade do meio (0,40 < p < 0,50)

D_s - diâmetro equivalente

A expressão pode ser escrita, também, da seguinte forma:

$$V = C_v \cdot I^{0,54}$$

onde

$$C_v = 52,45 R_h^{0,5} \cdot p$$

cujos valores são mostrados na Tabela 8

TABELA 8 - VALORES DE C_v, para rochas britadas

BRITA OU CASCALHO	DIÂMETRO NOMINAL (cm)	DIÂMETRO EQUIVALENTE	Rh (cm)			Cv (cm/s)		
			P			P		
			0,40	0,45	0,50	0,40	0,45	0,50
2	2,0	1,52	0,17	0,21	0,25	8,63	10,75	13,21
3	2,5	1,91	0,21	0,26	0,32	9,65	12,02	14,77
4	5,0	3,80	0,42	0,52	0,63	13,62	16,98	20,86
5	7,5	5,46	0,61	0,74	0,91	16,33	20,35	25,00

Para o dimensionamento são necessários os seguintes dados:

- vazão a ser drenada (Q_p)
- declividade do dreno (I), geralmente I >= 2%
- material de preenchimento do dreno, geralmente brita 3,4 ou 5.