

MEMORIAL DE CÁLCULO ATERRO SANITÁRIO DE IPAMERI-GO

Instituto VIDA

Avenida S-1 nº 398 Setor Bueno
Goiânia - GO, 74.230-220

Telefone: (62) 3255-4131
E-mail: contato@institutovida.org.br

SUMÁRIO

1. Elementos Abordados para Dimensionamento	6
2. Determinação da População de Projeto (P)	7
3. Dados de Entrada.....	7
4. Estimativa do Volume Total de Operação do Aterro	8
5. Volume médio de cada trincheira (Vm).....	11
6. Área Média de cada trincheira (Am)	11
7. Comprimento Médio, Superficial e de Base (Cm, Cs e Cb)	12
8. Área Total do Aterro (Ata)	14
9. Dimensões das Células Sanitárias	15
10. Sistema de Drenagem de Águas Pluviais	17
11. Cálculo do Sistema de Drenagem do Percolado.	21
12. Sistema de Tratamento do Percolado.....	24
12.1. Gradeamento	25
12.2. Lagoa Anaeróbica	27
12.3. Lagoas Facultativas	32
13. Cálculo do Sistema de Drenagem dos Gases.	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dimensionamento Lagoa Anaeróbia	31
Figura 2 - Dimensionamento Lagoa Facultativa	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Projeção Populacional para o município de Ipameri.....	7
Tabela 2 - Dados de entrada para o dimensionamento do Aterro.	8
Tabela 3 - Planilha de Cálculo do Dimensionamento do Volume Total a Aterrar.....	10
Tabela 4 - Dimensões da trincheira.	13
Tabela 5 - Valores da área de contribuição total.	19
Tabela 6 - Valores das vazões de drenagem.	19
Tabela 7 - Valores dos diâmetros dos drenos.	21
Tabela 8 - Intervalos referentes ao Tempo de Detenção Hidráulica.....	27
Tabela 9 – Intervalos referentes à Taxa de aplicação volumétrica.....	28
Tabela 10 - Dimensões dos drenos verticais de gases.....	37

MEMORIAL DE CÁLCULO DO ATERRO SANITÁRIO DE IPAMERI

Este documento compõe o projeto de construção e instalação do Aterro Sanitário de Pequeno Porte do município de Ipameri. Este dispõe e apresenta os cálculos dos elementos que compõem um aterro: trincheiras; células sanitárias; sistemas de drenagem de águas superficiais, subterrâneas e de percolado; sistema de tratamento do percolado e área total, para uma população urbana de 29.904 habitantes ao final do projeto.

1. Elementos Abordados para Dimensionamento

Para dimensionar as etapas do aterro sanitário foram desenvolvidos os seguintes cálculos:

- Cálculo da população (horizonte de projeto);
- Cálculo da massa de resíduos gerada e coletada;
- Estimativa do volume a aterrar (resíduos + capeamento);
- Cálculo da massa de resíduo gerada e coletada;
- Estimativa da área total do aterro;
- Cálculo de volume de cada trincheira;
- Cálculo das dimensões de cada trincheira;
- Cálculo das células sanitárias;
- Cálculo da altura das células sanitárias;
- Cálculo da frente de operação;
- Cálculo do sistema do sistema de drenagem de águas pluviais;
- Cálculo dos drenos de água pluviais;
- Cálculo do sistema de drenagem do percolado;
- Cálculo do sistema de tratamento do percolado;
- Cálculo do sistema de drenagem dos gases.

2. Determinação da População de Projeto (P)

A projeção da população do município de Ipameri (GO) para um horizonte de projeto de 20 anos foi determinada através das estimativas do IBGE entre os anos de 2010 a 2014 e, a partir deste ponto através, dos índices de crescimento populacional do IBGE e cálculos da equipe técnica do Instituto VIDA.

Tabela 1 - Projeção Populacional para o município de Ipameri

Ano	População	Ano	População
2010	24.735	2025	27.382
2011	24.903	2026	27.568
2012	25.073	2027	27.756
2013	25.243	2028	27.945
2014	25.415	2029	28.135
2015	25.588	2030	28.326
2016	25.762	2031	28.519
2017	25.937	2032	28.712
2018	26.114	2033	28.908
2019	26.291	2034	29.104
2020	26.470	2035	29.302
2021	26.650	2036	29.501
2022	26.831	2037	29.702
2023	27.014	2038	29.904
2024	27.197		

Fonte: Instituto VIDA

3. Dados de Entrada

Para o desenvolvimento desses cálculos foram necessários alguns dados de entrada, obtidos em literatura especializada, como normas, pesquisas científicas e experimentais e banco de dados de instituições, sejam elas governamentais ou não. Assim sendo, a tabela abaixo mostra os dados de entrada para a proposta de dimensionamento.

Tabela 2 - Dados de entrada para o dimensionamento do Aterro.

Atributo de entrada	Valor
População de início de plano.	25.588 habitantes
População estimada de final de plano.	29.904 habitantes
Método de aterramento.	Trincheira
Horizonte de projeto.	20 anos
Taxa de geração <i>per capita</i> de resíduos a serem aterrados.	0,81 kg/hab.dia
Taxa de crescimento anual da população.	0,68% a.a
Profundidade das trincheiras.	05 metros
Inclinação dos taludes das trincheiras.	1:1
Alcance dos serviços de coleta e transporte, ao longo de todo o horizonte de projeto.	100%
Grau de compactação dos resíduos no aterro.	0,7 t/m ³
Intensidade pluviométrica crítica.	0,000029 m/s
Percentual de material de recobrimento.	20%
Precipitação média anual.	1.349,82 mm/ano

Fonte: Instituto VIDA

4. Estimativa do Volume Total de Operação do Aterro

Para estimar o volume total a ser aterrado determina-se o somatório entre o volume de resíduo compactado disposto no aterro e o solo de solo de recobrimento, ambos em m³ por ano. Por sua vez, o volume de resíduo compactado disposto no aterro é obtido através da razão entre a quantidade de resíduos gerados e coletados e o grau de compactação de resíduos sólidos urbanos no aterro sanitário (0,7 ton. /ano).

Equação 1 - Cálculo do volume de resíduo compactado disposto no aterro.

$$V_c = \frac{Q_c}{G_c}$$

Onde:

V_c = Volume de resíduo compactado disposto no aterro (m³/ano);

Q_c = Quantidade de resíduos gerados e coletados (ton/ano);

G_c = Grau de compactação do aterro (ton/m³);

Para cálculo do volume de solo de recobrimento, adotou-se um percentual de 20% do volume de resíduo compactado disposto no aterro.

Equação 2 - Cálculo do volume de solo de recobrimento.

$$V_r = V_c \left(\frac{m^3}{\text{ano}} \right) \times 0.2$$

Onde:

V_r = Volume de solo de recobrimento (m^3/ano);

V_c = Volume de resíduo compactado disposto no aterro (m^3/ano);

Por fim, a estimativa do volume total se dá com a utilização da equação a seguir.

Equação 3 - Cálculo do volume total de operação do aterro.

$$V_t = V_c + V_r \frac{m^3}{\text{ano}}$$

Onde:

V_t = volume total de operação do aterro (m^3);

V_c = volume de resíduo compactado disposto no aterro (m^3);

V_r = volume de solo de recobrimento (m^3).

São apresentados na Tabela 3, os valores obtidos a partir dos cálculos mencionados.

Tabela 3 - Planilha de Cálculo do Dimensionamento do Volume Total a Aterrar

Ano	População	Atendimento	Resíduo Gerado Coletado		Volume Compactado Disposto no Aterro		Volume do Solo de Recobrimento m³/ano	Volume de Operação do Aterro m³/ano	Volume de Operação Acumulado nas Trincheiras m³
			Kg/dia	ton/ano	m³/dia	m³/ano			
		(%)							
2015	25.588	94	19.482,70	7.111,19	27,83	10.158,84	2.031,77	12.190,61	65.725
2016	25.762	94	19615,19	7.159,54	28,02	10.227,92	2.045,58	12.273,50	131.450
2017	25.937	94	19748,57	7.208,23	28,21	10.297,47	2.059,49	12.356,96	197.175
2018	26.114	96	20.305,90	7.411,65	29,01	10.588,08	2.117,62	12.705,69	262.900
2019	26.291	96	20.443,98	7.462,05	29,21	10.660,07	2.132,01	12.792,09	328.625
2020	26.470	96	20.583,00	7.512,79	29,40	10.732,56	2.146,51	12.879,08	394.350
2021	26.650	96	20.722,96	7.563,88	29,60	10.805,54	2.161,11	12.966,65	460.075
2022	26.831	96	20.863,88	7.615,32	29,81	10.879,02	2.175,80	13.054,83	525.800
2023	27.014	98	21.443,37	7.826,83	30,63	11.181,19	2.236,24	13.417,42	591.525
2024	27.197	98	21.589,19	7.880,05	30,84	11.257,22	2.251,44	13.508,66	657.250
2025	27.382	98	21.735,99	7.933,64	31,05	11.333,77	2.266,75	13.600,52	722.975
2026	27.568	98	21.883,80	7.987,59	31,26	11.410,84	2.282,17	13.693,01	788.700
2027	27.756	98	22.032,61	8.041,90	31,48	11.488,43	2.297,69	13.786,12	854.425
2028	27.945	98	22.182,43	8.096,59	31,69	11.566,55	2.313,31	13.879,86	920.150
2029	28.135	98	22.333,27	8.151,64	31,90	11.645,21	2.329,04	13.974,25	985.875
2030	28.326	98	22.485,14	8.207,08	32,12	11.724,39	2.344,88	14.069,27	1.051.600
2031	28.519	98	22.638,04	8.262,88	32,34	11.804,12	2.360,82	14.164,94	1.117.325
2032	28.712	98	22.791,97	8.319,07	32,56	11.884,39	2.376,88	14.261,26	1.183.050
2033	28.908	100	23.415,27	8.546,57	33,45	12.209,39	2.441,88	14.651,27	1.248.775
2034	29.104	100	23.574,49	8.604,69	33,68	12.292,41	2.458,48	14.750,89	1.314.500
2035	29.302	100	23.734,80	8.663,20	33,91	12.376,00	2.475,20	14.851,20	1.380.225
2036	29.501	100	23.896,19	8.722,11	34,14	12.460,16	2.492,03	14.952,19	1.445.950
2037	29.702	100	24.058,69	8.781,42	34,37	12.544,89	2.508,98	15.053,86	1.511.675
2038	29.904	100	24.222,29	8.841,13	34,60	12.630,19	2.526,04	15.156,23	1.577.400

Fonte: Instituto VIDA.

5. Volume médio de cada trincheira (Vm)

O tempo de operação médio de cada trincheira será 4 anos. Sendo assim, o aterro sanitário do município de Ipameri terá 5 trincheiras até o encerramento das atividades do mesmo. De posse do valor referente ao volume final de operação acumulado no aterro e da quantidade total de trincheiras necessárias, pode-se calcular o volume médio de cada trincheira, conforme a equação a seguir.

Equação 4 - Cálculo do volume médio de cada trincheira.

$$V_m = \frac{V_a}{N_t}$$

Onde:

V_m = volume médio de cada trincheira (m³);

V_a = volume final de operação acumulado no aterro (m³);

N_t = Número de trincheiras.

Cálculo:

$$V_m = 328.990,37 \text{ m}^3 / 5$$

$$V_m = 65.798 \text{ m}^3$$

6. Área Média de cada trincheira (Am)

A área média de cada trincheira pode ser calculada com a seguinte fórmula:

Equação 5 - Cálculo da área média de cada trincheira.

$$A_m = \frac{V_m}{H}$$

Onde:

A_m = Área média (m²);

V_m = Volume médio de cada trincheira (m³);

H = Altura de cada trincheira (m).

Cálculo:

$$A_m = 65.798 \text{ m}^3 / 5$$

$$A_m = 13.160 \text{ m}^2$$

7. Comprimento Médio, Superficial e de Base (C_m, C_s e C_b)

As dimensões de cada trincheira foram determinadas levando em consideração a forma de um paralelogramo, a largura de base da trincheira acima de 12 m (espaço mínimo para acesso de um caminhão e um trator juntos) e a inclinação dos taludes (função das características do solo) considerando igual a 1 (v):1 (h). A equação segue da seguinte forma:

Equação 6 - Cálculo do comprimento médio da trincheira.

$$C_m = \frac{A_m}{L_m}$$

Onde:

A_m = Área unitária da trincheira (m²);

L_m = Largura de meio da trincheira (m);

C_m = Comprimento de meio da trincheira (m).

Cálculo:

$$C_m = 13.160 \text{ m}^2 / 55 \text{ m}$$

$$C_m = 239 \text{ m.}$$

As dimensões de base (L_b e C_b) e de superfície (L_s e C_s) foram encontradas em função da inclinação dos taludes, partindo das dimensões de meio (L_m e C_m). Vale indicar que a profundidade da trincheira de 5 metros atendeu a NBR 15.849/2010 e que a inclinação considerada foi de 1:1. As citadas dimensões são apresentadas a seguir:

Tabela 4 - Dimensões da trincheira.

Largura superior	60 m	Comprimento superior	244 m
Largura média	55 m	Comprimento médio	239 m
Largura de fundo	50 m	Comprimento de fundo	234 m

Fonte: Instituto VIDA

Nesse caso, para a obtenção da largura média foi acrescido um valor de 2,5 metros para cada lateral após a largura de fundo. Cálculo semelhante foi realizado para a largura superior, porém, foi acrescido um valor de 2,5 metros para cada lateral após a largura média.

O volume útil de cada trincheira depende dessas dimensões, conforme a seguinte formulação:

Equação 7 - Cálculo do volume útil de cada trincheira.

$$V_u = C_m \times L_m \times H$$

Onde:

V_u = Volume útil de cada trincheira (m^3);

L_m = Largura média da trincheira (m);

C_m = Comprimento de meio da trincheira (m);

H = Altura da trincheira (m).

Cálculo:

$$V_u = 239 \text{ m} \times 55 \text{ m} \times 5 \text{ m}$$

$$V_u = 65.725 \text{ m}^3$$

8. Área Total do Aterro (Ata)

A área total do aterro depende do somatório entre a área necessária para as trincheiras e a área designada para as demais estruturas. Em geral, estipula-se que essas estruturas ocupem em média 40% da área total do aterro. Sendo assim, a estimativa total da área do aterro é obtida pelos cálculos a seguir:

- Área superficial total das trincheiras:

Equação 8 - Cálculo da área superficial das trincheiras.

$$A_s = L_s \times C_s \times N_t$$

Onde:

A_s = Área superficial total das trincheiras (m²);

L_s = Largura Superficial (m);

C_s = Comprimento superficial (m);

N_t = Número de trincheiras;

Cálculo:

$$A_s = 60 \text{ m} \times 238,7211 \text{ m} \times 5$$

$$A_s = 71.616,33 \text{ m}^2$$

- Área total para as demais estruturas: 40%.
- Área total do aterro (Ata):

Equação 9 - Cálculo da área total do aterro.

$$A_{ta} = A_s \times 1,4$$

Onde:

Ata = Área total do aterro (m²);

As = Área superficial das trincheiras (m²);

1,4 = acréscimo de 40% de áreas de apoio.

Cálculo:

$$Ata = 71.616,33 \times 1,4$$

$$Ata = 100.263 \text{ m}^2$$

$$Ata = 10,026 \text{ ha}$$

9. Dimensões das Células Sanitárias

As células sanitárias são locais determinados para a disposição dos resíduos nas trincheiras. O dimensionamento dessas unidades considera o volume de resíduos gerados diariamente, de forma a obter o melhor desempenho na compactação e alocação desses resíduos. Assim, a metodologia determinante para as dimensões das células sanitárias é expressa da seguinte maneira:

O volume de resíduos nas células sanitárias é dado por m³. Com esse valor, foi possível calcular a altura da célula sanitária, como demonstrado na equação 10.

Equação 10 - Cálculo da altura da célula sanitária.

$$h = \left(\frac{Vc}{p^2}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Onde:

h = Altura da célula (m);

Vc = Volume de resíduos nas células sanitárias (m³);

p = inclinação da rampa de trabalho do trator (1:3).

Cálculo

$$h = (-)^{\frac{1}{3}}$$

$$h = m$$

Com o intuito de obter a área mínima de cobertura considerou-se que a frente de operação tenha a mesma medida da profundidade da célula sanitária. Desse modo, para encontrar a medida da frente de operação considerou-se a seguinte fórmula:

Equação 11 - Cálculo da frente de operação.

$$V_c = b^2 \times h$$

Onde:

b = Frente de operação (m);

V_c = Volume de resíduos nas células sanitárias (m³);

h = Altura da célula (m).

Cálculo:

10. Sistema de Drenagem de Águas Pluviais

O sistema de drenagem de águas pluviais deve ser dimensionado de forma a reduzir a entrada de águas de chuva para o interior do aterro, minimizando a geração de líquidos lixiviados e o escoamento superficial. Nesse sentido, são instaladas estruturas hidráulicas para a coleta e a condução de águas em três áreas específicas: na área total do aterro, em cada trincheira e nas lagoas de estabilização.

O dimensionamento do sistema de drenagem pluvial de todas essas áreas seguiu a mesma metodologia. Portanto, as vazões foram calculadas pelo método racional, sendo este válido para bacias até 50 hectares e que consiste em:

Equação 12 - Cálculo da vazão pelo método racional.

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

Onde:

Q = Vazão suportada pelo canal (m³/s);

C = Coeficiente de escoamento superficial;

i = Intensidade da chuva crítica (m/s);

A = área de contribuição total (m²).

O coeficiente de escoamento superficial (C) é em função do tipo e uso do solo, e este é um dado tabelado. Considerando o tempo de retorno do projeto de 10 anos e uma superfície gramada com declividade média entre 2 e 7%, o coeficiente de escoamento superficial adotado é 0,38. (Chow et al., 1988).

A intensidade de chuva crítica para essa região é de 104,86 mm/h \approx 0,000029 m/s. Esse valor foi determinado conforme equação IDF específica para o município de Ipameri (PEREIRA, DUARTE & SARMENTO, 2017), em que:

Equação 13 - Cálculo de intensidade de chuva crítica para o município de Ipameri.

$$i = \frac{881,7487 \times T_r^{0,1333}}{(t+10,5332)^{0,7519}}$$

Onde:

i = Intensidade da chuva crítica (mm/h);

T_r = Tempo de recorrência (anos);

t = Duração de chuva (minutos)

A área de contribuição total corresponde à soma da área da superfície considerada e a área de contribuição da bacia hidrográfica. Os valores finais foram dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores da área de contribuição total.

	Área da superfície considerada	Área de contribuição da bacia	Área de contribuição total
Área total do aterro	125.623,38	1.217,78	126.841,00
Trincheira	14.323,00	1.217,78	15.541,00
Lagoas	547,35	1.217,78	1.765,00

Fonte: Instituto VIDA

Aplicando os valores do coeficiente de escoamento superficial, da intensidade de chuva crítica e das áreas de contribuição no método racional (equação 10), foi possível obter os resultados das vazões referentes à drenagem de águas pluviais, como apresentado a seguir.

Tabela 6 - Valores das vazões de drenagem.

Vazão de drenagem da área total do aterro (m ³ /s)	1,404
Vazão de drenagem da área da trincheira (m ³ /s)	0,172
Vazão de drenagem da área das lagoas (m ³ /s)	0,020

Fonte: Instituto VIDA

Para o cálculo dos drenos utilizou-se a equação de Chézy-Manning:

Equação 14 - Fórmula de Chézy-Manning.

$$Q = \frac{1}{n} \times S \times Rh^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

Q = Vazão suportada pelo canal (m³/s);

n = Coeficiente de rugosidade do canal (valor tabelado);

S = Área da seção molhada transversal ocupada pelo líquido (m^2);

R_h = Raio hidráulico da seção (m);

i = Declividade do canal.

Considerando que em todas as áreas serão utilizadas canalizações com meia cana de concreto, adaptou-se a equação 12 da seguinte maneira:

Equação 15 - Fórmula de Chézy-Manning adaptada.

$$Q = \frac{1}{n} \times \frac{\pi D^2}{8} \times \left(\frac{D}{4}\right)^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}}$$

Isolando o D, temos:

Equação 16 - Fórmula de Chézy-Manning adaptada para obtenção do diâmetro.

$$D = \left(\frac{Q \times n \times 8 \times 4^{\frac{2}{3}}}{\pi \times i^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

Onde:

Q = Vazão suportada pelo canal (m^3/s);

n = Coeficiente de rugosidade do canal;

D = Diâmetro calculado (m);

i = Declividade do canal.

O coeficiente de rugosidade do canal foi de 0,013, valor adotado para tubo de concreto em boas condições de uso. A declividade de todas as áreas foi considerada como 2%, como recomendado em literatura. De posse desses valores de entrada, calculou-se os diâmetros das canalizações, cujos valores são apresentados na Tabela a seguir:

Tabela 7 - Valores dos diâmetros dos drenos.

Diâmetro do dreno para a área total do aterro (m)	0,932
Diâmetro do dreno para a área da trincheira (m)	0,424
Diâmetro do dreno para a área das lagoas (m)	0,188

Fonte: Instituto VIDA

Por ser necessária a consideração de diâmetros comerciais, adotou-se os valores de 1.000 mm, 600 mm e 200 mm, respectivamente, sendo estes os valores mais próximos encontrados para as canaletas.

11. Cálculo do Sistema de Drenagem do Percolado.

A determinação da vazão do percolado foi obtida através do método suíço, bastante utilizado nesse tipo de dimensionamento, que é representado pela seguinte equação:

Equação 17 - Cálculo da vazão do percolado pelo método suíço.

$$Q_p = P \times A \times K \times \frac{1}{t}$$

Onde:

Q_p = Vazão média do percolado (m^3/s);

P = Precipitação média anual (mm);

K = Coeficiente do grau de compactação;

t = Número de segundo em um ano (31.536.000 s/ano).

Cálculo:

$$Q_p = (1.349,82 / 1.000) \times 14.323 \times 0,35 \times (1 / 31.536.000)$$

$$Q_p = 0,000214575 \text{ m}^3/s$$

$$Q_p = 0,214575 \text{ L/s}$$

$$Q_p = 18,54 \text{ m}^3/\text{dia}$$

A partir dessa vazão, pode-se realizar o dimensionamento de drenos cegos, por meio da lei de Darcy, em que:

Equação 18 - Cálculo da área dos drenos a partir da lei de Darcy.

$$A = \frac{Q_p}{K \times i}$$

Onde:

A = Área da seção do canal (m²);

Q_p = Vazão média do percolado (m³/s);

K = Velocidade de escoamento do percolado pelo dreno (m/s);

i = Declividade do canal.

Cálculo:

$$A = 0,000214575 \text{ (m}^3/\text{s)} / (0,5 \times 0,02)$$

$$A = 0,0215 \text{ m}^2.$$

O cálculo da área possibilita a obtenção do diâmetro, conforme o seguinte equacionamento:

Equação 19 - Cálculo do diâmetro dos drenos.

$$D = \sqrt{\frac{A \times 4}{\pi}}$$

Onde:

D = Diâmetro (m);

A = Área da seção (m²);

Cálculo:

$$D = \sqrt{\frac{0,0215 \times 4}{\pi}}$$

D = 0,17 m.

Por ser necessária a consideração de um diâmetro comercial, adotou-se o valor de 200 mm.

Seguindo recomendações da NBR 13.896 (ABNT, 1997), será considerado uma altura máxima do chorume equivalente a 0,30 metros. Nesse sentido, utilizou-se a fórmula de Koerner (1996) para se obter o espaçamento entre os drenos, sendo expressa por:

Equação 20 - Fórmula de Koerner para o cálculo do espaçamento entre os drenos.

$$h_{\text{máx}} = \frac{S\sqrt{c}}{2} \left[\frac{\tan^2 \alpha}{c} + 1 - \frac{\tan \alpha}{c} \sqrt{\tan^2 \alpha + c} \right]$$

Onde:

$h_{\text{máx}}$ = Altura máxima do chorume (m);

S = Espaçamento entre os drenos (m);

c = Relação entre vazão específica (0,00000001498 m³/s) e condutividade hidráulica da areia fina (0,0001 m/s);

α = Ângulo de declividade entre os drenos (rad).

Cálculo:

$$0,30 = \frac{S\sqrt{0,0001}}{2} \left[\frac{\tan^2(0,02)}{0,0001} + 1 - \frac{\tan(0,02)}{0,0001} 0,0001 \right]$$

S = 91 m.

A alocação do dreno de percolado se dará no fundo de cada trincheira, o que requer que o espaçamento entre os drenos seja compatível com a largura de fundo dessa estrutura. Como a largura de fundo é inferior ao espaçamento calculado, será necessário apenas um dreno de percolado em cada trincheira.

12. Sistema de Tratamento do Percolado

Na concepção do projeto optou-se por um tratamento biológico por lagoas de estabilização, pois esse se trata de uma tecnologia bem difundida, menos onerosa, fácil manutenção e operação e bastante usada no tratamento desse tipo de resíduo líquido.

Em suma os parâmetros dos elementos que serão observados nesse tipo de tratamento são DBO e DQO, pois esses para serem lançados em corpos d' água devem atender ao exposto na lei 8.544 (GOIÁS, 1978) e na resolução 430 (CONAMA, 2011).

No entanto pode-se optar durante a operação do aterro de pequeno porte pela recirculação do efluente gerado na lagoa de polimento por meio de caminhão-pipa. Nesse processo, perde-se a toxicidade (basicamente carga orgânica), pelo fato de estar sendo aerado e também pela ação biológica dos microrganismos presentes na massa de lixo.

12.1. Gradeamento

O gradeamento é um sistema constituído de barras paralelas responsáveis por remover sólidos que poderiam obstruir as estruturas ou equipamentos da estação de tratamento do percolado. O dimensionamento do gradeamento leva em consideração as características do efluente, à medida que, quanto menor as dimensões dos sólidos presentes no percolado, menor será o espaçamento necessário entre as barras paralelas. Tendo em vista que os sólidos presentes nessa etapa serão pequenos, considerou-se gradeamento do tipo fino, com espaçamento de 20 mm e espessura de 9,5 mm, conforme demonstrados por Jordão e Pessoa (2009).

Tipo de grade	Espaçamento entre as barras (mm)	Dimensões do gradeamento (mm)
Grades grosseiras	40 a 100	9,5 x 50,0 9,5 x 63,5 12,7 x 38,1 12,7 x 50
Grades médias	20 a 40	7,9 x 50,0 9,5 x 38,1 9,5 x 50,0
Grades finas	10 a 20	6,4 x 38,1 7,9 x 38,1 9,5 x 38,1

Fonte: Adaptado de Jordão e Pessoa (2009).

A eficiência desse sistema pode ser calculada por uma relação entre o espaçamento e as dimensões adotadas, expressa por:

Equação 21 - Cálculo da Eficiência das Grades.

$$E = \frac{a}{a + t}$$

Onde:

E = Eficiência das grades;

a = Espaçamento entre as barras (m);

t = Espessura das barras (m).

Cálculo

$$E = 0,02 / (0,02 + 0,0095)$$

$$E = 0,68$$

A área útil necessária ao sistema pode ser definida como o somatório da área ocupada pelas barras e a área livre entre as barras. Porém, quando se conhece o volume de efluente a tratar, a área útil do gradeamento também pode ser obtida pela razão entre a vazão máxima de efluente e pela velocidade de passagem do percolado, sendo que para este último a NBR 12208 recomenda o uso da velocidade máxima de 1,20 m/s para vazão afluente final.

No entanto, o dimensionamento do canal de gradeamento foi comprometido dado ao baixo valor de vazão de projeto. Optou-se, então, por adotar uma largura e altura de 30 centímetros, a fim de garantir a operação do sistema de grades. Além disso, para o comprimento das grades se adotou um valor de 45 centímetros. Essas dimensões foram adotadas com base na tubulação de drenagem, de forma a impedir a que o percolado extravase pelas bordas do canal.

Ademais, a NBR 12.208 recomenda ainda que a limpeza mecanizada das grades só ocorra em sistemas cuja vazão afluente final seja igual ou superior a 250 L/s. Como a vazão de projeto é inferior a esse valor, será utilizada limpeza manual adotando os seguintes critérios: inclinação em relação à horizontal de 45°; e perda de carga mínima de 0,15 metros.

12.2. Lagoa Anaeróbica

O dimensionamento da Lagoa Anaeróbica foi baseado no tempo de detenção hidráulica (TDH), sendo este entendido como o tempo necessário para a reprodução das bactérias anaeróbicas – em geral, de 3 a 6 dias. O valor adotado neste projeto é de 3 dias, haja visto que a temperatura média mensal é de 24 °C e a remoção de DBO é de 60%, dados os seguintes critérios:

Tabela 8 - Intervalos referentes ao Tempo de Detenção Hidráulica.

Temperatura média mensal (°C)	Tempo de Detenção Hidráulica (dias)	Remoção de DBO ₅ (%)
10 – 15	4 – 5	30 – 40
15 – 20	3 – 4	40 – 50
20 - 25	2,5 – 3	50 – 60
25 - 30	2 - 5	60 - 70

Fonte: DA SILVA, 2017.

Para garantia da condição anaeróbia, considerou-se que a DBO efluente no início de plano equivale a 10.000 g/m³. Sendo assim, calculou-se a carga de DBO (L) da seguinte maneira:

Equação 22 - Cálculo da carga de DBO.

$$L = \frac{DBO \times Q \times 60 \times 60 \times 24}{1000}$$

Onde:

L = Carga de DBO (kg DBO/dia);

DBO = 10.000 (g/m³);

Q = Vazão de percolado (m³/s).

Cálculo:

$$L = (10.000/1.000) \times (0,000214575 \times 60 \times 60 \times 24)$$

$$L = 185 \text{ kg DBO/dia}$$

A estabilização dessa carga de DBO aplicada depende da determinação do volume da Lagoa, em função da taxa de aplicação volumétrica. Nesse caso, para uma temperatura média mensal de 24 °C, a Taxa de Aplicação Volumétrica (L_v) será de 300 g DBO/m³.dia., obtida pela análise da Tabela a seguir:

Tabela 9 – Intervalos referentes à Taxa de aplicação volumétrica.

Temperatura média mensal (°C)	Taxa de aplicação volumétrica (g DBO/m ³ .dia)	Remoção de DBO ₅ (%)
< 10	100	40
10 - 20	20.T - 100	2.T + 20
> 20	300	60

Fonte: DA SILVA, 2017.

Logo, calculou-se o volume requerido conforme exposto a seguir:

Equação 23 - Cálculo do volume da Lagoa.

$$V_a = \frac{L}{L_v}$$

Onde:

V_a = Volume da Lagoa Anaeróbica (m³);

L = Carga de DBO (kg DBO/dia);

L_v = Taxa de aplicação volumétrica (kg DBO/m³.dia).

Cálculo:

$$V_a = (185 \text{ kg/dia}) / (0,3 \text{ Kg/m}^3 \times \text{dia})$$

$$V_a = 618 \text{ m}^3.$$

A obtenção do volume da lagoa anaeróbica permite a definição da área superficial e das dimensões da lagoa. É recomendado que a profundidade seja de 3,5 a 5 metros, considerando, para os devidos cálculos, o valor de 3,5 metros. Outra consideração realizada a fim de otimizar a distribuição do percolado na lagoa, refere-se à relação comprimento/largura igual a 3.

Equação 24 - Cálculo da área superficial da Lagoa Anaeróbica.

$$A_s = \frac{V_a}{h}$$

Onde:

A = Área da Lagoa Anaeróbica (m²);

h = Profundidade (m) adotada;

L = Largura da lagoa (m).

Cálculo:

$$A_s = 618 \text{ m}^3 / 3,5 \text{ m}$$

$$A_s = 176,6 \text{ m}^2.$$

Equação 25 - Cálculo da largura da Lagoa Anaeróbica.

$$A = L^2 L^2 = \frac{As}{3}$$

Onde:

L = Largura da Lagoa Anaeróbica (m);

As = Área superficial da Lagoa Anaeróbica (m²).

Cálculo:

$$L = (176,6/3)^{(1/2)}$$

$$L = 7,67 \text{ m} \approx 8 \text{ m.}$$

Equação 26 - Cálculo do comprimento da Lagoa.

$$A = L^2 C = \frac{As}{L}$$

Onde:

C = Comprimento da Lagoa Anaeróbica (m);

As = Área superficial da Lagoa Anaeróbica (m²);

L = Largura da Lagoa Anaeróbica (m).

Cálculo:

$$C = 176,6 / 8$$

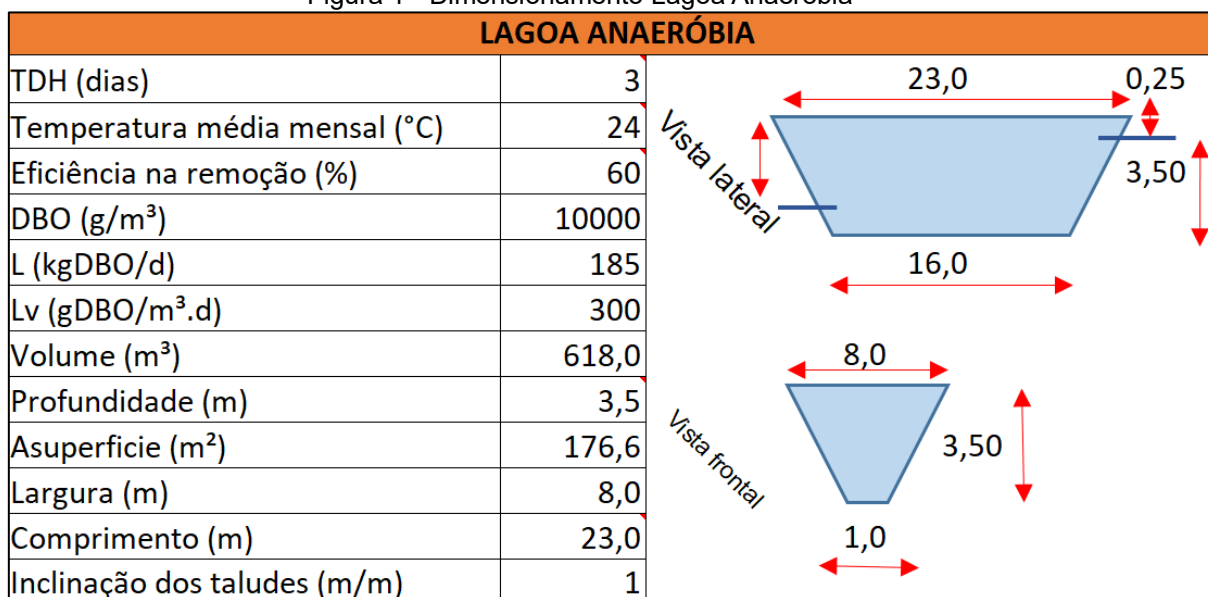
$$C = 22,075 \text{ m} \approx 23 \text{ m.}$$

Recomenda-se que os dispositivos de entrada e saída devem ser posicionados de forma que a direção dos ventos dominantes ocorra no sentido da saída para entrada.

As lagoas devem ser limpas quando a camada de lodo atingir aproximadamente 1/3 da altura útil (cm), sendo essa altura a recomendada para o posicionamento dos tubos. Outra consideração feita é a de que a tubulação de saída deverá estar submersa a 10 cm da lâmina d'água e em sentido contrário ao da entrada.

A Figura 1 apresenta os dimensionamentos e o croqui da Lagoa Anaeróbia.

Figura 1 - Dimensionamento Lagoa Anaeróbia



Fonte: Instituto VIDA

- Concentração de DBO5 20 adotada para o percolado no início de projeto 10.000 mg/L;
- Concentração de DBO5 20 adotada para o percolado na meia vida de projeto 5.000 mg/L;
- Concentração de DBO5 20 adotada para o percolado no final de projeto 2.500 mg/L;
- Vazão de início de projeto (Qi) 0,000215 m³/s (\cong m³ /dia);

- Vazão final de projeto (Qf) 0,005150 m³/s (\cong m³ /dia);
- Carga Orgânica inicial do projeto (Li) 185 Kg/dia;
- Carga Orgânica final do projeto (Lf) 1.112 Kg/dia;
- Taxa de aplicação volumétrica (Lv) adotada, relacionada com a temperatura da região e garantindo uma margem de segurança: 0,3 Kg DBO/m³ /dia;
- Inclinação adotada para os taludes internos 1:1.
- Eficiência de remoção da DBO da Lagoa Anaeróbia (E) 60% (adotada).

12.3. Lagoas Facultativas

O dimensionamento da Lagoa Facultativa requer a consideração do tempo de detenção hidráulica (TDH), definido como o tempo necessário para que os microrganismos realizem a estabilização da matéria orgânica – em geral, de 15 a 45 dias. Adotou-se, portanto, um valor equivalente a 40 dias.

O TDH é utilizado para o cálculo do volume da Lagoa Facultativa, sendo tal relação expressa por:

Equação 27 - Cálculo do volume da Lagoa Facultativa.

$$V_f = Q \times 60 \times 60 \times 24 \times TDH$$

Onde:

V_f = Volume da Lagoa Facultativa (m³);

Q = Vazão do percolado (m³/s);

TDH = Tempo de detenção hidráulica da Lagoa Facultativa (dias).

Cálculo:

$$V_f = 0,000214575 \times 60 \times 60 \times 24 \times 40$$

$$V_f = 741,6 \text{ m}^3.$$

A área requerida para a Lagoa Facultativa é obtida através da relação entre volume e profundidade. A coerência entre tais variáveis segue a tendência de se adotar lagoas não muito rasas, sendo recomendada uma profundidade em torno de 1,5 a 3,0 metros. Assumiu-se, então, que a profundidade da Lagoa Facultativa é de 2,0 metros. É apresentado a seguir, o cálculo da área superficial da Lagoa.

Equação 28 - Cálculo da área superficial da Lagoa Facultativa.

$$A_s = \frac{V_f}{H}$$

Onde:

A_s = Área superficial da Lagoa Facultativa (m^2);

V_f = Volume da Lagoa Facultativa (m^3);

H = Profundidade da Lagoa Facultativa (m).

Cálculo:

$$A_s = 741,6 / 2,0$$

$$A_s = 370,8 \text{ m}^2.$$

As dimensões da Lagoa Facultativa seguem a mesma relação mencionada no item 11.1, de forma que a razão entre comprimento e largura tem valor igual a 3. Sendo assim, os cálculos referentes a largura e comprimento da Lagoa Facultativa são apresentados a seguir.

Equação 29 - Cálculo da largura da Lagoa Facultativa.

$$A = L^2 \cdot 3 = \frac{As}{3}$$

Onde:

L = Largura da Lagoa Facultativa (m);

As = Área superficial da Lagoa Facultativa (m²).

Cálculo:

$$L = (370,8 / 3)^{(1/2)}$$

$$L = 11,12 \text{ m} \approx 12 \text{ m.}$$

Equação 30 - Cálculo do comprimento da Lagoa Facultativa.

$$A = L^2 \cdot C = \frac{As}{L}$$

Onde:

C = Comprimento da Lagoa Facultativa (m);

As = Área superficial da Lagoa Facultativa (m²);

L = Largura da Lagoa Facultativa (m).

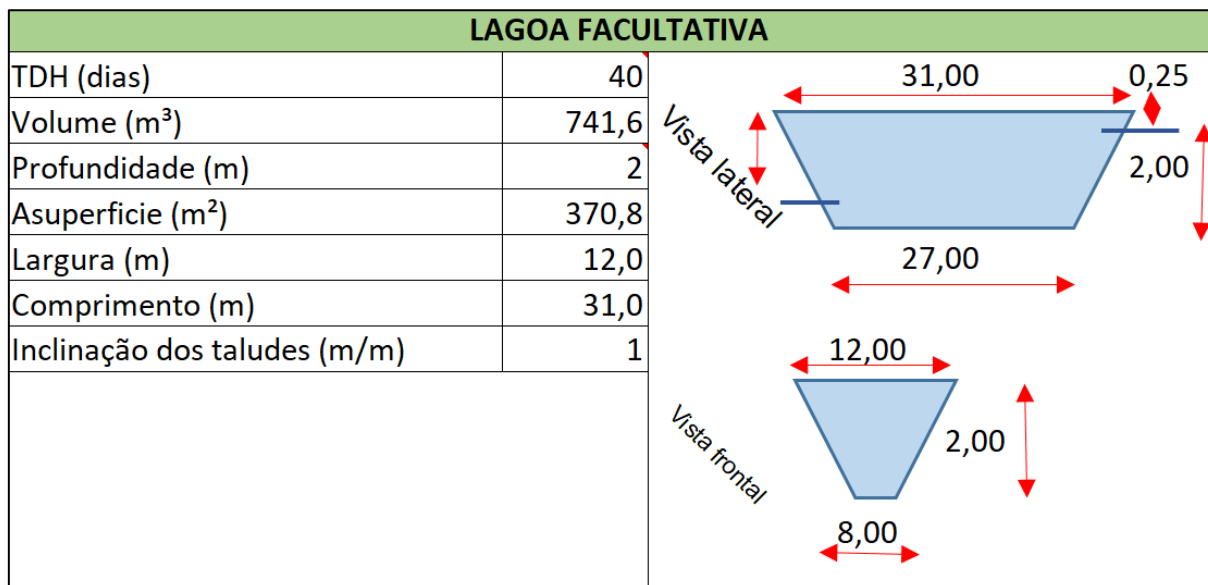
Cálculo:

$$C = 370,8 / 12$$

$$C = 30,9 \text{ m} \approx 31 \text{ m.}$$

A Figura 2 apresenta os dimensionamentos e o croqui da Lagoa Facultativa.

Figura 2 - Dimensionamento Lagoa Facultativa



Fonte: Instituto VIDA.

O cálculo da eficiência da lagoa facultativa assumiu que o sistema segue o modelo de mistura completa, uma vez que o dimensionamento desse reator requer um fator de segurança. O modelo de mistura completa é expresso por:

Equação 31 - Modelo de mistura completa.

$$C_e = \frac{C_o}{(1+Kt)^n}$$

Onde:

Ce, Co = Concentrações de substratos efluente e afluyente às lagoas;

K = constante de remoção do substrato da lagoa de estabilização (0,33/d);

t = Tempo de detenção hidráulica na lagoa individual;

n = Número de lagoas em série.

Cálculo:

$$C_e = 10.000 / (1 + (0,33 * 40))$$

$$C_e = 702,74$$

Por fim, a eficiência da Lagoa Facultativa no final de plano é indicada a seguir.

Equação 32 - Cálculo da Eficiência da Lagoa Facultativa.

$$E = 1 - \frac{C_e}{DBO_f}$$

Onde:

E = eficiência da Lagoa Facultativa (%).

Cálculo:

$$E = 1 - (702,74/2500)$$

$$E = 72\%$$

13. Cálculo do Sistema de Drenagem dos Gases.

O sistema de drenagem dos gases objetiva o controle de direcionamento e migração dos gases. Para tanto, são dimensionados drenos verticais interligados aos drenos do percolado para facilitar a retirada do gás dos aterros, tornando a drenagem mais eficiente.

A metodologia para o cálculo do sistema de drenagem de gases foi a mesma utilizada no item 10, referente ao sistema de drenagem de percolado. Dessa forma, o dimensionamento seguiu as equações 15 a 17, sendo os valores de entrada já especificados no item mencionado.

Dada a necessidade de que esses drenos percorram desde o sistema de impermeabilização da base até acima da cota de piso da camada de cobertura, considerou-se uma profundidade superior à altura das trincheiras, uma vez que se deve evitar a entrada de detritos nessas estruturas. Sendo assim, projetou-se drenos verticais com as seguintes dimensões:

Tabela 10 - Dimensões dos drenos verticais de gases.

Altura do dreno (m)	6,0
Diâmetro calculado (m)	0,17
Diâmetro comercial adotado (m)	0,20

Fonte: Instituto VIDA

Foram considerados 5 sistemas de drenagem de gases em cada trincheira, sendo que cada dreno deve ser constituído por 6 tubos perfurados com 1 metro de altura. Além disso, é necessário que esses tubos sejam envoltos por uma espessura de brita igual ao diâmetro utilizado. Nesse projeto, o material utilizado para o revestimento dos drenos é a brita nº 4.