

ESCOLHA DE UMA ÁREA PARA DISPOSIÇÃO FINAL DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E DIMENSIONAMENTO DE UM  
ATERRO SANITÁRIO PARA A CIDADE DE CAMPOS DOS  
GOYTACAZES/RJ

**EDIMAR BATISTA CURTY**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES  
SETEMBRO - 2005

ESCOLHA DE UMA ÁREA PARA DISPOSIÇÃO FINAL DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E DIMENSIONAMENTO DE UM  
ATERRO SANITÁRIO PARA A CIDADE DE CAMPOS DOS  
GOYTACAZES/RJ

**EDIMAR BATISTA CURTY**

“Projeto Final apresentado ao  
Laboratório de Engenharia Civil da  
Universidade Estadual do Norte  
Fluminense, como parte das  
Exigências para obtenção do título  
De Engenheiro Civil.”

Orientador: Prof. Frederico Terra de Almeida

Co-Orientador: Prof. Sérgio Tibana

CAMPOS DOS GOYTACAZES  
SETEMBRO - 2005

ESCOLHA DE UMA ÁREA PARA DISPOSIÇÃO FINAL DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E DIMENSIONAMENTO DE UM  
ATERRO SANITÁRIO PARA A CIDADE DE CAMPOS DOS  
GOYTACAZES/RJ

**EDIMAR BATISTA CURTY**

“Projeto Final apresentado ao  
Laboratório de Engenharia Civil da  
Universidade Estadual do Norte  
Fluminense, como parte das  
Exigências para obtenção do título  
De Engenheiro Civil.”

Aprovado em 29 de setembro de 2005.

Comissão Examinadora:

---

Prof. Elias Lira dos Santos Júnior (M.Sc., Engenharia Civil) – UENF.

---

Prof. Paulo César de Almeida Maia (D.Sc., Engenharia Civil) – UENF.

---

Prof. Sérgio Tibana (D.Sc., Engenharia Civil) – UENF.  
Co-Orientador

---

Prof. Frederico Terra de Almeida (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF.  
Orientador

CAMPOS DOS GOYTACAZES  
SETEMBRO – 2005

## DEDICATÓRIA

*“A lição mais importante que se pode aprender quando se vence é que se pode” Dave Weinbaum em Forbes*

Dedico essa conquista à minha família; aos meus pais, Denair Batista Curty e Elizeu Ribeiro da Silva por estarem sempre ao meu lado e me incentivando apesar de todas as dificuldades impostas pela vida, a minha irmã Simone Batista Curty e a minha sobrinha Eliane Batista Curty por fazerem parte da minha história.

Dedico também a minha avó Lourdes Curty (*in memorium*) pelo afeto e carinho de que tanto sinto falta.

E a minha amiga, companheira e namorada Fátima Aparecida de Freitas por me incentivar sempre, mesmo quando o desânimo insistia em me atormentar.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me fortalecido nos momentos mais difíceis dessa caminhada, onde, graças a ELE, consegui superar todos os obstáculos que me foram impostos e dessa forma estar realizando um sonho de infância.

Ao meu orientador Frederico Terra de Almeida e co-orientador Sérgio Tibana pelas constantes críticas as quais hoje tenho como lição de vida.

Agradeço ao meu amigo-irmão Hornis França Gomes Rosa que me acompanhou seja nos momentos de alegria, seja nos momentos de grandes dificuldades.

Ao meu grande amigo de infância Elvis Poes Montes que sempre estava lá para me escutar nas vezes em que me encontrava confuso.

Ao meu amigo, professor e conselheiro Nicanor de Jesus e sua esposa pela motivação e voto de confiança depositado em mim quando ainda estava iniciando a minha longa jornada.

Ao Laboratório de Geoprocessamento do LECIV/UENF, em especial ao Romeu Coridola e Luziane Ribeiro, por terem cedido gentilmente os mapas necessários ao projeto.

À empresa responsável pela coleta de lixo em Campos, Queiroz Galvão, em especial aos encarregados Renato, Padilha e José Roberto, este último da Usina de Reciclagem de Santo Amaro, pela colaboração.

E também agradeço a todos, que direta ou indiretamente, tenham contribuído para que eu possa ter vencido mais essa etapa da minha vida.

## RESUMO

A destinação final dos resíduos sólidos gerados em áreas urbanas constitui-se em um dos grandes problemas da gestão pública em todo o mundo, não apenas devido à quantidade diária de lixo acumulada, mas também pelo impacto que causa ao meio ambiente. Desta forma, neste trabalho, procurou-se desenvolver um estudo para escolha de uma área para disposição final dos resíduos sólidos urbanos na cidade de Campos dos Goytacazes/RJ e nesta área dimensionar um aterro sanitário com vida útil de 20 anos, tendo as suas células 5,0 m de altura. Foram analisadas três áreas tendo como base os requisitos necessários para que se possa construir um aterro sanitário, e após comparação foi escolhida uma área localizada próxima à rodovia Campos – São Fidélis Km 13, sendo a que mais atendeu aos critérios de pré-seleção. Como processo seguinte à escolha da área, buscou-se dados da cidade em questão (como população, taxa de crescimento, área) e sobre os resíduos sólidos desta (peso específico, composição gravimétrica, produção diária), e em posse desses dados elaborou-se o projeto de dimensionamento do aterro sanitário seguindo as recomendações da norma brasileira (NBR 8419, 1992). Fazendo parte do projeto o dimensionamento geométrico, geotécnico e estrutural, além das infraestruturas de proteção ambiental.

**PALAVRAS – CHAVE:** resíduos sólidos urbanos; escolha de área para disposição final; aterro sanitário; dimensionamento.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>1 – Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>2 – Resíduos sólidos.....</b>	<b>2</b>
2.1 – Definição.....	2
2.2 – Classificação.....	3
2.3 – Métodos de Tratamento.....	4
2.4 – Caracterização da Disposição.....	4
<b>3 – O Município de Campos dos Goytacazes/RJ.....</b>	<b>7</b>
3.1 – Informações Gerais.....	7
3.2 – Histórico da Destinação dos RSU em Campos dos Goytacazes/RJ.....	8
3.3 – Caracterização Quantitativa e Qualitativa dos RSU de Campos dos Goytacazes/RJ.....	9
<b>4 – Seleção de Áreas.....</b>	<b>13</b>
<b>5 – Elementos Básicos de um Aterro Sanitário.....</b>	<b>21</b>
5.1 – Tratamento da Fundação.....	21
5.2 – Drenagem de Percolados.....	23
5.2.1 – Balanço Hídrico.....	24
5.2.2 – Fórmulas de evaporação média em função da precipitação e da temperatura.....	25
5.3 – Drenagem de Gases.....	28
5.4 – Drenagem de Águas Pluviais e Proteção Superficial.....	30
5.4.1 – Método Racional.....	31
5.5 – Vias Internas de Acesso às Células.....	33
5.6 – Cobertura dos Resíduos.....	34
<b>6 – Técnicas Operacionais de Aterros.....</b>	<b>35</b>
<b>7 – Propriedades Biológicas dos Resíduos Sólidos Urbanos.....</b>	<b>37</b>
7.1 – Biodegradação e Geração de Gases.....	37
7.1.1 – Previsão de Produção de Biogás.....	40
<b>8 – Propriedades Mecânicas dos RSU.....</b>	<b>42</b>
8.1 – Compressibilidade.....	43
8.2 – Previsão de Recalques.....	45
8.3 – Análises de Estabilidade.....	48
<b>9 – Conclusão.....</b>	<b>50</b>

<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>52</b>
<b>Anexo 01.....</b>	<b>54</b>
<b>Anexo 02.....</b>	<b>58</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>Figura 1.1</b> – Destinação final dos resíduos em peso no Brasil (PNSB, 2000).....	<b>1</b>
<b>Figura 2.1</b> – Métodos de aterros sanitários (TCHOBANOGLIOUS, 1993 <i>apud</i> OLIVEIRA, 2002).....	<b>7</b>
<b>Figura 3.1</b> – Mapa do estado do Rio de Janeiro.....	<b>8</b>
<b>Figura 3.2</b> – Exemplo de composição gravimétrica (cidade de Ribeirão Preto/SP).....	<b>11</b>
<b>Figura 4.1</b> – Localização das áreas.....	<b>17</b>
<b>Figura 4.2</b> – Detalhe da área 1 (Fonte: Google Maps).....	<b>17</b>
<b>Figura 4.3</b> – Detalhe da área 2 (Fonte: Google Maps).....	<b>18</b>
<b>Figura 4.4</b> – Detalhe da área 3 (Fonte: Google Maps).....	<b>18</b>
<b>Figura 5.1</b> – Aplicação da geomembrana de PEAD em aterros sanitários.....	<b>22</b>
<b>Figura 5.2</b> – Exemplo de sistema de drenagem de fundação (TCHOBANOGLIOUS, 1993 <i>apud</i> OLIVEIRA, 2002).....	<b>23</b>
<b>Figura 5.3</b> – Exemplo de drenos de fundação e drenos horizontais (modificado ENGEORPS, 1996 <i>apud</i> OLIVEIRA, 2002).....	<b>23</b>
<b>Figura 5.4</b> – Sobreposição das zonas de influência dos drenos de gás.....	<b>29</b>
<b>Figura 5.5</b> – Exemplo de drenos verticais de concreto (ENGEORPS, 1996 <i>apud</i> OLIVEIRA, 2002).....	<b>30</b>
<b>Figura 5.6</b> – Camadas do recobrimento final de um aterro sanitário (CARVALHO, 1999 <i>apud</i> OLIVEIRA, 2002).....	<b>35</b>
<b>Figura 6.1</b> – Influência do teor de umidade no peso específico seco do RSU (MARQUES, 2001 <i>apud</i> OLIVEIRA, 2002).....	<b>36</b>
<b>Figura 7.1</b> – Fases de estabilização de um aterro (ENGEORPS, 1996 <i>apud</i> OLIVEIRA, 2002).....	<b>40</b>
<b>Figura 8.1</b> – Verificação da estabilidade do talude.....	<b>49</b>
<b>Figura 8.2</b> – Detalhe estabilidade do talude.....	<b>50</b>
<b>Figura A1.1</b> – Mapa de Geomorfologia de Campos dos Goytacazes/RJ.....	<b>54</b>
<b>Figura A1.2</b> – Mapa de Pedologia de Campos dos Goytacazes/RJ.....	<b>55</b>
<b>Figura A1.3</b> – Mapa de declividade do município de Campos dos Goytacazes/RJ.....	<b>55</b>
<b>Figura A1.4</b> – Mapa de classes de uso e ocupação de solo de Campos dos Goytacazes/RJ.....	<b>56</b>
<b>Figura A1.5</b> – Mapa rodoviário de Campos dos Goytacazes/RJ.....	<b>57</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>Tabela 3.1</b> – Apresentação de dados de volume e geração de RSU para Campos dos Goytacazes/RJ.....	<b>10</b>
<b>Tabela 4.1</b> – Restrições para locação de aterros sanitários (EPA apud ENGEORPS, 1996).....	<b>14</b>
<b>Tabela 4.2</b> – Principais critérios para avaliação preliminar de locais para disposição (IPT, 1995c).....	<b>15</b>
<b>Tabela 4.3</b> – Hierarquização de critérios.....	<b>16</b>
<b>Tabela 4.4</b> – Pesos dos critérios e do tipo de atendimento.....	<b>16</b>
<b>Tabela 4.5</b> – Dados geográficos das áreas analisadas.....	<b>16</b>
<b>Tabela 4.6</b> – Características das áreas.....	<b>19</b>
<b>Tabela 4.7</b> – Pontuação das áreas.....	<b>20</b>
<b>Tabela 5.1</b> – Propriedades da geomembrana de PEAD.....	<b>22</b>
<b>Tabela 5.2</b> – Valores de precipitações e evaporações médias anuais de Campos dos Goytacazes/RJ.....	<b>26</b>
<b>Tabela 5.3</b> – Balanço Hídrico médio de Campos dos Goytacazes/RJ.....	<b>27</b>
<b>Tabela 5.4</b> – Valores da constante de compactação K.....	<b>27</b>
<b>Tabela 7.1</b> – Constituição típica de Biogás formado em aterros sanitários.....	<b>39</b>
<b>Tabela 7.2</b> – Características dos RSU do Município de Campos dos Goytacazes...	<b>41</b>
<b>Tabela 7.3</b> – Características Físico-Químicas do Lixo.....	<b>42</b>
<b>Tabela 8.1</b> – Valores típicos do coeficiente de compressão primária $C'_c$ para RSU.....	<b>45</b>

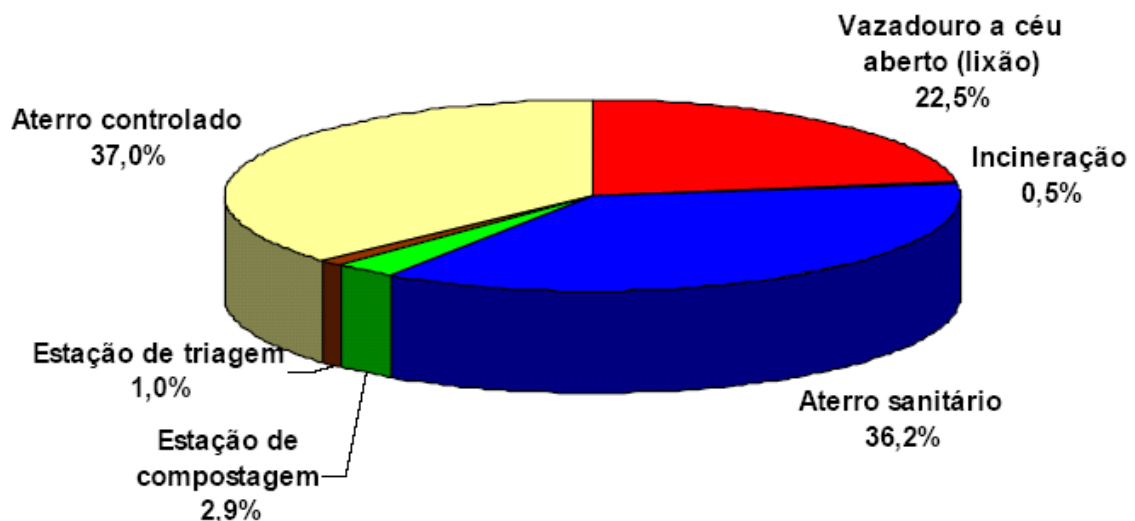
## 1 – Introdução

Um dos grandes desafios da atualidade é a problemática do lixo urbano. Junta-se a isto, o expressivo crescimento da geração dos resíduos sólidos nas áreas urbanas. Notadamente em países em desenvolvimento, mudanças em suas características físicas e químicas foram observadas ao longo do tempo, as quais são decorrentes dos modelos de desenvolvimento adotados e de alterações no comportamento nos padrões de consumo.

O crescimento populacional e a intensidade da industrialização são fatores que contribuem para o aumento da produção de resíduos sólidos. A população mundial está crescendo em ritmo acelerado e no Brasil, o quadro não é diferente.

A produção de resíduos sólidos está ligada diretamente ao desenvolvimento da região. Quanto mais desenvolvida, sobretudo quanto à industrialização, maior o volume e o peso dos resíduos e dos dejetos de todo o tipo. Existem fatores que também contribuem para este aumento, tais como hábitos e costumes da população, densidade demográfica, entre outros.

A Figura 1.1 apresenta a destinação final dos resíduos sólidos no Brasil considerando o percentual por quantidade (em peso) dos resíduos.



**Figura 1.1** – Destinação final dos resíduos em peso no Brasil (PNSB, 2000).

A Constituição Federal Brasileira confere aos municípios a competência de organizar e prestar os serviços públicos de caráter urbano, aí incluídas as tarefas de limpeza pública e disposição final dos resíduos sólidos urbanos. Esta prestação de serviços pode ser realizada pela própria Prefeitura Municipal ou ser terceirizada. Neste último caso, a Prefeitura Municipal é responsável pelo pagamento às empresas prestadoras de serviços, com base no número de toneladas coletadas. O gerenciamento eficiente dos resíduos sólidos urbanos é ponto fundamental para que se estabeleça um uso mais racional e sustentável do solo e do meio ambiente.

No presente trabalho, objetiva-se escolher uma área para disposição final dos resíduos sólidos urbanos e nesta área dimensionar um aterro sanitário para a cidade de Campos dos Goytacazes/RJ. Contudo não podemos esquecer que fica cada vez mais difícil encontrar novas áreas adequadas, próximas aos centros geradores, devido às regulamentações ambientais restritivas para este tipo de obra. Além disso, há grande resistência por parte da população na aceitação de depósitos de resíduos próximos às residências.

## **2 – Resíduos sólidos**

### **2.1 – Definição**

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1987), NBR 10.004, define resíduos sólidos como:

“aqueles resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face a melhor tecnologia disponível”.

Essa definição torna evidente a diversidade e complexidade dos resíduos sólidos. Os resíduos sólidos de origem urbana (RSU) compreendem aqueles produzidos pelas inúmeras atividades desenvolvidas em áreas com aglomerações humanas do município, abrangendo resíduos de várias origens, como residencial,

comercial, de estabelecimentos de saúde, industriais, da limpeza pública (varrição, capina, poda e outros), da construção civil e, finalmente, os agrícolas.

Dentre os vários RSU gerados, são normalmente encaminhados para a disposição em aterros sob responsabilidade do poder municipal os resíduos de origem domiciliar ou aqueles com características similares, como os comerciais, e os resíduos da limpeza pública.

## **2.2 – Classificação**

Há vários tipos de classificação dos resíduos sólidos que se baseiam em determinadas características ou propriedades identificadas. A classificação é relevante para a escolha da estratégia de gerenciamento mais viável. A norma NBR 10.004, de 1987, trata da classificação de resíduos sólidos quanto a sua periculosidade, ou seja, característica apresentada pelo resíduo em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, que podem representar potencial de risco à saúde pública e ao meio ambiente. De acordo com sua periculosidade os resíduos sólidos podem ser enquadrados como:

Resíduos Classe I – Perigosos: resíduos sólidos ou mistura de resíduos que, em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar riscos à saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento de mortalidade ou incidência de doenças e/ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

Resíduos Classe II – Não Inertes: resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que não se enquadram na Classe I (perigosos) ou na Classe III (inertes). Estes resíduos podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade, ou solubilidade em água.

Resíduos Classe III – Inerte: resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que, submetidos a testes de solubilização não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados, em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de águas, excetuando-se os padrões: aspecto, cor, turbidez e sabor. Como exemplo destes

materiais podemos citar, rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente.

### **2.3 – Métodos de Tratamento**

Os métodos mais comumente adotados no presente são: aterros sanitários, compostagem, reciclagem e incineração.

- a) Compostagem: a compostagem é definida como o ato ou ação de transformar os resíduos orgânicos, através de processos físicos, químicos e biológicos em uma matéria biogênica mais estável e resistente à ação das espécies consumidoras. O tratamento biológico consiste na fermentação ou digestão dos resíduos pela ação de microorganismos presentes ou inoculados por uma adição, resultando num produto denominado composto;
- b) Reciclagem: a reciclagem é definida como ato ou ação de recuperar os resíduos e transformá-lo por meio de processos físicos como peneiramento, lavagem, prensagem, enfardamento etc., em produtos capazes de serem reutilizados. Têm como objetivo, além da recuperação, o preparo da fração orgânica, favorecendo a ação biológica;
- c) Incineração: a incineração é definida como um processo de redução de peso e volume do lixo através de combustão controlada.

### **2.4 – Caracterização da Disposição**

A disposição dos resíduos sólidos urbanos sobre o terreno é o destino mais usual em todo o mundo e algumas características dos locais de deposição podem ser classificadas em:

- a) Lixões ou Vazadouros: os lixões ou vazadouros são caracterizados pela ausência de controle sobre o tipo, volume e periculosidade dos resíduos depositados. O resíduo permanece a céu aberto sem qualquer tipo de proteção. Não é realizado nenhum tipo de compactação com o objetivo de minimizar o volume, sendo os resíduos despejados sobre o

solo natural. Não há também controle de entrada de pessoas ou animais;

- b) Aterros Controlados: a diferença deste tipo de aterramento para o anterior consiste basicamente na existência de um controle mínimo como: o de entrada dos resíduos, de pessoas e animais, na compactação dos resíduos e existência de uma cobertura de solo para o controle e minimização da proliferação de vetores. Não estão presentes todos os elementos de engenharia que permitam o confinamento seguro dos resíduos, especialmente os relacionados com sistemas de impermeabilização e destinação do chorume;
- c) Aterros Sanitários: compreende todo um conjunto de componentes e técnicas operacionais tais como: divisão em células, compactação dos resíduos, cobertura, sistema de impermeabilização, sistemas de drenagem de líquidos e gases, tratamento do chorume, monitoramento geotécnico e ambiental.
- d) Aterros Sanitários Energéticos: o dimensionamento das células e os sistemas de drenagem são determinados considerando-se não apenas a eliminação da poluição causada pelo percolado e pelos gases, mas visando uma máxima produção de biogás para um aproveitamento econômico capaz de viabilizar os investimentos adicionais, ou seja, os aterros sanitários com fins energéticos são projetados com a finalidade de captação de biogás para reaproveitamento como fonte de energia.

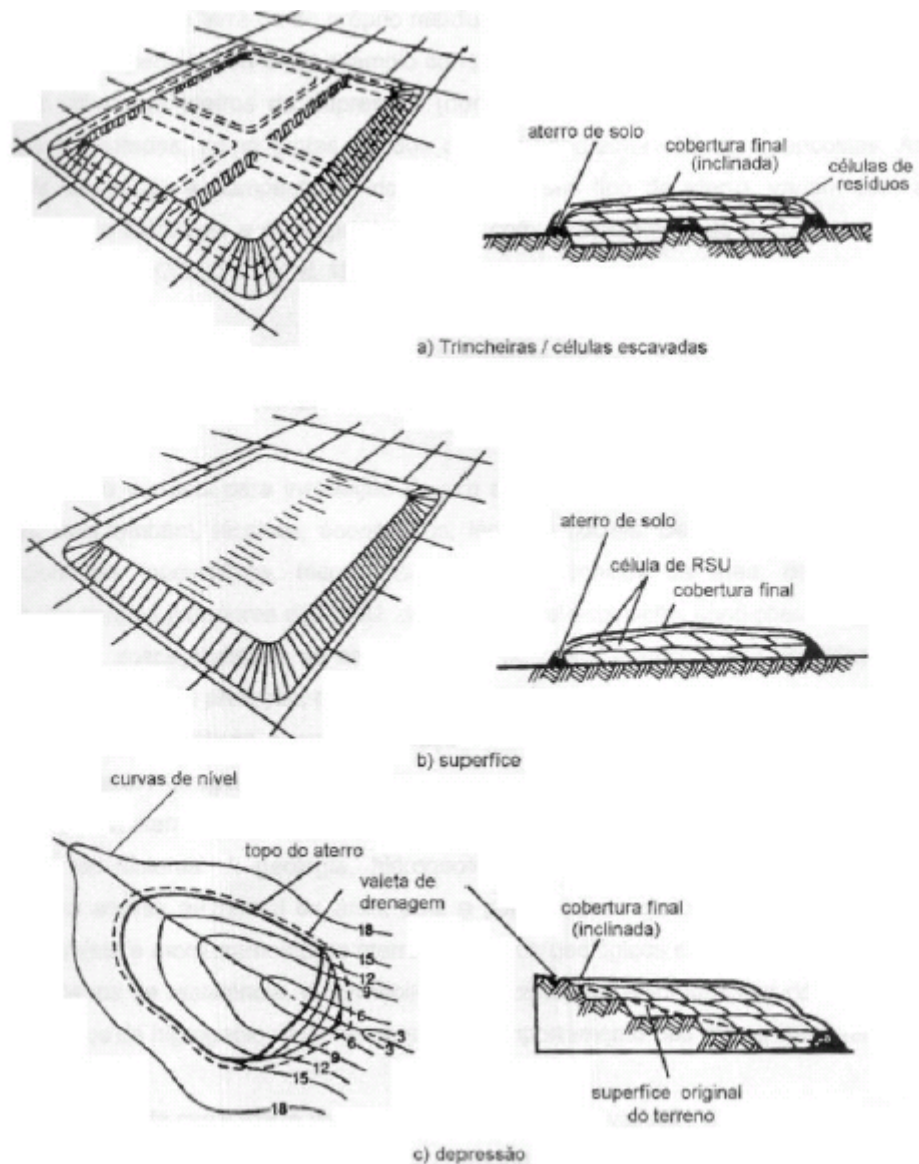
Dando um enfoque maior para aterros sanitários, eles podem ser classificados conforme a técnica de operação em aterros de superfície e aterros em depressões, a saber:

- a) Aterros de superfície: são aqueles executados em regiões planas, os métodos operacionais empregados (de trincheira, de rampa ou de área) dependem de diversos fatores como a disponibilidade de material de cobertura, vias de acesso que facilitam as operações de descarga, tipo de solo, dimensões da área etc.

- Método da trincheira – empregada em áreas de topografia plana e suave. Fundamenta-se na abertura de trincheiras no solo, onde o lixo é disposto no fundo, compactado e posteriormente recoberto com solo;
- Método da rampa – também conhecido como método da escavação progressiva, é empregado em áreas planas onde o solo natural oferece boas condições para ser escavado e utilizado como material de cobertura. Este método é vantajoso, pois economiza o transporte de material de cobertura de fora do sistema. Alguns cuidados devem ser tomados na aplicação deste método, sendo um deles o de manter um distanciamento mínimo de 2,0m entre o fundo da escavação e o lençol freático;
- Método da área – este método é comumente empregado em locais onde a topografia se apresenta de forma irregular e o lençol freático está no limite máximo. A formação da célula do aterro por este método exige o transporte e a aquisição de solo para cobertura. Em alguns casos se faz necessária a construção de diques de contenção ou valas de retenção de águas pluviais.

b) Aterros de depressões: são aqueles executados em locais específicos (em lagoas e mangues, em depressões e ondulações, em pedreiras extintas), daí a caracterização pelo nome. Em geral são escolhidas áreas de baixo valor comercial e que devido à sua localização estratégica são muitas vezes utilizadas por populares clandestinamente.





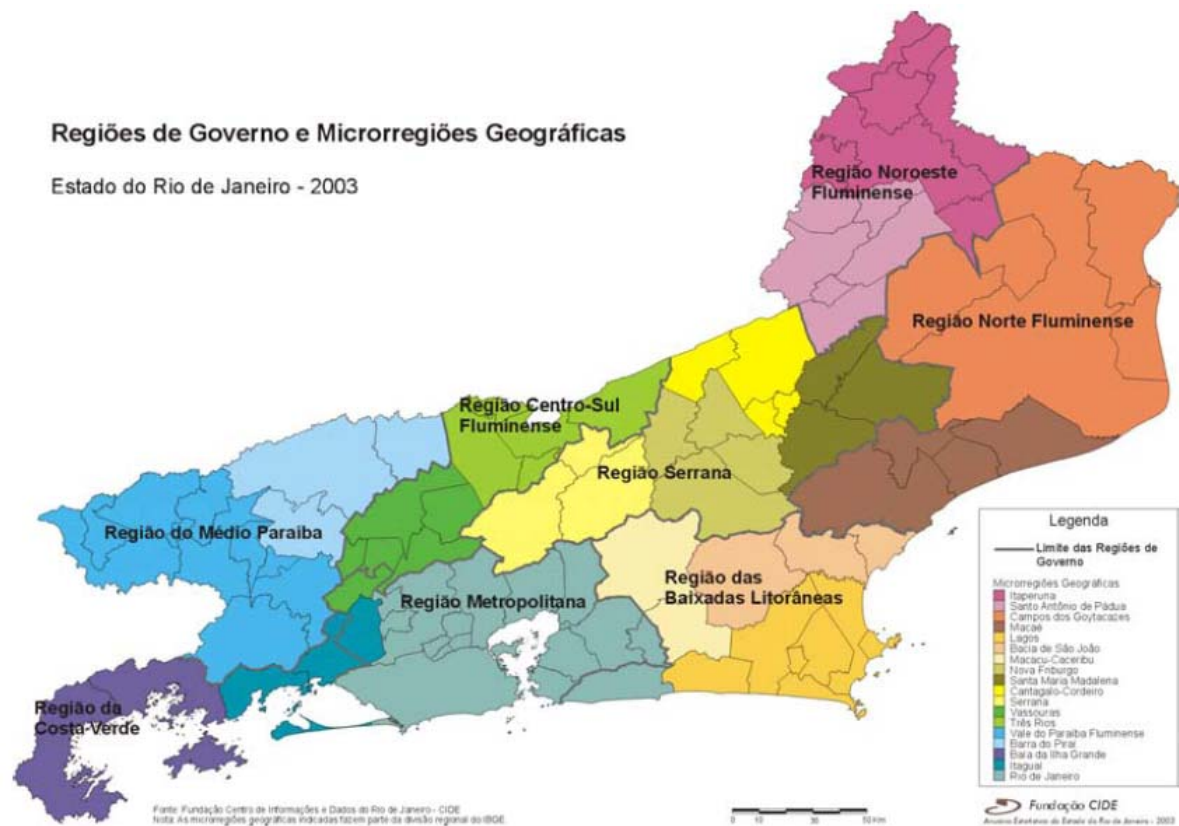
**Figura 2.1** – Métodos de aterros sanitários (TCHOBANOGLIOUS, 1993 *apud* OLIVEIRA, 2002).

### 3 – O Município de Campos dos Goytacazes/RJ

#### 3.1 – Informações Gerais

Campos dos Goytacazes pertence à Região Norte Fluminense, que também abrange os municípios de Carapebus, Cardoso Moreira, Conceição de Macabu, Macaé, Quissamã, São Fidélis, São Francisco de Itabapoana e São João da Barra.

O maior município fluminense tem uma área total de 4.040,6 Km<sup>2</sup>, correspondentes a 41,4% da área da Região Norte Fluminense.



**Figura 3.1** – Mapa do estado do Rio de Janeiro (Estudo Sócio-econômico de Campos dos Goytacazes, 2004).

O principal acesso a Campos é pela BR-101, além da BR-356 que liga a cidade a Minas Gerais e a São João da Barra. Outro acesso rodoviário importante é a RJ-216, na direção do litoral, que presta fundamentais serviços para as bases de apoio à exploração de petróleo na plataforma continental. As ferrovias Rio-Vitória e Campos-Recreio, em Minas Gerais, seguem cruzando o território do município.

De acordo com o censo de 2000, Campos dos Goytacazes tinha uma população de 406.989 habitantes, correspondentes a 58,2% do contingente da Região Norte Fluminense, com uma proporção de 93,5 homens para cada 100 mulheres. A densidade demográfica era de 103 habitantes por Km<sup>2</sup>, contra 74 habitantes por Km<sup>2</sup> de sua região.

### **3.2 – Histórico da Destinação dos RSU em Campos dos Goytacazes/RJ**

A destinação final dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campos dos Goytacazes é feita em uma área situada próximo ao Distrito Industrial da CODIN, na

margem esquerda do Rio Paraíba do Sul, tendo surgido, ao longo dos anos, comunidades em suas proximidades.

No atual vazadouro é disposto todo o lixo produzido na cidade. Desde o início de sua operação, este vazadouro não utilizava os princípios de operação de um aterro sanitário, somente conseguindo controlar a colocação do lixo em condições aceitáveis de operação a partir de julho de 2002, quando foi iniciado o processo de recuperação. Com relação à disposição do lixo antes de 2002 inexistia cobertura em grande parte do vazadouro, o que atuava como forte atrativo para animais e atividades dos catadores.

Recentemente a prefeitura decidiu pela implantação de um aterro sanitário para atendimento das necessidades da cidade, com desativação do vazadouro atual. O projeto básico deste aterro sanitário, o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (RIMA), encontra-se em tramitação junto ao Órgão Ambiental com vistas ao seu licenciamento e implantação.

### **3.3 – Caracterização Quantitativa e Qualitativa dos RSU de Campos dos Goytacazes/RJ**

- Memória de cálculo

As quantidades de RSU a serem geradas em um município, estão diretamente relacionadas à sua população, ao seu crescimento no período considerado e à qualidade de vida da comunidade.

Para calcular a taxa de crescimento populacional de Campos dos Goytacazes utilizou-se a seguinte equação:

$$P = P_0 \cdot (1 + j)^t$$

Onde:

P = é a população que se quer encontrar em certo ano;

P<sub>0</sub> = é a população inicial;

j = é a taxa de crescimento;

t = é a diferença em anos do ano da população em P<sub>0</sub> e da população em P.

Para o presente trabalho tem-se os seguintes dados:

- P = 422.731 hab.(2004);
- P<sub>0</sub> = 406.989 hab.(2000);
- t = 4 anos.

Desta forma, calculou-se a taxa de crescimento populacional conforme mostrado abaixo:

$$P = P_0.(1 + j)^t \rightarrow j = \sqrt[t]{\frac{P}{P_0}} - 1 = \sqrt[4]{\frac{422731}{406989}} - 1 = 0,0095 = 0,95\%$$

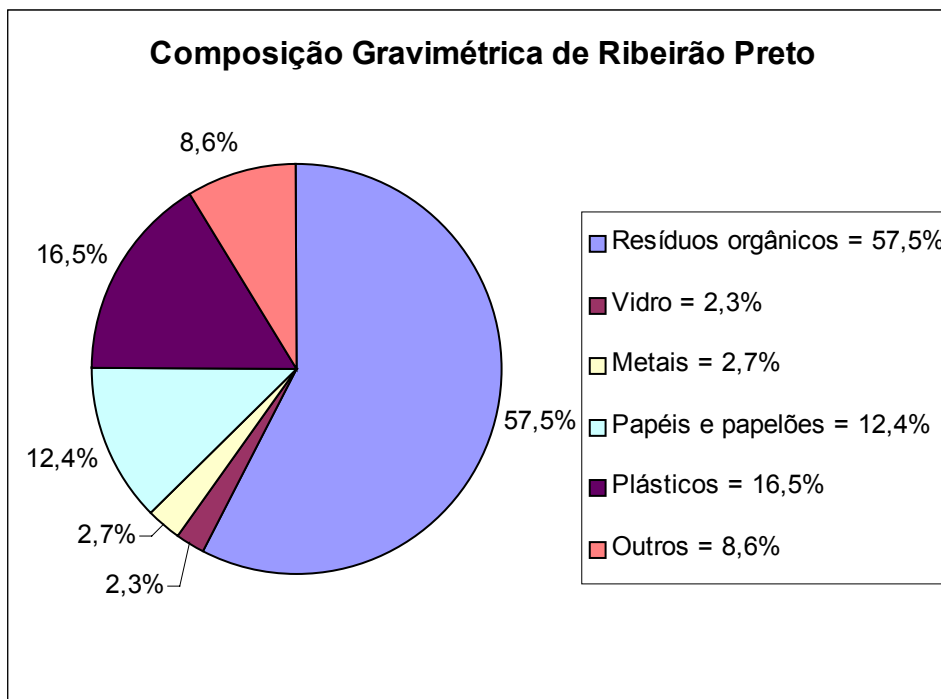
Para o cálculo do volume de lixo gerado durante a vida útil do aterro sanitário têm-se os seguintes dados:

- Vida útil = 20 anos
- Produção de lixo atual = 320 ton/dia
- Geração de lixo por pessoa atual = 0,75 Kg/pes/dia
- Peso específico = 0,8 ton/m<sup>3</sup>

**Tabela 3.1** – Apresentação de dados de volume e geração de RSU para Campos dos Goytacazes/RJ.

ANO	POPULAÇÃO (hab)	LIXO/DIA (ton)	GER/PES/DIA (Kg)	LIXO/ANO (ton)	VOLUME (m <sup>3</sup> )
2005	426.761	320,0	0,75	116.800,0	146.000,0
2006	430.829	334,4	0,78	122.061,9	152.577,4
2007	434.936	349,5	0,80	127.560,9	159.451,1
2008	439.082	365,2	0,83	133.307,6	166.634,5
2009	443.267	381,7	0,86	139.313,2	174.141,5
2010	447.493	398,9	0,89	145.589,3	181.986,7
2011	451.759	416,8	0,92	152.148,2	190.185,3
2012	456.065	435,6	0,96	159.002,6	198.753,3
2013	460.413	455,2	0,99	166.165,8	207.707,2
2014	464.802	475,8	1,02	173.651,7	217.064,6
2015	469.232	497,2	1,06	181.474,8	226.843,5
2016	473.705	519,6	1,10	189.650,3	237.062,9
2017	478.221	543,0	1,14	198.194,2	247.742,8
2018	482.780	567,5	1,18	207.123,0	258.903,7
2019	487.382	593,0	1,22	216.454,0	270.567,5
2020	492.028	619,7	1,26	226.205,4	282.756,8
2021	496.718	647,7	1,30	236.396,1	295.495,1
2022	501.453	676,8	1,35	247.045,9	308.807,4
2023	506.233	707,3	1,40	258.175,5	322.719,4
2024	511.059	739,2	1,45	269.806,5	337.258,1
2025	515.931	772,5	1,50	281.961,4	352.451,8
	<b>Média =</b>	540,8	<b>TOTAL =</b>	3.948.088,3	4.935.110,3

Como a obtenção de dados referentes à composição dos RSU de Campos dos Goytacazes não foi possível devido a falta de estatísticas por parte da empresa responsável pela coleta, adotou-se para termos de exemplo a composição gravimétrica da cidade de Ribeirão Preto.



**Figura 3.2** – Exemplo de composição gravimétrica (cidade de Ribeirão Preto/SP).

Após essa etapa foi feito o dimensionamento do aterro sanitário, que consistiu no cálculo do volume total de lixo gerado e a área necessária para disposição final dos RSU.

**Dados de Projeto:**

Média diária de lixo = 540,80 t / dia

Peso específico = 0,80 t / m<sup>3</sup>

Redução volumétrica = 1:4

**Parâmetros de projeto:**

Disposição do lixo:

Camada de lixo = 0,70m (70%)

Camada de cobertura = 0,20m (30%)

**Fração do número de camadas:**

5 camadas de lixo = 3,50m

5 camadas de cobertura = 1,50m → [(4x0,20)+(1x0,70)]

Altura total de cada célula = 5,00m

**Porcentagem de ocupação do lixo compactado (Plc):**

$$Plc = \frac{100\% \times 3,50m}{5,00m} = 70\%$$

**Volume de lixo na descarga (Vld):**

$$Vld = \frac{540,80}{0,80} = 676,00m^3 / dia$$

**Volume de lixo compactado (Vlc):**

$$Vlc = Vld \times \frac{1}{4} = 676,00 \times 0,25 = 169,00m^3 / dia$$

**Cálculo do volume diário do aterro (Vt):**

$$Vt = \frac{100\% \times 169,00m^3 / dia}{70\%} = 241,43m^3 / dia$$

**Cálculo da área do aterro (A):**

$$A = \frac{Vt}{H} = \frac{241,43m^3 / dia}{5,00m} = 48,29m^2 / dia$$

**Cálculo da área total do aterro:**

$$At = \frac{(Vt \times 365 \text{ dias} \times 20 \text{ anos})}{H} = \frac{(241,43m^3 / dia \times 365 \text{ dias} \times 20 \text{ anos})}{5,00m} = 352.485,71m^2$$

Na execução de um aterro sanitário são necessárias edificações auxiliares e de apoio, e estas devem estar em consonância com as atividades locais. Assim em um aterro são necessários: uma guarita, uma balança rodoviária, prédio de administração e um galpão de manutenção e oficina coberta. Para a construção dessas edificações é acrescentada uma área correspondente a 20% da área calculada acima.

### **Cálculo da área final do aterro sanitário:**

$$Af = At \times 0,2 = 352.485,71 \times 0,2 = 422.982,85 m^2 \text{ ou } 42,3 \text{ hec}$$

## **4 – Seleção de Áreas**

- Revisão

Antigamente, por facilidade de deposição, era comum a escolha de talvegues naturais, onde o lixo era lançado do topo sem nenhum critério técnico ou ambiental. Como os terrenos brejosos não são propícios a áreas residenciais, eram utilizados também como área de deposição de resíduos. Por estes motivos a maioria dos antigos lixões encontra-se em uma das duas situações.

A escolha de novas áreas não envolve apenas condicionantes ambientais, mas também aspectos legais, econômicos, técnicos e sociais. Os aspectos a serem verificados são a minimização do impacto ambiental, maximização da aceitação da população, estar de acordo com o zoneamento de região e a utilização por longo período com necessidade mínima de obras para início de operação.

Os principais condicionantes intervenientes na seleção da área para disposição a longo prazo de resíduos são:

- Distância de transporte dos pontos geradores do resíduo ao aterro;
- Restrições locais;
- Capacidade da área;
- Condições de acesso e trafegabilidade;
- Condições topográficas;
- Disponibilidade de solos de recobrimento e proteção;
- Condições climatológicas;
- Condições geológicas-geotécnicas e hidrogeológicas;
- Dados de infra-estrutura;
- Aproveitamento final da área.

Com relação às interferências locais, algumas considerações são apresentadas. As tabelas 4.1 e 4.2 apresentam algumas restrições e considerações segundo a EPA-USA (United States Environmental Protection Agency) e o IPT. São informações relevantes do meio físico: a geologia, geomorfologia, geotecnia, hidrogeologia e condições climáticas; como tipo de solos e rochas, estruturas

geológicas, posição do lençol freático, precipitação pluviométrica, evaporação, direção predominante dos ventos dentre outros.

A norma NBR 13896/97, Aterros de Resíduos Não Perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação, recomenda locais com declividade superior a 1% e inferior a 30% e considera desejável a existência de um depósito extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de condutividade hidráulica inferior a  $10^{-6}$  cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3m, sendo recomendado coeficiente de condutividade hidráulica menor que  $5 \times 10^{-5}$  cm/s e espessura maior que 1,5m de solo. Valores de coeficiente de condutividade hidráulica maiores podem ser admitidos a critério do órgão de controle ambiental, mas não excedendo  $10^{-4}$  cm/s.

**Tabela 4.1** – Restrições para locação de aterros sanitários (EPA apud ENGECORPS, 1996).

<b>Interferência</b>	<b>Restrição</b>
Aeroportos	3km de aeroportos com pouso e decolagens de aeronaves de grande porte.
	1,5km de aeroportos com pouso e decolagens de aeronaves de médio porte.
Planícies Inundáveis	Período de retorno superior a 100 anos.
Terrenos Brejosos	Evitado. Poderá ser utilizado em casos particulares que estudos de impacto ambiental demonstrem a viabilidade.
Áreas Sísmicas	Os aterros e sistemas de infra-estrutura deverão ser dimensionados para resistir a acelerações horizontais máximas.
Áreas de risco, em termos de estabilidade.	Os aterros e sistemas de infra-estrutura deverão ser projetados de maneira a assegurar a estabilidade e integridade geral dos seus componentes.



**Tabela 4.2** – Principais critérios para avaliação preliminar de locais para disposição (IPT, 1995c).

Itens Analisados	Classificação dos Locais		
	Recomendado	Recomendado com Restrições	Não Recomendado
Vida útil	> 10 anos	10 anos, a critério do órgão ambiental.	
Distância do gerador	Entre 10 e 20 Km		> 20 Km
Distância de núcleos habitacionais	> 500 m	< 500 m	
Densidade populacional	Baixa	Média	Alta
Zoneamento ambiental	Áreas s/ restrições no zoneamento ambiental.		Unid. de conserv. ambien. e correlatas
Zoneamento urbano	Vet. cresc. mín.	Vet. cresc. interm.	Vet. cresc. máx.
Uso e ocupação das terras	Áreas devolutas ou pouco utilizadas.		Ocupação intensa.
Valor da terra	Baixo	Médio	Alto
Aceitação popular e de suas entidades	Boa	Razoável	Inaceitável
Distância aos cursos d'água	> 200 m	< 200 m, c/ aprovação do órgão ambiental responsável.	
Declividade	1 – 20%	< 1% ou > 20%	
Profundidade do nível d'água	3 m	1,5 m	< 1,5 m
Condutividade hidráulica do subsolo	10 –9 m/s 10 –8 m/s	5 x 10-7 m/s	> 5 x 10-7 m/s

- Memória de cálculo

A escolha da área para disposição final dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campos dos Goytacazes foi feita segundo uma priorização de critérios.

No Anexo 01 se encontram alguns mapas que auxiliaram na escolha da área, mapas estes que foram cruciais na análise dos critérios.

Os critérios utilizados foram divididos em três grandes grupos: técnicos, econômico-financeiros e político-sociais.

O local selecionado para se implantar um aterro sanitário deve ser aquele que atenda ao maior número de critérios, dando-se ênfase aos critérios de maior

prioridade. A seleção da melhor área para implantação do aterro sanitário deve ser precedida de uma análise individual de cada área selecionada com relação a cada um dos diversos critérios apresentados, fornecendo-se a justificativa que permita considerar o critério "totalmente atendido", o "atendido parcialmente através de obras" ou o "não atendido".

**Tabela 4.3** – Hierarquização de critérios.

<b>CRITÉRIOS</b>	<b>PRIORIDADE</b>
Atendimento ao SLAP* e à legislação ambiental em vigor	1
Atendimento aos condicionantes político-sociais	2
Atendimento aos principais condicionantes econômicos	3
Atendimento aos principais condicionantes técnicos	4
Atendimento aos demais condicionantes econômicos	5
Atendimento aos demais condicionantes técnicos	6
*Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras	

**Fonte:** Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos, 2001.

**Tabela 4.4** – Pesos dos critérios e do tipo de atendimento.

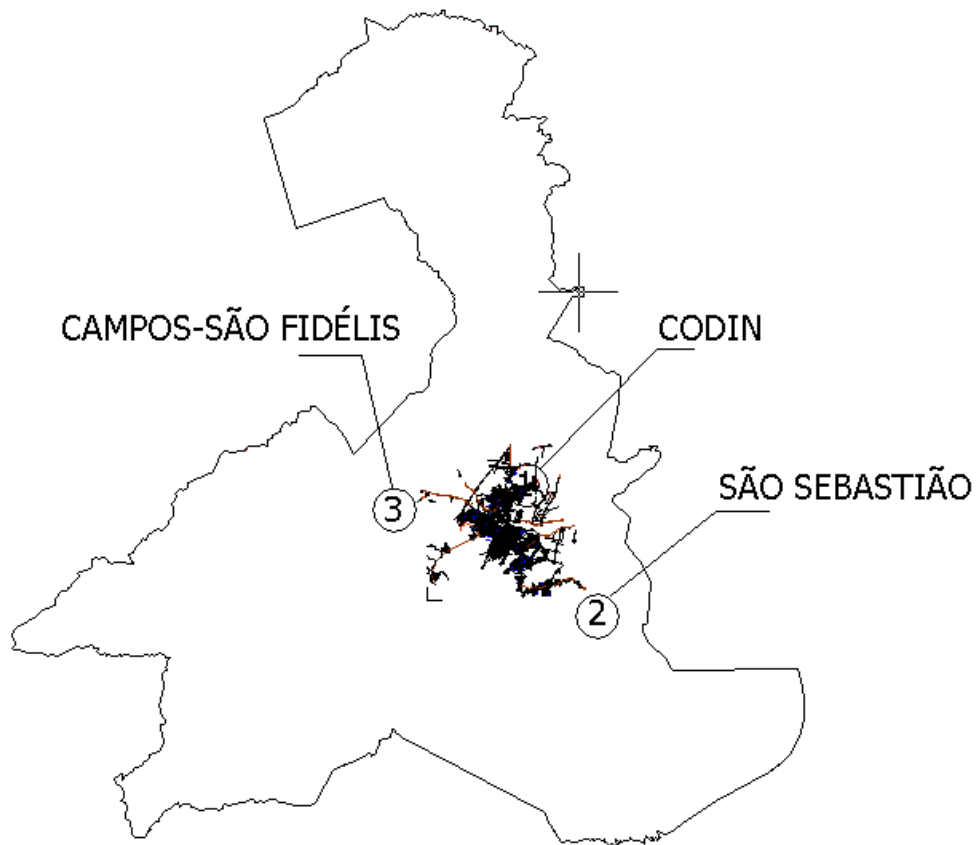
<b>PRIORIDADE DOS CRITÉRIOS</b>	<b>PESO</b>
1	10
2	6
3	4
4	3
5	2
6	1
<b>TIPO DE ATENDIMENTO</b>	<b>PESO</b>
Total	100%
Parcial ou com obras	50%
Não atendido	0%

**Fonte:** Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos, 2001.

Os dados geográficos de cada área analisada estão contidos na tabela abaixo:

**Tabela 4.5** – Dados geográficos das áreas analisadas.

<b>DESCRIÇÃO</b>		<b>LATITUDE</b>	<b>LONGITUDE</b>
<b>ÁREA 1</b>	CODIN	263043,00	7597346,00
<b>ÁREA 2</b>	SÃO SEBASTIÃO	271473,06	7581587,62
<b>ÁREA 3</b>	CAMPOS – SÃO FIDÉLIS KM 13	248647,00	7597779,00



**Figura 4.1** – Localização das áreas no município de Campos dos Goytacazes.

Para maior detalhamento das áreas em questão são apresentados os mapas:



**Figura 4.2** – Detalhe da área 1 (Fonte: Google Maps).



**Figura 4.3** – Detalhe da área 2 (Fonte: Google Maps).



**Figura 4.4** – Detalhe da área 3 (Fonte: Google Maps).

Na Tabela 4.6 são descritas as características de cada área.

**Tabela 4.6** – Características das áreas.

CRITÉRIOS	PRIORIDADE	ATENDIMENTO		
		ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3
Proximidade a cursos d'água	1	N	T	T
Proximidade a núcleos residenciais	1	N	P	P
Proximidade a aeroportos	1	N	T	T
Distância do lençol freático	1	N	N	T
Distância de núcleos de baixa renda	2	N	P	P
Vias de acesso com baixa ocupação	2	N	P	T
Problemas com a comunidade local	2	T	T	T
Aquisição do terreno	3	N	T	P
Investimento em infra-estrutura	3	T	T	T
Vida útil mínima	4	T	T	T
Uso do solo	4	T	T	T
Permeabilidade do solo natural	4	P	P	P
Extensão da bacia de drenagem	4	P	T	T
Acesso a veículos pesados	4	P	P	T
Material de cobertura	4	P	N	T
Manutenção do sistema de drenagem	5	P	T	T
Distância ao centro de coleta	6	P	P	T
Nota: T - atende integralmente; P - atende parcialmente; N - não atende.				

Será considerada melhor área aquela que obtiver o maior número de pontos após a aplicação dos pesos às prioridades e ao atendimento dos critérios.

Aplicando-se os pesos definidos na Tabela 4.4, as áreas selecionadas chegarão à pontuação calculada na Tabela 4.7, a seguir:

**Tabela 4.7 – Pontuação das áreas.**

CRITÉRIOS	PONTOS DA PRIORIDADE	PONTOS DO ATENDIMENTO			PONTUAÇÃO DAS ÁREAS		
		ÁREA 1 %	ÁREA 2 %	ÁREA 3 %	ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3
Proximidade a cursos d'água	10	0	100	100	0,0	10,0	10,0
Proximidade a núcleos residenciais	10	0	50	50	0,0	5,0	5,0
Proximidade a aeroportos	10	0	100	100	0,0	10,0	10,0
Distância do lençol freático	10	0	0	100	0,0	0,0	10,0
Distância de núcleos de baixa renda	6	0	50	50	0,0	3,0	3,0
Vias de acesso com baixa ocupação	6	0	50	100	0,0	3,0	6,0
Problemas com a comunidade local	6	100	100	100	6,0	6,0	6,0
Aquisição do terreno	4	0	100	50	0,0	4,0	2,0
Investimento em infra-estrutura	4	100	100	100	4,0	4,0	4,0
Vida útil mínima	3	100	100	100	3,0	3,0	3,0
Uso do solo	3	100	100	100	3,0	3,0	3,0
Permeabilidade do solo natural	3	50	50	50	1,5	1,5	1,5
Extensão da bacia de drenagem	3	50	100	100	1,5	3,0	3,0
Acesso a veículos pesados	3	50	50	100	1,5	1,5	3,0
Material de cobertura	3	50	0	100	1,5	0,0	3,0
Manutenção do sistema de drenagem	2	50	100	100	1,0	2,0	2,0
Distância ao centro de coleta	1	50	50	100	0,5	0,5	1,0
<b>PONTUAÇÃO FINAL</b>					<b>23,5</b>	<b>59,5</b>	<b>75,5</b>

Portanto, analisando a pontuação final escolheu-se a Área 3 (Campos–São Fidélis Km 13) para a instalação do aterro sanitário, pois foi a área que mais atendeu aos critérios analisados apresentando maiores vantagens no cômputo geral.

## **5 – Elementos Básicos de um Aterro Sanitário**

### **5.1 – Tratamento da Fundação**

- Revisão

Quando a água contida nos resíduos proveniente da decomposição ou procedente de precipitações percola através da massa de lixo produz um efluente denominado chorume que se constitui de um contaminante potencial para os solos e as águas subterrâneas e superficiais.

Desta forma o tratamento de fundação de um aterro sanitário deve assegurar um controle mínimo, envolvendo a impermeabilização de terreno de fundação, conformação da superfície em plataformas inclinadas para drenagem do chorume, captação e drenagem de nascentes e cursos d'água.

Este tratamento depende das condições geológicas–geotécnicas e hidrogeológicas da área de implantação do aterro e suas adjacências.

O sistema de impermeabilização do aterro (base, laterais e cobertura), objetiva efetuar o isolamento da massa de resíduos para eliminar ou minimizar possíveis vazamentos de efluentes líquidos e gasosos, permitindo seu controle e tratamento.

As propriedades esperadas do solo (assumido como SC) são: boa trabalhabilidade como material de fundação, impermeável quando compactado, boa resistência compactada e saturada, pequena compressibilidade compactada e saturada, bom valor como fundação e uma má característica de drenagem.

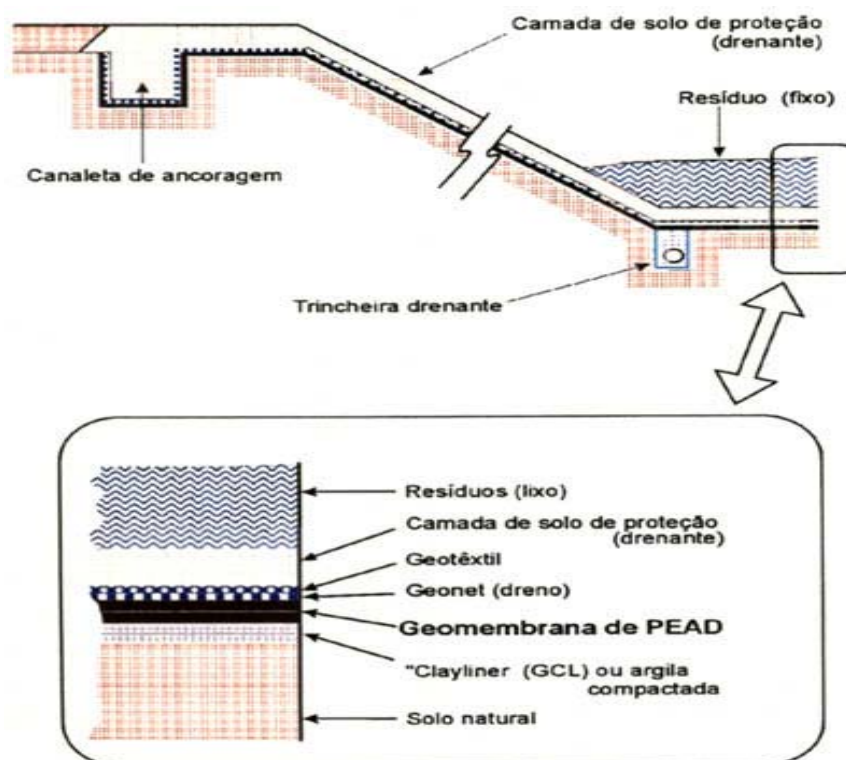
- Memória de cálculo

A base da célula calculada terá uma camada argilosa compactada sobre o terreno natural ou escavado, previamente retificado e disposto em um plano inclinado. A camada argilosa da base terá uma espessura mínima de 1,00m e coeficiente de permeabilidade da ordem de  $10^{-7}$  cm/s. Sobre a camada de argila, será instalada uma manta impermeabilizante de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) de 2,00mm de espessura para garantir a estanqueidade do sistema. Sobre a manta será adicionada uma camada suporte de solo de 1,00m de

espessura com a finalidade de proteger a manta de PEAD. Nesta camada serão instalados os drenos de líquidos percolados.

**Tabela 5.1** – Propriedades da geomembrana de PEAD.

PROPRIEDADES	NORMA	VALORES NOMINAIS				
Espessuras [mm]	ASTM D 5199	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5
Densidade [g/m <sup>3</sup> ]	ASTM D 792/1505	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
Resistência à tração	ASTM D 638					
• na ruptura [N/m]	Type IV	21	28	41	55	69
• no escoamento [N/m]	Drumbell	13	17	26	34	43
Alongamento	2 ipm					
• na ruptura [%]		700	700	700	700	700
• no escoamento [%]		13	13	13	13	13
Resistência ao Rasgo [N]	ASTM D 1004	98	133	200	267	334
Resistência ao Puncionamento [N]	FTMS 101 Met. 2065	173	231	356	467	578
Carbon Black [%]	ASTM D 1603	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3
Estabilidade Dimensional (em cada direção) [%]	ASTM D 1204 100°C - 1h	± 2	± 2	± 2	± 2	± 2
Fissuramento sob Tensão [h]	ASTM D 1693 - C. B	>1500	>1500	>1500	>1500	>1500
Tempo de Oxidação Induzida (OIT) [min]	ASTM D 200°C O2Puro-1 atm	100	100	100	100	100
Índice de Fluidez [g/10 min]	ASTM D 1238	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0
Transmissão de Vapor de Água [g/m <sup>2</sup> dia]	ASTM E 96	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0
Tamanho de rolos [m]	Depende da espessura	Largura = 6,86 a 10,5 m Comprimento = 76 a 198 m				



**Figura 5.1** – Aplicação da geomembrana de PEAD em aterros sanitários.

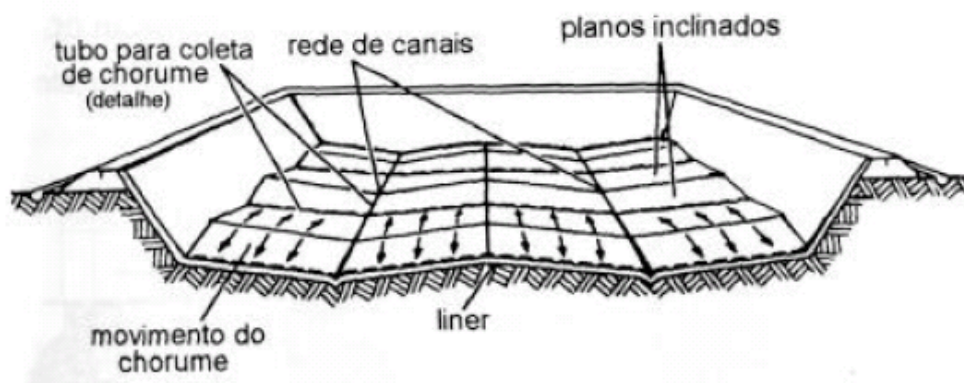


## 5.2 – Drenagem de Percolados

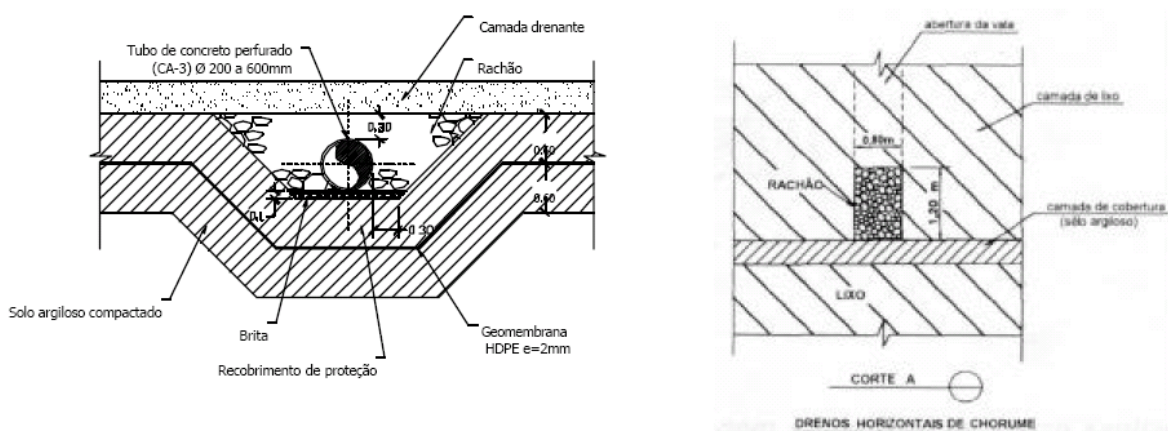
- Revisão

O sistema de drenagem de percolados e chorume deve atender com segurança o volume de líquidos que atravessam a massa do aterro. O dimensionamento deste sistema não é uma tarefa simples devido à impossibilidade de se conhecer os inúmeros fatores responsáveis pelo surgimento dos veios líquidos. A vazão de percolados em aterros é indeterminada, pois depende de vários fatores, dentre eles: pluviometria local, grau de compactação das células de lixo, tipologia do lixo e do material de cobertura, etc.

Os coletores laterais (drenos de fundação) devem ser executados nas bases de diversos planos inclinados de modo a formar divisores de água conforme apresentado na Figura 5.2.



**Figura 5.2** – Exemplo de sistema de drenagem de fundação (TCHOBANOGLIOUS, 1993 *apud* OLIVEIRA, 2002).



**Figura 5.3** – Exemplo de drenos de fundação e drenos horizontais (modificado ENGECORPS, 1996 *apud* OLIVEIRA, 2002).

### 5.2.1 – Balanço Hídrico

Devido ao fato de que a quantidade total de água disponível na Terra é finita e indestrutível, podemos encarar o ciclo hidrológico global como sendo um sistema fechado. Um balanço hídrico pode ser desenvolvido para explicar os componentes hidrológicos.

O balanço hídrico de uma área unitária da superfície da Terra é formado pelos seguintes componentes:

P = precipitação;

E = evaporação;

Q = descarga, escoamento;

R = reserva, armazenamento;

U = uso, consumo.

A equação da continuidade se apresenta na seguinte forma:

$$P = E + D + R + U$$

Onde:

D pode significar o escoamento superficial ou subterrâneo;

R é o armazenamento temporário de água no solo;

U é a água utilizada física ou quimicamente.

Em uma média de longo período pode-se admitir que R e U sejam constantes, de forma que as flutuações dessas quantidades tornam-se insignificantes no balanço hídrico, que pode ser simplificado para:

$$P = E + Q$$

A dificuldade em se resolver problemas práticos repousa principalmente na inabilidade em se medir ou estimar adequadamente os vários termos da equação do balanço hídrico. Para estudos locais, são feitas frequentemente medidas seguras, mas a avaliação em uma escala global é usualmente grosseira.

## 5.2.2 – Fórmulas de evaporação média em função da precipitação e da temperatura:

### a) Fórmula de M. Coutagne

A evaporação média anual (em metros) se deduz da altura média anual da precipitação  $P$  (em metros), e da temperatura anual  $T$  ( em graus Celsius) pela fórmula:

$$E_m = P - (cP^2)$$

$$c = \frac{1}{(0,8 + 0,14T)}$$

Esta fórmula não se aplica para  $P$  compreendido entre  $(1/8c)$  e  $(1/2c)$ .

- Se as precipitações forem inferiores a  $(1/8c)$ , a evaporação média é igual a precipitação e não ocorre escoamento;
- Se elas são superiores a  $(1/2c)$ , a evaporação média é praticamente independente de  $P$ .

### b) Fórmula de M. Turc

M. Turc adaptou às famílias de curvas  $E_m = f(P,T)$ , em mm, obtidas a partir de observações feitas sobre 254 bacias situadas em todos os climas do planeta, a expressão:

$$E_m = \frac{P}{\left(0,9 + \frac{P^2}{L^2}\right)}$$

O parâmetro  $L$  é dado pela expressão:

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

- Memória de cálculo

## MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO

**Tabela 5.2** – Valores de precipitações e evaporações médias anuais de Campos dos Goytacazes/RJ.

Ano	P (mm)	$\Sigma P$ (mm)	$E_m$ (mm)	$\Sigma E_m$ (mm)	$Q_{esd}$ (mm)	$\Sigma Q_{esd}$ (mm)	$Q_{esd}$ (l/s)
1947	1400,40	1400,40	876,09	876,09	524,31	524,31	5,86
1948	966,10	2366,50	783,90	1659,99	182,20	706,51	2,04
1949	1324,10	3690,60	868,59	2528,58	455,51	1162,02	5,09
1950	1166,30	4856,90	842,42	3371,00	323,88	1485,90	3,62
1951	906,30	5763,20	759,97	4130,97	146,33	1632,23	1,64
1952	1204,50	6967,70	850,20	4981,17	354,30	1986,53	3,96
1953	860,90	7828,60	739,63	5720,80	121,27	2107,80	1,36
1954	730,50	8559,10	670,15	6390,95	60,35	2168,15	0,67
1955	948,70	9507,80	777,27	7168,22	171,43	2339,58	1,92
1956	837,90	10345,70	728,58	7896,79	109,32	2448,91	1,22
1957	1343,60	11689,30	870,79	8767,59	472,81	2921,71	5,28
1958	1013,90	12703,20	800,79	9568,37	213,11	3134,83	2,38
1959	841,30	13544,50	730,24	10298,61	111,06	3245,89	1,24
1960	1145,30	14689,80	837,71	11136,33	307,59	3553,47	3,44
1961	839,80	15529,60	729,51	11865,83	110,29	3663,77	1,23
1962	1197,10	16726,70	848,77	12714,60	348,33	4012,10	3,89
1963	308,40	17035,10	330,24	13044,84	-21,84	3990,26	-0,24
1964	1310,30	18345,40	866,90	13911,74	443,40	4433,66	4,96
1965	1206,00	19551,40	850,49	14762,23	355,51	4789,17	3,97
1966	1271,00	20822,40	861,49	15623,71	409,51	5198,69	4,58
1967	1015,00	21837,40	801,15	16424,87	213,85	5412,53	2,39
1968	1147,00	22984,40	838,10	17262,97	308,90	5721,43	3,45
1969	1048,10	24032,50	811,70	18074,67	236,40	5957,83	2,64
1970	1197,80	25230,30	848,91	18923,58	348,89	6306,72	3,90
1971	1514,10	26744,40	882,09	19805,66	632,01	6938,74	7,06
1972	1120,30	27864,70	831,70	20637,36	288,60	7227,34	3,23
1973	1025,10	28889,80	804,47	21441,83	220,63	7447,97	2,47
1974	642,50	29532,30	613,64	22055,47	28,86	7476,83	0,32
1975	1069,10	30601,40	817,93	22873,40	251,17	7728,00	2,81
1976	1080,90	31682,30	821,28	23694,68	259,62	7987,62	2,90
1977	980,80	32663,10	789,30	24483,98	191,50	8179,12	2,14
<b>Soma</b>	32663,10		24483,98		8179,12		91,42
<b>Média</b>	1088,77		816,13		272,64		3,05

**Tabela 5.3** – Balanço Hídrico médio de Campos dos Goytacazes/RJ.

<b>Balanço Hídrico médio de Campos dos Goytacazes/RJ</b>		
Resultados	mm/ano	l/s
Escoamento Superficial Médio	272,64	3,05
Evaporação Média	816,13	9,12
Precipitação Média	1088,77	12,17

## MÉTODO SUÍÇO

Considerando o grau de complexidade, o procedimento correto para a determinação da vazão de percolados é a medição direta.

Todavia, algumas formulações matemáticas foram propostas na expectativa de facilitar os projetos, dentre estas formulações está o método suíço, sendo o mais recomendado no caso específico de aterros:

$$Q = \frac{1}{t}(PxSxK) = \frac{1}{31.536.000}x(1.088,77x48,29x0,20) = 3,33x10^{-4} \text{ l/s}$$

Onde:

Q = vazão média de líquidos percolados (l/s);

P = precipitação média anual (mm/ano);

S = área do aterro (m<sup>2</sup>);

t = tempo (s) (equivalente a 1 ano = 31.536.000);

K = constante de compactação.

**Tabela 5.4** – Valores da constante de compactação K.

Tipo de solo	Peso Específico	K
Aterros fracamente compactados	0,40 a 0,70	0,25 a 0,50
Aterros fortemente compactados	0,70 a 0,90	0,15 a 0,25

Considerando o comportamento dos líquidos percolados semelhantes ao de efluente de esgoto, ou seja, velocidade igual a 0,60 m/s, segue abaixo o cálculo do diâmetro da tubulação dos drenos.

$$Q = Axv \rightarrow A = \frac{Q}{v} = \frac{3,33x10^{-4}}{0,60} = 0,555m^2$$

Com a área calculou-se o diâmetro dos drenos.

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \rightarrow d = 0,84m$$

Desta forma, as tubulações das linhas de drenagem principal terão diâmetros de 0,90m, sendo implantadas com tubos de concreto de parede perfurada. Os drenos secundários da espinha de peixe apresentam seção de 0,70 x 0,80m sendo constituídos por brita nº 4 e rachão. A fim de evitar danos à geomembrana pelos materiais granulares dos drenos, estes foram projetados para serem envoltos por geotextil não tecido.

O projeto de drenagem será orientado no sentido de conduzir todos os líquidos percolados para um único local. Os líquidos percolados drenados são captados no poço de acumulação e em seguida são recirculados para a massa de resíduos em decomposição. Estes sistemas de recirculação são fundamentados nos processos de infiltração-percolação dos líquidos através da massa de lixo. A percolação e a infiltração permitem que ocorram interações do líquido com o solo, desenvolvendo mecanismos de filtragem e retenção dos sólidos em solução e suspensão, de troca de íons, de absorção, de oxidação dos compostos orgânicos, de precipitação química etc.

### **5.3 – Drenagem de Gases**

- Revisão

A biodegradação dos resíduos nos aterros sanitários resulta na geração de gases que são constituídos principalmente pelo metano (CH<sub>4</sub>) e gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Esses gases são gerados em grandes volumes, podendo concentrar-se em bolsões e sair de forma descontrolada do aterro.

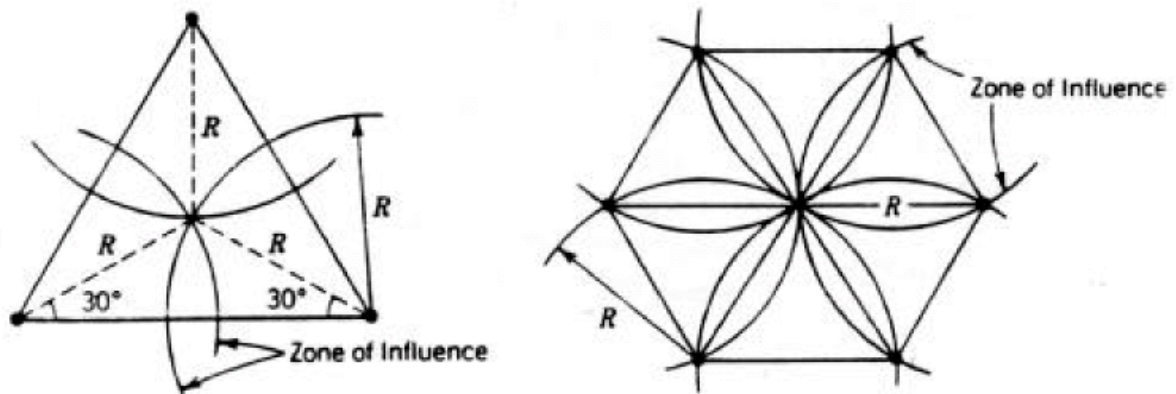
Dessa forma deve existir no aterro dispositivos apropriados para conduzir os gases, principalmente o metano, pois este pode provocar explosões.

O método usado para o controle de movimentação dos gases será o alívio da pressão interna do aterro com a instalação de drenos verticais que vão desde o fundo do aterro até a camada de cobertura superficial. Esses drenos serão executados concomitantemente com o aterro. Além da drenagem vertical, serão instalados drenos horizontais secundários situados próximos à camada de cobertura

final com o intuito de otimizar o sistema de coleta pelo aumento da superfície de captação.

A experiência brasileira tem demonstrado que tubulações de 0,60m espaçadas a uma distância entre 40 e 50m entre si, atendem plenamente à nossa realidade.

Os drenos serão espaçados de forma que suas zonas de influência se sobreponham como demonstra a Figura 5.4.

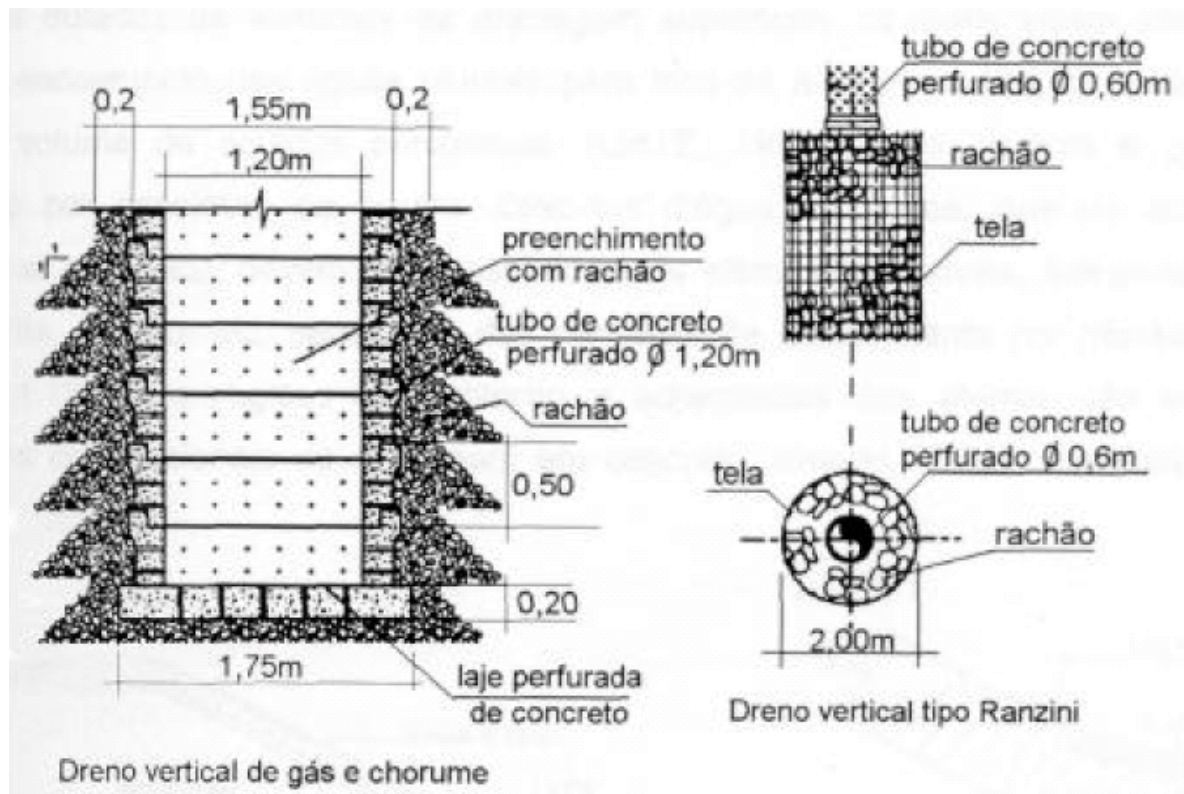


**Figura 5.4** – Sobreposição das zonas de influência dos drenos de gás.

Devido à alta compressibilidade dos aterros sanitários algumas soluções são adotadas buscando garantir a integridade e continuidade destes elementos. No estado de São Paulo, por exemplo, é consagrada a adoção dos drenos verticais em concreto conforme as duas soluções apresentadas na Figura 5.5. Também são utilizados tubos de PVC e/ou polietileno de alta densidade (PEAD).

Um aspecto importante que vem sendo discutido é a possibilidade de obstrução parcial ou total dos drenos pela formação de um filme biológico que pode aderir à superfície, obstruindo os poros.

A maior preocupação com os elementos de drenagem é que estes devem manter sua funcionalidade ao longo da vida do aterro.



**Figura 5.5** – Exemplo de drenos verticais de concreto (ENGEORPS, 1996 *apud* OLIVEIRA, 2002).

- Memória de cálculo

No projeto desenvolvido, o sistema de drenagem principal será assentado verticalmente ao longo da altura total do aterro, para coletar os gases gerados em um raio de influência pré-determinado de 50m. Os drenos verticais de gases serão constituídos na sua parte interna por tubos de concreto de drenagem (perfurados e corrugados) de 0,60m envoltos por brita nº 4 e rachão formando um meio poroso de seção circular transversal com diâmetro de 2,00m. Na extremidade superior dos drenos, serão instalados queimadores metálicos, denominados flares.

#### 5.4 – Drenagem de Águas Pluviais e Proteção Superficial

- Revisão

Durante todas as fases do aterro é necessária a instalação de um sistema de drenagem superficial para captação das águas pluviais, de modo a evitar ao máximo



que atinjam os resíduos, aumentando assim o volume de líquidos percolados e evitando também erosões e carreamento de poluentes.

Estes sistemas devem ser constituídos por canaletas de berma, descidas d'águas nos taludes, caixas de passagem, bacias de dissipação, escadas hidráulicas etc. A construção destes drenos é de fácil execução e pode ser realizada com um trator de esteiras ou com uma retroescavadeira, ou ainda, com uma motoniveladora.

Atenção especial deve ser dada aos elementos que estarão instalados no corpo do aterro, pois estarão sujeitos a recalques significativos. Assim as canaletas de berma devem ser implantadas com declividades adequadas e as descidas d'água nos taludes devem ser instaladas nas linhas de maior recalque.

Independente dos tipos empregados, constantemente, há a necessidade de manutenção nesses elementos, quer seja para limpeza de materiais carregados quer seja para corrigir declividades e danos.

A proteção final dos taludes é em geral feita com grama. O método mais eficiente de plantio é com gramas em placa, porém é um dos mais dispendiosos. Alternativamente, tem sido empregada a sementeira direta.

#### **5.4.1 – MÉTODO RACIONAL**

As referências mais remotas a essa técnica datam de fins do século XIX, na Inglaterra, e o Método Racional é, certamente, o mais difundido para determinação de vazões de pico em pequenas bacias. A grande aceitação do método deve-se a sua simplicidade, e os resultados costumam ser satisfatórios, desde que sua aplicação seja feita dentro de suas condições de validade.

O conceito do que seja uma bacia pequena é relativo. Em termos práticos, classifica-se como bacias pequenas àquelas menores do que 3 Km<sup>2</sup>, ou que tenham tempo de concentração menor do que uma hora.

A seguinte expressão define o método racional:

$$Q_p = 0,275.C.I.A$$

Onde:

$Q_p$  = a vazão de pico em m<sup>3</sup>/s;

C = coeficiente adimensional, relacionado com a parcela da chuva total que se transforma em chuva excedente e com os efeitos de armazenamento na bacia; caso os efeitos de armazenamento sejam desprezados, o coeficiente C é chamado de coeficiente de escoamento superficial e exprime apenas a parcela da chuva total que se transforma em chuva excedente;

I = intensidade média da chuva em mm/hora, considerada constante durante sua duração;

A = área da bacia em Km<sup>2</sup>.

A hipótese central do método é que a duração da chuva é igual ao tempo de concentração da bacia. Se os efeitos de armazenamento na bacia forem desprezíveis, como é razoável supor-se em pequenas bacias urbanas, o pico ocorre no instante em que a chuva cessa, ou seja, após decorrido um tempo igual ao tempo de concentração.

- Memória de cálculo

O sistema de drenagem superficial das águas pluviais pode ser dimensionado em função da área da bacia contribuinte, da intensidade das chuvas e das características físicas do terreno.

A formulação matemática da vazão contribuinte é dada pela fórmula racional já apresentada anteriormente. Desta forma calculou-se a vazão com os dados apresentados a seguir:

$$C = 0,25;$$

$$I = 1,72 \text{ mm/h};$$

$$S = 211.491,42 \text{ m}^2;$$

Logo, a vazão contribuinte calculada seria igual a 0,025 m<sup>3</sup>/s.

Como passo seguinte, calculou-se a dimensão dos drenos que terão seção retangular através da fórmula de Manning descrita abaixo:

$$Q = \frac{(R_h)^{2/3} \cdot S \cdot (I)^{1/2}}{n}$$

Onde:

$Q$  = vazão na seção desejada ( $m^3/s$ );

$R_h$  = raio hidráulico da seção, que consiste na região entre a seção molhada ( $s$ ) e o perímetro molhado ( $p$ );

$S$  = área da seção transversal preenchida pelo líquido ( $m^2$ );

$I$  = declividade do dreno ( $m/m$ );

$n$  = coeficiente de rugosidade.

Com o auxílio do livro Manual de Hidráulica foi possível calcular a seção dos drenos obtendo uma seção final de 0,60x0,30m.

Os drenos provisórios são aqueles de caráter dinâmico e podem ser modificados ao longo dos serviços, desse modo, serão feitas valas e leiras com terra batida ou, simplesmente, cortada pelas máquinas.

Os drenos definitivos ou permanentes são aqueles de caráter estático e são mantidos durante a construção do aterro. Estes drenos serão construídos com seção retangular de terra batida.

## **5.5 – Vias Internas de Acesso às Células**

Durante a fase de operação do aterro sanitário as vias internas de acesso às células se constituem em um grande problema operacional, principalmente durante períodos chuvosos.

Durante a operação, as camadas de solos de cobertura são pouco espessas o que, aliado às grandes deformações devido à alta compressibilidade do RSU, ao tráfego de máquinas pesadas e às chuvas intensas, resulta em constantes atolamentos. Esse problema é agravado ainda mais na frente de serviço onde há a necessidade de manobra das carretas e caminhões compactadores para a descarga do resíduo. Uma das formas de melhoria destes acessos é a inclusão de reforços geossintéticos e/ou o aumento da espessura do solo de cobertura.

Visando estabelecer vias de acesso e de circulação de qualidade, bem como estabelecer uma melhor definição da ocupação do local, foram delimitadas áreas para disposição dos resíduos comuns, de serviços de saúde e administração e criadas vias de circulação que se modificam com o avanço do aterro.

Estas vias serão construídas com 8,00m de largura, com inclinações máximas de 10% e raios de curva superiores a 10m, até a frente de disposição atual de resíduos. Estas vias possuirão base e acabamento em aterro compactado, podendo ser de brita corrida, cascalho, rachão ou entulho de boa qualidade, conforme a disponibilidades dos materiais, com manutenção permanente com vistas a sua recomposição.

Objetivando uma melhor delimitação e isolamento da área do aterro sanitário, criando uma faixa de proteção dos taludes e terrenos vizinhos, será construída uma estrada periférica com 5,00m de largura nos limites do terreno com acesso às vias internas principais.

## **5.6 – Cobertura dos Resíduos**

Durante a operação do aterro os resíduos recebem, em princípio, dois tipos de recobrimento. O primeiro denominado recobrimento intermediário tem como objetivo evitar o arraste de detritos pelo vento e o aparecimento de vetores e o segundo tipo de recobrimento é o final.

A questão da necessidade de implantação dos recobrimentos intermediários é freqüentemente debatida. É muito questionado o volume perdido do aterro por ocupação das camadas de solo argiloso (cobertura intermediária), representando cerca de 10 a 20% do volume total e constituindo-se em um custo significativo para sua implantação, chegando a 30% do custo global do aterro (ENGEORPS, 1996 *apud* OLIVEIRA, 2002). Outro ponto importante é que estas camadas podem diminuir substancialmente a permeabilidade vertical do aterro, resultando em lençóis suspensos de chorume e bolhas de gás. Diversos materiais podem ser empregados para a cobertura intermediária como solos, materiais inertes, geossintéticos, etc. A escolha da melhor solução deve ser baseada em estudos técnicos e econômicos. Desse modo, será adotada uma camada de 0,20m de espessura de solo areno-argiloso possuindo em torno de 60% de areia, 20% de argila e 20% de silte para a cobertura intermediária.

O segundo tipo de recobrimento é o final podendo-se destacar como funções, além das citadas para o recobrimento intermediário, a minimização da infiltração de águas provenientes de precipitações, impedir o escape de gases, propiciar a plantação de vegetação. Para atender estes objetivos a camada de recobrimento

deve apresentar características como: resistir às condições climáticas, ser resistente a erosões, aceitar recalques acentuados, suportar sobrecargas e ser resistente a ataques químicos. A cobertura final será constituída de uma camada de solo argiloso fortemente compactado de espessura igual a 0,70m, cuja permeabilidade não poderá ser superior a  $10^{-6}$  cm/s. Para minimizar o aparecimento de fendas provenientes do ressecamento excessivo e recalques será adicionada sobre a cobertura final uma proteção constituída de uma camada de terra vegetal de 0,20m de espessura. Sobre esta camada de terra será executado o plantio de gramíneas.

Nos aterros modernos a cobertura final é constituída por diversas camadas (Figura 5.6). A camada superficial é tipicamente composta por solo vegetal, não compactado com espessura variando de 15 a 60 cm. Em seguida, uma camada de solo compactado para proteção, uma camada para drenagem de águas pluviais, podendo ser de material granular ou geossintéticos, uma camada impermeabilizante (barreira hidráulica), podendo ser um liner argiloso e/ou geossintético, uma camada para coleta de gás semelhante à camada drenante e uma camada de regularização.



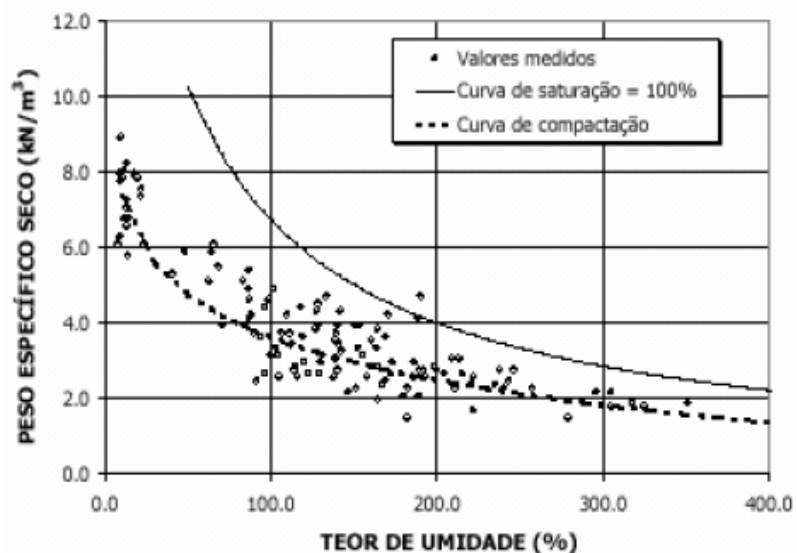
**Figura 5.6** – Camadas do recobrimento final de um aterro sanitário moderno (CARVALHO, 1999 *apud* OLIVEIRA, 2002).

## 6 – Técnicas Operacionais de Aterros

- Revisão

Como em técnicas operacionais comumente utilizadas, os resíduos são espalhados e compactados pelo talude de baixo para cima, com 3 a 5 passadas do trator de esteira, de modo a se obter um peso específico, quando bem compactado, próximo de  $10\text{KN/m}^3$ .

MARQUES, 2001 *apud* OLIVEIRA, 2002 avaliando diversas variáveis (teor de umidade, tipo de equipamento de compactação, números de passadas, espessuras das camadas e inclinação do plano de compactação) concluiu que a variável que tem maior efeito sobre o peso específico seco do RSU é o teor de umidade conforme apresentado na Figura 6.1. Como pode notar-se, ao contrário de solos, os valores obtidos para a relação entre o peso específico seco e o teor de umidade dos resíduos sólidos submetidos à compactação, não se ajustam segundo curvas convexas com um peso específico seco máximo e correspondente teor de umidade ótimo. Segundo o autor isso pode estar associado, em uma primeira avaliação, ao não desenvolvimento do efeito de capilaridade e de pressões neutras negativas, assim como a inexistência do efeito de lubrificação das partículas sólidas.



**Figura 6.1** – Influência do teor de umidade no peso específico seco do RSU (MARQUES, 2001 *apud* OLIVEIRA, 2002).

Para aumentar ainda mais a vida útil dos aterros alguns processos são utilizados, tais como, a trituração e o enfardamento. A trituração, como o próprio nome diz, consiste na redução das dimensões dos resíduos, sendo necessária sua compactação posterior no aterro sanitário. O enfardamento caracteriza-se pela compactação prévia, gerando fardos auto-sustentáveis e amarrados, os quais são transportados e dispostos também no aterro sanitário.

- Memória de cálculo

A operação do aterro sanitário consiste, basicamente, na compactação dos resíduos em células diárias com altura de 5,0m e inclinação do talude de 1V:2H. Entre cada camada de 0,70m de lixo será colocado solo com 0,20m de espessura. Após a compactação destas células deverá ser feita a cobertura diária dos resíduos com solo da própria região com espessura de 0,90m. Conforme exposto anteriormente.

A compactação dinâmica do RSU, além de reduzir volume, melhora as características mecânicas dessas estruturas, principalmente na redução dos recalques.

## **7 – Propriedades Biológicas dos Resíduos Sólidos Urbanos**

Do ponto de vista geotécnico a importância da biodegradação está principalmente na alteração do comportamento dos maciços de resíduos. Como exemplo temos a diminuição da compressibilidade e da permeabilidade do RSU ao longo do tempo como resultado da contínua perda de massa e aumento de densidade.

### **7.1 – Biodegradação e Geração de Gases**

- Revisão

Os principais fatores que influenciam nos processos de biodegradação são: granulometria, composição e idade do resíduo, umidade do resíduo, temperatura no aterro, aspectos quantitativos e qualitativos de nutrientes, pH dos líquidos presentes no aterro e densidade e grau de compactação dos resíduos.

Os aterros sanitários podem ser entendidos como verdadeiros e heterogêneos reatores biológicos, tendo como principais componentes de entrada e alimentação, os resíduos sólidos e a água, e como principais elementos de saída, os líquidos percolados e o biogás. A decomposição dos resíduos sólidos urbanos em um aterro sanitário dá-se tanto por processos aeróbios quanto por processos anaeróbios de digestão da matéria orgânica, sendo a diferença básica entre os processos, a presença ou ausência de oxigênio (MARQUES, 2001 *apud* OLIVEIRA, 2002).

Geralmente os estudos de biodegradabilidade dos RSU, até hoje, tiveram como enfoque principal a geração de gases pela possibilidade do aproveitamento como

fonte de energia. Assim, algumas formulações matemáticas para a representação da geração dos gases em aterros sanitários foram desenvolvidas.

O processo de biodegradação e geração dos gases é assumida hoje como um processo de cinco fases.

São elas:

**Fase I – Ajuste Inicial ou Fase Aeróbia:** Nesta fase, ocorre a decomposição aeróbia da matéria orgânica, devido a existência do oxigênio no resíduo recém depositado. Pode-se verificar a produção de  $\text{CO}_2$  e o consumo de  $\text{N}_2$  e  $\text{O}_2$ , sem nenhuma geração de gás metano. Ocorre cerca de 5 a 10% de degradação da matéria sólida passível de transformação em gases.

**Fase II – Fase de Transição:** Com a extinção do oxigênio passa-se para a decomposição anaeróbia. O material orgânico complexo é decomposto e transformado em ácidos orgânicos, dando-se início a próxima fase. Nota-se aumento na produção de  $\text{CO}_2$ . As condições anaeróbias podem ser monitoradas pelo potencial redox.

**Fase III – Fase Ácida ou Anaeróbia Ácida:** Nota-se a continuidade da formação de ácidos orgânicos iniciada na fase anterior. Verifica-se a formação de ácidos como o sulfídrico, acético, fúlvico, etc. Os microorganismos envolvidos são tipicamente não-metanogênicos e são chamados de acidogênicos. Nesta fase, cerca de 15 a 20% da matéria sólida com potencial de conversão em gás está decomposta. Os líquidos percolados nesta fase apresentam pH não superior a 5 e são característicos elevados valores de DBO e DQO. Nota-se aumento considerável na produção de  $\text{CO}_2$  e pequena quantidade de  $\text{H}_2$ .

**Fase IV – Fase Metanogênica (Acelerada):** A produção de ácidos e metano ocorre simultaneamente sendo a taxa de produção de ácidos reduzida. A conversão dos ácidos e do  $\text{H}_2$  em  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  irá aumentar o pH atingindo uma faixa entre 6.8 e 8, enquanto que as concentrações de DBO e DQO sofrerão reduções significativas. Nestas condições (valores neutro de pH) observar-se-á, ainda, a redução da solubilidade de compostos inorgânicos, implicando uma menor quantidade de metais pesados contidos nos líquidos percolados. Uma parcela adicional da matéria sólida é degradada e convertida nesta fase.



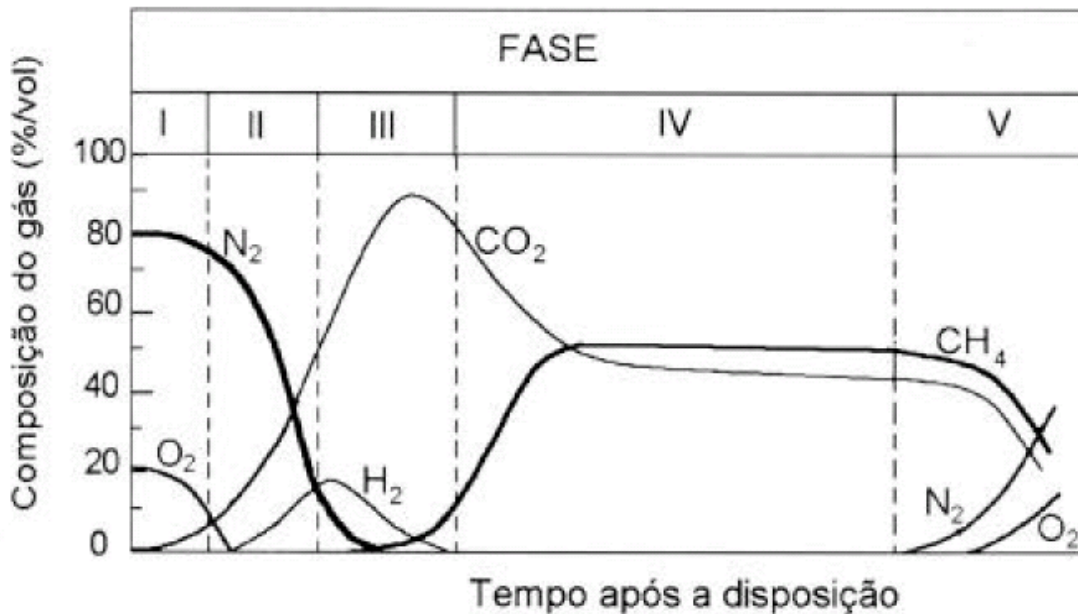
**Fase V – Fase de Maturação Final ou Metanogênica Desacelerada:** Esta fase ocorrerá depois que toda a matéria orgânica disponível for convertida em CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. A taxa de produção de gases diminui substancialmente, visto que a maioria dos nutrientes já foi removida pelos líquidos percolados nas fases anteriores e os remanescentes apresentam lento processo de biodegradação. Os principais gases formados são o CH<sub>4</sub> e o CO<sub>2</sub>, sendo que pequenas quantidades de N<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> também são formadas. A decomposição da matéria sólida atinge valores entre 50 e 70%, dependendo da produção de metano e das práticas operacionais empregadas.

A duração de cada fase depende de características como: distribuição dos compostos orgânicos, disponibilidade de nutrientes, umidade do RSU, grau de compactação, etc. Por exemplo, maiores densidades e/ou menores umidades implicam em menores produções de gases.

O biogás tem como características a temperatura entre 38 e 49°C, umidade saturada (100%) e poder calorífico superior de 3500 e 4900Kcal/m<sup>3</sup>. Sua composição pode ser dada como apresenta a Tabela 7.1.

**Tabela 7.1 – Constituição típica de Biogás formado em aterros sanitários.**

COMPOSIÇÃO	% (BASE SECA – VOLUME)
Metano (CH <sub>4</sub> )	45 - 60
Gás Carbônico (CO <sub>2</sub> )	40 - 60
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	2 - 5
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0,1 - 1
Sulfatos dissulfetos, mercaptanas, etc.	0 - 1,0
Amônia (NH <sub>3</sub> )	0,1 - 1,0
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	0 - 0,2
Monóxido de Carbono (CO)	0 - 0,2
Gases Secundários	0,01 - 0,6



**Figura 7.1** – Fases de estabilização de um aterro (ENGECORPS, 1996 *apud* OLIVEIRA, 2002).

### 7.1.1 – Previsão de Produção de Biogás

- Revisão

Em um aterro sanitário para que haja significativa produção de biogás é necessário dotar as bactérias metanogênicas de condições favoráveis à sua reprodução, uma vez que elas são bastante sensíveis às variações ambientais.

Dentre essas condições situam-se:

- A ausência estrita de oxigênio;
- A temperatura na faixa de 30 a 35°C;
- A umidade dos resíduos superior a 40%;
- O pH na faixa de 6,4 a 7,6;
- Os resíduos aterrados ricos em matéria orgânica; e
- A ausência de metais pesados e de substâncias tóxicas.

A produção de biogás depende dos fatores supracitados como também da composição do lixo e da técnica de aterragem. Considerando que o biogás é composto praticamente de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, cada mol destes gases possui um átomo de carbono e ocupa 22,4l nas condições normais de temperatura e pressão.

De acordo com a seguinte equação:  $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CH_4 + 3CO_2$  cada átomo de carbono (1 átomo grama = 12g) passíveis de fermentação produziria um mol de biogás.

- Memória de cálculo

A quantidade específica de biogás seria dada por:

**Cálculo do volume específico de biogás (Vg):**

$$Vg = \frac{22,4}{0,012} \frac{(Nm^3 \text{ biogás})}{(t. \text{carbono})} \times C \frac{(t. \text{carbono})}{(t. \text{lixo})}$$

$$(1) Vg = 1867 \times C \frac{(Nm^3 \text{ biogás})}{(t. \text{lixo})} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

Vg = volume específico;

t = tonelada;

C = fração de carbono passível de sofrer decomposição anaeróbia.

$$(2) C = \frac{(100 - U)}{100} \times \frac{MC}{mc} \times C \quad \text{equação (2)}$$

Onde:

U = umidade dos resíduos;

MC = porcentagem de matéria compostável nos resíduos (matéria orgânica);

mc = porcentagem de matéria combustível dos resíduos;

C = porcentagem de carbono (base seca).

Considerando as características dos resíduos sólidos do Município de Campos dos Goytacazes (Tabela 7.2 e 7.3), como exemplo, pode-se estabelecer com o uso das equações (1) e (2) a produção específica de  $Nm^3$  biogás / t lixo.

**Tabela 7.2** – Características dos RSU do Município de Campos dos Goytacazes.

<b>Classificação do Lixo</b>	<b>% (média)</b>
Matéria Combustível	93,6
Matéria Compostável	84,1
Inertes	6,4

**Tabela 7.3** – Características Físico-Químicas do Lixo.

<b>Características Físico-Químicas do Lixo</b>	<b>Global</b>	<b>Plástico</b>	<b>Papel</b>	<b>Restos Orgânicos</b>
Umidade (%)	61,28	20,88	25,34	66,40
Substâncias Voláteis (%) base seca	78,90	93,65	94,08	80,13
Cinzas (%) base seca	21,10	6,35	5,92	19,87
Carbono (%) base seca	38,18	-	-	38,60
Poder Calorífico Superior (Kcal/Kg)	3.930	8.898	4.274	3.952

De acordo com as Tabelas 7.2 e 7.3 e as equações (1) e (2), a produção específica de biogás será de 247,95Nm<sup>3</sup> biogás / t lixo. Como o aterro sanitário em questão irá receber durante sua vida útil, ou seja, 20 anos cerca de 3.948.088,3 toneladas de lixo e de posse dos dados acima é possível calcular o potencial teórico de biogás que será produzido no aterro da seguinte forma:

$$Pt = V_{gxt} = 247,95 \times 3.948.088,3 = 978.915.148,68 \text{ Nm}^3 \text{ biogás em 20 anos.}$$

Onde:

Pt = potencial teórico de biogás;

Vg = volume específico de biogás;

t = tonelada de lixo.

Esse potencial teórico de biogás não leva em conta as perdas provenientes da difusão do biogás pela superfície do aterro e as devidas à fase anaeróbia inicial do processo, ambas significativas. Nesse caso considerou-se uma taxa de produção de 50Nm<sup>3</sup> biogás/t lixo, com isso o potencial seria de 195.783.029,74 de metros cúbicos de biogás.

Praticamente 60% da composição do biogás equivale ao metano, portanto a sua produção no aterro sanitário seria de aproximadamente 117.469.817,84 metros cúbicos de metano em 20 anos de operação do aterro.

## **8 – Propriedades Mecânicas dos RSU**

Os aterros sanitários são obras geotécnicas recentes de cerca de trinta anos. São ainda raros os relatos sobre o comportamento geotécnico de maciços sanitários, isto é, da massa de resíduos, uma vez que essa preocupação somente surgiu a partir da necessidade de aproveitamento máximo de cada área de disposição, resultando na verticalização dos aterros sanitários.

No meio técnico estão ainda em discussão diversos aspectos do projeto de aterros sanitários, tais como a análise de estabilidade por meio de métodos de equilíbrio limite típicos de solo, o comportamento reológico e a compressão a longo prazo do maciço de resíduos sólidos urbanos, a geração de chorume e gases, e o transporte de poluentes dentro do aterro e para fora do mesmo.

Pode-se dizer que a previsão de desempenho dos diversos sistemas componentes de um aterro sanitário é uma atividade incipiente relativamente aos demais tipos de obras geotécnicas e que a observação do comportamento de obra, mais do que para controle e fiscalização, é importante para o próprio desenvolvimento dos conhecimentos específicos necessários e para a evolução do projeto.

As principais propriedades mecânicas dos resíduos sólidos urbanos (resistência ao cisalhamento e compressibilidade) são influenciadas pela composição e estado de alteração do resíduo e pelo comportamento individual de cada componente.

### **8.1 – Compressibilidade**

Os aterros sanitários sofrem reduções significativas durante sua vida útil devido à alta compressibilidade dos resíduos sólidos urbanos. Os principais mecanismos que condicionam os recalques observados podem ser resumidos como:

- Ações mecânicas (peso próprio, sobrecargas, etc);
- Reorientação de partículas menores devido à percolação de líquidos;
- Transformações dos resíduos por reações físico-químicas (colapsos tais como corrosão, oxidação, etc);
- Decomposição bioquímica com conseqüente perda de massa através do escape de gases, percolados, etc.

A magnitude e velocidade dos recalques, por sua vez, estão associadas aos seguintes fatores:

- Densidade ou índice de vazios inicial;
- Porcentagem de materiais degradáveis;
- Altura do aterro;
- Trajetória de tensões;
- Nível e flutuação de chorume;
- Parâmetros físicos (umidade, temperatura, presença de gases etc).

Os parâmetros de compressibilidade dos resíduos sólidos urbanos podem ser determinados em ensaios laboratoriais, ensaios in situ ou retro-análises, a partir de praças ou aterros experimentais.

A deformação dos aterros sanitários ao longo do tempo é normalmente estimada utilizando-se a teoria de consolidação unidimensional, com o recalque total sendo composto por uma parcela primária e outra secundária. Desta forma torna-se necessário à determinação do índice de compressão primária ( $C_c$ ), do índice de compressão secundária ( $C_\alpha$ ), o qual, ao contrário dos solos, inclui reduções volumétricas devido à fluência e à decomposição química e biológica dos resíduos. SOWERS, 1973 *apud* OLIVEIRA, 2002 sugere valores para  $C_c$  em função do índice de vazios, variando de  $0,15e_0$  (pouca matéria orgânica) e  $0,55e_0$  (elevada matéria orgânica). Para o índice  $C_\alpha$  o mesmo autor propõe valores entre  $0,03e_0$  (condições não favoráveis a degradação) e  $0,09e_0$  (condições favoráveis a degradação).

Face a dificuldade de determinação do índice de vazios para o RSU, recorre-se, com freqüência, aos coeficientes  $C_c'$  e  $C_\alpha'$  definidos respectivamente como os gradientes das curvas log tensões efetivas ( $\sigma'$ ) vs deformação específica ( $\varepsilon$ ) e log tempo (t) vs deformação específica ( $\varepsilon$ ), ou seja:

$$C_c' = \frac{C_c}{1 + e_0} \quad \text{e} \quad C_\alpha' = \frac{C_\alpha}{1 + e_0}$$

Diversos estudos, baseados ou não nas premissas de consolidação unidimensional, têm sido realizados no sentido de determinar parâmetros de compressibilidade para o RSU.

**Tabela 8.1** – Valores típicos do coeficiente de compressão primária  $C'_c$  para RSU.

<b>Pesquisador</b>	<b>Faixa de Variação de <math>C'_c</math></b>
Sowers	0,13 – 0,47
Burlingame	0,05 – 0,25
Gordon	0,05 – 0,10
Rao et al.	0,16 – 0,24
Landva & Clark	0,17 – 0,35
Charles	0,10 – 0,19
Converse	0,25 – 0,30
Zoino	0,15 – 0,33
Oweis & Khera	0,08 – 0,22
Mariano	0,40
Carvalho & Vilar	0,18 – 0,21

## 8.2 – Previsão de Recalques

O recalque final dos aterros sanitários apresenta-se como um valor de difícil avaliação. A taxa de recalques diminui com o tempo e com o aumento da profundidade do resíduo em relação à superfície. Sob o peso próprio, os aterros podem apresentar recalque que atingem de 5 a 40% de sua espessura original, sendo que a maior parte deste ocorre nos primeiros dois anos.

Os recalques, como dito anteriormente, são estimados considerando um mecanismo de consolidação unidimensional (aproximações elásticas ou relações do tipo **e vs log  $\sigma$** ). Segundo MARQUES, 2001 *apud* OLIVEIRA, 2002 a aplicação deste modelo, no entanto, é complexa devido aos seguintes fatores:

- Os índices de compressão primária e secundária são função dos índices de vazios inicial, cujo valor é variável e de difícil obtenção;
- As relações **e vs log  $\sigma'$**  e **e vs log t** são freqüentemente não lineares, implicando na variação significativa dos índices de compressão  $C_c$  e  $C_\alpha$  em função das tensões geradas nos aterros;

- Os recalques primários são função das tensões efetivas, as quais dependem do peso específico dos resíduos e dos níveis de líquidos percolados, parâmetros estes, igualmente, de difícil avaliação.

A seguir são apresentados alguns modelos.

### **Modelo de Sowers (1973)**

- Revisão

Trata-se da primeira proposta para avaliação dos recalques de aterros sanitários baseando-se na teoria de adensamento da mecânica dos solos. Os recalques primários são relacionados aos incrementos de carga e ocorrem de forma rápida (menos de um mês), sem acréscimo de poro-pressão. Os recalques secundários, incluindo os fenômenos de fluência e biodegradação, são admitidos com relação linear com o logaritmo do tempo.

$$\Delta H_1 = H_0 \frac{C_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0}$$

$$\Delta H_2 = H_{100} \frac{C_\alpha}{1 + e_{100}} \log \frac{t_2}{t_1}$$

Onde:

$\Delta H_1$  e  $\Delta H_2$  = respectivamente os recalques primários e secundários;

$H_0$  e  $H_{100}$  = respectivamente a espessura da camada inicial e final dos recalques primários;

$e_0$  = índice de vazios inicial;

$e_{100}$  = índice índice de compressão primária;

$C_\alpha$  = índice de vazios final dos recalques primários;

$C_c$  = de compressão secundária;

$\sigma_0$  = tensão vertical efetiva inicial atuante no meio da camada;

$\Delta\sigma$  = acréscimo de tensão vertical atuante no meio da camada em consideração;

$t_1$  = tempo inicial do período para obtenção do recalque secundário;

$t_2$  = tempo final do período para obtenção do recalque secundário.



- Memória de cálculo

Para o cálculo do recalque primário foi desconsiderada a parcela onde aparece o índice de vazios inicial devido a falta de conhecimento desse parâmetro.

Parâmetros adotados segundo a literatura pesquisada:

$$H_0 = 5,00m;$$

$$C_c = 0,217;$$

$$\sigma_0 = 50Kpa;$$

$$\Delta\sigma_0 = 250Kpa.$$

$$\Delta H_1 = H_0 \times C_c \times \log \frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0} = 5,00 \times 0,217 \times \log \frac{50 + 250}{50} = 0,84m$$

### Modelo de Meruelo (1999)

- Revisão

Este modelo é embasado no processo de perda de massa dos materiais degradáveis que ocorre durante a fase anaeróbia, a qual é condicionada, por sua vez, pela taxa de hidrolisação da matéria orgânica presente nos resíduos. A equação proposta então só é válida para previsão de recalques em longo prazo sob ação dos processos de decomposição.

$$\Delta H = \alpha \cdot H \cdot COD \left[ 1 - \left( \frac{1}{K_h t_c} \right) \cdot \left( e^{-K_h \cdot (t-t_c)} - e^{-K_h \cdot t} \right) \right]$$

Onde:

$\alpha$  = coeficiente de perda de massa;

H = altura do aterro;

COD = quantidade de matéria orgânica biodegradável presente nos resíduos por ano;

$t_c$  = tempo de construção em dias;

$K_h$  = coeficiente de hidrolisação (dia-1);

t = tempo para o qual é realizada a previsão.

- Memória de cálculo

Para os parâmetros adotados abaixo calculou-se o recalque a longo prazo:

$H = 5,00\text{m}$ :

$\alpha = 0,50$ ;

$K_h = 0,003 \text{ dia}^{-1}$ ;

$\text{COD} = 25\%$ ;

$t_c = 1 \text{ dia}$ ;

$t = 7300 \text{ dias (20 anos)}$ .

O recalque será igual a:

**$\Delta H = 0,62\text{m}$**

### 8.3 – Análises de Estabilidade

- Revisão

SINGH & MURPHY, 1990 *apud* OLIVEIRA, 2002 recomendam, como uma aproximação para análises de maciços de RSU, que para aterros com alturas medianas em torno de 61m e taludes 3H:1V, assentes em fundações relativamente resistentes, análises clássicas de estabilidade de taludes podem ser realizadas admitindo-se parâmetros dentro de faixas pré-determinadas. Os resultados devem ser interpretados a favor da condição menos conservadora, pois taludes com inclinações superiores encontram-se estáveis. Já aterros com alturas elevadas, taludes moderadamente íngrimes (1,5 a 2H:1V) e assentes em fundações pouco resistentes, apresentam potencial de ruptura pela fundação do aterro.

Para a última situação duas abordagens podem ser utilizadas: análises de estabilidade de taludes convencionais e de capacidade de carga das fundações. Os autores consideram que a resistência do aterro deve ser desconsiderada para se ter uma abordagem conservadora. Isto significa que a ruptura pela fundação ocorre antes que pelo aterro.

Tal aproximação e relatos de ruptura de aterros em condições específicas, como a apresentada por MITCHELL, 1990 *apud* OLIVEIRA, 2002 que relataram a ruptura pelo contato com o sistema de impermeabilização, conduzem a métodos de abordagem semelhantes à sugerida por DEERE & PATTON (1971) como método de precedentes modificado. O método se baseia em projetos estáveis precedentes que podem ser aplicados sobre as mesmas condições climatológicas e geológicas. No

caso de resíduos sólidos urbanos a composição é um aspecto bastante importante. Devem ser analisados os principais fatores que podem causar instabilidade do maciço (descontinuidades, água, dados estruturais e dados de resistência ao cisalhamento).

Deve-se atentar para as características do maciço de RSU, como por exemplo, a incompatibilidade das deformações entre solo de cobertura e os resíduos. Uma situação de trincas no solo não necessariamente indica uma provável ruptura devido às altas deformações do resíduo.

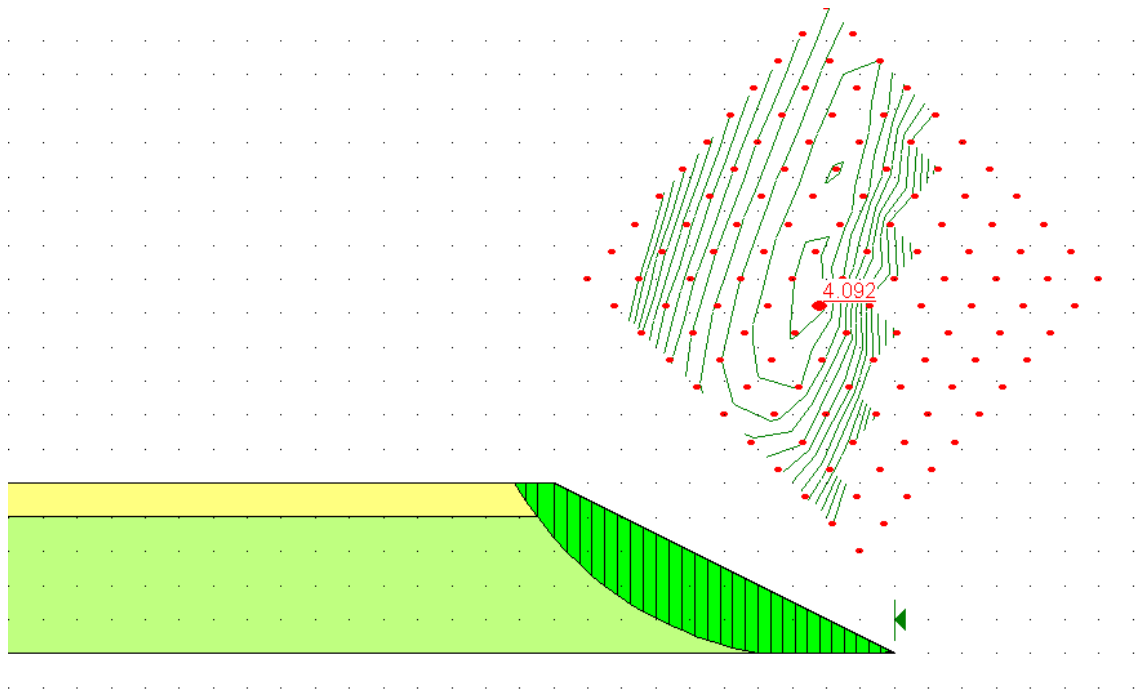
Outra característica interessante nos taludes dos aterros sanitários é a suavização da inclinação devido à compressibilidade, possibilitando a adoção de taludes mais íngrimes.

- Memória de cálculo

Para o aterro sanitário dimensionado neste trabalho analisou-se a estabilidade dos taludes através do programa GEOSLOPE e foi verificado que o talude é estável tendo um fator de segurança confiável como é mostrado nas figuras abaixo.



**Figura 8.1** – Verificação da estabilidade do talude.



**Figura 8.2** – Detalhe estabilidade do talude.

## 9 – Conclusão

A área mais adequada para a instalação do aterro sanitário está localizada próximo à rodovia Campos – São Fidélis Km13, pois foi a que atendeu mais aos critérios analisados. O aterro sanitário terá 20 anos de vida útil e suas células terão 5,0 m de altura podendo apresentar 0,84 m de recalque.

A área total do aterro será de 352.485,71m<sup>2</sup> ou 35,2 hec sendo que seria necessária uma área adicional de 20% para a construção das edificações auxiliares e de apoio como uma guarita, uma balança rodoviária, prédio de administração e um galpão de manutenção e oficina coberta. Logo a área final seria de 422.982,85m<sup>2</sup> que corresponde a 42,3 hec.

Aspectos tais como o aproveitamento efetivo do biogás devia ser pensado com mais interesse em nosso país, já que, embora explorado em países europeus, são desprezados no Brasil, uma vez que são raros os exemplos em que ocorre a preocupação na qualidade da implantação desses sistemas. No caso de aproveitamento do biogás o aterro sanitário dimensionado geraria aproximadamente 117.469.817,84m<sup>3</sup> de metano em 20 anos de operação.

De forma geral, um dos aspectos mais controvertidos com relação à implantação de aterros sanitários refere-se à ocupação contínua de área, fato este empregado muitas vezes para se justificar a escolha de outros tipos de sistemas de tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos. Observa-se, contudo, que com raras exceções para o Brasil, o custo do terreno e demais custos de investimento são relativamente pequenos quando comparados aos custos de implantação e operação.

A garantia da qualidade do aterro sanitário amplia o potencial de utilização do mesmo para além de um simples sistema de disposição final de resíduos sólidos urbanos.

## Referências Bibliográficas

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8419: *Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro, 1992.
- As melhores práticas em gestão integrada de resíduos sólidos*. Seminário Internacional, Rio de Janeiro, 2003.
- CASTILHOS JÚNIOR, Armando Borges de. *Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte*. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003.
- ENGECORPS – Corpo de Engenheiros Consultores (1996). Rel: 064-SSO-NOD-B173. *Estado da Arte dos Aterros Sanitários – Parte II*, abril, 1996, 233p.
- IPT (1995). *Manual de Gerenciamento Integrado do Lixo Municipal*. 1ª Edição, São Paulo, CEMPRE, 1995, 278p.
- LIMA, Luiz Mário Queiroz. *Lixo – Tratamento e Biorremediação*. 3ª edição, Revista e Ampliada, Hemus.
- MONTEIRO, José Henrique Penido. *Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.
- Netto, Azevedo. *Manual de Hidráulica*. São Paulo, Editora Edgard Blucher, 8ª edição, 1998.
- OJIMA, Mario K.; HAMADA, Jorge. *Aterro sanitário: análise técnico-econômica para implantação e operação*. XXIV Congresso – AIDIS, Buenos Aires, 1994.
- OLIVEIRA, Antônio Manoel dos Santos; BRITO, Sérgio Nertan Alves. *Geologia de Engenharia*. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.
- OLIVEIRA, David Américo Fortuna. *Estabilidade de taludes de maciços de resíduos sólidos urbanos*. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, 2002.
- PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2000.
- SANTOS JÚNIOR, Elias Lira dos. *Avaliação da contaminação do solo por metais pesados na área de disposição final de resíduos sólidos da cidade de Campos dos Goytacazes-Rj*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2002.
- TUCCI, Carlos E. M.; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mário T. de. *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH, Editora da Universidade, UFRGS, 1995.

Internet:

[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)

<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>

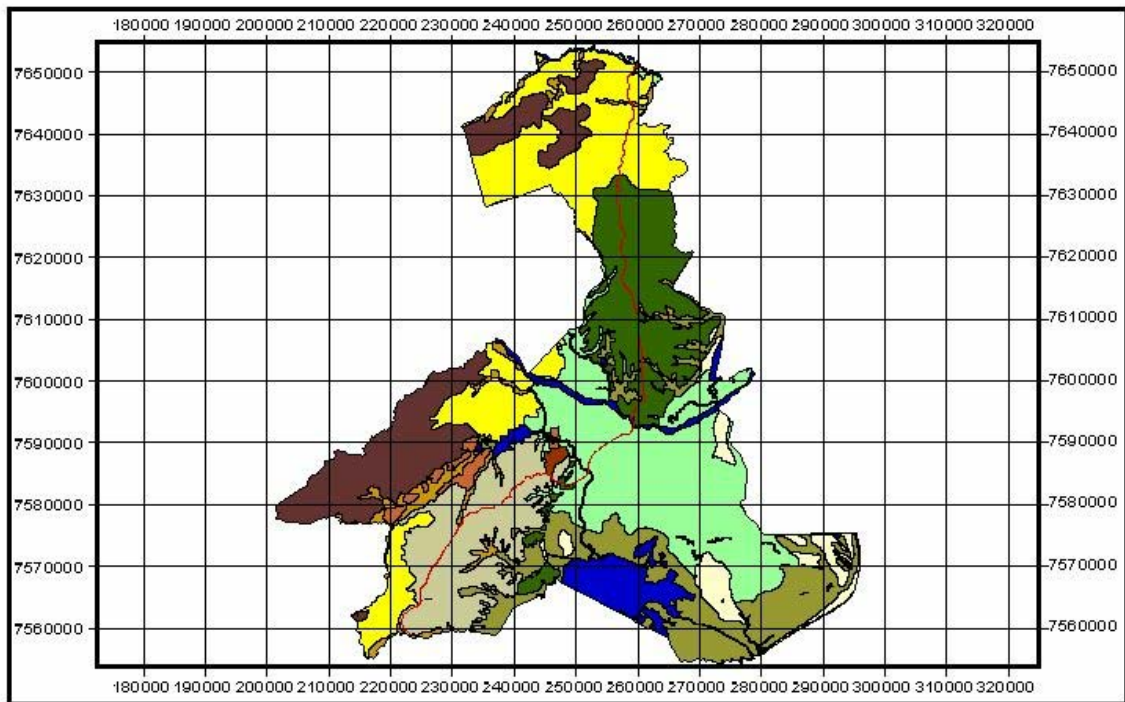
[http://www.aondefica.com/satgoorj.asp?cod\\_sat=6612](http://www.aondefica.com/satgoorj.asp?cod_sat=6612)

[http://www.tce.ba.gov.br/Publicacoes/conteudo/6\\_sinaop/sinaop/html/paineis/p3/p3\\_t1\\_meio\\_ambiente.pdf](http://www.tce.ba.gov.br/Publicacoes/conteudo/6_sinaop/sinaop/html/paineis/p3/p3_t1_meio_ambiente.pdf)

<http://www.tce.rj.gov.br/sitenovo/index.htm>

Anexo 01:

### Geomorfologia



Legenda

- BR 101
- Corpos d'água
- Colinas Isoladas
- Domínio Colinoso Suave
- Domínio Serrano
- Domínio Suave Colinoso
- Planície Colúvio-Alúvio-Marinha
- Planícies Aluviais
- Planícies Costeiras
- Planícies Flúvio-Lagunares
- Serras Isoladas
- Tabuleiros



Projeção Universal Transversa de Mercator  
Datum: SAD 69

Figura x: Geomorfologia da área de estudo  
(Fonte: Modificado de CPRM/RJ).

Figura A1.1 – Mapa de Geomorfologia de Campos dos Goytacazes/RJ.



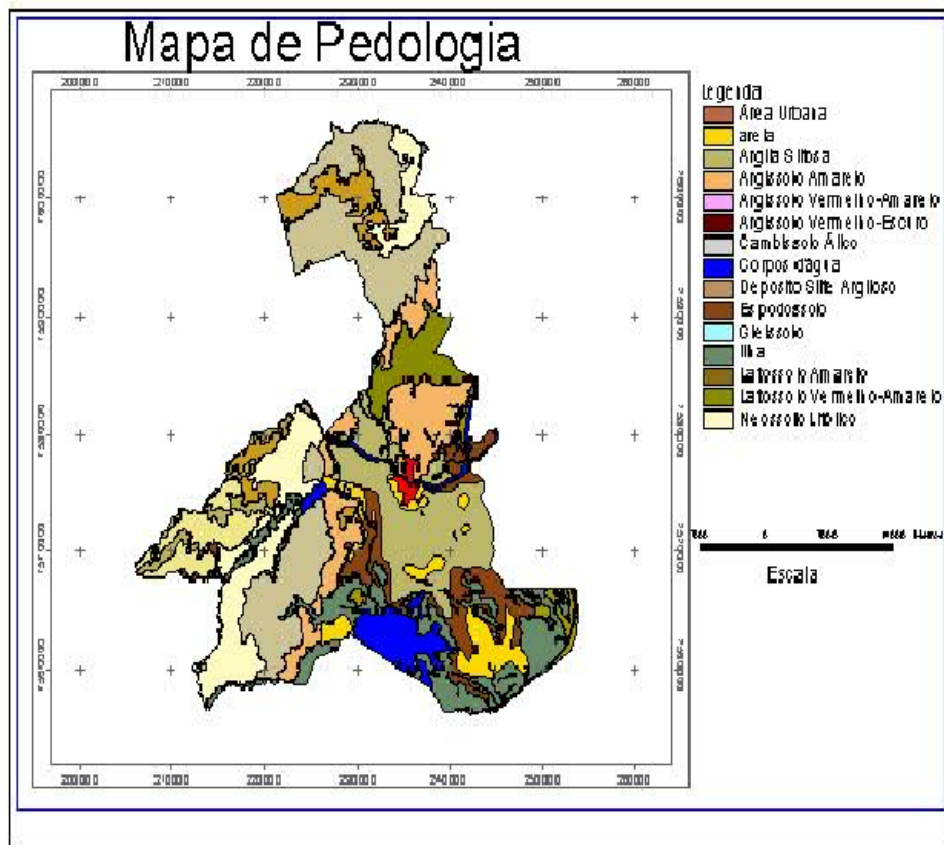


Figura A1.2 – Mapa de Pedologia de Campos dos Goytacazes/RJ.

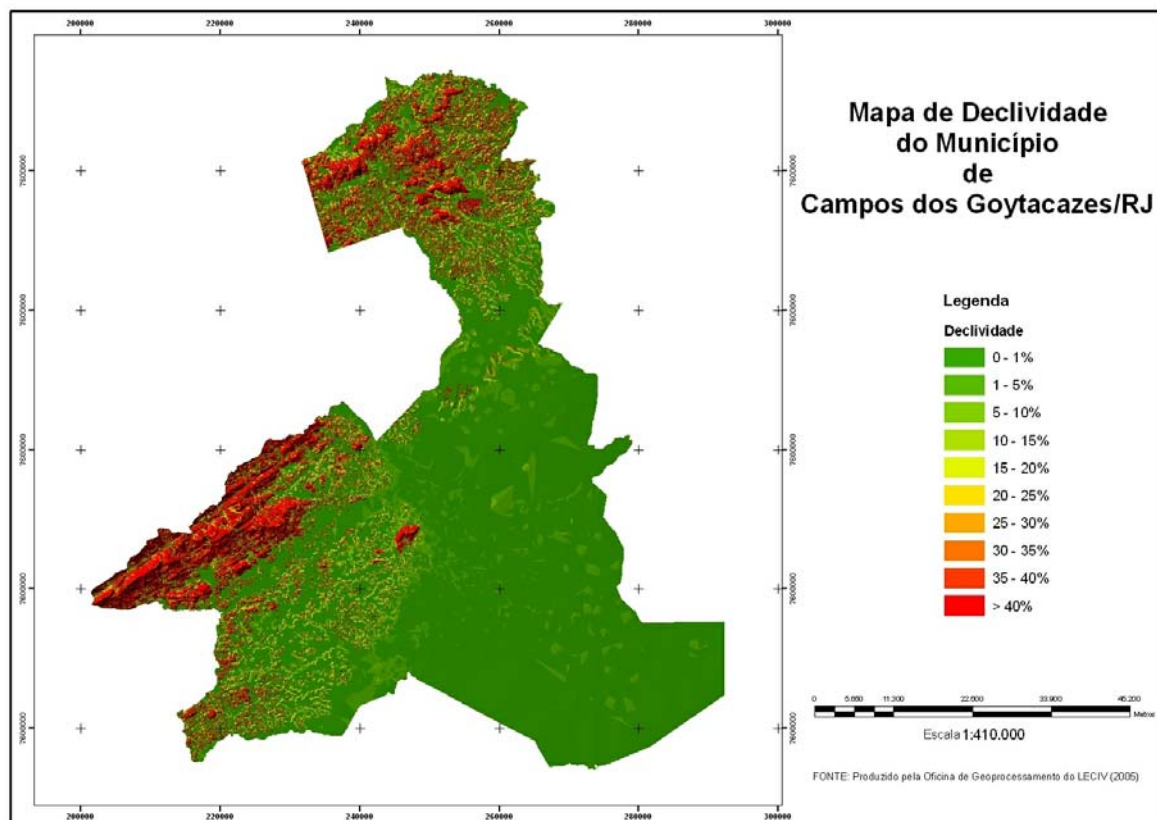
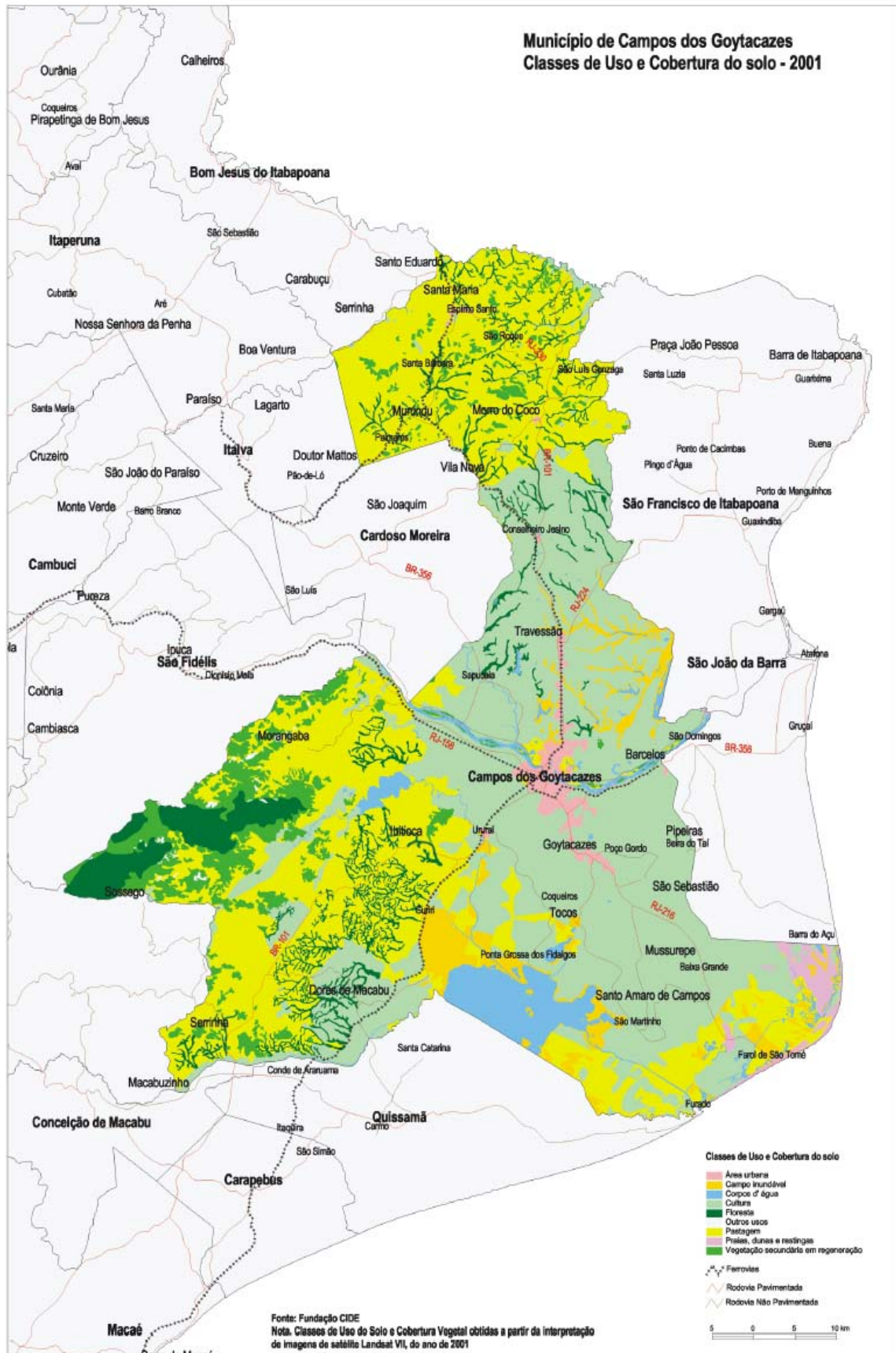


Figura A1.3 – Mapa de declividade do município de Campos dos Goytacazes/RJ.



**Figura A1.4** – Mapa de classes de uso e ocupação de solo de Campos dos Goytacazes/RJ.

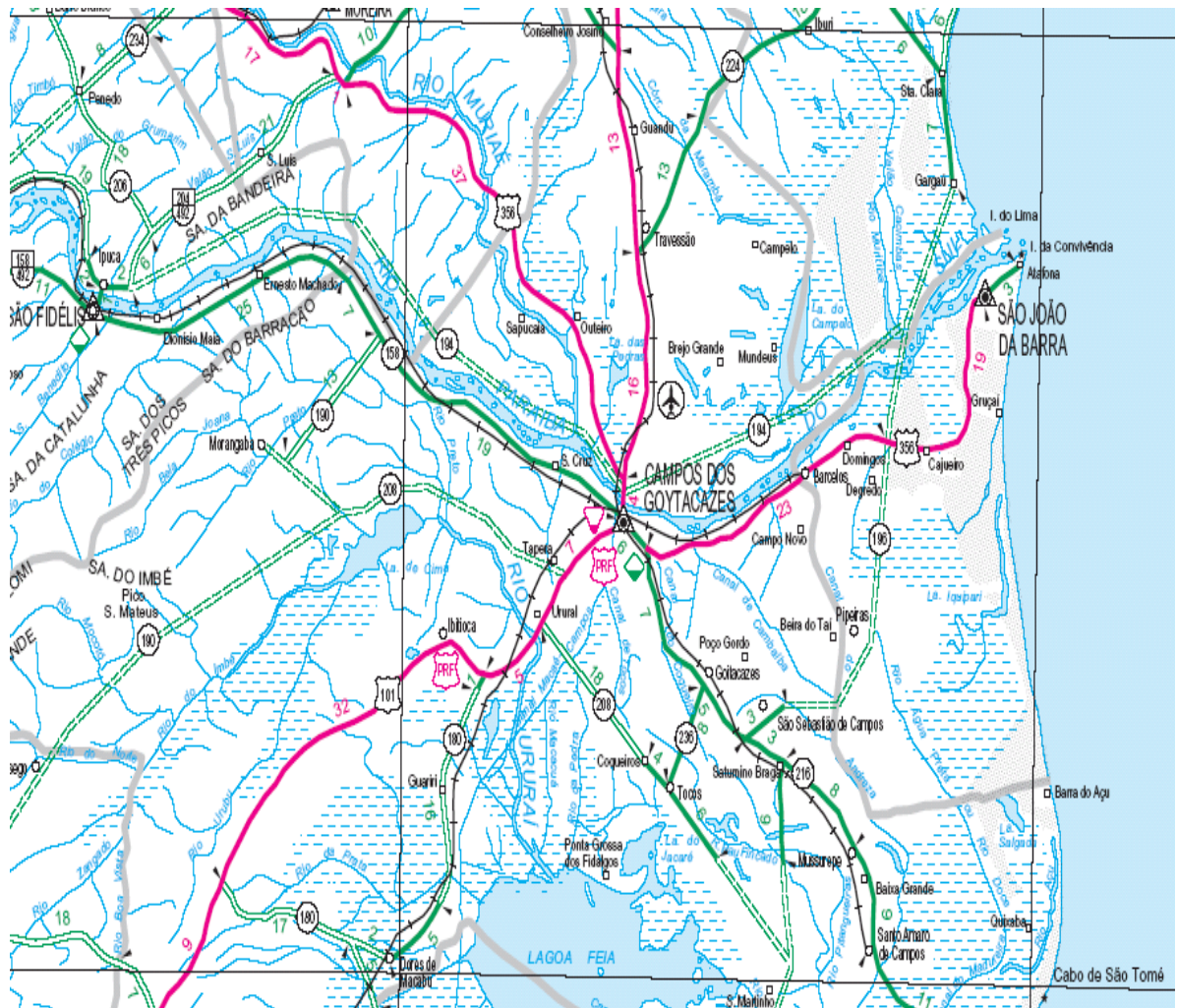
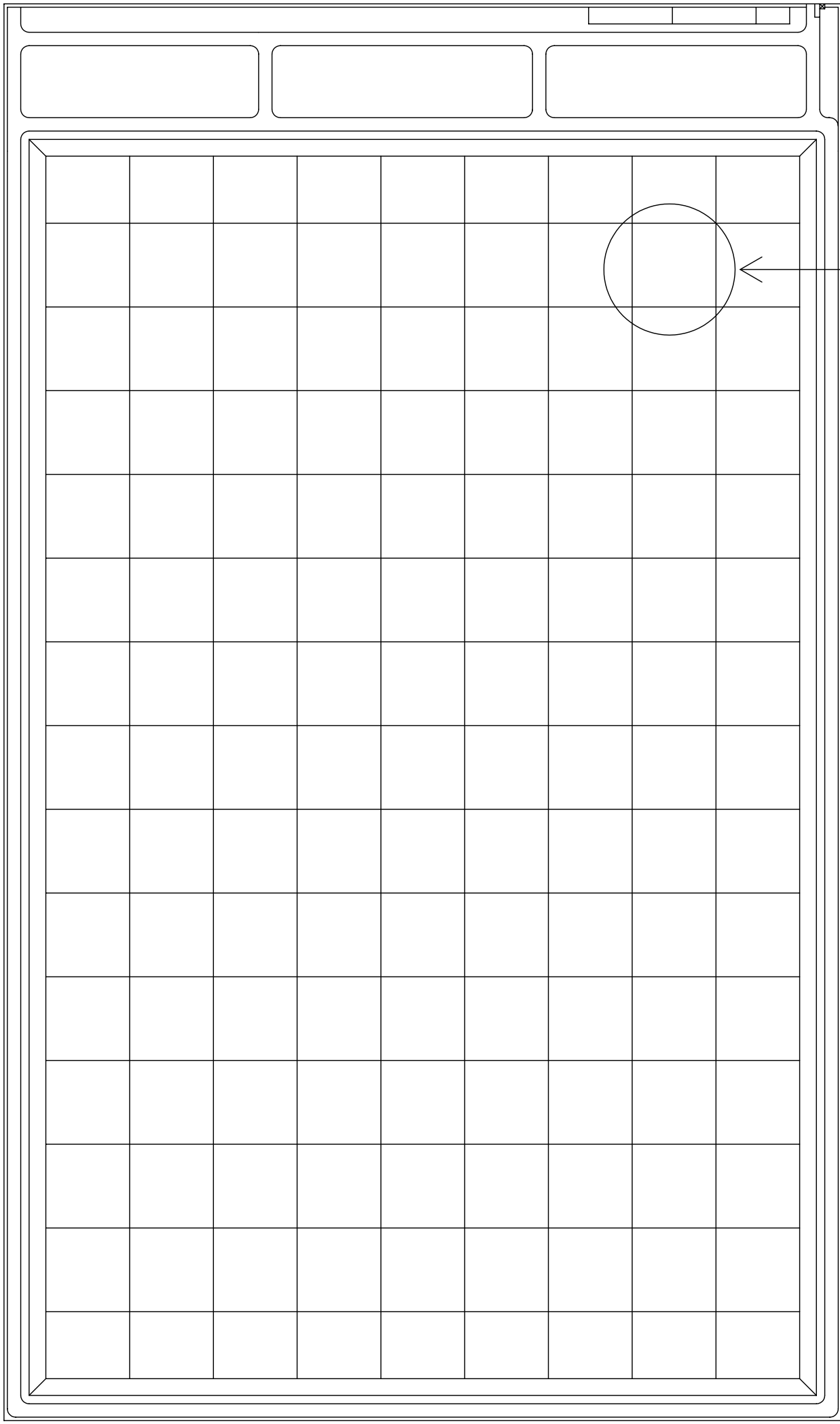


Figura A1.5 – Mapa rodoviário de Campos dos Goytacazes/RJ.

846,00

500,00



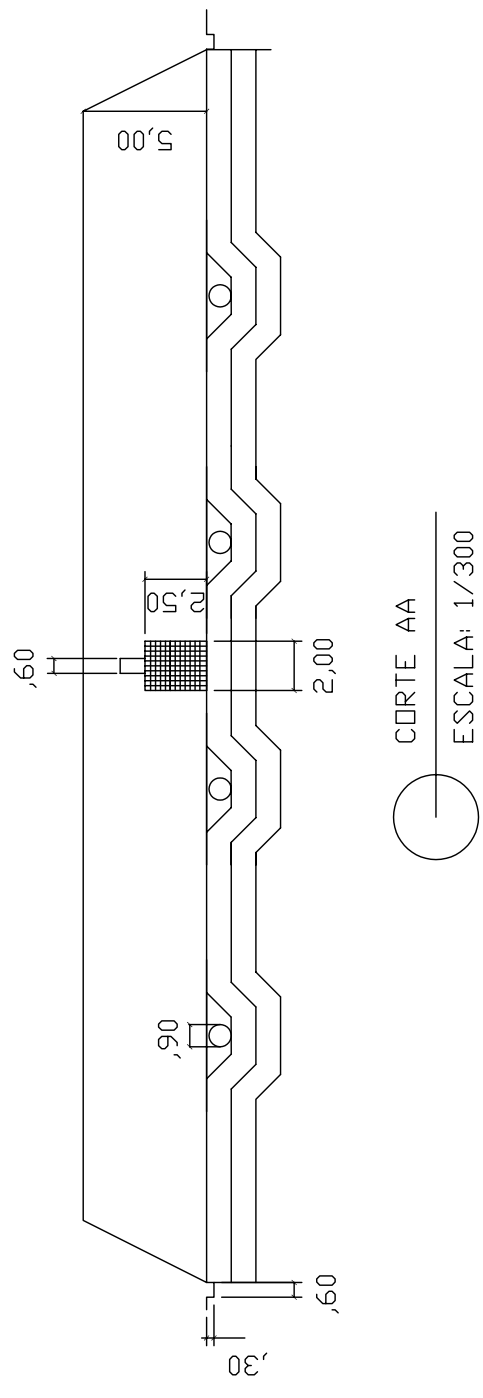
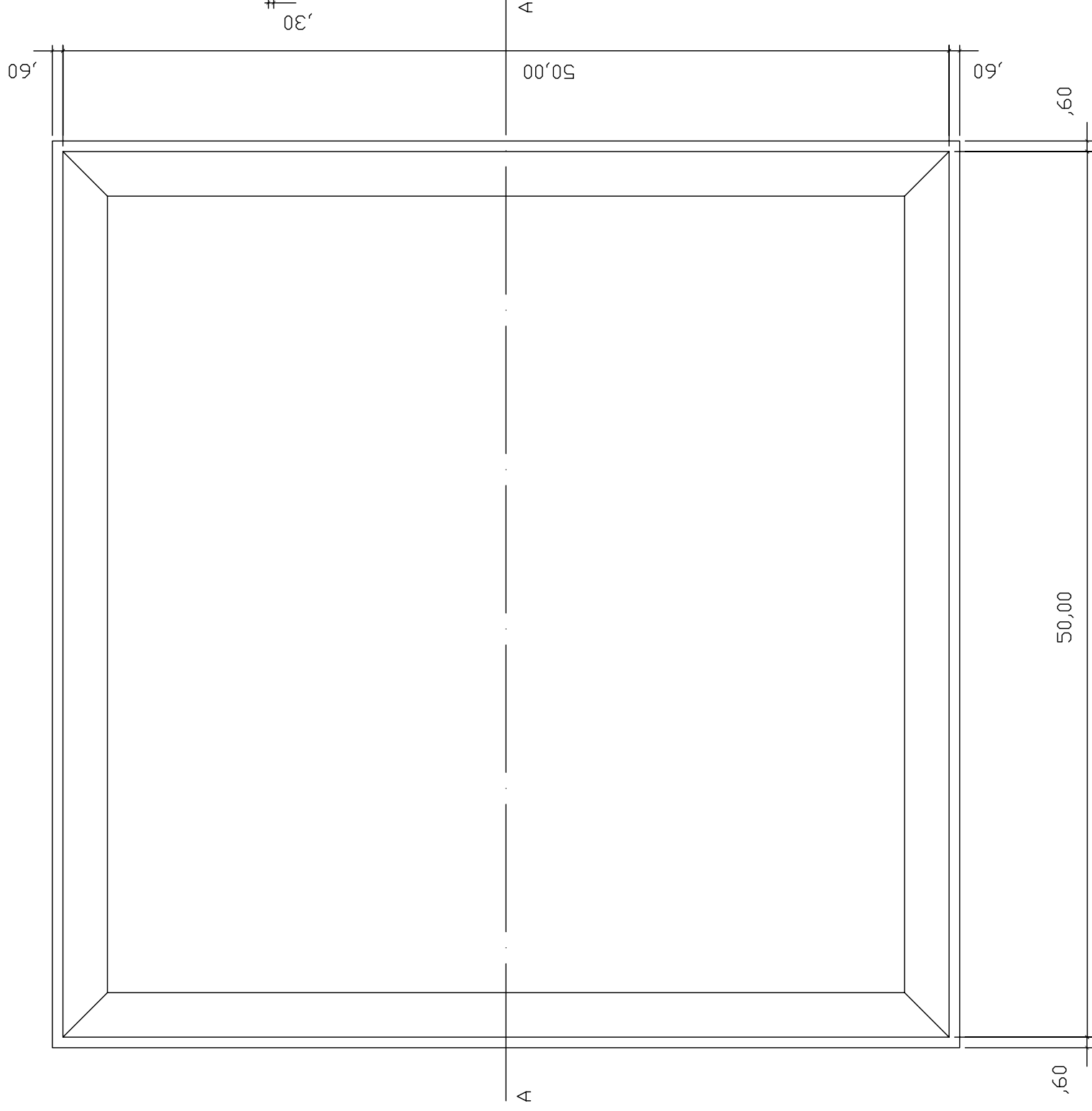
GALPÃO COBERTO  
OFICINA COBERTA  
ADMINISTRAÇÃO  
GUARITA E BALANÇA

VER DETALHE DA CÉLULA

PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

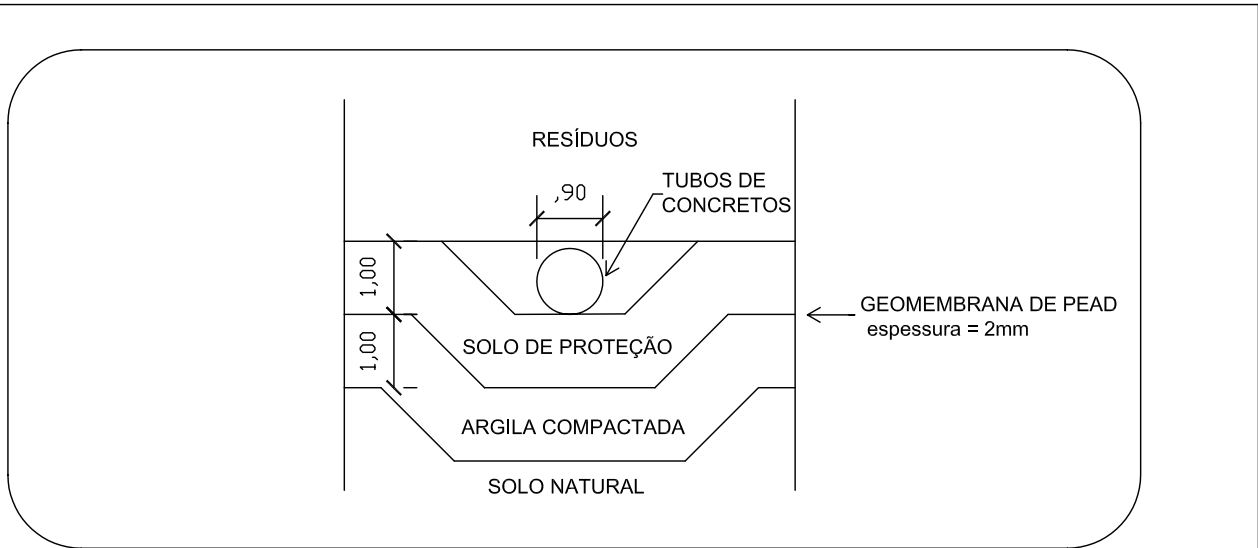
ESCALA: 1/3000

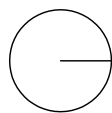
Projeto: ESCOLHA DE UMA ÁREA PARA DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E DIMENSIONAMENTO DE UM ATERRO SANITÁRIO PARA A CIDADE DE CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ	Data: 29/09/2005
Local: CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ	
Nome: ATERRO SANITÁRIO	
Desenho: A2.1	Planta: LOCALIZAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO
Autor: EDIMAR BATISTA CURTY	
Escala: INDICADA NO DESENHO	

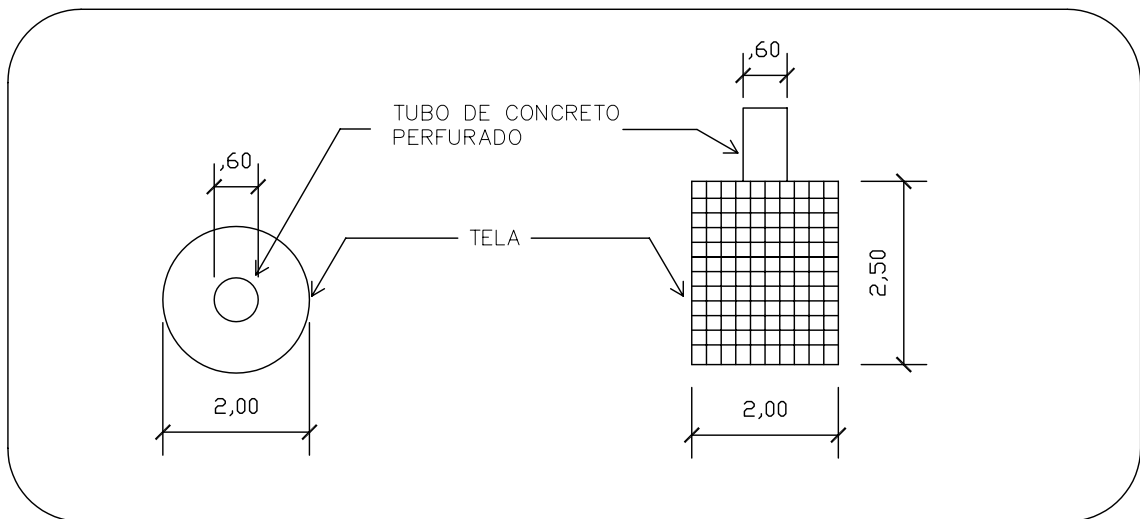


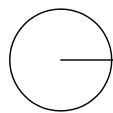
DETALHE DA CÉLULA  
ESCALA: 1/300

Projeto: ESCOLHA DE UMA ÁREA PARA DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E DIMENSIONAMENTO DE UM ATERRO SANITÁRIO PARA A CIDADE DE CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ	Data: 29/09/2005
Local: CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ	
Nome: ATERRO SANITÁRIO	
Desenho: A2.2	Planta: DETALHAMENTO DA CÉLULA E CORTE AA
Autor: EDIMAR BATISTA CURTY	
Escala: INDICADA NO DESENHO	

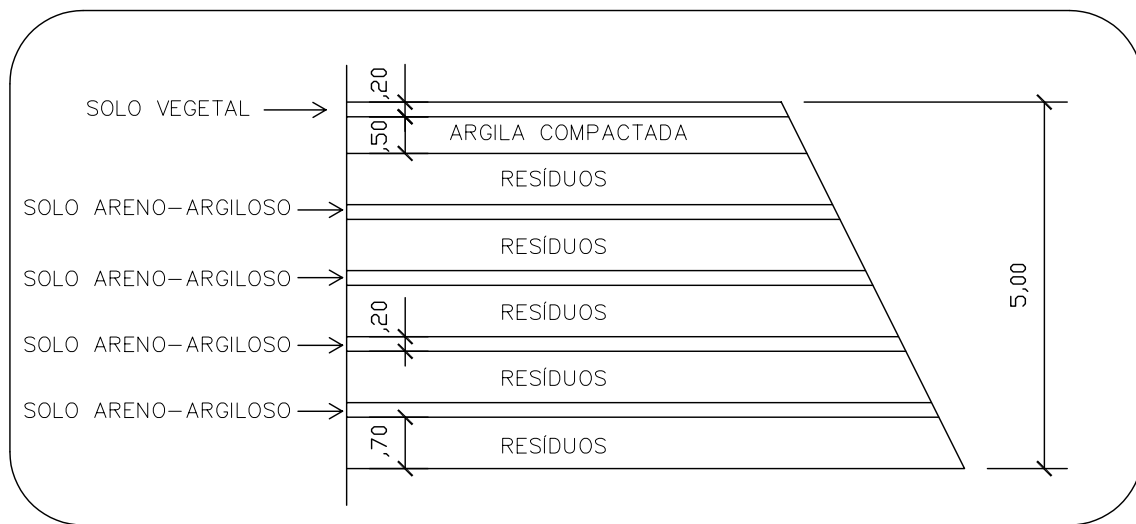


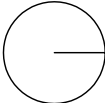

 DETALHE DO DRENO HORIZONTAL  
 ESCALA: 1/100

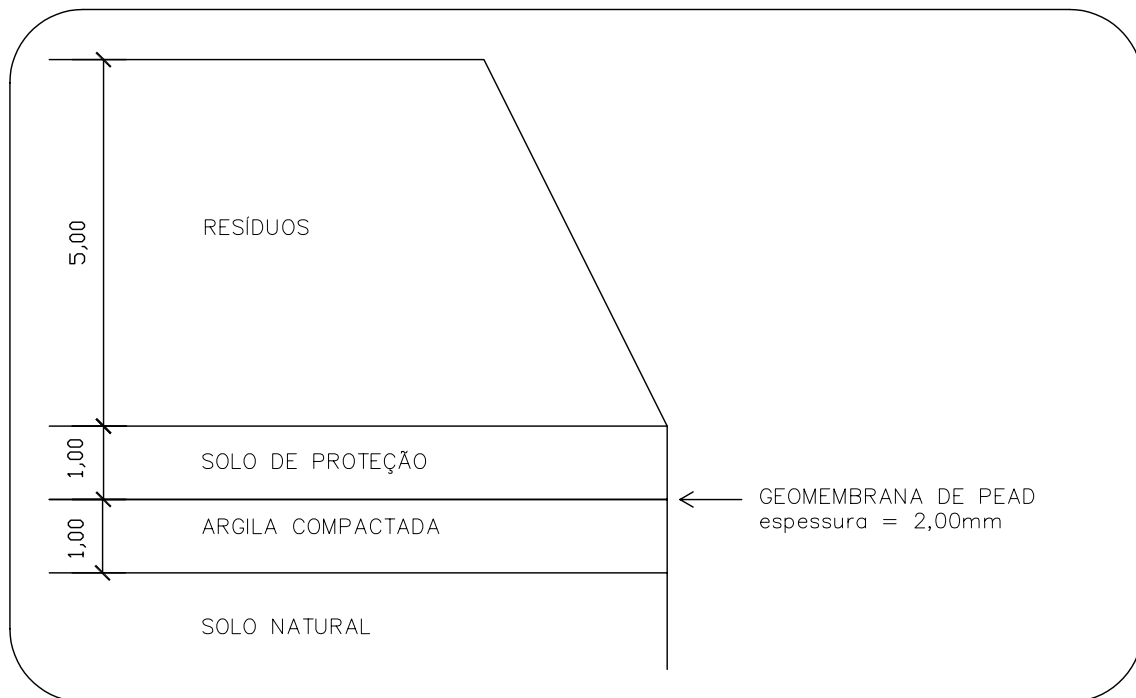


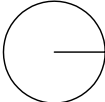

 DETALHE DO DRENO VERTICAL  
 ESCALA: 1/100

Projeto: ESCOLHA DE UMA ÁREA PARA DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E DIMENSIONAMENTO DE UM ATERRO SANITÁRIO PARA A CIDADE DE CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ		Data: 29/09/2005
Local: CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ		
Nome: ATERRO SANITÁRIO		
Desenho: A2.3	Planta: DETALHAMENTO DOS DRENOS HORIZONTAIS E VERTICAIS.	
Autor: EDIMAR BATISTA CURTY		Escala: INDICADA NO DESENHO




 DETALHE DA COBERTURA DO ATERRO SANITÁRIO  
 ESCALA: 1/100




 DETALHE DA FUNDAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO  
 ESCALA: 1/100

Projeto: ESCOLHA DE UMA ÁREA PARA DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E DIMENSIONAMENTO DE UM ATERRO SANITÁRIO PARA A CIDADE DE CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ		Data: 29/09/2005
Local: CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ		
Nome: ATERRO SANITÁRIO		
Desenho: A2.4	Planta: DETALHAMENTO DA COBERTURA E DA FUNDAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO	
Autor: EDIMAR BATISTA CURTY		Escala: INDICADA NO DESENHO