



Centro Universitário de Brasília - UNICEUB  
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS  
Curso: Engenharia Civil

**EDUARDO LELIS PASSOS**

**CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE ÁREA NA IMPLANTAÇÃO DE  
UM ATERRO SANITÁRIO – ESTUDO DE CASO DO ATERRO  
SANITÁRIO DE BRASÍLIA / DF**

Brasília  
2019

**EDUARDO LELIS PASSOS**

**CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE ÁREA NA IMPLANTAÇÃO DE  
UM ATERRO SANITÁRIO – ESTUDO DE CASO DO ATERRO  
SANITÁRIO DE BRASÍLIA / DF**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado como um dos requisitos para  
a conclusão do curso de Engenharia Civil  
do UniCEUB – Centro Universitário de  
Brasília.

Orientador: Eng. Civil Rideci Farias, D. Sc.

**EDUARDO LELIS PASSOS**

**CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE ÁREA NA IMPLANTAÇÃO DE  
UM ATERRO SANITÁRIO – ESTUDO DE CASO DO ATERRO  
SANITÁRIO DE BRASÍLIA / DF**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado como um dos requisitos para  
a conclusão do curso de Engenharia Civil  
do UniCEUB – Centro Universitário de  
Brasília.

Orientador: Eng. Civil Rideci Farias, D.  
Sc.

Brasília, 08 de Fevereiro de 2019.

**Banca Examinadora:**

---

Profº. Rideci Farias, D.Sc.  
(Orientador)

---

Profº. Gabriela de Athayde Duboc Bahia, M. Sc.  
(Examinador Interno)

---

Profº. Jocinez Nogueira Lima, M. Sc.  
(Examinador Externo)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que me amparou e guiou nesta jornada, dando-me sabedoria e discernimento para persistir mesmo perante aos obstáculos.

Aos meus pais, Hidebrando Machado Dos Passos e Aparecida Da Silva Lelis Passos, por sempre acreditarem em mim, oferecendo-me todo incentivo, apoio e cuidado.

Às minhas irmãs, Edeline Lelis Passos e Deborah Lelis Passos, por sempre estarem ao meu lado ajudando-me a perseverar e servir de bom exemplo.

A todos meus colegas de faculdade, em especial, Daniel Patrik, Gustavo Afonso e Inácio Araujo, por todo apoio, aprendizagem e companheirismo durante o curso.

Ao meu orientador Rideci Farias, pela paciência, disposição, dedicação e atenção que tornaram possível a conclusão desta monografia.

E por fim, agradeço toda a equipe de professores e funcionários do UniCeub por todo aprendizado durante a caminhada acadêmica.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

## RESUMO

No propósito da legislação brasileira a disposição conclusiva da porção dos resíduos que não pode ser reutilizada, reciclada ou tratada deve ser exercida em aterros sanitários. Desse modo, tendo em vista que, na atualidade do padrão tecnológico, há uma incapacidade de tratamento pleno dos resíduos por meio de métodos que permitam seu tratamento ou aproveitamento, a exigência por aterros sanitários ainda é uma realidade neste cenário. Um aterro sanitário é projetado por meio da ciência de engenharia, essencialmente aqueles relacionados a aspectos ambientais e geotécnicos que proporcionam a disposição final dos resíduos de uma forma ambientalmente correta. A forma irregular da disposição final, por outro lado, causa grandes impactos nas diversas áreas – sociais, ambientais e econômicos – que foi vivida por muitos anos pelo Distrito Federal, com o Aterro Controlado do Jockey. Procurando corrigir isso o Distrito Federal construiu o seu primeiro aterro sanitário, o Aterro Sanitário de Brasília (ASB). O atual estudo tem como propósito fundamental examinar as principais questões ambientais e geotécnicos relacionados à implantação do ASB. A propósito foi elaborado uma análise e levantamento dos documentos que proporcionaram a escolha da região para locação deste aterro e das soluções de controle de impactos ambientais específicas a serem realizadas no ASB. Através disso teve possibilidade de gerar um delineamento do perfil ambiental, geológico e geotécnico da região e afirmar os possíveis impactos de ordem geotécnico-ambiental da implantação do aterro nesta região. Frente a este delineamento e às referências normativas e legislações ambientais essenciais a aterros sanitários e ao gerenciamento ambiental, os dados obtidos permitiram alcançar o principal objetivo deste trabalho e também de maneira a se estabelecer o paradigma tecnológico relativo a estas soluções para o aterro de Brasília. Ou seja, com os resultados obtidos a implantação do aterro foi possível, de acordo com os resultados das análises de sondagem e ensaios de permeabilidade por meio de ensaios de infiltração e limite de aspecto, indicando a implantação do ASB.

**Palavras-chave:** Aspectos. Geotécnicos. Ambientais. Aterro. Sanitário. Brasília.

## ABSTRACT

In the same manner proposed in Brazilian law, the final disposal of the portion of waste that can not be reused, recycled or treated must be carried out in landfills. Thus, considering that, in the current technological standard, there is an inability to treat waste completely by means of methods that allow its treatment or use, the requirement for landfills is still a reality in this scenario. A sanitary landfill is designed through engineering knowledge, essentially those related to environmental and geotechnical aspects provide the final disposal of waste in an environmentally correct manner. The irregular manner of the final disposition, on the other hand, caused great impacts in the several areas - social, environmental and economic - that was lived for many years by the Federal District, with Jockey Controlled Landfill. Looking to correct this the Federal District built its first landfill, the Western Sanitary Landfill (ASB). The main objective of the present study was to analyze the main environmental and geotechnical aspects related to ASB implantation. An analysis and survey of the documents that provided the choice of the region for the lease of this landfill and the specific environmental impact control solutions to be carried out in the ASB was elaborated. Through it was possible to generate a delineation of the environmental, geological and geotechnical profile of the region and to affirm the possible geotechnical-environmental impacts of the landfill's implantation in this region. In view of this design and the normative references and environmental legislation essential to landfills and environmental management, the data obtained in allowed to reach the main objective of this work and also establish order to the technological paradigm related to these solutions for Brazilian landfills. That is, with the results obtained the implantation of the landfill was possible, according to the results of the probing analyzes and permeability tests by means of infiltration tests and aspect limit, indicating the implantation of the ASB.

**Keywords:** Aspects. Geotechnical. Environmental. Landfill. Restroom. Brasilia.

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Aterro Sanitário. -----	<b>16</b>
<b>Figura 2</b> – Aterro Sanitário de Brasília -----	<b>16</b>
<b>Figura 3</b> - Camada de revestimento de base. -----	<b>17</b>
<b>Figura 4</b> - Elementos típicos de drenagem no revestimento de base -----	<b>22</b>
<b>Figura 5</b> - Exemplo de configurações possíveis para os elementos de drenagem e coleta de percolados. -----	<b>23</b>
<b>Figura 6</b> - Trincheira coletora de percolados. -----	<b>23</b>
<b>Figura 7</b> - Tubo perfurado de coleta de percolado. -----	<b>25</b>
<b>Figura 8</b> - Instalação de dreno vertical de gases. -----	<b>27</b>
<b>Figura 9</b> - Exemplo de captação de retirada de gás. -----	<b>28</b>
<b>Figura 10</b> - Revestimento de cobertura. -----	<b>30</b>
<b>Figura 11</b> - Instrumentação do monitoramento geotécnico de aterros sanitários. ---	<b>34</b>
<b>Figura 12</b> - Representação dos contaminantes em uma camada rasa. -----	<b>37</b>
<b>Figura 13</b> - Sondagens via Google Earth. -----	<b>42</b>
<b>Figura 14</b> - Perfis estratigráficos (NSPT). -----	<b>43</b>
<b>Figura 15</b> - Avaliação da permeabilidade por meio de ensaios de infiltração. -----	<b>45</b>
<b>Figura 16</b> - Amostras nas sondagens a trado. -----	<b>46</b>
<b>Figura 17</b> – ETE Melchior. -----	<b>52</b>



## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Uso geossintéticos em sistemas de drenagem e coleta de percolados--	<b>25</b>
<b>Tabela 2</b> - Monitoramento de deslocamentos-----	<b>33</b>
<b>Tabela 3</b> - Potencial de colapsividade do solo -----	<b>47</b>
<b>Tabela 4</b> - Resultados dos ensaios triaxiais CIU -----	<b>48</b>
<b>Tabela 5</b> - Aspectos ambientais e técnicos -----	<b>51</b>

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**ARIE** - Relevante Interesse Ecológico.

**ASB** – Aterro Sanitário de Brasília.

**BELACAP** - Serviço de Ajardinamento e Limpeza Urbana.

**ETE** – Estação de tratamento de esgoto.

**EIA** - Estudos de Impactos Ambientais.

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

**PDOT** - Plano de Ordenamento Territorial.

**PNRS** – Política Nacional de Resíduos Sólidos.

**RIMA** - Relatório de Impactos Ambientais.

**RSU** – Resíduos Sólidos Urbanos.

**SOUCTL** - Usina de Compostagem e Tratamento de Lixo.

**UCTL** - Usina Central de Tratamento de Lixo.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
2.1. Objetivo Geral .....	13
2.2 Objetivos Específicos .....	13
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>14</b>
3.1 PNRS com relação à destinação final de RSU.....	14
3.2 Elementos constituintes de um RSU .....	15
3.2.1 Camada de base .....	16
3.2.2 Os Sistemas de percolados.....	21
3.2.3 Do controle de gases e sistema de coleta.....	26
3.2.4 Camada de cobertura.....	29
3.3 Controle e monitoramento para um aterro sanitário .....	32
3.3.1 Instrumentação de um aterro sanitário .....	32
3.3.2 Controle ambiental .....	35
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>38</b>
4.1 Levantamento e análise de estudos e documentos .....	38
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>40</b>
5.1 Do relatório geotécnico.....	41
5.2 Da aprovação da região com base no Estudo de Impactos Ambientais (EIA) ....	50
<b>6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS</b> .....	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O controle dos resíduos sólidos na contemporaneidade se fundamenta em instruções relacionadas à redução, reutilização, não geração de resíduos, e reciclagem. Estas atividades têm prioridade em relação à disposição final ecossistêmica adequada ou o processo destes resíduos.

Assim sendo, inviável diminuir totalmente a formação de resíduos por gestões que incitam uma maior conscientização ambiental ou executem a logística reversa, torna-se essencial o tratamento destes resíduos.

A etapa remanescente deste processo, ou a mesma para a qual não apresente ainda disponibilidade econômica ou acessibilidade tecnológica, para ser tratada tem que ser essencialmente designada à uma unidade que proporcione estrutura final ambientalmente apropriada.

Esta fase proporciona outra aceção, não mais sendo atribuída como resíduo, e sim rejeito.

Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), que implanta a Política Nacional dos Resíduos Sólidos expõe que o discernimento dos rejeitos em aterros sanitários e a compreensão de projeto final ecológico apropriada são paralelas.

Dessa forma, os aterros sanitários são recursos que exercem a função final para a parte dos resíduos que não devem ser tratadas ou reutilizadas e que asseguram imunidade à essas estruturas de danos ou riscos à saúde pública e a segurança e diminuirá os eventuais impactos ambientais diversos.

Perante esta ideia se torna claro que um aterro deve ser composto de elementos que certifiquem os impactos diversos em sua área de influência de forma que estes sejam reduzidos, ou no mínimo, estejam em acordo com as exigências estipuladas pelas legislações sanitárias e ambientais.

Nota-se que estes princípios são compreendidos baseando-se essencialmente em fundamentos de engenharia, estritamente àqueles associados aos aspectos ambientais e geotécnicos.

É indispensável o aspecto que identifica um aterro sanitário das outras soluções indevidas para a disposição final de rejeitos, que são o caso dos aterros controlados e lixões. Em contestação ao potencial impactante da aplicabilidade imprópria de rejeitos em dispositivos como estes, é preocupante a corroboração de que esta é a finalidade ainda utilizada para os rejeitos gerados em nível nacional.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é pesquisar e analisar quais os aspectos geotécnicos e ambientais aplicados para implantação do Aterro Sanitário de Brasília e seus impactos ambientais para região de Samambaia- DF.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Para se alcançar uma resposta ao tema proposto neste trabalho é necessário:

1. Analisar se a destinação dos resíduos sólidos do Distrito Federal pode cumprir as diretrizes e legislação que regem a implantação de aterros sanitários;
2. Averiguar se os elementos que constituem um aterro sanitário no Distrito Federal são eficazes para o seu confinamento;
3. Avaliar se as variáveis aplicadas pelo monitoramento geotécnico são aptas ao controle de deslocamento do aterro sanitário;
4. Examinar se os documentos que embasaram a escolha da área da implantação do Aterro de Brasília - Samambaia-DF seguiram todas as diretrizes.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A concepção de aterro sanitário é o mais adequado na definição de arranjo final ambientalmente apropriada proposta pelo PNRS. A respeito de, como já citado neste conteúdo, esta legislação estabelece a disposição em aterros, compreendido com uma ordem de prevalência para o destino final do RSU é real que implantação de aterros ainda se faz necessário à insuficiência atual, ou em curto tempo, de tratamento pleno do RSU por etapas físicas ou biológicas, como reciclagem e a compostagem, respectivamente.

Destaca-se que isto é uma realidade que não se limita aos países em desenvolvimento, visto que, por exemplo, os Estados Unidos ainda possuem cerca de 75% dos resíduos gerados em aterros, apesar de todos os esforços voltados para diminuir, reciclar e reutilizar estes resíduos (QIAN; KOERNER; GRAY, 2002 citado por NISYAMA, 2016).

Nesta situação, os aterros sanitários são considerados uma solução para projeção final de RSU, que, baseado em princípios de engenharia e normas operacionais, proporcionam o seu armazenamento de maneira a reter a poluição ambiental e resguardar a saúde pública, diminuindo assim os seus impactos ao meio ambiente (IPT, 2000). Isso significa que o Distrito Federal visava à construção de seu primeiro aterro sanitário, o Aterro Sanitário de Brasília, estabelecido nas imediações da Região Administrativa de Samambaia.

#### **3.1 PNRS com relação à destinação final de RSU**

Na atualidade o aparato legal que ressalta a administração dos resíduos sólidos é a lei nº12.305 de 2010, que rege a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), no qual os desenvolvimentos mostram o momento presente no sentido da adaptação de maneira que é realizada esta administração ao que é sugerido nesta lei. (BRASIL, 2010).

A origem desta lei vem do Projeto de Lei nº 203, de 1991, que rege sobre a coleta, o acondicionamento, o transporte, o tratamento e a destinação final dos resíduos de serviços de saúde (BRASIL, 1991).

Com o decorrer do tempo de tramitação, propósitos de lei foram incorporados a este, elevando assim seu alcance além do campo dos resíduos de serviços de saúde, o que ocasionou na sua mudança na Lei nº12.305, sancionada no dia 2 de agosto de 2010.

A administração e a coordenação de resíduos, como mostrados no PNRS, devem manter a seguinte ordem de prioridade: redução, não geração, reciclagem, reutilização, tratamento e, por último, o arranjo final ambientalmente apropriado (BRASIL, 2010).

Entende-se, então, que o pouco que pode ser feito para se ajustar a este modelo de administração apresentado é o provimento de uma prioridade final que seja ambientalmente apropriada.

Nota-se como uma prioridade final ambientalmente apropriada, segundo conceituação da própria lei a “distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública, a segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos” (BRASIL, 2010).

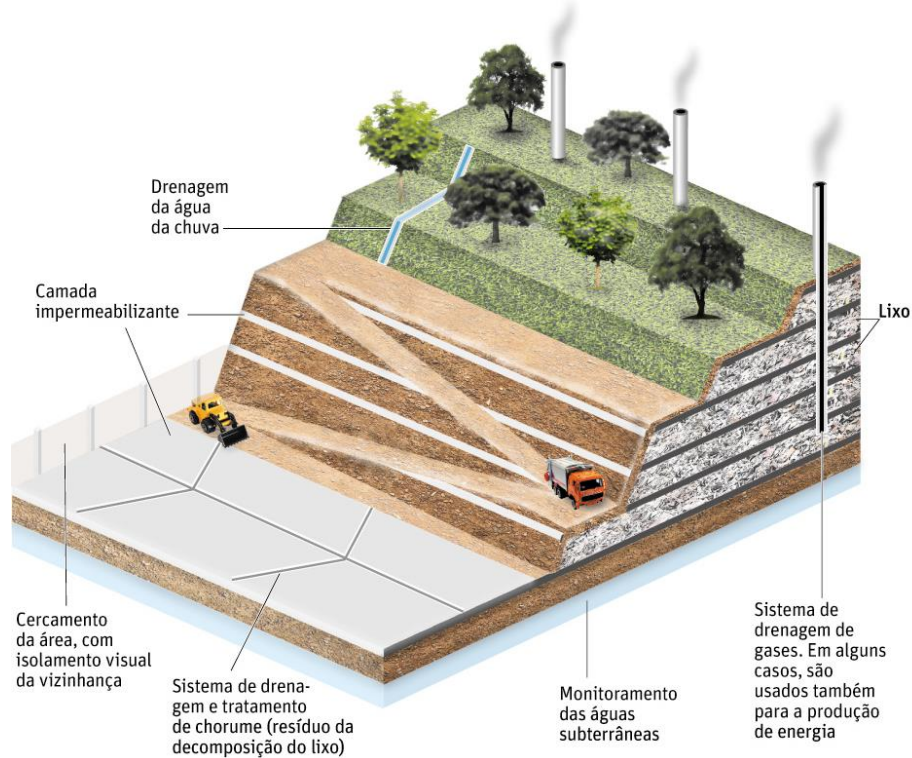
Esta formulação de prioridade, segundo o Art. 54 do PNRS, necessita ser aplicada em quatro anos após a data de publicação da lei. A avaliação do DF referente a este ano, indica que a prioridade final de RSU entendia-se em sua totalidade em um aterro controlado, que não seria apropriada ao conteúdo apresentado.

### **3.2 Elementos constituintes de um RSU**

A instalação de um aterro sanitário para projeção final de RSU é formada por elementos diversos que exercem funções específicas inclusive visto que, quando corretamente projetados, possibilitam uma projeção final ambientalmente adequada. Uma exibição esquemática destes elementos é apresentada na figura 1. Na seção seguinte será feita uma apresentação e explicação somente sobre os elementos que integram o aterro em si, eliminando as unidades de ajuda.

Lembrando-se que os elementos mostrados aqui serão abordados principalmente quanto a sua função no contexto geral do aterro, visto que, os princípios destes virão de acordo com legislações e as normas vigentes de cada país.

**Figura 1– Aterro Sanitário.**



**Fonte:** <[https://c1.staticflickr.com/8/7072/7161423524\\_0d2ab20dd7\\_b.jpg](https://c1.staticflickr.com/8/7072/7161423524_0d2ab20dd7_b.jpg)>.

### 3.2.1 Camada de base

É comumente mostrado como o elemento de grande importância, dado que aterros sanitários têm por razão a contenção de resíduos, isto é, um domínio por confinamento.

**Figura 2– Aterro Sanitário de Brasília**



**Fonte:** <<https://www.aovivodebrasil.com.br/wp-content/uploads/2017/11/manta-aterro-sanitario-de-brasil.jpg>>.

2012).

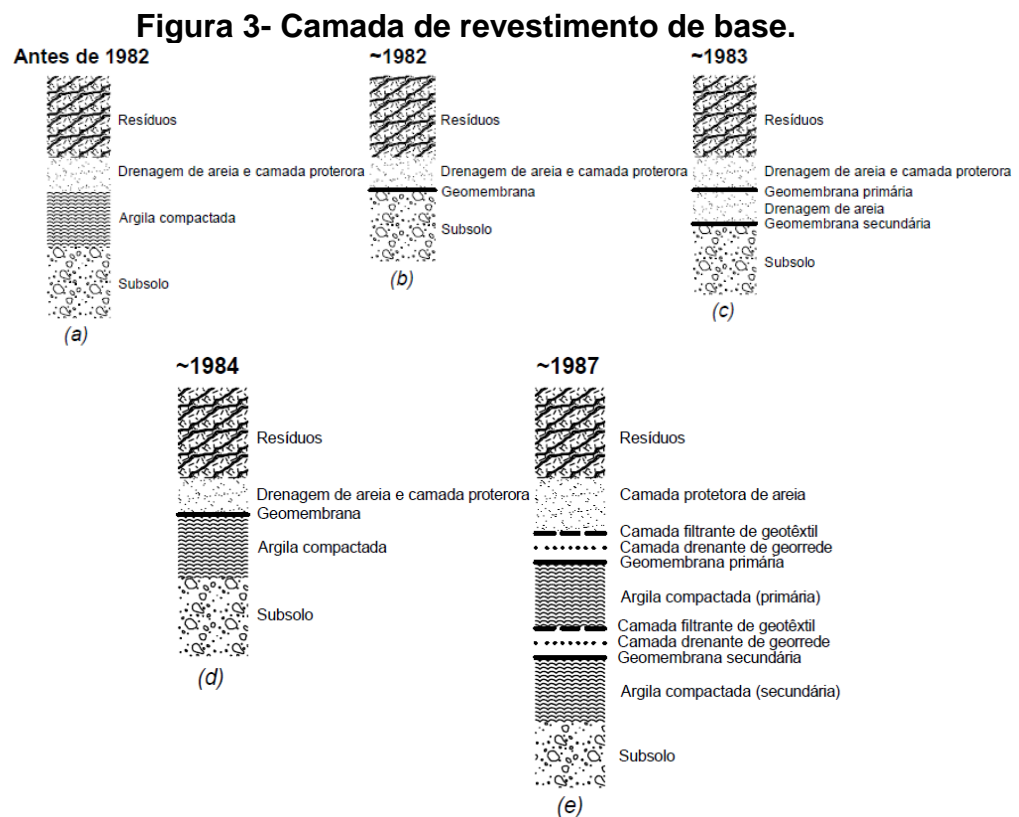


A camada de base deve ser instalada sobrejacente ao solo natural e se expande a todos os locais onde haverá o contato com percolados ou resíduos produzidos por estes, e o solo natural, uma vez que a sua vital atividade é atuar como uma proteção contra transporte advectivo e difusivo dos solutos do percolado (QIAN; KOERNER; GRAY, 2002 citado por NISIYAMA, 2016).

Assim, com o certo dimensionamento da camada de base é capaz de limitar esta aglomeração a níveis não prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana (BOSCOV, 2008). Com o decorrer do tempo a concentração do revestimento de base passou por ajustes que agregam inovações tecnológicas e experiências obtidas com a projeção dos aterros sanitários.

Na Figura 2, exibe a instalação da manta de impermeabilização da segunda célula de aterramento da primeira etapa, possui 22 mil metros quadrados (m<sup>2</sup>) de área.

A Figura 3 mostra o progresso destas concepções segundo uma cronologia proposta por Qian, Koerner e Gray (2002 citado por NISIYAMA, 2016).



**Fonte:** QIAN; KOERNER; GRAY 2002 citado por NISIYAMA, 2016.

geomembrana (d) Camada composta simples (e) Camada composta dupla.  
(QIAN; KOERNER; GRAY 2002 citado por NISIYAMA, 2016).

Na Figura 3 são exibidos elementos filtrantes, impermeabilizantes e drenantes, da qual a ação simultânea é essencial para o perfeito funcionamento da camada de base. Os materiais impermeabilizantes no revestimento de base são os responsáveis por capacitar a preservação ambiental por contenção dos percolados de um aterro sanitário.

Os insumos impermeabilizantes mostrados na figura 3 podem ser identificados conforme a sua origem, da qual pode ser industrial ou natural. Que se destacam por envolver substâncias que reduzem o transporte de contaminantes para o lençol freático.

Transporte este que acontece pela mistura dos fenômenos de difusão e advecção, no qual o primeiro é causado por um gradiente hidráulico e o segundo por um gradiente de concentrações de soluto (SHACKELFORD, 1993 citado por NISIYAMA, 2016). A preferência correta do material impermeabilizante é realizada contrapondo as características do mesmo ao tipo do resíduo e execução do aterro (BAGCHI, 2004 citado por NISIYAMA, 2016).

Os materiais designados à retenção do transporte de contaminantes têm as opções de serem naturais ou de uma elaboração industrial, e sua aplicação pode ser feita de maneira corporativa, como apresenta na Figura 3.

No domínio dos materiais de origem natural os solos argilosos são bastante usados em aterros sanitários de resíduos (BAGCHI, 2004; O'LEARY; TCHOBANOGLOUS, 2002 citado por NISIYAMA, 2016).

Já em relação ao uso de argilas se deve, essencialmente, a sua perda de condutividade hidráulica quando relacionada com os demais solos. Segundo Daniel e Koerner (1993 citado por Nisiyama, 2016) os materiais argilosos podem resultar em uma camada de base sob três formas diferentes: argilas de ocorrência natural, argilas compactadas (CCL) e geocompostos bentoníticos (GCL) o qual possui argila em sua fórmula devido a ser um produto manipulado.

Outro ponto muito importante é que a primeira destas formas é definida como sendo composições naturais de solo rico em argila e com baixa condutividade hidráulica (DANIEL; KOERNER 1993 citado por Nisiyama, 2016).

Apesar dos benefícios econômicos aparentes, por não precisar de transporte dos solos, na situação real sua aplicação pode ser incomoda e ineficaz, uma vez que busca um planejamento de análises intensivas para que seja demonstradas a

integridade – conhecida como o seguimento da camada argilosa- e a baixa condutividade hidráulica desta camada (DANIEL; KOERNER, 1993), conforme citado por Nisiyama, (2016).

A aplicação de outras argilas como integrantes de impermeabilização é sob a maneira de revestimentos compactados, geralmente criados pela não adaptação do revestimento natural que existe (ROWE, 2001 citado por NISIYAMA, 2016).

O objetivo de executar a compactação é adquirir a menor permeabilidade do solo, se tem isto por meio a quebra do arranjo flocculado das partículas, se transformando em disperso, que minimiza a dimensão dos poros e gera sua distribuição mais tortuosa (BAGCHI, 2004 citado por NISIYAMA, 2016).

No entanto, a relevância com que se realiza esta mudança da disposição e a qualidade do revestimento compactado é dependente de múltiplas causas, dentre os quais se podem alegar, segundo Rowe (2001 citado por NISIYAMA, 2016):

Propriedades do solo usado - método de compactação, proteção contra o fenômeno de ressecamento pós-compactação e teor de umidade de compactação. Tais motivos são elementos na maioria de obras na engenharia que compreendam a compactação de solos argilosos, no entanto, lembra-se que no assunto específico de aterros sanitários ainda pode-se destacar a fragilidade às alterações das prioridades do revestimento compactado devido à substância química do percolado (BAGCHI, 2004 citado por NISIYAMA, 2016).

O atrito da área de interação com os materiais subjacentes e sobrejacentes e a eficiência, motivado a recalques, sem criação de rachaduras (QIAN; KOERNER; GRAY, 2002 citado por NISIYAMA, 2016). Justo a evolução da indústria de polímeros sobrevieram novos materiais com a capacidade para execução como uma camada de base para aterros sanitários.

Na área dos geossintéticos o material essencial usado como revestimento impermeabilizante da cobertura de base é o geomembrana. (KOERNER, 1993 citado por NISIYAMA, 2016). Existe uma grande diversidade de polímeros usados na fabricação de geomembranas e que são diferentes entre elas comparando suas particularidades mecânicas, indestrutíveis a agentes externos, sejam eles físicos, químicos ou biológicos, e fácil manuseio (BAGCHI, 2004 citado por NISIYAMA, 2016).

Os motivos associados na qualidade de um revestimento compactado de argila têm restrita ligação com o fato de solos encontrarem-se na natureza com

múltiplas propriedades. Em compensação, as geomembranas são peças provenientes de um processo industrial que integralmente apresentam ótimos protótipos de controle de qualidade (KOERNER, 1993 citado por NISIYAMA, 2016).

Além de que, segundo Bagchi (2004 citado por NISIYAMA, 2016), com exceção de sua baixa condutividade hidráulica, suas características quanto ao transporte difusivo de contaminantes são consideravelmente melhores comparadas ao revestimento de argila compactada.

Ainda assim com as camadas compactadas de argila quanto as geomembranas já terem sido empregadas como único componente impermeabilizante de uma camada de base à aplicação associativa entre um e outro é na atualidade mais constante no projeto de aterros de resíduos (BOSCOV, 2008).

Esta utilização relacionada, permite incorporar as vantagens específicas de cada material e recebe a designação de revestimento composto, quando os materiais são relacionados durante a aplicação da camada de base ou geocomposto bentonítico (GCL), quando a junção é proveniente de um processo industrial.

Contudo, o propósito misto destes materiais não se caracteriza apenas pela forma com que são relacionados, existem dessemelhanças consideráveis quanto ao seu comportamento e desempenho. As vantagens da aplicação do revestimento relacionados em detrimento em uma camada simples de argila compactada se sintetizam a:

- Os prováveis defeitos de um revestimento são reduzidos pela presença de outro revestimento.
- O revestimento mineral pode ser excluído de motivos externos que possam atingir sua integridade.
- A integração de revestimentos sintéticos, por ser mais eficazes, permite minimização da espessura da camada de base, e por isso, um maior volume para acomodação de resíduos.
- Melhor funcionamento frente ao transporte do difusivo de contaminantes.

A junção entre materiais sintéticos e naturais progrediu no sentido de acrescentar maior segurança ao revestimento impermeabilizante, e alcançou a caracterização de camada composta dupla, como ilustrado na Figura 3 em que se vê

a aplicação de uma barreira dupla e integrada de argila compactada e geomembrana relacionada ao sistema de drenagem de percolados, da qual a disposição é favorável à percepção do funcionamento dos materiais impermeabilizantes.

São vários os meios de se garantir a retenção necessária a um aterro sanitário considerando que nos dias de hoje dispõe de técnicas construtivas bem seguras e diversidade de materiais. A seleção dos procedimentos e materiais reflete imprescindivelmente em questões econômicas e do nível de segurança que requer o aterro, o que está estreitamente ligado, no que lhe diz respeito, ao tipo de resíduo que será disposto (NISYAMA, 2016).

### **3.2.2 Os Sistemas de percolados**

Da mesma maneira que a camada de base não é uma individualidade única, e sim composta por fundamentos de outros sistemas, a remoção de percolados e o sistema de coleta tem vários elementos que são repartidos na região do aterro e fazem cada atribuição específica que quando consideradas juntamente autorizam a coleta dos percolados gerados, para tratamento ou disposição alternativa, e a redução da coluna de percolado sobrejacente à camada impermeabilizante (MCBEAN; ROVERS; FARQUHAR, 1995 citado por NISYAMA, 2016).

À proporção que se dá a produção de percolado no aterro, quer seja pela fração infiltrada da precipitação ou pelo próprio interior do resíduo, mesmo que, por gravidade, pode possivelmente alcançar a base da célula. Conseqüentemente, os essenciais fundamentos composto do sistema em questão são aqueles situados na base das células do aterro sanitário, e o seu próprio desempenho está estreitamente junto ao revestimento impermeabilizante de base anteriormente descrita.

A essencial propriedade do revestimento de drenagem é ter uma alta condutividade hidráulica, de maneira que o fluxo do percolado após alcançar o topo inclinado da camada impermeabilizante seja principalmente paralelo e no sentido desta inclinação (MCBEAN; ROVERS; FARQUHAR, 1995 citado por NISYAMA, 2016).

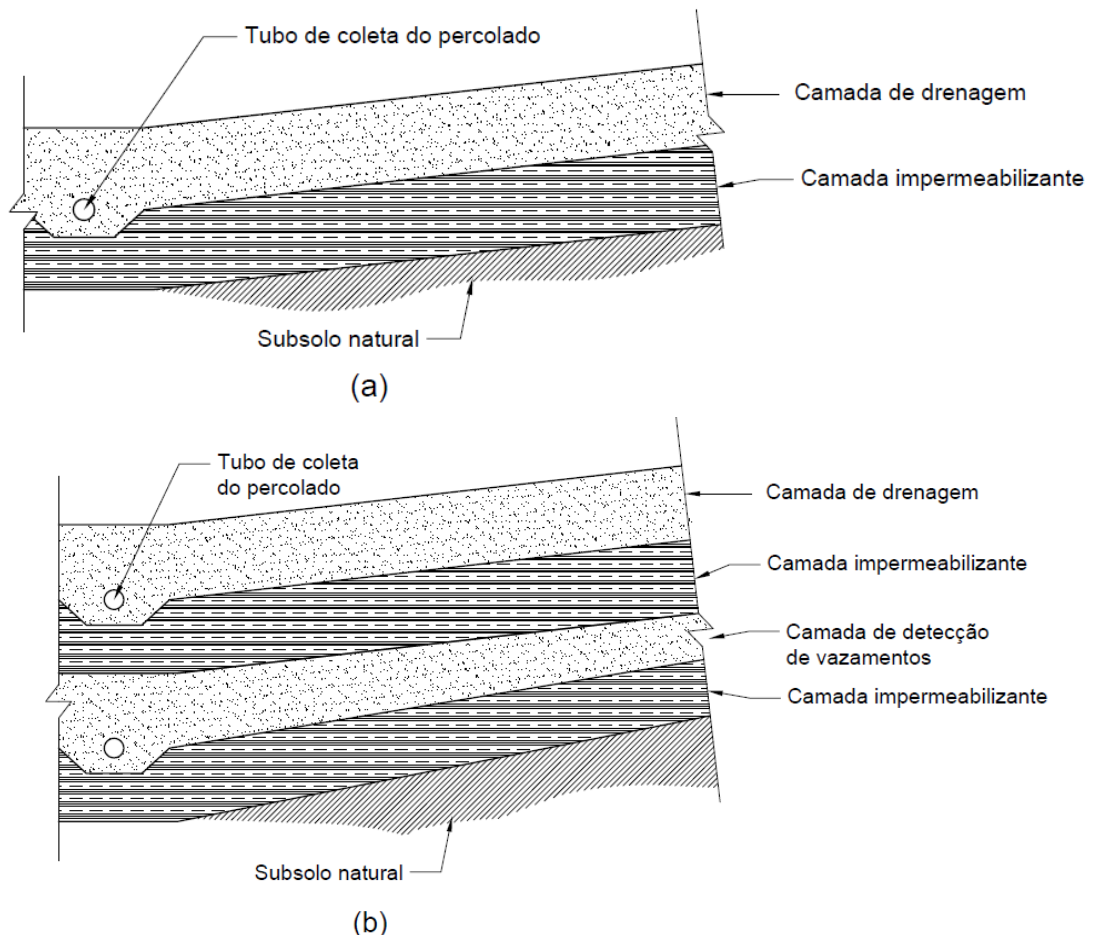
Finalizando o adiantamento de cargas hidráulicas eminentes e reduzindo o tempo de contato entre o revestimento impermeabilizante e o percolado. Uma

benfeitoria do ponto de vista mostrada na Figura 4 (a) e apresentado na Figura 4 (b), onde se encontra uma camada de drenagem e de impermeabilização adicionais.

Constata-se que neste caso é elevada a probabilidade de o primeiro revestimento impermeabilizante indicar desvios de desempenho, e no possível acontecimento disso, poder-se-ia constatar um fluxo de percolado anormal na encanação coletora mais funda.

No entanto, estes erros de execução não provocariam essencialmente na contaminação do subsolo natural oferecida a existência de um segundo revestimento impermeabilizante.

**Figura 4– Elementos típicos de drenagem no revestimento de base.**

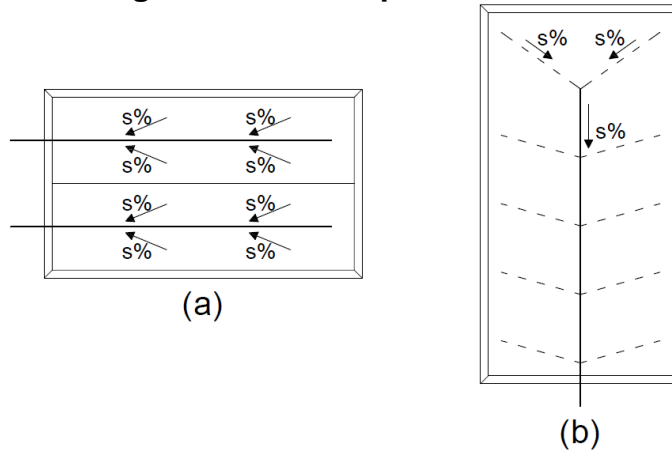


**Fonte:** MCBEAN; ROVERS; FARQUHAR 1995 citado por NISIYAMA, 2016.

As duas estruturas apresentadas na Figura 5 são do tipo tapete, em que os revestimentos drenantes recobrem toda região impermeabilizada. No entanto, podem ser descobertas outras estruturas, assim como a espinha-de-peixe, em que os materiais drenantes são aglomerados em trechos arranjados de maneira

dendrítica (BOSCOV, 2008). A figura 5 apresenta estruturas possíveis métodos de drenagem e coleta de percolados.

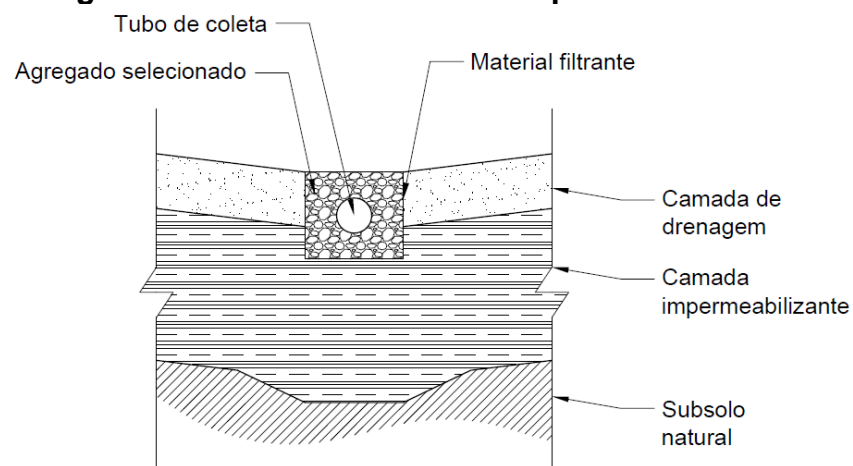
**Figura 5 – Exemplo de configurações possíveis para os elementos de drenagem e coleta de percolados.**



**Fonte:** BOSCOV 2008 citado por NISIYAMA, 2016.

Evidencia-se que nas estruturas do tipo espinha-de-peixe - Figura 5(b) – os componentes tracejados estariam referentes à drenagem do percolado, enquanto para uma estrutura do tipo tapete - Figura 5(a) – a drenagem ocorre em toda região da camada de base, tendo esta região como um todo o componente de drenagem. As linhas preenchidas, por seu lado, para as duas estruturas, apresentam elementos que se efetuam a coletar os percolados drenados e que normalmente se mostraram na forma de trincheiras ocupadas com britas que cerca um tubo coletor, como mostrado na Figura 6.

**Figura 6 – Trincheira coletora de percolados.**



**Fonte:** BAGCHI, 2004 citado por NISIYAMA, 2016.

O modelo apresentado anteriormente refere-se a uma trincheira habitualmente usada em camada de base cujo material impermeabilizante é a argila compactada, do qual, na realidade de uma geomembrana, esta trincheira não penetra no revestimento impermeabilizante (BAGCHI, 2004 citado por NISIYAMA, 2016).

De acordo com Qian, Koerner e Gray (2002 citado por NISIYAMA, 2016) é frequentemente ordenado que os revestimentos de argila compactada se expandam até maiores profundidades nas imediações das trincheiras, como visto na Figura 6, com o intuito de ser permanecer com a sua espessura mínima fundamental nesta área.

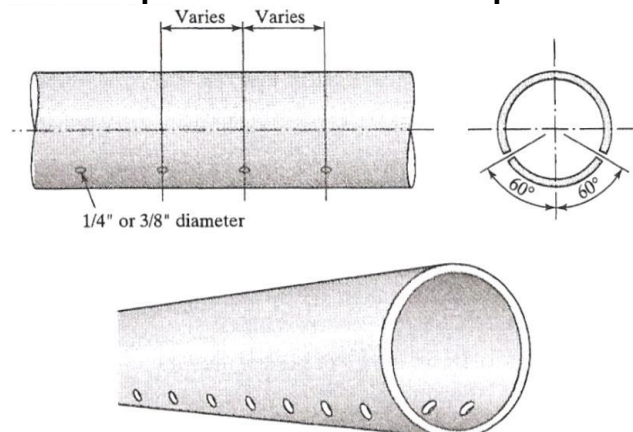
Inclusive, segundo os mesmos autores, é importante à destinação de materiais filtrantes nas conexões da trincheira de brita e os demais materiais circundantes, eliminando assim a entrada de elementos que ocasionem a sua colmatação.

A aplicação de materiais naturais agindo como um filtro deve se conduzir nos critérios convencionais de filtro, em que há uma combinação das curvas granulométricas do material filtro e do material filtrado de maneira a impedir os fenômenos de erosão retrogressiva (“pipping”) e garantir permeabilidade suficientemente grande, impedindo o surgimento de pressões hidrostáticas (KOERNER, 1993 citado por NISIYAMA, 2016).

Aplicam-se tubos perfurados de material polimérico para tubulações de coleta, em que a furação deve estar posicionada por toda extensão da metade inferior da seção do tubo, como indica na Figura 7, de maneira que seja conservado a menor coluna de percolado viável, e deve ter um distanciamento de maneira que possa receber às vazões estimadas de percolado (QIAN; KOERNER; GRAY, 2002 citado por NISIYAMA, 2016).



**Figura 7 – Tubo perfurado de coleta de percolado.**



**Fonte:** QIAN; KOERNER; GRAY 2002 citado por NISYAMA, 2016.

Do mesmo modo que para os revestimentos impermeabilizantes a aplicação de materiais sintéticos já é bastante apresentada para a geração de estruturas filtrantes e drenantes para o caso em análise, e a preferência por estas deve avaliar suas vantagens e desvantagens, assim como apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1 – Uso de geossintéticos em sistemas de drenagem e coleta de percolados.**

<b>Tipo</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<i>Meio drenante</i> <b>Geomalha e Geocompostos</b>	Economiza espaço vertical Transmissão rápida Raramente se entope Permanece imóvel	Intrusão Deformação lenta Necessita de filtro geotêxtil
<b>Meio filtrante Geotêxtil</b>	Economiza espaço vertical Fácil instalação Permanece imóvel	Entupimento por partículas Entupimento biológico Possíveis danos durante a instalação

**Fonte:** KOERNER 1993 citado por NISYAMA, 2016.

Os componentes mostrados acima possibilitam a drenagem dos percolados criados sendo fundamentais ainda elementos que os retiram da região de disposição dos resíduos. Segundo Bagchi (2004 citado por NISYAMA, 2016) há duas formas com que normalmente é causada a retirada de percolado: por bombeamento ou gravidade.

Na situação do nível do aterro for suficientemente raso prefere-se optar por transpassar a camada de base dos taludes de contenção de resíduos com o próprio

coletor principal, proporcionando uma retirada por fluxo gravitacional. De outro modo, caso o nível do revestimento do aterro seja profundo torna-se inviável a projeção de um sistema que trabalhe por fluxo gravitacional, escolhendo-se então pela projeção de um sistema de bombeamento que colete o percolado no pé dos taludes de contenção e transpasse por cima destes.

A retirada do fluxo gravitacional expõe gastos de implantação, operação e manutenção menores, no entanto, pela maneira desta infiltrar no revestimento impermeabilizante de base criam-se, na interface, possíveis pontos de vazamento de percolado, mesmo que haja colares seladores principalmente projetados para diminuir tal problema.

No entanto, são frequentes que, na admissão deste sistema, sejam reduzidos os pontos de remoção- sendo normal a aplicação de somente um ponto de remoção- planejando reduzir a probabilidade do incidente de escoamento. Na retirada por bombeamento as possibilidades de vazamento são menores, proporcionando a geração de diversos pontos de retirada sem comprometer a execução do revestimento impermeabilizante.

Um alto número de pontos de retirada reduz a fragilidade do aterro quanto às imperfeições nestes pontos, acontecimento este, não é visto a estrutura por fluxo gravitacional.

### **3.2.3 Do controle de gases e sistema de coleta**

Além dos percolados, a decomposição bioquímica dos resíduos assentados é ainda motivadora pela formação de diferentes gases – com predomínio de gás metano e carbônico – para os quais são empregados sistemas que previnam a movimentação descontrolada destes para a atmosfera (TCHOBANOGLOUS, G., O'LEARY, P. R, 2002 citado por NISIYAMA, 2016).

Diante disso o gás carbônico desloca-se para a base do aterro, por ser mais concentrado que o ar, sendo eliminado simultaneamente com o percolado, o metano, visto que é menos denso que o ar, propende a ter lateral ou fluxo ascensional (KOERNER, 1993 citado por NISIYAMA, 2016). Sendo assim, os sistemas em integral são propostos à coleta e controle do metano, consta-se que o próprio revestimento da camada de base atua como um bloqueio para o gás carbônico.

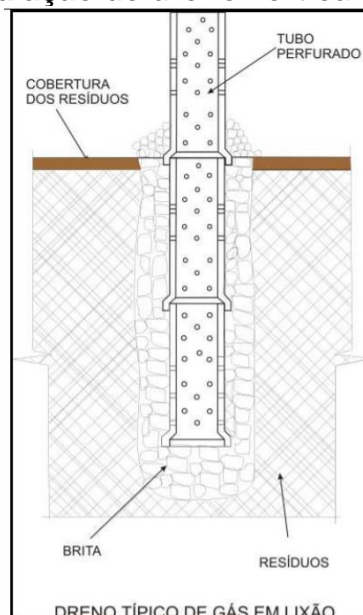
Tchobanoglous e O’Leary (2002 citado por NISIYAMA, 2016) especificam em sistemas em ativos ou passivos, uma vez que a escolha por um ou por outro pode decorrer da posição do aterro, e da fração de gás estabelecida. A estrutura passiva, por exemplo, tem como início gerar rotas propensas para o fluxo de gás que, se produzido em taxas consideráveis, é estimulado pela própria pressão no qual está acoplado no interior do aterro.

Ocasionalmente, a formação de gás pode ser restrita, e neste contexto torna-se fundamental a aplicação de um controle ativo, que é dirigente pela utilização de um diferencial de pressões que proporcione o deslocamento de gases do interior do aterro.

A noção da estrutura de controle passivo está ligada à geração de rotas preferenciais pelos quais ocasionaram o fluxo dos gases. Estas alternativas preferenciais podem ser geradas de modos diversos, e um padrão usual, de acordo com Boscov (2008), é pela elaboração de drenos verticais e camadas horizontais conectadas.

Os drenos verticais são compostos de tubos perfurados de concreto envolvidos por massa granular, usualmente brita que se alongam desde a superfície do aterro até seu apoio. A Figura 8 ilustra a instalação destes drenos. É fundamental que sejam camadas drenantes horizontais conectadas a estes drenos, permitindo o encaminhamento dos gases.

**Figura 8 – Instalação de dreno vertical de gases.**

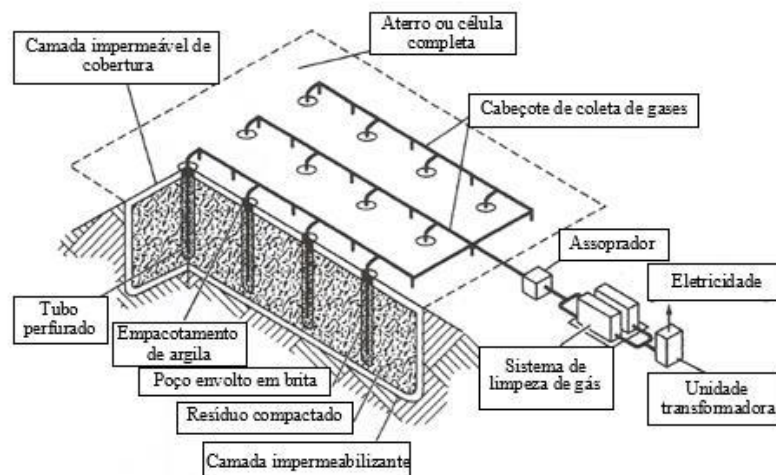


**Fonte:** SNSN, 2007

Existindo a carência de empregar um controle ativo devem ser instalados poços de retirada aos quais é ligado a um procedimento hidráulico capaz de produzir vácuo e, por fim, induzir o fluxo de gases para estes poços (BAGCHI, 2004 citado por NISYAMA, 2016).

A Figura 9 mostra uma estrutura de controle ativo por poços de remoção vertical. É frequente que estes poços estejam ordenados deste modo, contudo, é referido na literatura a viabilidade de aplicar trincheiras horizontais, formadas de tubulação perfurada envolvida por brita, em fusão com poços de extração verticais (TCHOBANOGLIOUS, G., O'LEARY, P. R, 2002 citado por NISYAMA, 2016).

**Figura 9 – Exemplo de captação de retirada de gás.**



**Fonte:** TCHOBANOGLIOUS; O'LEARY 2002 citado por NISYAMA, 2016.

Os gases sendo extraídos do interior do aterro possuem algumas distinções. Sendo a primeira delas sobre - a combustão destes gases em um setor de combustão controlada. É identificado, como proposto por Qian, Koerner e Gray (2002 citado por NISYAMA, 2016), que o abrasamento destes gases é um parâmetro com maior adaptação ambiental para a contenção de odores do que a ventilação passiva.

A combustão destes gases deve ser executada em divisões adequadas, de forma que sejam asseguradas rigorosamente com critérios operacionais com intenção de atestar que à queima eficaz dos gases, tanto essenciais quanto os gases traço, seja alcançada. Visto que, os setores designados a este fim devem ser

providos de sistemas de segurança aptos de isolar a chama de queima dos receptores de gases e do meio externo (TCHOBANOGLOUS, G., O'LEARY, P. R., 2002 citado por NISYAMA, 2016).

Entendendo que o metano é um dos gases primordiais originados no aterro têm-se a escolha de usufruir o alcance calorífico deste. Nesta perspectiva, é capaz designar no próprio aterro plantas de reutilização energética destes resíduos, na qual preliminarmente, pode ser útil uma limpeza destes com finalidade de que obtenham poder calorífico apropriado para que sua queimação sirva como origem inicial de carga para geradores (QIAN; KOERNER; GRAY, 2002 citado por NISYAMA, 2016). A escolha por uma opção está relacionada aos estudos de efetividade econômica e a condições da legislação ambiental regional.

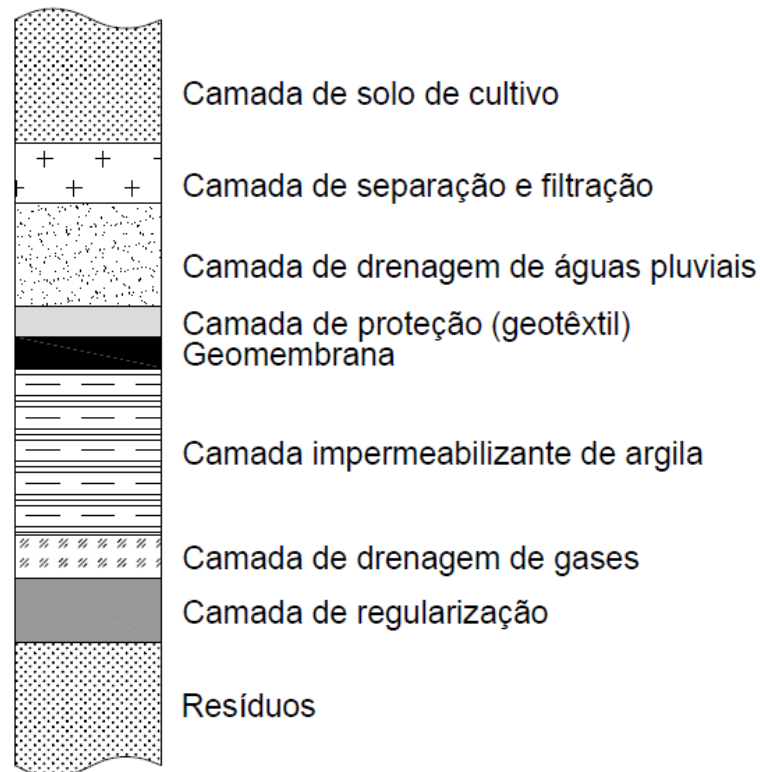
#### **3.2.4 Camada de cobertura**

Igualmente o revestimento de base, a camada de cobertura é componente do aterro sanitário que dispõe de diversas utilidades e, no que lhe concerne, os elementos que o representam estão geralmente relativos a outros materiais e sistemas, mas enfim, exercem em conjunto as funções para as quais a camada de cobertura é planejada.

Estas aplicações, de acordo com Boscov (2008), equivalem em: propiciar a separação entre os efluentes e o meio ambiente externo, conter a fluência de gases entrando e saindo do aterro, limitar a formação de percolados por meio da atenuação da absorção de água na composição de resíduos.

A camada de cobertura, conseqüentemente, é em geral criada como na Figura 10. Além disto, é necessário evidenciar que a formação da cobertura pode ser intensamente variável e usualmente não pode ser igualmente a todos os tipos de aterros, dado que é encargo direto do local de fixação e do tipo de efluente a ser disposto (DANIEL; KOERNER, 1993 citado por NISYAMA, 2016).

**Figura 10 – Revestimento de cobertura.**



**Fonte:** BOSCOV 2008

Conseguimos fazer uma observação na Figura 10, do emprego individual de cada elemento, e também de sua aplicação complementar, visto que proporcionam o correto comportamento do restante. O revestimento da superfície de solo de cultivo, como exemplo, propõe a impulsionar o desenvolvimento de vegetação visto que a finalidade é dupla, a de restituir água à atmosfera pelo método da evapotranspiração e ainda proporcionar certa conservação do solo de cobertura, prevenindo a seu desgaste. (DANIEL; KOERNER, 1993 citado por NISIYAMA, 2016).

O revestimento abaixo a esta, sendo uma camada de filtração e separação, preserva que as raízes da vegetação infiltrem nas camadas subjacentes, o que se expõe eventualmente danificar a performance destas, e possui função de impedir o carreamento de fragmentos do solo de cultivo para a camada drenante subjacente.

Esta forma de arranjo de revestimento é apropriada para determinados tipos de aterros, assim como exemplo, tal qual estabelecidos em áreas da qual precipitação proporcione o suporte da vegetação superficial. Para áreas áridas uma resolução de proposta seria a troca do revestimento de solo de cultivo por meio de camadas de cascalhos, e subjacente a esta, um revestimento de solo que considera

o estoque de água e conseqüentemente o extravio da fração de água por evaporação (DANIEL; KOERNER, 1993 citado por NISIYAMA, 2016).

Visto que uma das utilidades predominantes da camada de cobertura é o de reduzir a infiltração de água para a volume de resíduos, torna-se fundamental a relação de um revestimento drenante relativa à camada impermeabilizante, assim drenando a água infiltrada e concentrada nesta região. De acordo com, Daniel e Koerner (1993 citado por Nisiyama, 2016), esta camada até então possui as utilidades complementares de minimizar as poropressões da área, o que certifica maior segurança aos taludes, e de absorver as camadas superiores, ampliando dessa forma a sua eficiência de reserva de água.

Bem como no revestimento de drenagem de percolados, é costumeiro a alteração ou fusão entre materiais naturais e sintéticos, assim sendo as geomalhas e os geocompostos drenantes de aplicação mais modernas (BOSCOV, 2008). Visto que a água penetra, é absorvida por este revestimento, esta deve ser dirigida à periferia do aterro onde assim será efetuada a sua coleta.

É frequente que se admita o revestimento impermeabilizante como personagem principal do sistema ilustrativo apresentado na Figura 10, e ou seja coeso ao verificar que as funcionalidades dos demais elementos, citados acima, estão associadas à reparação dos seguimentos existentes desta e viabilização do seu desempenho.

Normalmente, para efluentes sólidos urbanos, usa-se somente o revestimento de argila compactada como elemento impermeabilizante da camada de cobertura, contudo, a necessitar das propriedades do resíduo pode ser fundamental ao acréscimo de um revestimento de geomembrana (DANIEL; KOERNER, 1993 citado por NISIYAMA, 2016).

O revestimento impermeabilizante de cobertura está passível a exigências que não necessariamente estão vigentes naquela posicionada na camada de base do aterro. Refere-se como sendo a essencial destas demandas àquela adequada aos recalques totais e desproporcionais suportados pela massa de efluentes implícitos ao revestimento de cobertura, sendo capaz gerar as criações de trincas de tração que diminui a vedação da camada (BOSCOV, 2008).

A instalação de uma geomembrana entre os revestimentos superiores e o revestimento de solo calcado, como na Figura 10, além de assegurar maior

vedação, controla ainda à função de acrescentar a impossibilidade de formação de rachaduras em consequências dos ciclos de umectação e cura.

Repara-se que o revestimento de absorção de gases absolutamente subjaz o revestimento de impermeabilização, sendo que estas são encarregadas por bloquear o fluxo de gases e redirecioná-los aos drenos verticais referidos na unidade anterior. Logo, sua formação obriga necessariamente de elemento drenante.

Desta forma, emprega areia ou brita, e na presença de uma camada de argila compactada assentada, um elemento com componentes filtrantes é normalmente essencial. Na modificação dos elementos granulares são aplicados geotêxteis espessos, geomalhas ou geocompostos drenantes.

### **3.3 Controle e monitoramento para um aterro sanitário**

O conceito de um aterro sanitário é um sistema destinado à disposição ambientalmente apropriada de efluentes sólidos conforme o funcionamento associado e complementar de diferentes materiais que o integram, a atividade esta que demanda um acompanhamento continuado ao decorrer de seu procedimento.

Convém destacar que, perante outro enfoque, o aterro sanitário pode ser compreendido como uma estrutura geotécnica e, de certa forma, que precisa de acompanhamento sistemático de sua solidez estrutural.

Por conseguinte, é pertinente que efetue a especificação dos sistemas de monitoramento e administração ambientais e geotécnicos. Apesar de, tal separação é realizada apenas de forma prática, visto que, citando, o acompanhamento da estabilidade estrutural no campo geotécnico provoca indiretamente na precaução de impactos ambientais resultantes de uma fissura devido a variantes no sólido do aterro sanitário.

#### **3.3.1 Instrumentação de um aterro sanitário**

O conjunto de inspeção geotécnico se refere ao manejo de um aterro sanitário possibilitando que esta ofereça fatores essenciais à análise da exigência de solidez estrutural do aterro. Neste âmbito, a instrumentação normalmente projetada em aterros sanitários pretende, à aquisição de aspectos especificamente como os recalques e deslocamentos horizontais do sólido de efluentes, as tensões neutras e



níveis de percolado, e a essas relativas ao comportamento do sistema de drenagem de percolado (BOSCOV, 2008).

Ao respeito de resíduos sólidos a estrutura teórica existente voltado para a caracterização o de seus domínios mecânicos são notavelmente mais rigorosos do que para solos. Os mecanismos que gerenciam, citando assim, os recalques e deslocamentos horizontais em solos já foram profundamente analisados e há conformidade a respeito dos mesmos na comunidade científica.

Além disso, há falta de concordância quanto aos métodos que dominam estes mesmos acontecimentos relacionados aos efluentes sólidos, e estes se discernem dos solos essencialmente devido à expressa alteração físico-química e decomposição bioquímica que sofrem com o tempo (QIAN; KOERNER; GRAY; 2002 citado por NISIYAMA, 2016).

O equipamento específico usados para aferir estes deslocamentos é normalmente integrada de demarcações superficial e equipamentos que possibilitam calcular distanciamentos em profundidade, assim como exibido na Tabela 2.

**Tabela 2 – Monitoramento de deslocamentos.**

<b>Instrumentação</b>	<b>Tipo de medição</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Marco superficial</b>	Deslocamentos verticais e horizontais totais	Baixo custo e facilidade de instalação	Fornece apenas os deslocamentos totais de superfície; devem estar visíveis
<b>Inclinômetro</b>	Perfil de deslocamentos horizontais	Obtenção de deslocamentos horizontais em profundidade	Alto custo de aquisição e instalação
<b>Medidor magnético de recalque</b>	Deslocamentos verticais em profundidade	Facilidade de construção e instalação e obtenção de medidas em número ilimitado de profundidades	Leitura relativamente demorada e com precisão limitada
<b>Medidor telescópico de recalques</b>	Deslocamentos verticais em profundidade	Simplicidade de construção e leitura e boa durabilidade	Número de medidas restrito ao número de placas, ou seja, no máximo 4 medidas

**Fonte:** AFFONSO 2004.

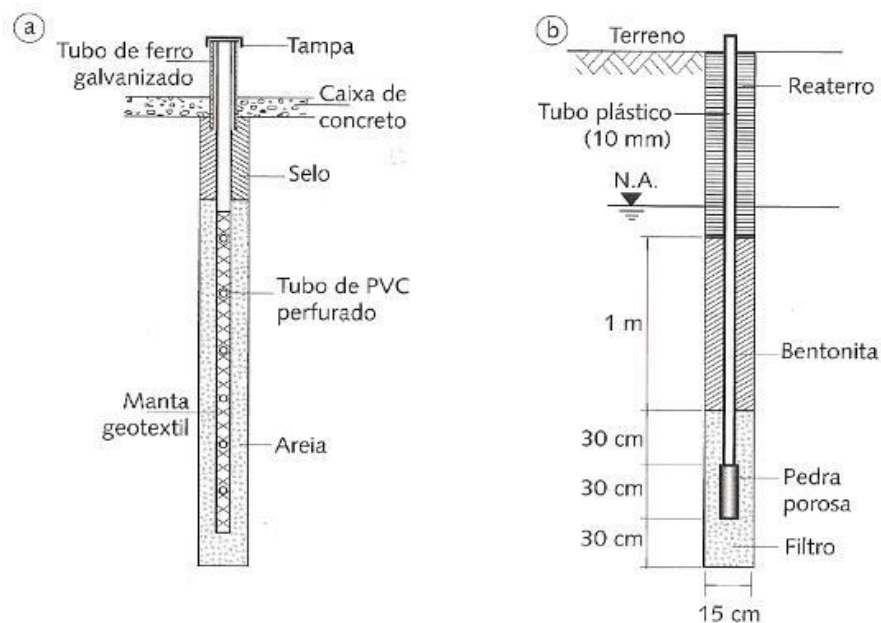
O acompanhamento e o domínio dos recalques e desvios horizontais deixam que tais desvios ocasionem em uma atividade imprópria dos elementos do aterro, quando estes são passíveis de acordo com o requerimento, ou seja a aparição de

trincas na camada de cobertura provido à recalques diferenciais. Outra atividade do monitoramento e controle destes fatores é a sondagem da vulnerabilidade do sólido de resíduos, além de que é normal se adquirem deslocamentos superiores aos de solo sem que isso indique principalmente a instabilidade do maciço (BOSCOV, 2008).

Acrescentar ao acompanhamento dos distanciamentos do sólido de resíduos é de enorme importância o registro das proressões e dos níveis de percolado no maciço de resíduos. Para este fim são empregados registradores de nível de água e piezômetros. A Figura 11 mostra o equipamento usual aplicado na obtenção destas variáveis.

Destaca-se que a aplicação do piezômetro Casagrande quando em revestimento de baixa permeabilidade pode aferir valores insignificantes de pressões neutras provido ao acontecimento de dissipação temporal destas pressões no revestimento em questão.

**Figura 11 – Instrumentação do monitoramento geotécnico de aterros sanitários.**



**Fonte:** BOSCOV, 2008

Cedida a diferença de um bloco de resíduos, e conseqüentemente, em fase de dúvida sobre suas características hidromecânicas, é necessário o acompanhamento in loco destes aspectos, possibilitando logo que se efetive, por estudo, um aprimoramento contínuo destas propriedades, que são frequentemente consideradas nas etapas de elaboração e efetivação do projeto.

Especialmente em aterros de resíduos, os critérios de níveis de percolado e de pressões neutras conseguem ser de árdua análise, já que, podem ocorrer elevações diferentes de percolados por toda extensão da profundidade, em consequência provável da estanqueidade celular, que anula também a teoria de alteração linear das pressões neutras com a profundidade (BOSCOV, 2008).

Os níveis e poropressões de percolado estão indiretamente associados ao trabalho do sistema de drenagem de percolado. O trabalho impróprio deste, logo, é um provável agente de variabilidade do denso de resíduos, sendo capaz de provocar sua ruptura, tal como já mencionado na literatura (MÜNNICH; BAUER, 2006 apud BOSCOV, 2008).

Visto, que apesar de fiscaliza-lo de forma indireta pelo controle das poropressões e níveis de percolado, consegue também fiscalizar o escoamento de percolado acompanhado por ele, objetivando o reconhecimento de ocorrências patológicas como, cita-se, a sua colmatção. É usual a supervisão se dê somente no local de descarga do sistema de coleta no reservatório de percolado, o que possibilita induzir sobre a plenitude do sistema de drenagem como um geral.

Apesar do controle das variáveis descritos, analisa-se também, de modo menos habitual, as tensões totais, por células de carga, os padrões de deformação e resistência, por testes de carga, e as características hidráulicas do revestimento de cobertura e dos efluentes, por experiências in loco. (BOSCOV, 2008).

Destaca-se que este exemplo de supervisão não é habitualmente exercido, por motivo de se obter um gasto mais excessivo do equipamento usada, contudo, é por certo efeito permitiria gerar variáveis e parâmetros que acompanhariam a obtenção de um quadro mais realista das situações do aterro.

### **3.3.2 Controle ambiental**

Apresentada a sua propriedade teoricamente impactante do meio ambiente, um aterro sanitário é preciso gerar controle que autorize analisar que as soluções que amenizem os impactos que estão sendo causados. É chamado de monitoramento ambiental e entende a gestão das propriedades superficiais e das águas subterrâneas, do solo e do ar.

A proteção dos recursos hídricos na região de atuação de um aterro sanitário é um dos essenciais preceitos ambientais que esclarecem a adesão de mecanismos

de controles superficiais e das águas subterrâneas. Para o acompanhamento dos aquíferos, para qual os percolados dos efluentes podem percolar em um modo de comportamento impróprio do aterro, são habitualmente empregados poços de monitoramento.

Em seguimento será analisado que a implantação e quantia referente a esses poços é padronizada. Esta requer uma especificação na quantidade de poços a montante e a jusante do fluxo hidrogeológico. Os poços de montante possibilitam determinar os níveis de referência para a análise de qualidade observada nos poços de jusante.

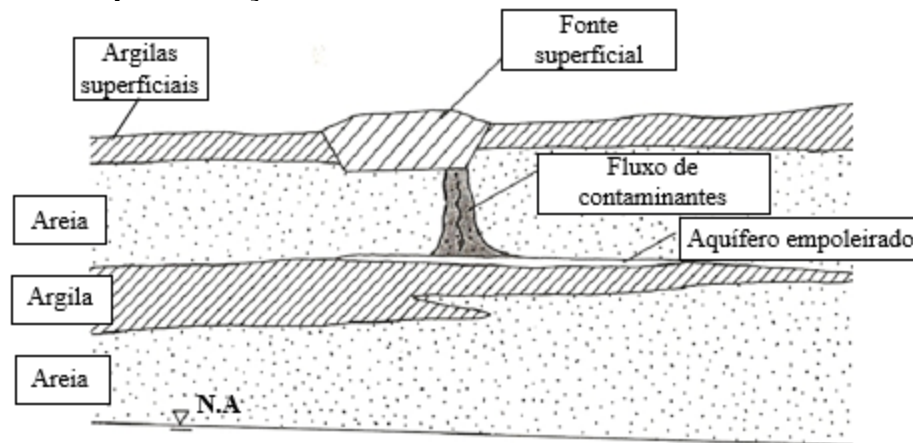
Particularidade interessante, como mostrado por Boscov (2008), é que a locação dos poços de montante deve ser feita a um intervalo tal que estes não sejam motivados pela difusão de poluentes, ao passo que os poços de jusante devem ser instalados o mais próximos possíveis da área de disposição de resíduos, objetivando a rápida constatação de desvios de qualidade de água.

Contudo, a implantação destes poços não determina apenas à parâmetros de proximidade para com a região de acomodação, visto que as situações hidrogeológicas são específicas à cada área. Ainda referir, citando-se, um quadro em que um revestimento de competência admissível drenante localizada acima do nível freático e apoiada em um revestimento de solo com baixa absorção, como mostrado na Figura 12.

Assim sendo, a pluma de contaminação seria capaz de atribuir o aspecto pouco longínqua, impedindo assim sua descoberta em poços de acompanhamento. Logo, provavelmente a pluma alcançaria o aquífero empoleirado exposto e seu propósito não poderia ser reconhecido por poços de acompanhamento, que seriam penetrados até o nível freático.

Sugere-se que a aplicação de poços de monitoramento, em razões onde a hidrogeologia localizada é anônima ou complexa, seja levada em etapas alternadas às expedições de estudos do subsolo, condição na qual os estudos contribuem com o parecer quanto à posição dos poços, e reciprocamente. (KENT; HEMINGWAY, 1993 citado por NISIYAMA, 2016).

**Figura 12 – Representação dos contaminantes em uma camada rasa.**



**Fonte:** KENT; HEMINGWAY 1993 citado por Nisiyama, 2016.

Ocasionalmente, devido às circunstâncias hidrogeológicas, os poluentes conseguem alcançar também águas superficiais sendo por fluxos de base e subsuperficiais e superficial, que de certa maneira entrou em relação com os resíduos dispostos. Portanto, tanques ou o acompanhamento de percursos d'água ou aterro sanitário é também de enorme importância para fiscalização ambiental do mesmo.

Bem como apresentado na Figura 12 a descoberta do contágio faz-se de forma mais melindrosa provida ao quadro da mesma limita-se a zona aeração. Os contaminantes neste caso não penetrariam os tanques de monitoramento e poderiam se deparar colados aos grãos de solo gerando uma tensão de atração tal entre estes que seria essencial equipamento específica para reconhecê-los.

Assim sendo, consegue-se aplicar lisímetros, que são utensílios especificamente aplicados para mostra de líquido em meios não saturados. Por via, estes instrumentos integram-se de um tubo ao qual junta-se a um segmento poroso, segmento este que quando instalado no solo entra em estabilidade, quanto a taxa de fluido, com o solo.

A injeção de uma pressão negativa neste segmento, menor que aquela em que o fluido se encontra no solo, determina um fluxo deste fluido do solo para o interior deste, proporcionando assim sua coleta (EVERETT, 1993).

As amostras geradas da fiscalização ambiental devem ser aferidas a normas de qualidade ambiental especificados pela legislação ambiental existente de modo que não seja capaz de avaliar a necessidade de se ocorrem intervenções caso estas amostras não se enquadram as normas estabelecidas.

## **4 METODOLOGIA**

A implantação do primeiro dispositivo de aterro sanitário de Brasília – DF, foi adequada a partir da disposição final ambientalmente dos resíduos sólidos urbanos gerados, demandou-se o estudo de análises geotécnicas e ambientais relativas à implantação do projeto, intitulado Aterro Sanitário de Brasília (ASB). A metodologia aplicada neste estudo, será exibida nos seguimentos apresentadas a seguir.

### **4.1 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE ESTUDOS E DOCUMENTOS**

Das sondagens realizadas foi possível o reconhecimento dos principais estudos e documentos que subsidiaram a preferência da região a qual foi construído o Aterro Sanitário de Brasília. Em 2004, por meio do contrato elaborado pelo Serviço de Ajardinamento e Limpeza Urbana (BELACAP), foi requerida a uma empresa a realização dos Estudos de Impactos Ambientais (EIA) e referente Relatório de Impactos Ambientais (RIMA) para a fundação de um aparato para o ordenamento final de rejeitos.

Na circunstância foi proposta uma área no Setor P Sul (Ceilândia), perto ao que hoje é chamada de Usina Central de Tratamento de Lixo (UCTL), como propósito desta pesquisa. Sendo assim, o conteúdo citado no contrato foi em seguida modificado, deixando em aberto a área de implantação do aterro sanitário.

Logo, o EIA a que se teve aquisição apresenta-se, em primeira instância, a mostrar as informações a respeito da incompatibilidade da região que era propósito inicial desta declaração e a divulgar áreas alternativas.

Em uma segunda fase foram exibidas as pesquisas ambientais específicas para a região que se acreditou ser a mais adequada para a execução do aterro, sendo assim, a região a que foi construída o Aterro Sanitário de Brasília. O atual trabalho irá se ater essencialmente a segunda etapa, ciente que a atual região foi o amago do mesmo.

Com o transcorrer do ano de 2008 foram elaboradas sondagens geotécnicas e levantamentos topográficos - por meio de um contrato entre o Governo do Distrito Federal e a empresa de sondagem - na região objeto do EIA. Os dados recolhidos

durante este estudo que visaram prover subsídios técnicos específicos para analisar a viabilidade da construção do aterro no local em questão.

Estes dados referem-se aos laudos das investigações executadas e que autorizaram obter um cenário hidrogeotécnico mais examinado da região que foram usados pela empresa projetista para criação do plano executivo do aterro.

Aplicação parecida será feita aqui destes laudos, onde será efetuado um aperfeiçoamento na performance dos fatos neles contidos de modo a destacar os aspectos mais importantes destes relacionados da região que foi implantado o aterro.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A construção do ASB foi contemplada a partir do estudo relativo a análises e levantamentos de documentos, que diretamente, representam a implantação do ASB e assentiram com o complemento e auxílio à pesquisa.

A fonte predominante da qual se orientou esse estudo foram documentos viabilizado no website de Energia e Saneamento do Distrito Federal (ADASA), Agência Reguladora de Águas, e do Programa Brasília Sustentável, que disponibiliza a proposta original da implantação do ASB, hoje já em funcionamento.

Inicialmente foi exercido um levantamento de documentos e estudos presentes que possibilitou as partes determinar a respeito da habilitação da área indicada para construção do aterro. Os documentos das quais sucediam o levantamento no decorrer dessa fase foram:

Avaliações incluindo panoramas topográficos, análises geotécnicas e caracterização das águas subterrâneas da região do aterro gerada pela SONDA - Engenharia Ltda.

EIA/RIMA que viabilizou a permissão do ASB, gerado pela corporação PROGEA Engenharia e Estudos Ambientais

O estudo destes registros permitiu o planejamento da descrição geotécnica, geológica e ambiental da região na qual está implantado o ASB. Desse modo o estudo se concedeu por meio de ferramentas múltiplas, como por exemplo, o software RockWorks – para o processamento de informações de análises topográficas e geotécnicas, a orientação de literaturas complementares, e a aplicação dos conhecimentos das áreas relacionadas obtidos nas atividades disciplinares no decorrer da graduação.

Em seguida fez-se capaz de conseguir conhecimentos eficazes a respeito da área a ser implantada o ASB com o propósito de definir o quadro ambiental e geotécnico. Visto que, esse enquadramento promoveu a efetuação da fase seguinte, sendo sondada a documentação do projeto de ASB, por gráficos, desenhos do projeto, cálculos e memoriais descritivos; assim, obteve-se descrições essenciais sobre resoluções do controle de impacto ambiental empregada, da qual a exposição feita a partir do contexto ambiental e geotécnico efetuado e requisitos das legislações ambientais e normas técnicas.

Destaca-se que, sendo o ASB já instalado, os conceitos expressados neste estudo não se serviram a indagar as decisões e soluções aptas adotadas na



construção do ASB, e sim proporcionar a exposição destas de uma característica organizada e relacionada ao quadro geotécnico-ambiental específico do ASB, à legislação ambiental e ao referencial normativo atual, de maneira a simplificar a obtenção a tais dados por aqueles que venham a efetuar análises a respeito deste aterro sanitário.

### **5.1 Do relatório geotécnico**

De acordo com os relatórios de investigações geotécnicas são relacionados os poços de inspeção, às sondagens a percussão e sondagens a trado. As sondagens a percussão objetivam a amostragem e especificação do apresentando força a penetração do amostrador, formação granulométrica e apuração do nível d'água subterrâneo.

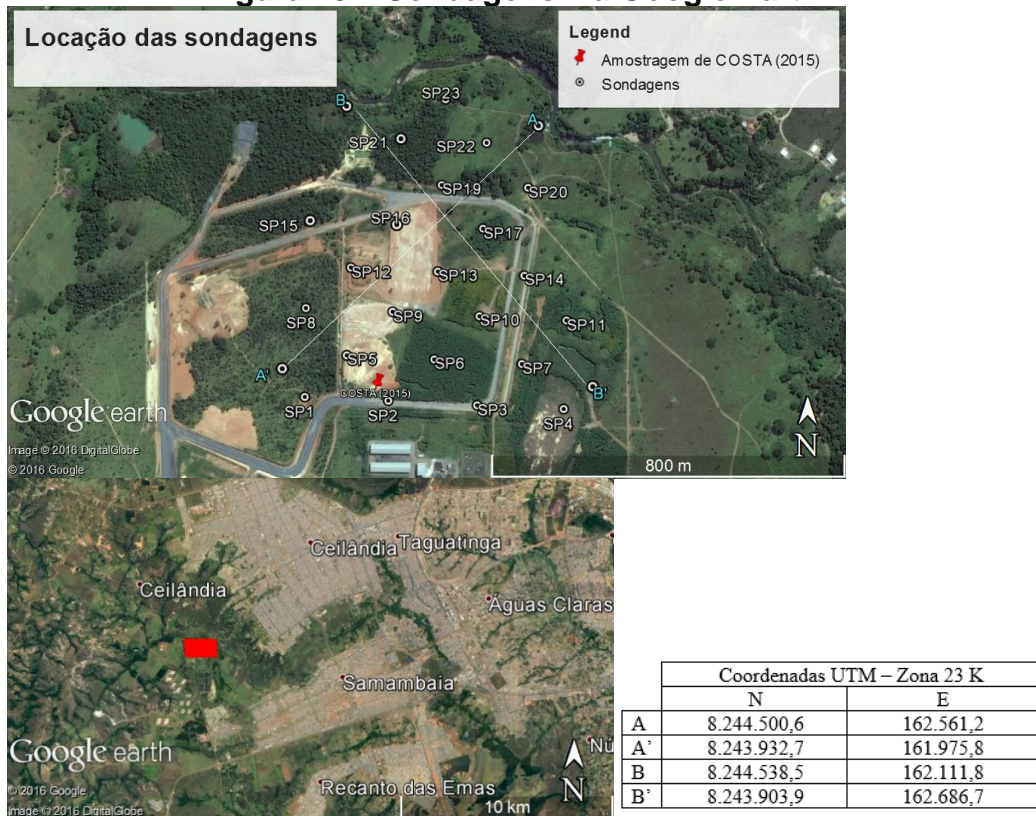
As amostras deformadas foram feitas a partir da sondagem a trado com especificação tátil-visual e ensaios geotécnicos de laboratório, e foram feitas até o impermeável ao trado manual ou até o nível d'água. Para a extração de amostras indeformadas abertos poços de inspeção de 1,10 m de diâmetro.

Assim como anteriormente, os ensaios geotécnicos de campo foram feitos à partir de sondagem a trado e especificadas consistiram de ensaios SPT, nas sondagens a percussão, e os ensaios de infiltração, realizados nos furos a trado, e tinham como grande objetivo a especificação geométrica dos solos de acontecimentos natural.

Foram feitos ensaios no laboratório de classificação, sendo (granulometria, umidade, massa específica, índice de vazios, limites de Atterberg), com a aplicação de amostras deformadas, e permeabilidade e compressão triaxial dos solos, nas amostras indeformadas.

As sondagens à percussão foram dispostas tal qual exhibe na Figura 13, em que os furos estão distanciados a cerca de 200 m. Para as sondagens feitas foram aferidas as resistências à penetração do amostrador (NSPT) e retiradas amostras deformadas a cada metro sondado, aderindo-se o parâmetro NSPT  $\geq 15$  para 3 metros decorrentes como critério de paralisação na perfuração da sondagem.

**Figura 13 – Sondagens via Google Earth.**



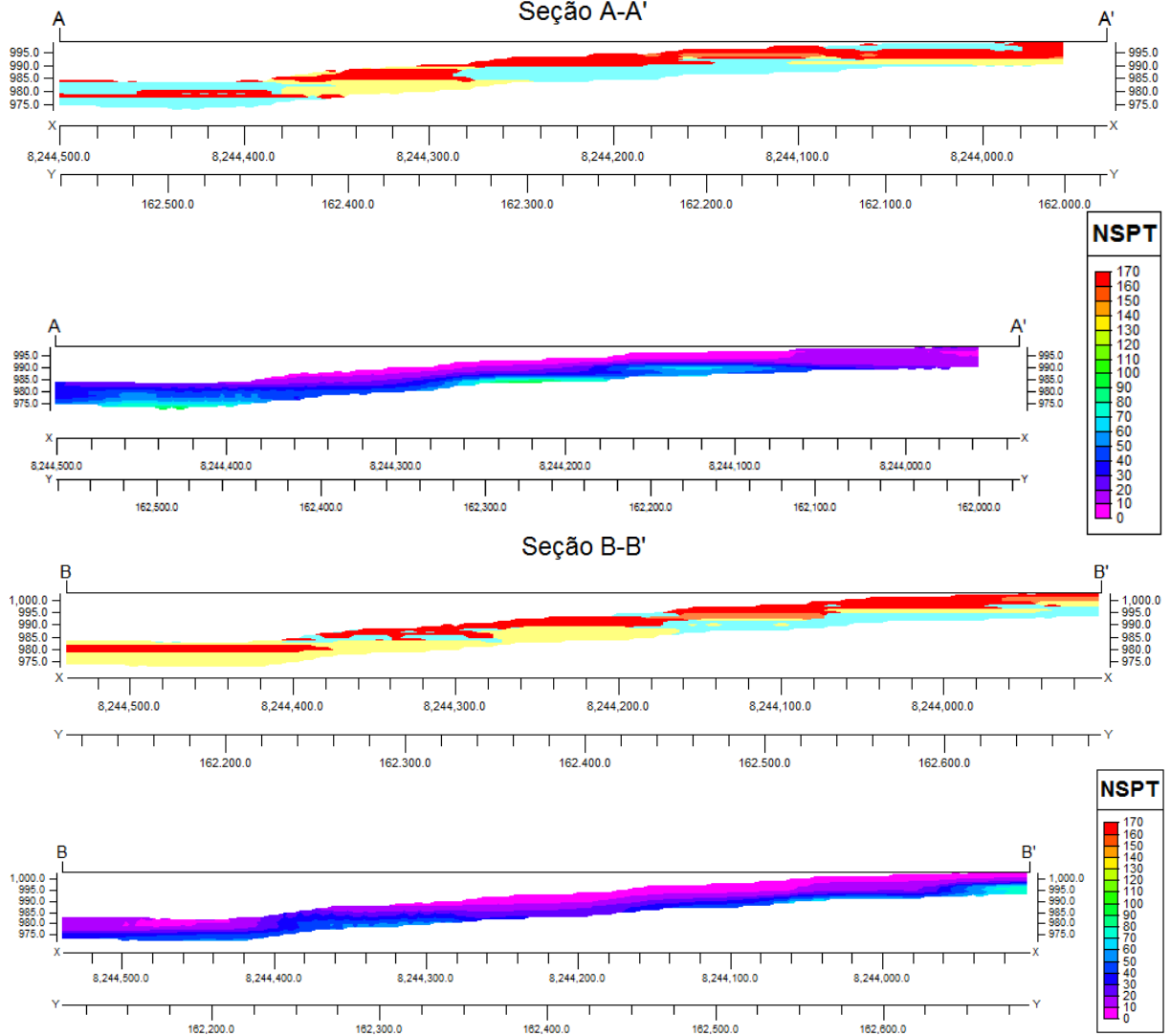
**Fonte:** NISIYAMA, 2016.

Localiza-se entre 10,00m e 10,45m, as profundidades das sondagens, visto que somente uma delas obteve menor que 10m (6,10m) (SONDA, 2008). As resoluções adquiridas para cada furo de sondagem abrangem, em profundidade, uma definição geométrica dos solos extraídos do amostrador e grandeza de resistência à penetração (NSPT) deste amostrador.

Com a interpolação gráfica espacial conseguiu-se resultados na região onde foram feitas as sondagens foi viável gerar os perfis A-A' e B-B' tanto para a categorização geotécnica quanto para o valor de NSPT, adequando uma avaliação simultânea destes resultados.

Tal avaliação foi feita por meio do software RockWorks16. O posicionamento destes perfis, com associação as sondagens, é apresentada na Figura 13 ao mesmo tempo que os perfis são mostrados na Figura 14.

**Figura 14 - Perfis estratigráficos.**



<p>Argila arenosa muito mole a mole marrom/vermelha, com eventual presença de pedregulhos</p>	<p>Argila silto-arenosa mole a média, com eventual presença de pedregulhos</p>	<p>Silte argiloso amarelo/amarelado, mole a rijo</p>	<p>Silte arenoso, amarelo, medianamente compacto a muito compacto</p>

**Fonte:** NISIYAMA, 2016

O terreno apresenta uma leve declividade, como mostra perfis A-A' e B-B' – cerca de 3,5% - em direção ao Rio Melchior e contém um capeamento de argila arenosa marrom/vermelha muito mole a mole. Tal consistência é nitidamente exposta pelos valores inferiores de NSPT destes revestimentos superficiais.

Na área em tese, os revestimentos que cobrem o terreno podem ser referentes a duas classes de solo distintas, os Cambissolos ou Latossolos vermelhos, classes estas que são primordiais na área do DF, utilizando cerca de 70% de sua região (EMBRAPA, 1978).

Os Latossolos Vermelhos, que recebiam o nome de Latossolos Vermelho-Escuros em características pedológicas mais antigas, são solos com propriedades físico-químicas que representam a profunda intemperização suportados por estes na sua etapa de formação, resultando em solos – no domínio das características de interesse hidrogeotécnico – com abundante porosidade, e absorção, e, devido a sua menor atividade, um baixo potencial de amplificação mineralógica (EMBRAPA, 1978).

Os solos menos desenvolvidos, são os Cambissolos, com predomínio de silte nos horizontes intermediários e horizontais mais profundos alcançando o saprólito (EMBRAPA, 1978). De acordo com mapa pedológico da área existe ocorrência de Cambissolo somente nas imediações do Rio Melchior e à medida que a topografia se aprimora na orientação ascendente (em direção a B' e A') prevaleçam os Latossolos Vermelhos.

Devido a sua maior dimensão porosa é uma particularidade de solos lateríticos que os seus primeiros metros tenham valor baixo de NSPT, e que, apresente certo potencial de colapsividade e maior absorção. (10-3 a 10-6 m/s) (CONCIANI et al., 2015).

Esta característica é presenciada pela análise da permeabilidade natural em campo, feita por meio de ensaios de infiltração acompanhados em furos assegurados por tradagem (STD), e ensaios laboratoriais – com permeômetros de carga constante – em amostras indeformadas extraídas de poços de inspeção (PI), cujos dados são apresentados na Figura 15. As sondagens foram numeradas como 1, 7, 13 e 21. As sondagens à percussão foram instaladas adjacentes as estas, em número equivalente.

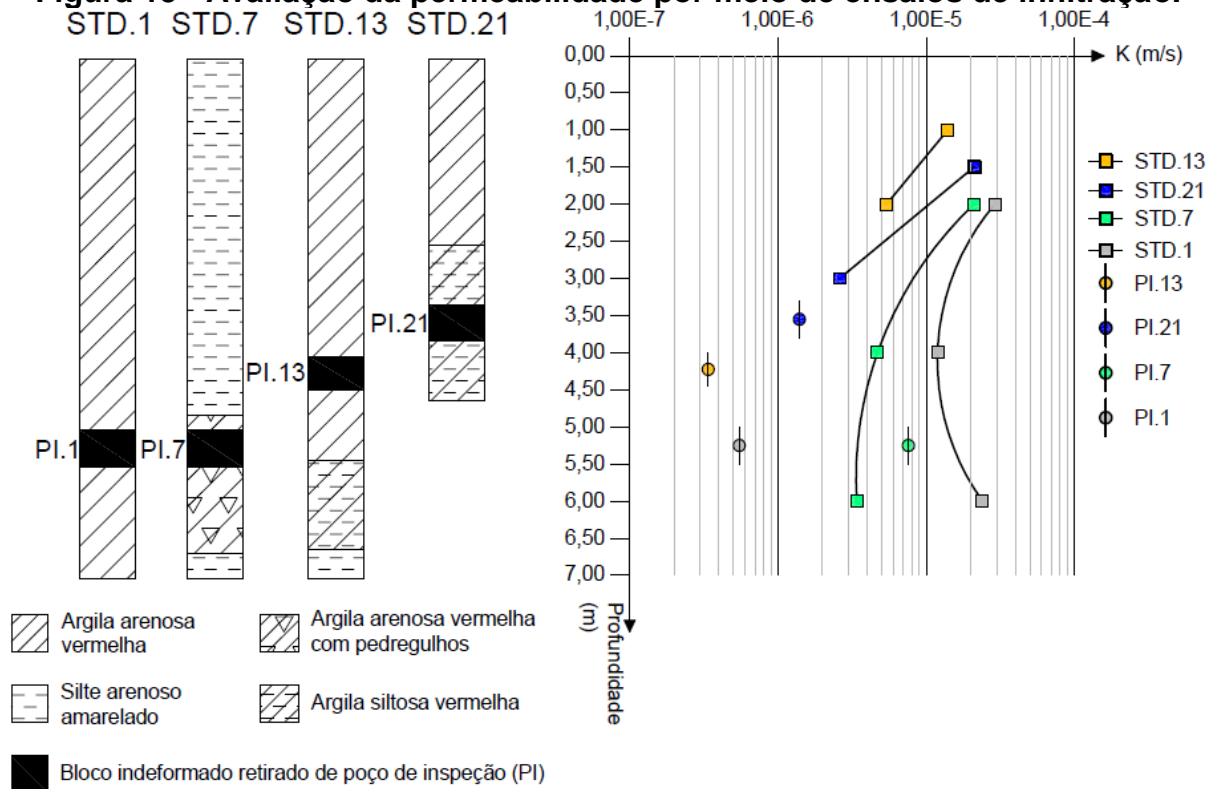
Os resultados de permeabilidade extraídos nas sondagens a trado (STD) e apresentados no gráfico da Figura 15 não devem ser analisados como alusão a uma profundidade pontual, e sim correspondente de todo o revestimento sobrejacente a estes locais, uma vez que há absorção da água, durante a efetivação do ensaio, resulta em toda a extensão, e não somente em seu fundo. Sendo assim, estes dados são mais característicos da permeabilidade horizontal do solo.

Os dados indicam que a permeabilidade- predominantemente horizontal – dos primeiros 7 metros da área varia entre  $10^6$  m/s e  $10^4$  m/s, o que mostra que, apesar de se tratarem de solos argilosos, este obtém de maior porosidade e comportam-se hidromecanicamente como solos granulares.

Já nas amostras indeformadas os ensaios foram extraídos nas profundidades apresentadas nas colunas estratigráficas, em geral, valores menores de permeabilidade, entre  $10^7$  m/s e  $10^5$  m/s.

Tais diferenças entre os dados extraídos no laboratório e em campo podem ser compreendidas pelos métodos usados em cada caso, visto que a direção com que se aferi a permeabilidade é desigual para os dois casos, e os ensaios nos blocos indeformados são típicos de áreas pontuais ao contrário dos ensaios de infiltração, que medem uma permeabilidade média para toda a dimensão do furo.

**Figura 15 - Avaliação da permeabilidade por meio de ensaios de infiltração.**



Fonte: SONDA ENGENHARIA, 2008

Assim conclui-se que não é viável a sua aplicação na situação natural, como revestimento impermeabilizante ou de fundação para um aterro sanitário, em consequência de maior permeabilidade e menor capacidade de carga – apresentada pelos valores de NSPT  $\leq 10$ .

Todavia, este material faz-se adequado para ser usado em aterros sanitários por meio de alguma etapa que promova a quebra da macroestrutura dirigente por

averiguar estas propriedades hidrogeotécnicas. A etapa de compactação normalmente fecha as maiores dimensões dos poros naturais existentes nestes solos (VILLAR ET al., 2015).

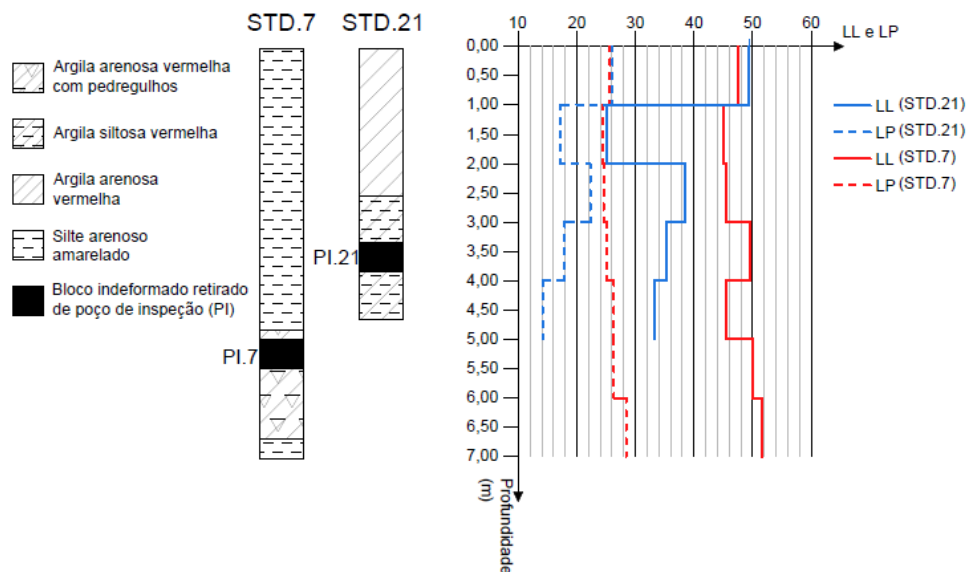
Há dois revestimentos com características hidrogeotécnicas diferentes – um horizonte superior macroporoso sobrejacente a um horizonte inferior residual e de densidade superior – tende a definir o escoamento lateral do fluxo d'água descendente na direção do aclave da conexão entre esses elementos.

A Figura 14 apresenta que a acividade deste se dá em sentido ao Rio Melchior, e é quase equidistante à superfície do terreno, isto é, o escoamento das águas subterrâneas na região ocorre na mesma direção que o escoamento superficial, que é gerenciado pela topografia local (SONDA, 2008).

Nas sondagens a trado foram extraídas amostras deformadas a cada metro e estas amostras foram submetidas a ensaios laboratoriais de classificação dentre os quais foram levados os ensaios de limite de aspecto – indicação dos limites de liquidez (wL) e limites de plasticidade (wP).

A descrição em profundidades referente aos dados destes ensaios é mostrada na Figura 16 simultaneamente com as colunas estratigráficas de cada furo realizado por tradagem e a região dos blocos indeformados retirados dos poços de averiguação adjacentes.

**Figura 16 - Amostras nas sondagens a trado.**



Fonte: SONDA ENGENHARIA, 2008.

Por estes dados, relativos aos limites de consistência e diretrizes aplicadas nas amostras indeformadas dos poços de averiguações adjacentes, é capaz gerar indicadores do potencial de colapso do solo. Tal análise se deu através do método por Gibbs e Bara (1962 citado por Nisiyama, 2016) sendo válido destacar que este é um método baseado em ensaios laboratoriais e de campo com competência para ser feito de maneira precisa e direita.

Logo, os dados aqui gerados dão somente um indicador deste potencial. O método sugere o cálculo de um parâmetro  $R$  que relaciona a umidade fundamental para saturação do solo e o limite de liquidez, e caso este resultado seja maior a 1 há indícios de que o solo é debilitado.

$$R = \frac{W_{sat}}{LL} \quad (I)$$

Na Figura 16 apresenta os valores de  $LL$  enquanto que  $w_{sat}$  pode ser definido de acordo com uma formulação originado das relações de fase do solo:

$$W_{sat} = Y_{agua} \left( \frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\gamma_{graos}} \right) = \frac{Y_{agua}}{\gamma_d} - \frac{1}{G_s} \quad (II)$$

O peso específico aparente seco da amostra em seu estado natural, contudo, não deformada, é mencionado para as amostras extraídas em PI.7 e PI.21 e o peso específico dos grãos foi estipulado em ensaios com picnômetro executado metro a metro nas sondagens STD.7 e STD.21. Os dados para o parâmetro  $R$  são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3 – Potencial de colapsividade do solo.**

<b>Sondagem/Profundidade</b>	<b>wL (%)</b>	<b><math>\gamma_d</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>GS</b>	<b><math>\gamma_{agua}</math> a 20°C (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>w<sub>sat</sub> (%)</b>	<b>R</b>
	50	11,86	2.6780	9,789	45,2	0,90
	35.3	15,75	2.7456	9,789	25,7	0,73

**Fonte:** GIBBS; BARA 1962.

Em conformidade com o método usado não há sinais que o solo apontado faça-se colapsível. Entretanto, os padrões usados concedem analisar somente a competência de colapso a partir da alteração da umidade, uma vez que na suposição do padrão  $R$  se maior a 1 isto é corresponde a dizer que  $w_{sat} > w_L$ , sendo assim, caso o solo fosse encaminhado a um estado de saturação ele estaria com um teor de umidade superior ao limite de liquidez e, por isso, teria consistência fluída.

De outra forma, consta que a capacidade de colapso é também interferência pelo tipo de permeante, devido a possíveis químicas entre este e o solo, o que provavelmente pode ocasionar a quebra dos elementos cimentantes das partículas dos solos macroporosos (VILAR & FERREIRA, 2015), ou seja, de especial importância no enredo de obras de aterro sanitário, já que uma casual falta de estanqueidade deixaria a percolação dos lixiviados de efluentes para os solos de fundação.

Executou-se, mediante a moldagem de corpos de prova cilíndricos retirada dos blocos indeformados, ensaios de indicação dos métodos de resistência ao cisalhamento. Os ensaios efetuados foram do tipo compressão triaxial, com consolidação isotrópica e não drenados (CIU). Os ensaios concedem a aquisição dos métodos existentes uma vez que, apesar de serem efetuadas em uma condição não drenada, as poropressões são acompanhadas durante sua realização.

Os métodos foram determinados para os blocos indeformados extraídos dos poços PI.7 e PI.21, nas profundidades apresentadas tanto na Figura 16 quanto Figura 15.

**Tabela 4 – Resultados dos ensaios triaxiais CIU.**

<b>Bloco</b>	<b><math>\sigma</math>adensamento kPa</b>	<b><math>c'</math> kPa'</b>	<b><math>\varphi'</math> -</b>	<b>Resistência não drenada – <math>su</math> kPa</b>
PI.7	50	0	35,0	15
	100			27
	200			95
PI.21	50	'	29,4	72
	100			60
	200			174

**Fonte:** SONDA ENGENHARIA 2008.



Constata-se que os corpos de prova extraídos do bloco PI.7 mostraram envoltória puramente unguida, enquanto que aqueles extraídos do bloco PI.21 mostraram certa fração em consequência a coesão. A desigualdade de desempenho quanto à resistência ao cisalhamento está relacionada à formação de cada uma destas massas.

Assim, o bloco PI. 7 – Conforme apresentado na Figura 15 e Figura 16 – foi extraído de um revestimento que, apesar de predominantemente composta por argila arenosa, tem existência de pedregulhos, sendo assim, possuem a resistência ao cisalhamento deste revestimento.

Em contrapartida, o bloco PI. 21, foi extraído de um revestimento de Argila Siltosa, e, portanto, integra certa fração de sua resistência ao cisalhamento vinculada a coesão do elemento, e visto que, dispõe valores maiores de resistência não-drenada *su* quando equiparado ao bloco PI. 7. O uso de tais métodos como meios para o teste da segurança estrutural da fundação e taludes escavados do aterro, fazer-se de maneira coerente.

Cita-se, em seguida a escavação do terreno serão estruturados taludes cuja estabilidade – aferir em marcos do fator de segurança – está ligada às tensões induzidas devido ao descarregamento provocado por esta escavação.

Estas tensões provocadas acontecem basicamente pelas variações nas poropressões, e em vista particular da escavação exercem com que o fator de segurança seja declinante com o tempo, exigindo, portanto, uma verificação de estabilidade em longo termo usando-se os métodos drenados/efetivos das argilas. De outra ótica, com o começo da disposição de rejeitos a fundação é sujeita a um carregamento que motiva um excesso de poropressões nesta.

Como a disposição dos rejeitos é realizada em um tempo prolongado – equivalente a vida útil do aterro – este demasia de poropressões ao final desta fase terá em enorme fração se dissipado, ao contrário de projetos como barragens, onde, pelo fato do alteamento se demanda mais rapidamente, há um excesso de poropressões ao final do alteamento que condiciona a firmeza do maciço. Logo, os parâmetros existentes indicados na Tabela 4 detêm considerável magnitude nas considerações da estabilidade estrutural do aterro.

Assim sendo, e com base nos dados acima finaliza-se que a região é topograficamente patível com a destinação escolhida – dado que, manifesta levemente ondulada e com baixas declividades – e do ponto de vista geológico-

geotécnico concluiu-se que as propriedades do solo abaixo do horizonte de solo macroporoso coluvionar permitem a construção de obras civis em geral, como o aterro e as suas aplicações de apoio, desde que adotadas as precauções conveniente quanto às fundações, prevenção de erosões e impermeabilização (SONDA, 2008).

## **5.2 Da aprovação da região com base no Estudo de Impactos Ambientais (EIA)**

De acordo com todo o estudo realizado ao longo desse trabalho, percebeu-se que o Estudo de Impactos Ambientais que lastreou o licenciamento ambiental da região na qual foi implantado o Aterro Sanitário de Brasília– Samambaia/DF (ASB) foi subdividido em duas partes distintas até sua aprovação no ano de 2010 que foi imposta pela Lei Nacional de Resíduos Sólidos, dando assim, fim ao Aterro Controlado do Jockey, desativado após 57 anos de funcionamento em 20 de janeiro de 2018. (JORNAL DE BRASÍLIA, 2018).

Na primeira delas discutiram-se regiões que teve o potencial para receber tal dispositivo. Tendo-se definido a área com maior aptidão para tal procede-se, em uma segunda fase, a realização de estudos específicos desta região, que compõem o diagnóstico ambiental da área.

A permissão antecipada, uma das partes essenciais ao licenciamento ambiental, é adquirida por meio de apresentação de um Estudo de Impactos Ambientais (EIA) e o seu relativo Relatório de Impactos Ambientais (RIMA).

Durante a preparação destes documentos a BELACAP determina termos de referência que a região a ser licenciada localizava-se ao lado da Usina de Compostagem e Tratamento de Lixo (SOUCTL) – que no momento atual recebe a denominação de Usina Central de Tratamento de Lixo (UCTL).

A companhia contratada para efetuadas destes estudos tendo finalizado a incapacidade da região declarada pela BELACAP propôs opções a este. A seleção da opção mais viável no qual seria encaminhado o estudo mais específico visando aquisição da licença prévia se deu com base em métodos de ordem eliminatória e seletiva.

Os métodos eliminatórios são baseados pelas limitações impostas pela legislação ambiental – essencialmente quanto ao zoneamento ambiental – pela previsão de uso da região conforme o Plano de Ordenamento Territorial (PDOT). De

outra forma para a avaliação relativa entre as regiões propostas adotaram-se métodos embasados em aspectos ambientais, técnicos e econômicos.

Citam-se na Tabela 5 os aspectos de ordem ambiental e técnica usados na seleção da região. Os métodos de ordem econômicos, não obstante de possuírem imensa relevância e serem essenciais, estão fora da pesquisa a que este trabalho se sugere e não foram mostrados.

Os métodos mostrados na Tabela 5 são de cunho seletivo e consente a acareação entre as regiões alternativas ofertada. Quanto à região proposta pela BELACAP há várias restrições de ordem legal que não permitiriam a implantação do aterro nesta região, por meio as quais se podem evidenciar: parte da região está inserida dentro da região de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) do Parque JK, sendo que a parte que não está inserida neste indica taludes íngremes, com mais de 30° de inclinação e cobertos por vegetação, e que são também ambientalmente preservado segundo o Código Florestal (PROGEA, 2005).

**Tabela 5 - Aspectos ambientais e técnicos.**

Aspectos ambientais	Aspectos técnicos
i) Pouca interferência com a vizinhança	i) Áreas com topografia pouco acidentada
ii) Áreas que apresentem alguma degradação ambiental por atividades diversas.	em forma de anfiteatros ii) Condições hidrogeológicas que dificultem potenciais contaminações
iii) Proximidade a estações de tratamento de esgoto urbano.	iii) Solos de fundação com propriedades de deformação e resistência ao
iv) Evitar proximidade à Áreas de Proteção Ambiental e Áreas de Proteção de Mananciais.	cisalhamento que não condicionem a estabilidade do maciço de rejeitos iv) Materiais naturais de construção de
v) Facilidade de monitoramento ambiental	fácil obtenção nas proximidades do aterro
vi) Áreas com confinamento natural: anfiteatros naturais ou cercadas por reflorestamento	– para a cobertura diária/final e para a camada impermeabilizante argilosa v) Baixa precipitação pluviométrica
vii) Áreas de fácil reintegração após a vida útil do aterro	vi) Direções predominantes dos ventos contrárias à de aglomerações urbanas

**Fonte:** PROGEA 2005.

Enfim, a região determinada foi aquela da qual os dados dos laudos de sondagem foram mostrados na seção anterior. Ambientalmente a região em foco já passou por desmatamento e tem certa deterioração pela presença da ETE Melchior, exibida na Figura 17, visto que, não se catalogou a ocorrência de nascentes.

A imediação com a ETE Melchior é também ambientalmente conveniente, sendo que pode prever a Co disposição do lodo criado por esta no aterro, e o controle dos percolados produzidos no aterro para serem tratados na ETE.

Em conteúdos técnicos a região mostra-se com topografia pouco acidentada, existindo grande facilidade para aplicação do revestimento compactado de argila, para a qual o alcance de solos poderá ser gerada prevendo-se a construção do aterro em lotes – fracionando a região total em subáreas – de modo que o procedimento e escavação ocorram simultaneamente em subáreas anexadas e, no que lhe diz respeito, seja provável amenizar o transporte de material.

**Figura 17 – ETE Melchior.**



**Fonte:** DESENTUPIR JÁ, 2018.

## 6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

A coordenação de efluentes sólidos na atualidade pretende privilegiar as diretrizes específicas a não geração e redução da elaboração destes resíduos e, em segundo plano, ao desenvolvimento do potencial destes através da requalificação e reciclagem.

Percebe-se, mas, que a assistência total a estas normas ocorre indispensável preexistido por uma fase de alteração. Configura-se a instituição da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, pela Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010) cerca de um sinal do início deste estágio.

Esta nova administração tenta programar este modo atual de raciocinar o coordenamento de resíduos sólidos. Respectivamente no texto se torna evidente que, após privilegiar todos os procedimentos citado anteriormente, e como última instância, aos efluentes sólidos deve ser dotada um objetivo final ambientalmente apropriado.

Por outra forma, impossibilita-se a não os criar, e sendo insatisfatório o tratamento por via da reciclagem e reutilização, deverá ter uma destinação que estará imune de ameaças ou prejudicar à saúde pública e à segurança e reduzirá os possíveis impactos ambientais variados. Algumas das maneiras de gerar a estruturação destes resíduos de forma ambientalmente apropriada é mediante aterros sanitários.

O decorrente trabalho expos, através de análise e pesquisa de estudos e documentos, os fundamentais aspectos ambientais e geotécnicos referentes à construção do Aterro Sanitários de Brasília, o primeiro aterro que foi construído em Brasília, e que, em conjunto com a elaboração de outras medidas, permitiu a desativação do Aterro Controlado do Jockey.

Em uma primeira fase foi feito uma sondagem e análise dos estudos e documentos existentes que autorizaram considerar sobre a aptidão da região decidida para a construção do aterro. Para isso, mostraram-se os resultados de relatórios topográficos de apuração geotécnicas e descrição das águas subterrâneas da região do aterro.

O estudo destes resultados depende em evidenciar e indicar os principais aspectos destes que induziram na escolha da região analisada e que, visto que, agiu também no projeto e operação do Aterro Sanitário de Brasília. Sendo que, o

estabelecimento do aterro sanitário foi, inevitavelmente, provido por um Estudo de Impactos Ambientais (EIA), foi retratado também as essenciais conclusões deste trabalho.

Foram três os resultados levantados nesta fase, e que fazem parte do propósito do EIA: estudos referentes à escolha da região objeto do estudo, estudos geológico-geotécnicos específicos para esta região e, enfim, um compêndio dos principais impactos ambientais resultantes da construção do aterro na região.

Com isso, foi possível estabelecer estes ao contexto geológico, geotécnico, e ambiental da região adotada para construção do ASB bem como as influências iminentes de ordem geotécnica e ambiental da implantação do aterro nesta região.

Se propôs na segunda fase deste trabalho, a gerar um estudo e levantamento das soluções de controle de impactos ambientais sugeridas no projeto ASB frente aos dados obtidos na fase anterior e à legislação ambiental e referenciais normativos referentes à aterros sanitários.

A essencial fonte dos resultados desta fase foi o registro do projeto executivo do ASB, que contempla os desenhos de projeto e o relatório deste projeto. O procedimento empregado gerou a assistência ao objetivo específico proposto para esta etapa

Infere-se que, embora que a disposição de resíduos em aterros sanitários retratarem uma saída provisória à questão da gestão dos resíduos sólidos, a análise dos aspectos ambientais e geotécnicos referentes à sua construção é de grande importância dado o caráter potencialmente poluidor dos aterros sanitários.

É significativo, ainda assim, relatar algumas observações quanto à análise realizada. A principal destas é que as referências aqui mostradas têm o objetivo primordial de simplificar a obtenção às informações acerca do ASB, de forma a auxiliar o acesso a tais informações em possíveis análises iminentes sobre o aterro.

Outra observação a ser efetuada é que a pesquisa e a sondagem realizados para as resoluções de administração de impactos ambientais são relacionados apenas a Fase 1 do aterro visto, e, recordando, até o final da sua vida útil até lá, serão estabelecidas três fases adicionais. Estas retificações, por seu lado, podem ser o ponto de partida para anos futuros, tais como:

- Análise do funcionamento das soluções características de controle de impactos ambientais implantadas na primeira etapa, visando o adiantamento destas para as demais fases.
- Estudos voltadas para descrição do desempenho mecânico dos rejeitos do DF de modo a suportar o projeto das fases seguintes ou de um possível novo aterro a ser implantado.

Ademais, podem ser citadas outras propostas e(ou) sugestões e que se denotam indiretamente com a construção do ASB:

- Pesquisa de regiões com capacidade para implantação de um viável novo aterro que virá a receber os rejeitos do DF quando da desativação do ASO.
- Estudo de soluções para solução da região onde se situou o Aterro Controlado do Jockey e análise de alternativas de uso futuro da área.
- Estudo de alternativas para aplicação futura da região onde se situa o ASB, após a sua desativação.
- Buscar possibilidade da transformação do sistema de drenagem de gases passivo do ASB, para um de aproveitamento com sistema ativo de biogás para gerar energia.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFONSO, H. M. M. **Instrumentação para medir deslocamentos em barragens de enrocamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, PUC-RIO, Rio de Janeiro, 2004.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>.

\_\_\_\_\_. Congresso Nacional. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 203/1998**. Diário do Congresso Nacional, Brasília, ano 46, n. 27, 2 de abril de 1998, p. 2.765-2.766. Disponível em: <<http://imagem.camara.gov.br/Imagem/d/pdf/DCD02ABR1991.pdf#page=37>>.

CONCIANI, W., BURGOS, P. C., BEZERRA, R. L. **Origem e formação dos solos, perfis de intemperismo**. In: Camapum de Carvalho, J. et al. Solos não saturados no contexto geotécnico. Cap. 2, p. 21-37, São Paulo, Brasil, Editora ABMS, 2015.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal**. Rio de Janeiro, Boletim Técnico – Nº 53, 455p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/335824/levantamento-de-reconhecimento-dos-solos-do-distrito-federal>>.

JORNAL DE BRASÍLIA. **Após 60 anos, lixão da Estrutural é fechado definitivamente**. Disponível em: <<http://www.jornaldebrasil.com.br/cidades/apos-60-anos-lixao-da-estrutural-e-fechado-definitivamente/>>.

NISYAMA, Felipe Leite. **Aspectos geotécnicos e ambientais relacionados à implantação do Aterro Sanitário Oeste**. 2016. vi, 111 f., il. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) —Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em <<http://bdm.unb.br/handle/10483/16975>>.

NISYAMA, F. L.; FERREIRA, L. R.; CAMAPUM DE CARVALHO, J. **Aplicação da metodologia Mini-MCV em solo com alteração da fase aquosa**. In: III Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis, 2016, Porto Alegre. III Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2016. v. 1.

PROGEA. **Engenharia e Estudos ambientais**. Estudo de Impacto Ambiental para o Aterro Sanitário de Samambaia. BELACAP. 2005.

SONDA ENGENHARIA. **Relatório de Topografia e Investigações Geotécnicas – Áreas para Futuro Aterro Sanitário Localizada Entre Samambaia e Ceilândia**. Brasília, DF, 2008.



UNESP. **Formas de disposição de resíduos**. Disponível em:  
<<https://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/residuos/res13.html>>.

VILAR, O. M.; FERREIRA, S. R. M. **Solos colapsíveis e expansivos**. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J., GITIRANA JUNIOR, G. F. N., MACHADO, S. L., MASCARENHA, M. M. A., SILVA FILHO, F. C. Solos não saturados no contexto geotécnico. São Paulo: ABMS, 2015. p. 21 – 37.

VILLAR, L. F. S., GUIMARÃES, R. C., RODRIGUES, J. K. G., AZEVEDO, R. F., CAMAPUM DE CARVALHO, J. **Compactação dos solos: laboratório e campo**. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J., GITIRANA JUNIOR, G. F. N., MACHADO, S. L., MASCARENHA, M. M. A., SILVA FILHO, F. C. Solos não saturados no contexto geotécnico. São Paulo: ABMS, 2015. p. 21 – 37.

DESENTUPIR JÁ. **Conheça as estações de tratamento de esgoto de Brasília**. Disponível em <<https://www.desentupirja.com.br/conheca-estacoes-de-tratamento-de-brasilia/>> Acesso em 28 de janeiro de 2018.

SERVIÇO AUTONOMO DE SANEAMENTO DE PELOTAS. **Projeto básico de ampliação de aterro controlado com recuperação de área degradada**. Disponível em < [http://server.pelotas.com.br/interesse\\_licitacoes/arq\\_objeto/07-06-01\\_16:34\\_490\\_Projeto.basico.pdf](http://server.pelotas.com.br/interesse_licitacoes/arq_objeto/07-06-01_16:34_490_Projeto.basico.pdf) > Acesso em 28 de janeiro de 2018.