

ESTUDO GEOTÉCNICO DE CAMADAS DE COBERTURA DO TIPO OXIDATIVAS

Alice Jadneiza Guilherme de Albuquerque Almeida¹ (aliceguilherme@hotmail.com), Bruna Silveira Lira¹ (brunaslira@gmail.com), Guilherme José Correia Gomes¹ (guilhermejcgomes@hotmail.com), Maria Odete Holanda Mariano¹ (odete.mariano@gmail.com), José Fernando Thomé Jucá¹ (jftjucuh@icloud.com), Débora Gonçalves Vasconcelos¹ (debora100000@hotmail.com), Maurício Alves da Motta Sobrinho¹ (mottas@ufpe.br)
1 UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

RESUMO

A aplicação de camadas alternativas, também conhecidas como camadas oxidativas, é bastante útil principalmente em aterros em que não há um sistema de captação de gases, pois a camada composta com material orgânico é capaz de fazer a oxidação do metano, diminuindo assim a emissão deste gás para a atmosfera. Desta forma, analisar o comportamento geotécnico de misturas de solo com material compostado permitiram aferir positivamente a sua utilização, mesmo em proporções sensivelmente mais elevadas (como na proporção 1:1 volumétrica), com boas características de granulometria, compactação, adensamento, densidade real dos grãos, limites de liquidez e plasticidade, garantindo assim, margens para um uso adequado de material antes descartado e ainda permitindo a adoção de um meio mais sustentável para destinação de resíduo sólido urbano.

Palavras-chave: Camadas Oxidativas, Caracterização Geotécnica

GEOTECHNICAL STUDY OF OXIDATIVE TYPE COVERING LAYERS

ABSTRACT

The application of alternative cover layers, also known as oxidative cover layers, is very useful mainly in landfills where there is no gas capture system, so a layer with organic material is capable of oxidizing methane, reducing the emission of this gas into the atmosphere. Therefore, to analyze the geotechnical behavior of soil mixtures with composted material allowed to evaluate positively its use, even in ratios significantly higher (such as the 1:1 ratio in volume), with good characteristics of grain size, compaction, consolidation, real density of the grains, liquid limit and plasticity limit, thus guaranteeing margins for an adequate use of material previously discarded and still allowing the adoption of a more sustainable means for the destination of municipal solid waste.

Keywords: Oxidative layer, geotechnical characterization

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, como país em situação emergente, apresenta disparidades de condições econômicas, sociais, geográficas, biológicas e climatológicas. Dessa forma, analisar o problema da destinação adequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU) não se torna uma tarefa fácil, e muito menos de resolução única. Apesar da criação da Lei 12305/2010 (BRASIL, 2010), que instaurou a Política Nacional de Resíduos Sólidos e exigiu que até 2014 todos os municípios do país tivessem uma destinação adequada dos resíduos, os problemas encontrados inviabilizaram esta previsão, de forma que parte dos municípios destina seus resíduos inadequadamente em lixões ao céu aberto ou aterros controlados, acarretando problemas de ordem social, sanitário e ambiental. Uma das dificuldades encontradas pelos municípios para a utilização de aterros que sejam sanitários é a busca por materiais adequados a solução, principalmente para as camadas de cobertura funcionais e a preços acessíveis, principalmente a municípios de menor porte aquisitivo ou situado em regiões áridas, em que o uso de camadas convencionais apresenta problemas, com ressecamento e abertura de fissuras, que permitem a entrada de água de precipitações (formando

mais lixiviado que pode aumentar a carga poluidora dos aterros) e saída de gases de aterro, que contribui para carga antrópica de gases de efeito estufa (COSTA 2015). Dessa forma, procurou-se estudar a viabilidade da associação de solos argilosos (mais adequados usualmente a camadas de aterros sanitários, mas nem sempre disponíveis) com material estabilizado de leiras de compostagem (que geralmente se destinam a adubos ou mesmo ao descarte em aterros) para a elaboração de camadas de cobertura oxidativas, ou seja, que além de cumprir com as funções necessárias a uma camada convencional, ainda permitem a oxidação do CH₄ produzido nos aterros sanitários (em torno de 50 a 60% do volume de gás de aterro produzido), reduzindo assim em torno de 20 vezes sua carga poluidora, já que, principalmente em aterros de pequeno porte, este gás não costuma ser retirado para usos mais nobres, como energéticos, devido ao investimento razoável e infraestrutura não existentes, sendo simplesmente lançado na atmosfera.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo a análise do comportamento geotécnico do solo puro e das misturas de solo com produto compostado para a utilização em camadas de cobertura de aterros sanitários.

3. METODOLOGIA

Para a confecção da camada oxidativa foi necessário fazer a mistura de composto orgânico com solo argiloso. A coleta do solo foi feita em uma jazida localizada nas proximidades do Aterro da Muribeca, onde inclusive este mesmo solo era utilizado para a confecção das camadas de cobertura do próprio Aterro. O composto orgânico utilizado foi oriundo de uma composteira localizada no Jardim Botânico do Recife.

Em seguida foram executados os ensaios de laboratórios para a caracterização física e determinação das propriedades dos materiais utilizados para a camada. Os ensaios foram executados sempre focando nos mecanismos de transporte de gases e de líquidos e também em possíveis fatores que possam vir a afetar o desempenho e funcionalidade da camada de cobertura. Os ensaios foram realizados no solo puro, produto compostado e na mistura de solo com produto compostado, em uma proporção de 2:1 e 1:1 de solo composto respectivamente.

Os ensaios realizados foram:

- Preparação de amostras (NBR-6457/86);
- Análise granulométrica (NBR-7181/88);
- Limite de liquidez (NBR-6459/84);
- Limite de Plasticidade (NBR-7180/84);
- Peso específico dos grãos (γ_s)-método do picnômetro (NBR-6508/84);
- Ensaio Proctor Normal (NBR-7182/88);
- Ensaio de Adensamento Unidimensional (NBR-12007/90);

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaios de Caracterização Física

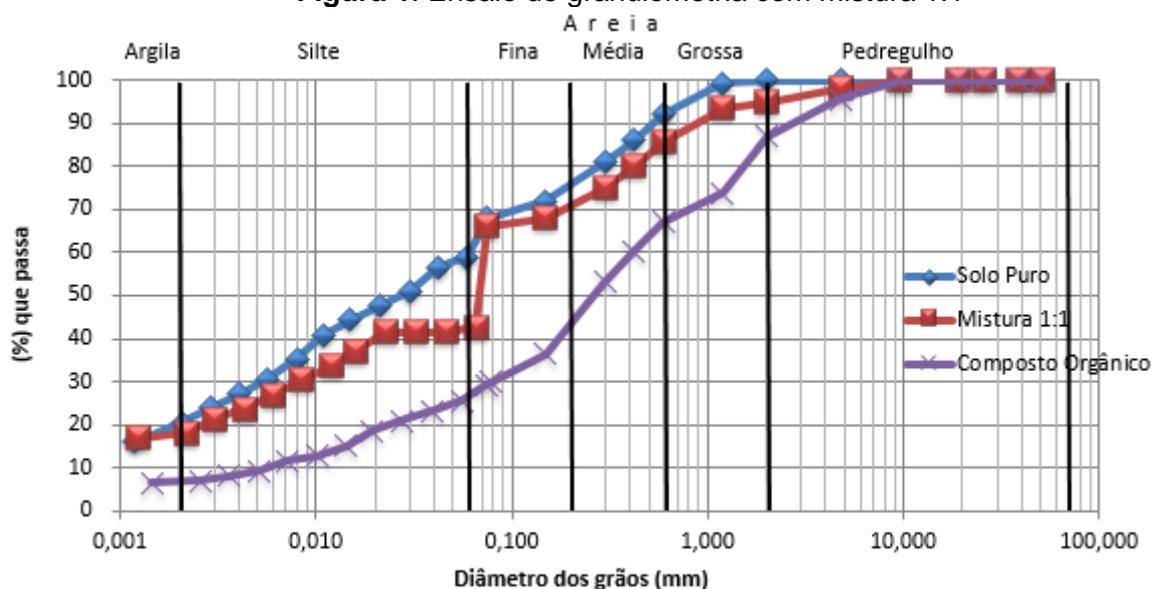
4.1.1 Análise Granulométrica

O ensaio de granulometria, que tinha como finalidade caracterizar o solo que seria utilizado como camada de cobertura, foi executado no laboratório e foram feitos para o solo puro, material compostado e também para as misturas 1:1 e 2:1 de solo composto em volume.

- Mistura 1:1

A Figura 1 apresenta a curva granulométrica do solo puro em conjunto com o composto e a mistura 1:1. Observando as curvas de cada material constata-se que não há uma diferença significativa entre os três tipos de solo.

Figura 1: Ensaio de granulometria com mistura 1:1



De acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) a mistura de 1:1 é classificada como silte de baixa plasticidade. Os valores dos limites de plasticidade (LP), limites de liquidez (LL), índices de plasticidade (IP), densidade dos grãos e percentagens da caracterização dos tipos de solo serão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados da caracterização com Mistura 1:1

Material		Solo Puro	Composto	Mistura 1:1
Granulometria (%)	Argila	21	8	19
	Silte	38	19	24
	Areia Fina	13	18	26
	Areia Média	17	24	8
	Areia Grossa	11	20	18
	Pedregulho	0	11	5
Índice de Consistência (%)	LL	49,78	-	43,9
	LP	33,16	-	33,6
	IP	16,62	-	10,3
Densidade real dos grãos (g/cm³)		2,720	2,181	2,541

LP: limite de plasticidade, LL: limite de liquidez, IP: índice de plasticidade.

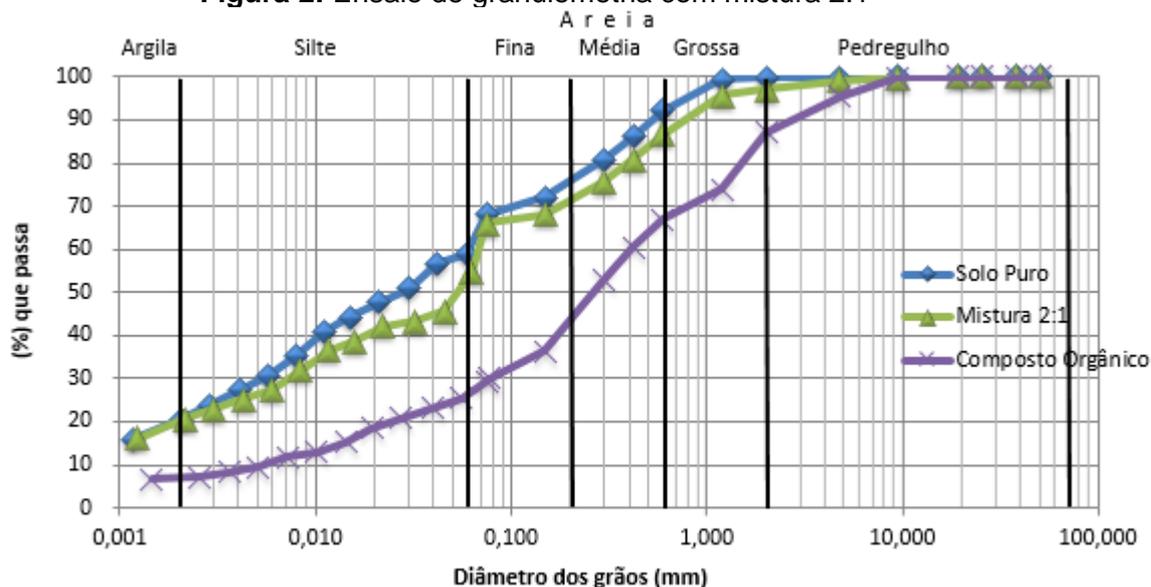
Analisando a Tabela 1 é possível constatar que o valor de argila presente no solo puro é em torno de 21%, enquanto que na mistura de 1:1 é de 19%, o que afirma que ao ser colocado uma parcela de composto não há uma diferença significativa no teor de argila, mas quando se verifica a percentagem de silte, constata-se que o teor de composto adicionado faz com que haja uma redução de 16% dos índices de materiais finos.

Em relação aos resultados dos índices de consistência, a mistura 1:1 apresentou índice de plasticidade de 10,30%, caracterizando assim como um solo medianamente plástico, enquanto que o solo puro apresentou um índice de plasticidade de 16,62%, que o enquadra como um solo plástico. Como o composto orgânico não tem características coesivas o mesmo não apresentou valores para os limites de liquidez e plasticidade. Quanto a densidade real dos grãos, a utilização de composto na mistura fez com que houvesse uma redução de 2,720 para 2,541 g/cm³.

- Mistura 2:1

A Figura 2 abaixo mostra a curva granulométrica dos materiais, mas desta vez é utilizada a mistura 2:1 de solo composto. Por ter mais parte de solo nesta mistura observa-se que a curva da mistura se aproxima mais da curva de solo puro, não apresentando diferença significativa entre as curvas.

Figura 2: Ensaio de granulometria com mistura 2:1



Assim como a mistura 1:1, a mistura 2:1 também é caracterizada pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) como silte de baixa plasticidade. Os valores dos limites de plasticidade, liquidez, densidade dos grãos e percentagens da caracterização dos tipos de solo serão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados da caracterização com Mistura 2:1

Material		Solo Puro	Composto	Mistura 2:1
Granulometria (%)	Argila	21	8	20
	Silte	38	19	35
	Areia Fina	13	18	16
	Areia Média	17	24	15
	Areia Grossa	11	20	12
	Pedregulho	0	11	2
Índice de Consistência (%)	LL	49,78	-	43,1
	LP	33,16	-	30,4
	IP	16,62	-	12,7
Densidade real dos grãos (g/cm³)		2,720	2,181	2,581

LP: limite de plasticidade, LL: limite de liquidez, IP: índice de plasticidade.

Ao analisar a Tabela 2 é possível constatar que a porcentagem de material fino do solo puro é de 59% enquanto que a da mistura 2:1 é de 55%, o que confirma que a introdução de composto na mistura não altera significativamente a granulometria deste material.

Quanto aos resultados de obtidos para o índice de consistência, foi verificado que a mistura 2:1 apresentou índice de plasticidade de 12,7%, o que a caracteriza como um solo medianamente plástico. Em relação a densidade real dos grãos, o acréscimo de composto orgânico fez com que tivesse uma redução de 2,720 para 2,581 g/cm³, que foi uma redução um pouco menor quando comparada com a mistura 1:1.

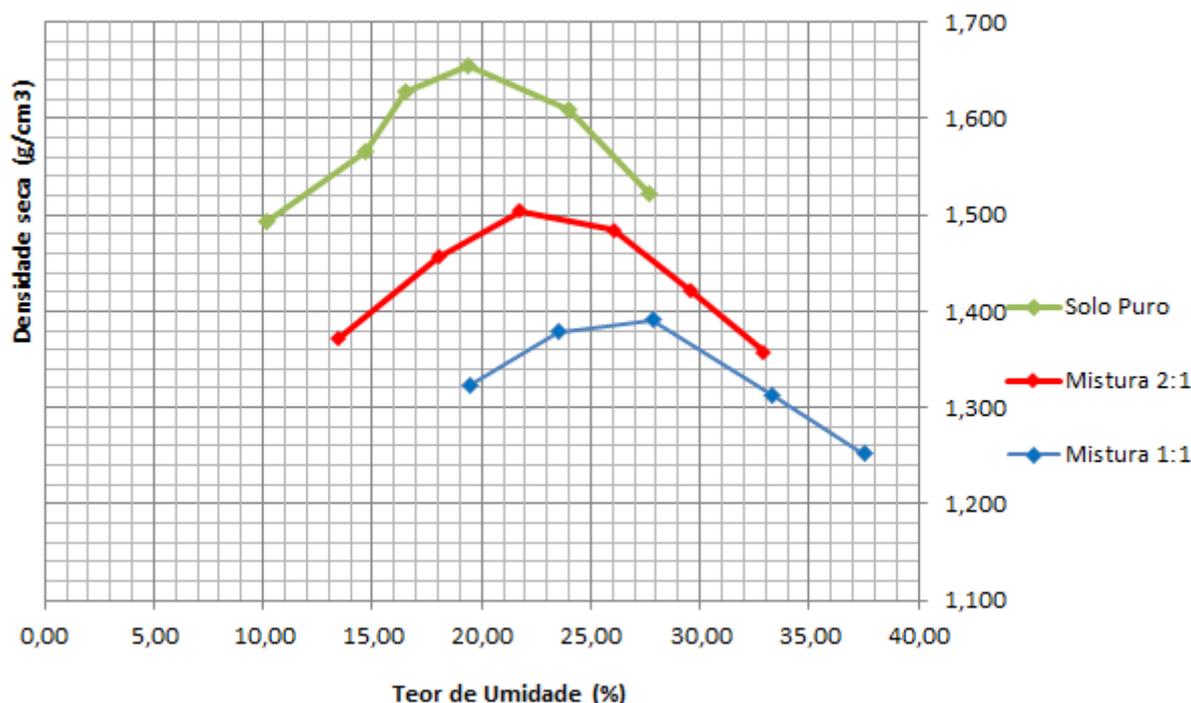
4.1.2 Compactação de Proctor Normal

O ensaio de compactação utilizado foi o de Proctor Normal, realizado segundo os procedimentos presentes na NBR-7182/88. A Tabela 3 a seguir mostra os valores de umidade ótima e peso específico aparente seco de cada material e a Figura 3 mostra os resultados obtidos durante o ensaio.

Tabela 3: Resultados Preliminares da Compactação

Material	Umidade Ótima (%)	Peso específico aparente seco (kgf/cm ³)
Solo Puro	20	1,660
Mistura 2:1	23	1,506
Mistura 1:1	26	1,396

Figura 3: Curva de Compactação dos Materiais.



Pela análise do gráfico da Figura 3 é possível observar que o acréscimo de composto no solo influencia na umidade ótima apresentada pelo material, aumentando em até 6% a depender da quantidade de composto que foi utilizado. Já a diminuição do valor do peso específico aparente seco é justificado pelo poder de retenção de líquidos que o composto orgânico possui. Para camadas de cobertura do tipo oxidativas é interessante que a densidade do material utilizado seja o menor possível, pois tal fator é favorável para a eficiência da oxidação do gás.

4.1.3 Ensaio de Adensamento

O ensaio de adensamento foi realizado segundo as recomendações presentes na NBR-12007/90 e foram feitos para solo puro e misturas 1:1 e 2:1 de solo composto. Para determinar a tensão de pré-adensamento foi utilizado o método proposto por Pacheco-Silva e o coeficiente de adensamento foi calculado pelo método de Taylor. A Tabela 4 e as Figuras 4 e 5 a seguir mostram

os resultados encontrados durante o procedimento para umidade ótima e em condições inundadas e não inundadas.

Figura 4: Ensaio de adensamento na umidade ótima em condições não inundadas

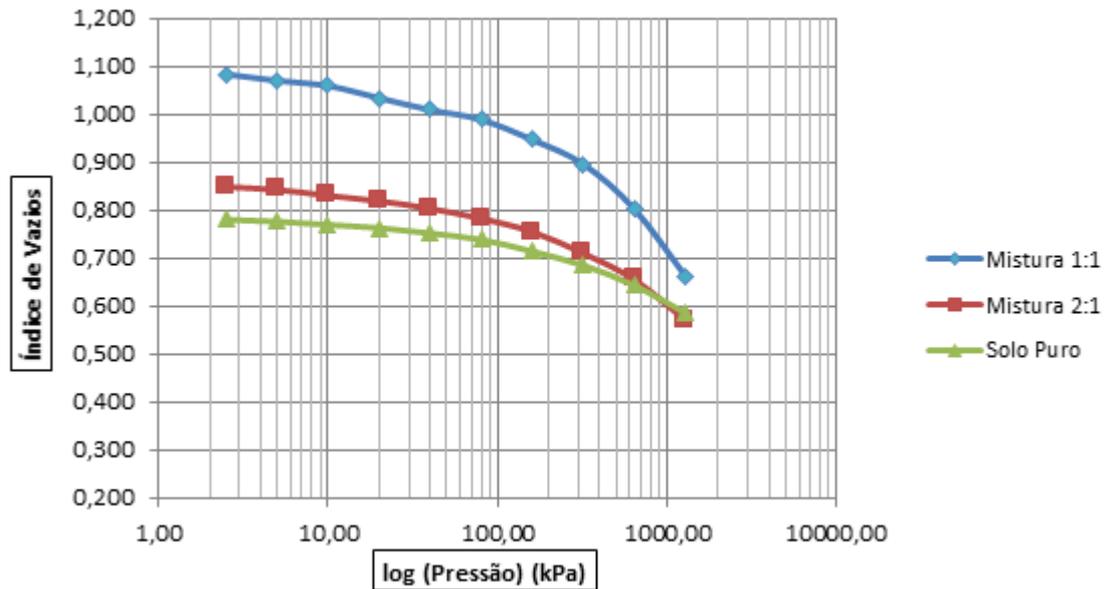


Figura 5: Ensaio de adensamento na umidade ótima em condições inundadas

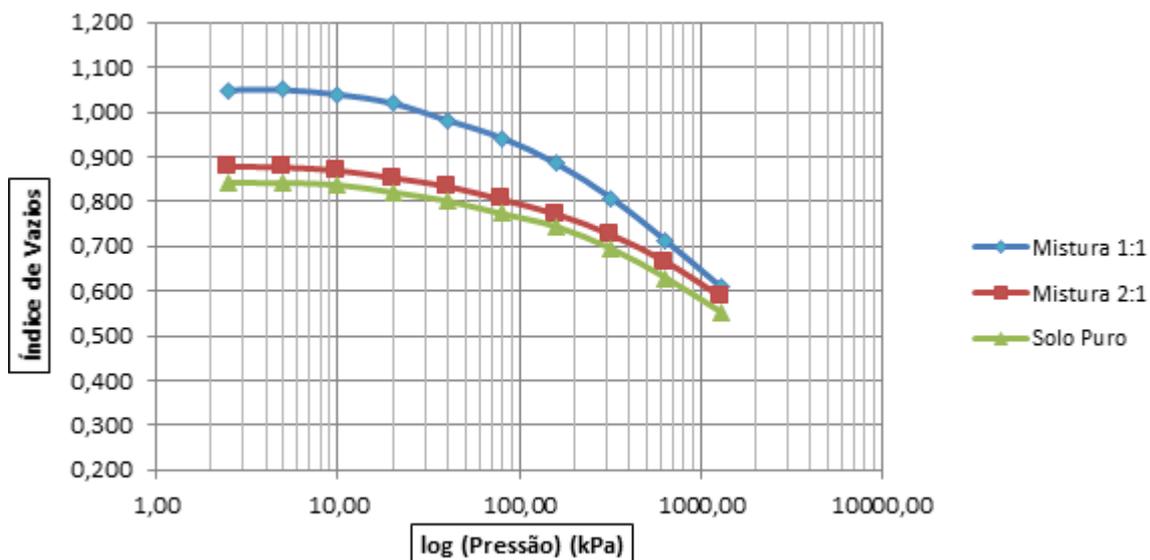


Tabela 4: Parâmetros dos ensaios de adensamento

Amostra	Umidade Ótima			Saturado		
	e _o	σ'a	Cc	e _o	σ'a	Cc
1:1	1,101	250Kpa	0,413	1,040	120Kpa	0,327
2:1	0,863	200Kpa	0,288	0,878	180Kpa	0,243
Solo Puro	0,790	200Kpa	0,175	0,828	150Kpa	0,230

Dentre os parâmetros obtidos durante o ensaio tem-se: índice de compressão (Cc), que corresponde à inclinação da reta de compressão virgem; tensão de sobre adensamento ($\sigma'a$) e o índice de vazios. Como a mistura 1:1 apresenta uma parcela de composto superior a mistura 2:1, foi observado que a mesma detém uma maior quantidade de índice de vazios inicial, bem como um maior agravamento do adensamento ao longo do tempo devido ao aumento de carga. Mesmo apresentando valores diferentes para os parâmetros, é possível concluir que não há uma diferença significativa entre os resultados encontrados para as diferentes misturas analisadas.

5. CONCLUSÃO

As análises feitas permitem aferir positivamente sobre a capacidade geotécnica que ambas as misturas podem proporcionar sob a condição de camadas de cobertura de aterro sanitário. Com relação à granulometria, ambas as misturas tiveram pequeno aumento na proporção de granulometria mais grossa, com o acréscimo do silte relativo ao material compostado, reduzindo também a plasticidade do material com o acréscimo do composto nas proporções, o que poderia acarretar possível preocupação com relação à permeabilidade do material aos gases de aterro. Entretanto, essa possível maior permeabilidade permite também a maior entrada de oxigênio na camada, permitindo oxidação mais efetiva do CH₄ presente no gás do aterro, condizente assim com a funcionalidade de uma camada oxidativa, devendo assim este quesito ser mais aprofundado em estudos de permeabilidade sobre o material.

Quanto à análise de compactação, é possível observar uma menor densidade apresentada pelo material com o acréscimo do produto compostado nas proporções, ocasionada pela propriedade apresentada por este de possuir menor densidade por si só e maior proporção de vazios. Associado a propriedade do material orgânico de permitir maior retenção de umidade, tivemos o aumento na umidade ótima apresentada pelo material com o acréscimo de composto, o que pode vir a ser benéfico no sentido de manter a camada mais úmida, evitando ressecamentos e fissuras (comuns nas regiões mais secas do país quando da utilização de camadas de cobertura com material argiloso) que permitem escape do gás de aterro sem sua ideal oxidação, aumentando a carga poluidora do aterro, e a entrada de precipitações, podendo recair no aumento do volume de lixiviados do aterro a ser tratados.

Quanto à análise da compressibilidade dos materiais, é possível notar grandes similaridades nos coeficientes obtidos, evidenciando que o acréscimo de composto não trouxe grande perda nas capacidades geotécnicas de carga do material, apenas com maior índice de vazios inicial e comportamento mais compressível observado na proporção com maior adição de composto, o que era esperado considerando sua menor densidade e maior presença de vazios, mas que não caracteriza grandes problemas, considerando que as camadas de coberturas são consideradas após o fechamento da célula do aterro, não recebendo assim carregamentos excessivos (já que mesmo após o fechamento do aterro, recomenda-se o uso da área apenas para propósitos menos nobres, como parques, já que os resíduos depositados não possuem, em geral, capacidade de carga elevada e/ou homogênea, além da possibilidade de retenção e vazamentos de gases tóxicos ou potencialmente inflamáveis por longos períodos após fechamento).

Dessa forma, o material estudado se mostra potencialmente adequado ao uso em camadas de cobertura oxidativas para aterros sanitários, mostrando-se uma alternativa viável para implantação

destes por municípios de menor porte e capacidade aquisitiva, reduzindo eficazmente a necessidade do uso de materiais argilosos (nem sempre adequados ao clima, apresentando fissuras, e de possível difícil aquisição), sem detrimento da segurança de operação e uso posterior da localidade do aterro, impulsionando assim estudos futuros da ordem de permeabilidade e aplicabilidade prática em células experimentais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1984) **NBR 6.459/84 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro, RJ.

_____ (1984) **NBR 6.508/84 – Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8mm – Determinação da Massa Específica dos grãos**. Rio de Janeiro, RJ.

_____ (1984) **NBR 7.180/84 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro, RJ.

_____ (1986a) **NBR 6.457/86 – Amostra de Solo - Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização**. Rio de Janeiro, RJ.

_____ (1986b) **NBR 7.182/86 – Ensaio de Compactação utilizando energia de compactação normal**. Rio de Janeiro, RJ.

_____ (1988) **NBR 7.181/88 – Análise granulométrica para solos, com determinação de diâmetro correspondente a cada fração de material**. Rio de Janeiro, RJ

BRASIL. **Lei 12.305 de 02 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. Publicada no D.O.U. em 03/08/2010. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Acesso em 23 de março de 2017.

COSTA, M. D. **Estudos de camadas de cobertura de aterros sanitários em colunas de solos**. Dissertação de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.