

Resistência triaxial e ao cisalhamento de misturas de compostos orgânicos e de solo para camadas de cobertura oxidativa de aterro sanitário

Triaxial and Shear Strength of Soil and Organic Compound Mixtures for Landfill Oxidative Cover Layers

Resistencia triaxial y al cizallamiento del suelo y mezclas de compuestos orgánicos para capas de cobertura oxidativa de rellenos sanitarios

Recebido: 17/11/2020 | Revisado: 19/11/2020 | Aceito: 02/12/2020 | Publicado: 05/12/2020

Bruna Silveira Lira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7690-3941>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: brunaslira@gmail.com

Alice Jadneiza Guilherme de Albuquerque Almeida

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9801-3974>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: aliceguilherme@hotmail.com

Guilherme José Correa Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3117-2588>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: guilhermejcgomes@hotmail.com

José Fernando Thomé Jucá

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8956-7905>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: jukah@ufpe.br

Maurício Alves da Motta Sobrinho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2638-9096>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: labmati@gmail.com

Maria Odete Holanda Mariano

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6027-0510>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: odete.mariano@gmail.com

Resumo

A busca por materiais adequados para camadas de cobertura funcional em aterros sanitários é um grande desafio, principalmente para cidades situadas em regiões áridas. O uso de camadas de cobertura convencionais em regiões áridas é quase impossível, devido ao ressecamento do solo e abertura de fissuras que permitem a infiltração de agentes externos nocivos ao aterro. Assim, o objetivo deste estudo é avaliar a resistência da mistura de um solo argiloso utilizado em aterros sanitários com composto orgânico para aplicação em camadas de cobertura. Os ensaios de resistência ao cisalhamento triaxial e direto foram realizados de acordo com as normas ASTM D4767 e D3080, respectivamente, para determinar a resistência mecânica das misturas. Os testes foram realizados em solo de argila pura e misturas com proporções de 2: 1 e 1: 1 (solo: composto) para comparação. Os resultados dos testes mostraram que a adição de composto orgânico não reduz expressivamente a resistência mecânica do solo, garantindo seu uso sem prejuízo da estabilidade e segurança geotécnica do local.

Palavras-chave: Camadas de coberturas oxidativas; Resistência ao cisalhamento; Aterros sanitários.

Abstract

The search for suitable materials for functional covering layers on landfills is a great challenge, especially for cities situated in arid regions. The use of conventional cover layers in arid regions is nearly impossible, due to drying of soil and opening of fissures which allow infiltration of external agents harmful to the landfill. Thus, the aim of this study is to evaluate the strength of the mixture of a clay soil used in sanitary landfills with organic compound for use in covering layers. Triaxial and direct shear strength tests were performed according to the ASTM standards D4767 and D3080, respectively, to determine the mechanical strength of the mixtures. The tests were performed on pure clay soil and mixtures with proportions of 2:1 and 1:1 (soil:compound) for comparison. Test results showed the addition of organic compound does not expressively reduce the mechanical strength of the soil, guaranteeing their use without loss to the stability and geotechnical safety of the location.

Keywords: Layers of oxidative coverings; Shear strength; Sanitary landfills.

Resumen

La búsqueda de materiales adecuados para capas de recubrimiento funcionales en vertederos es un gran desafío, especialmente para ciudades situadas en regiones áridas. El uso de capas de cobertura convencionales en regiones áridas es casi imposible, debido al secado del suelo y

apertura de fisuras que permiten la infiltración de agentes externos nocivos para el relleno sanitario. Así, el objetivo de este estudio es evaluar la resistencia de la mezcla de un suelo arcilloso utilizado en rellenos sanitarios con compuesto orgánico para su uso en capas de cobertura. Se realizaron ensayos de resistencia al cizallamiento triaxial y directo de acuerdo con las normas ASTM D4767 y D3080, respectivamente, para determinar la resistencia mecánica de las mezclas. Las pruebas se realizaron en suelo arcilloso puro y mezclas con proporciones de 2: 1 y 1: 1 (suelo: compuesto) para comparación. Los resultados de las pruebas mostraron que la adición de compuestos orgánicos no reduce expresivamente la resistencia mecánica del suelo, garantizando su uso sin pérdida de la estabilidad y seguridad geotécnica del lugar.

Palabras clave: Capas de revestimientos oxidantes; Resistencia a la cizalladura; Rellenos sanitarios.

1. Introdução

Em 2010, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que exigiu uma destinação adequada dos resíduos sólidos de todos os municípios do Brasil, de forma que parte dos municípios destinavam seus resíduos inadequadamente em lixões ao céu aberto ou aterros controlados, acarretando problemas de ordem social, sanitário e ambiental. A fim de minimizar tais impactos, torna-se necessário a instalação de aterros sanitários que disponham de uma camada de cobertura eficiente.

De acordo com Boscov (2012) a cobertura de aterros, de resíduos, executado sobre a última camada de resíduos disposta, tem como funções principais: isolar os resíduos do meio ambiente ao redor, controlar a entrada ou saída de gases, como a saída de gases gerados pela decomposição de resíduos sólidos urbanos (RSU) ou entrada de oxigênio em resíduos sulfetados de mineração; e limitar a infiltração de água na massa de resíduos para diminuir a quantidade de percolado gerada.

Normalmente, as camadas de cobertura final de aterros de RSU são construídas com solos argilosos de baixa condutividade hidráulica saturada (normalmente 10^{-9} m/s ou menos). Embora o desempenho destas camadas em climas úmidos possa ser satisfatório, em regiões áridas, ou em climas subtropicais, o sistema pode não funcionar adequadamente, principalmente devido à formação das macro e micro fissuras na camada argilosa, prejudicando seu desempenho (United States Environmental Protection Agency, 2003).

Os problemas geotécnicos de aterros sanitários envolvem questões como a estabilidade de taludes, que se devem a baixa resistência dos materiais utilizados, causando deslizamentos. Nolan (2009) cita como problemas típicos de cobertura de aterro sanitário:

- Cobertura inadequada
- Profundidade inadequada
- Materiais inadequados para controle de odores
- Pobre cobertura de áreas flanqueadas
- Má caracterização e consistência dos materiais de cobertura
- Cobertura inadequada usada por períodos prolongados
- Danos causados pelos movimentos de veículos
- Erosão

Assim, torna-se importante investigar se as camadas de cobertura cumprem sua função de isolar os resíduos aterrados, como também avaliar seu desempenho ao longo dos anos. Desta forma, propõe-se neste estudo avaliar a resistência da mistura de solo argiloso usado em aterros sanitários com composto orgânico para uso em camadas de cobertura.

2. Metodologia

Os solos utilizados na pesquisa foram recolhidos da jazida existente na área do aterro da Muribeca (Jaboatão do Guararapes – PE), enquanto o composto orgânico foi obtido da Composteira do Jardim Botânico do Recife - PE. O solo extraído da Muribeca foi classificado como silte de baixa compressibilidade, enquanto o composto orgânico possui de características de solos orgânicos. A escolha desses materiais foi baseada nos estudos de Khoshand & Fall (2014) e Bajwa & Fall (2011), que realizaram ensaios de resistência ao cisalhamento em amostras de solo de jazida de aterro sanitário e composto orgânico derivado de resíduos alimentares e podas de árvores e vegetações.

Os ensaios de resistência foram feitos com os materiais de forma separada e com as misturas dos mesmos nas proporções de 1:1 e 2:1 (solo:composto), em volume. Os ensaios foram executados sempre focando em possíveis fatores que possam vir a afetar o desempenho e funcionalidade da camada de cobertura. Foram realizados ensaios de resistência ao cisalhamento (ASTM D3080) e Triaxial consolidado e não drenado (ASTM D4767), além de serem adaptadas as metodologias de Khoshand & Fall (2016), Khoshand &

Fall (2014) e Bajwa & Fall (2011), que realizaram ensaios de cisalhamento direto em amostras de coberturas de solo e composto orgânico com tensões normais variando de 20 kPa a 80 kPa, sendo as amostras previamente compactadas em esforços de compactação equivalentes a tensões de 600 kPa.

O ensaio de resistência ao cisalhamento foi realizado na forma saturada e não saturada. Na forma não saturada o método consiste em colocar a amostra de teste no dispositivo de cisalhamento direto, aplicando uma tensão normal predeterminada de 50, 100 e 200 kPa; consolidando a amostra sob a tensão normal. Posteriormente são destravados os quadros que mantêm a amostra de teste, deslocando uma moldura horizontalmente em relação à outra a uma taxa constante de deformação de cisalhamento e medindo a força de cisalhamento e os deslocamentos horizontais à medida que a amostra é cortada. Na forma saturada o método é semelhante ao não saturado, porém ao colocar a amostra de teste no dispositivo de cisalhamento direto e aplicar a tensão normal predeterminada, é feita molhamento da amostra de teste, de forma que a mesma fique saturada.

No ensaio triaxial consolidado e não drenado são determinadas as relações de força e tensão-deformação de uma amostra cilíndrica de um solo coesivo saturado não perturbado ou remodelado. As amostras são isotropicamente consolidadas e cortadas em compressão sem drenagem a uma taxa constante de deformação axial (controle de deformação).

O presente estudo faz uso da metodologia quantitativa com a análise dos dados feita através das técnicas clássicas da engenharia e da matemática citadas nas normas utilizadas para a realização dos ensaios. De acordo com Pereira, Shitsuka, Parreira & Shitsuka (2018) o enfoque matemático muitas vezes torna-se importante por possibilitar a previsão dos acontecimentos.

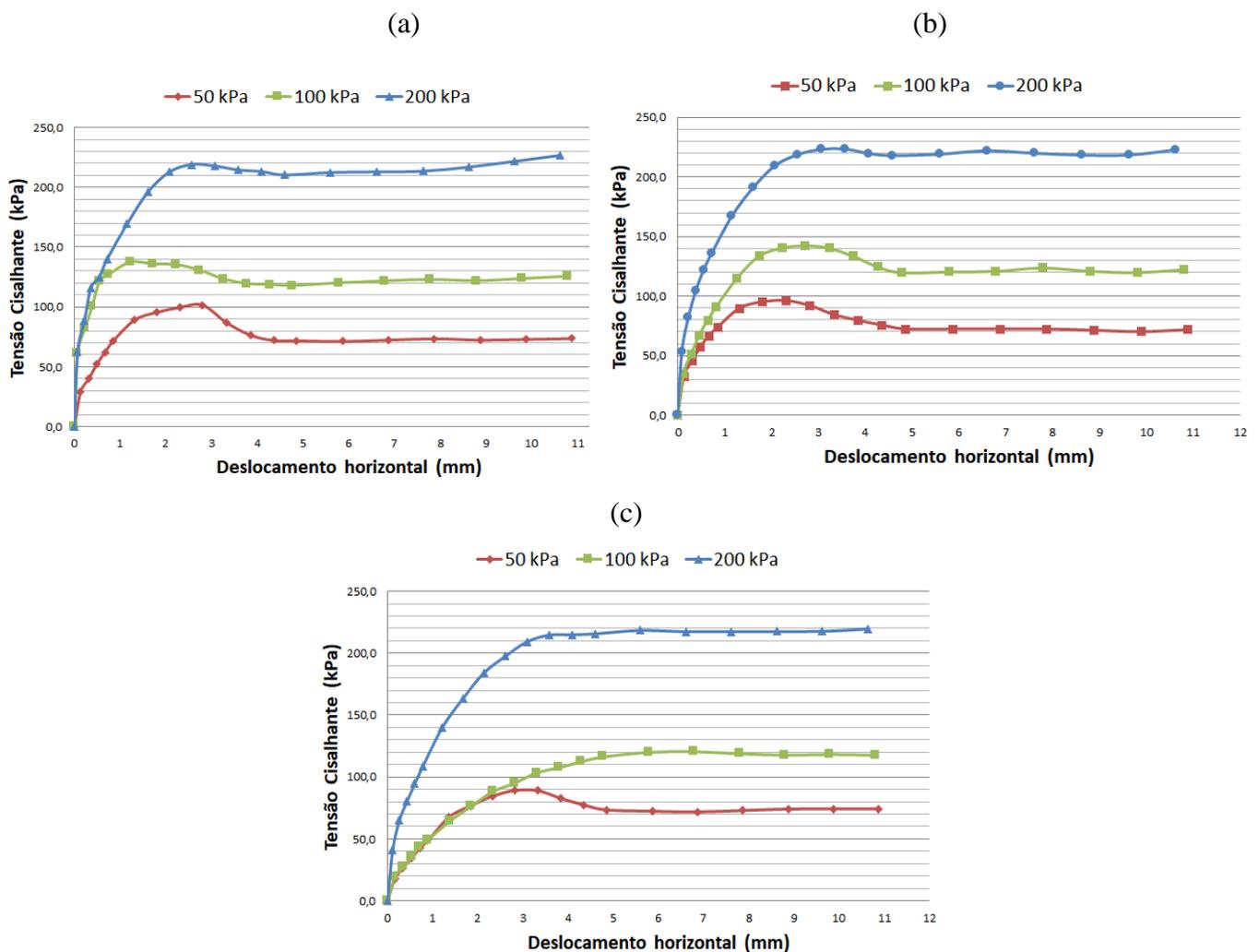
3. Resultados e Discussão

3.1 Resistência ao cisalhamento

A Figura 1 apresenta os gráficos de tensão cisalhante versus o deslocamento horizontal do solo puro e das misturas feitas com solo proveniente da Muribeca na umidade ótima. De acordo com os gráficos, verifica-se que o aumento do deslocamento horizontal provoca um aumento gradativo das tensões de cisalhamento de tal forma que os valores máximos de tensões de cisalhamento encontram-se abaixo de 10% de deslocamento horizontal relativo. Após os valores de pico, nota-se que as tensões de cisalhamento permanecem constante ou

diminuem em razão da dilatação das amostras compactadas, sendo esse efeito mais pronunciado em amostras com menores tensões normais em decorrência de menor mobilização da resistência ao atrito.

Figura 1. Gráficos de tensão cisalhante versus deslocamento horizontal do solo puro (Muribeca) (a), da mistura 2:1 (solo Muribeca:composto) (b), mistura 1:1 (solo Muribeca:composto) (c) em suas umidades ótimas.



Fonte: Autores, (2020).

Para o solo puro Muribeca, Figura 1 (a), observa-se nas curvas tensão cisalhante versus deslocamento que as amostras apresentaram comportamento de pico para tensões normais de 50, 100 e 200 kPa, indicando que o material se comporta como frível.

Com relação a mistura 2:1 (solo Muribeca:composto), Figura 1 (b), esta apresentou picos de cisalhamento para as tensões de 50, 100 e 200 kPa, indicando que o mesmo se caracteriza como material friável. Para a mistura 1:1 (solo Muribeca:composto), Figura 1 (c), observa-se nas curvas tensão cisalhante versus deslocamento que as amostras apresentaram comportamento de pico para tensão normal de 50 kPa, indicando que o material se comporta como friável. Porém, o mesmo não se verifica para as tensões de 100 e 200 kPa onde o material se comporta como plástico. O Quadro 1 apresenta os resultados das tensões cisalhantes de acordo com as tensões normais dos solos puros provenientes da Muribeca e Caruaru e suas respectivas misturas na umidade ótima.

Quadro 1. Tensões cisalhantes das amostras na umidade ótima.

Tensão Normal (kPa)	Tensão cisalhante (kPa)					
	Muribeca			Caruaru		
	Solo puro	Mistura 2:1	Mistura 1:1	Solo puro	Mistura 2:1	Mistura 1:1
50	101,65	96,12	89,03	100,73	72,00	74,83
100	147,27	142,64	120,51	147,53	113,15	109,34
200	226,76	223,29	214,68	246,43	153,47	153,47

Fonte: Autores, (2020).

Comparando com os resultados obtidos no Quadro 1 para os solos puros com os resultados obtidos para as misturas 2:1 (solo:composto) e 1:1 (solo:composto), observa-se que houve redução na tensão de cisalhamento com a adição do composto orgânico, porém não de forma significativa. Esse resultado é compatível com o estudo feito por Ohu, Raghavan, McKyes & Mehuys (1986) e Ekwue (1990), que mostraram casos em que maiores teores de matéria orgânica resultaram na diminuição da resistência do solo.

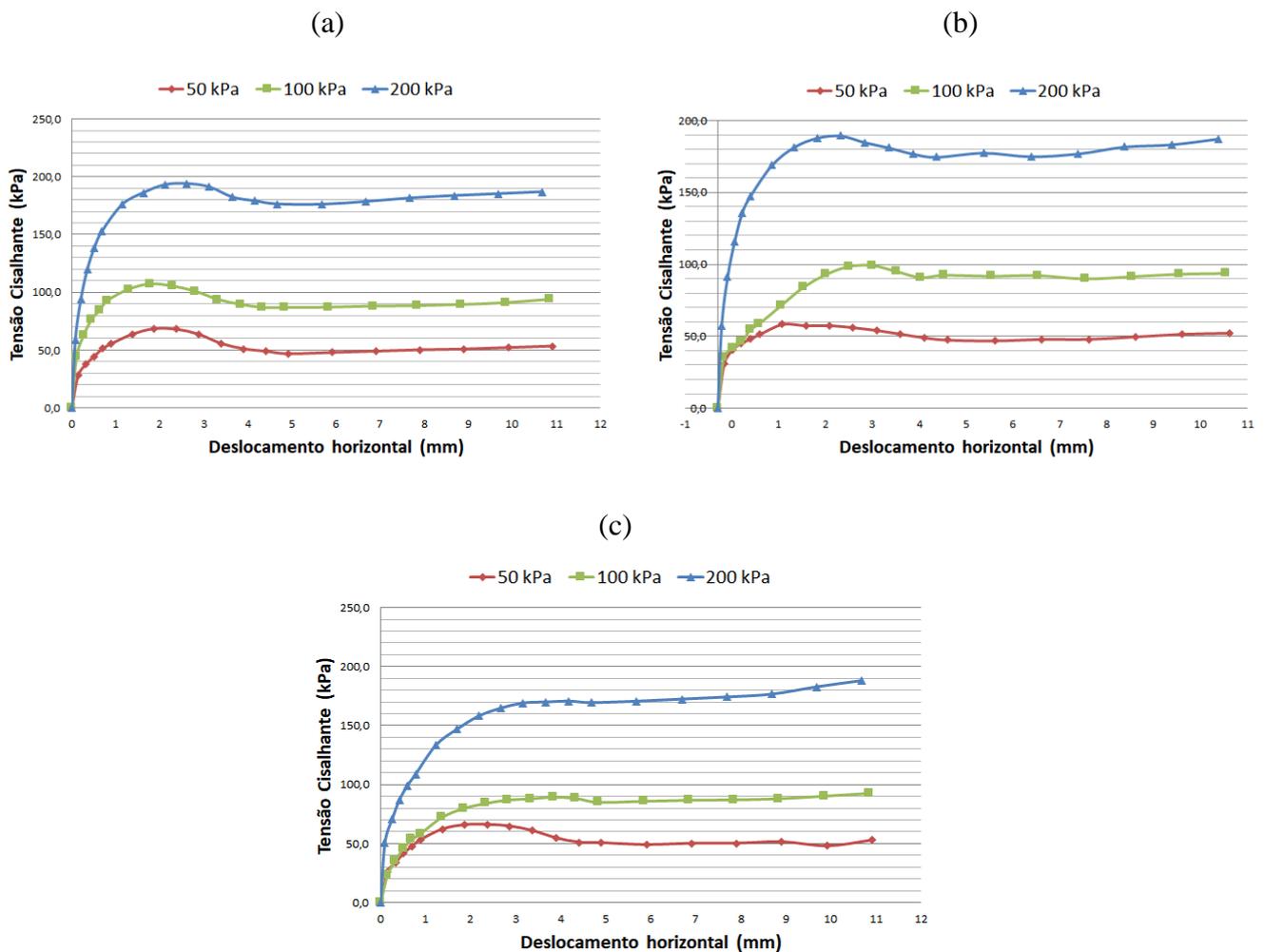
De acordo com Braida (2004) a matéria orgânica tem efeito determinante na formação e estabilização de agregados do solo. Segundo Baumgartl & Horn (1991) e Horn, Schaaf, Holbach, Hölzl & Eschnauer (1993), a resistência do solo tende a aumentar com o desenvolvimento de estrutura, uma vez que os parâmetros da resistência ao cisalhamento (coesão – c ; ângulo de atrito interno - f) de agregados individuais são sempre maiores que os

da massa do solo e, quanto mais agregado é o solo, mais negativa é a tensão capilar em um mesmo teor de água, e, portanto, menor é a atenuação da carga aplicada sobre ele.

Ekweue & Stone (1995) verificaram que a adição de material orgânico reduziu a resistência do solo em baixa umidade e aumentou-a em alta umidade.

A Figura 2 apresenta os gráficos de tensão cisalhante *versus* o deslocamento horizontal de forma saturada do solo puro e suas respectivas misturas.

Figura 2. Gráficos de tensão cisalhante versus deslocamento horizontal do solo puro (Muribeca) (a), da mistura 2:1 (solo Muribeca:composto) (b), mistura 1:1 (solo Muribeca:composto) (c) de forma saturada.



Fonte: Autores, (2020).

Com relação ao solo puro Muribeca, Figura 2 (a), observa-se nas curvas tensão cisalhante versus deslocamento que as amostras apresentaram comportamento de pico para tensões normais de 50, 100 e 200 kPa, indicando que o material se comporta como friável.

A mistura 2:1 (solo Muribeca:composto), Figura 2 (b) apresentou picos de cisalhamento para as tensões de 50, 100 e 200 kPa, indicando que o mesmo se caracteriza como material friável. Para a mistura 1:1 (solo Muribeca:composto), Figura 2 (c), observa-se que nas curvas tensão cisalhante versus deslocamento as amostras apresentaram comportamento de pico para tensão normal de 50 kPa, indicando que o material se comporta como friável. Porém, o mesmo não se verifica para as tensões de 100 e 200 kPa onde o material se comporta como plástico.

O Quadro 2 apresenta os resultados das tensões cisalhantes de acordo com as tensões normais dos solos puros provenientes da Muribeca e Caruaru e suas respectivas misturas na forma saturada.

Quadro 2. Tensões cisalhantes das amostras saturadas.

Tensão Normal (kPa)	Tensão cisalhante (kPa)					
	Muribeca			Caruaru		
	Solo puro	Mistura 2:1	Mistura 1:1	Solo puro	Mistura 2:1	Mistura 1:1
50	68,30	58,25	66,00	72,87	54,37	46,70
100	107,02	99,20	92,56	125,48	106,06	94,68
200	193,99	187,47	188,05	193,99	187,61	178,42

Fonte: Autores, (2020).

As saturações dos corpos de prova durante os ensaios mostram a diminuição da resistência do solo quando comparados aos resultados obtidos pelos corpos de prova não saturados, mesmo com a adição da matéria orgânica. Os resultados não condizem com os resultados obtidos por Ekwue & Stone (1995) que verificaram que a adição de material orgânico reduziu a resistência do solo em baixa umidade e aumentou-a em alta umidade. Este fato indica que o aumento ou redução da resistência do solo irá depender não somente da quantidade de matéria orgânica presente no solo, mas dos seus efeitos sobre a densidade, coesão, ângulo de atrito e grau de saturação de água no solo (Zhang, Hartge, & Ringe, 1997).

Quadro 3. Coesão e ângulo de atrito dos solos referentes a Muribeca e suas respectivas misturas nas proporções de 1:1 (solo:composto) e 2:1 (solo:composto).

		Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)
Muribeca	Solo Puro – ótima	60,8	38,2
	Solo Puro – Saturado	24,8	40,1
	Mistura 1:1 – Ótima	42	40,5
	Mistura 1:1 – Saturado	16,7	40
	Mistura 2:1 - ótima	55,8	40,1
	Mistura 2:1 – Saturado	13,1	41,3

Fonte: Autores, (2020).

Analisando o Quadro 3, comparando com os resultados obtidos para o solo puro com as suas respectivas misturas, observa-se que houve uma diminuição significativa da coesão enquanto o ângulo de atrito teve um pequeno aumento com a adição do composto orgânico. A adição do composto orgânico pode aumentar o atrito do solo, visto que as partículas orgânicas poderiam reter a água existente no solo dificultando a formação de películas de água sobre as partículas minerais do solo. Isto indica que a adição do composto orgânico pode aumentar o ângulo de atrito interno, por aumentar o número de pontos de contato entre as partículas, tornando o material menos flexível. (Vendruscolo, et al., 2009)

De acordo com Braida (2004) a matéria orgânica pode influenciar na resistência do solo de duas maneiras contraditórias: a) aumento da força de ligação entre as partículas minerais e b) mudança no arranjo das partículas (diminuição da densidade). O aumento ou redução da resistência do solo irá depender dos efeitos conjuntos que a matéria orgânica terá sobre a densidade, parâmetros de cisalhamento (coesão e ângulo de atrito), tensão capilar e grau de saturação (Zhang, et al., 1997).

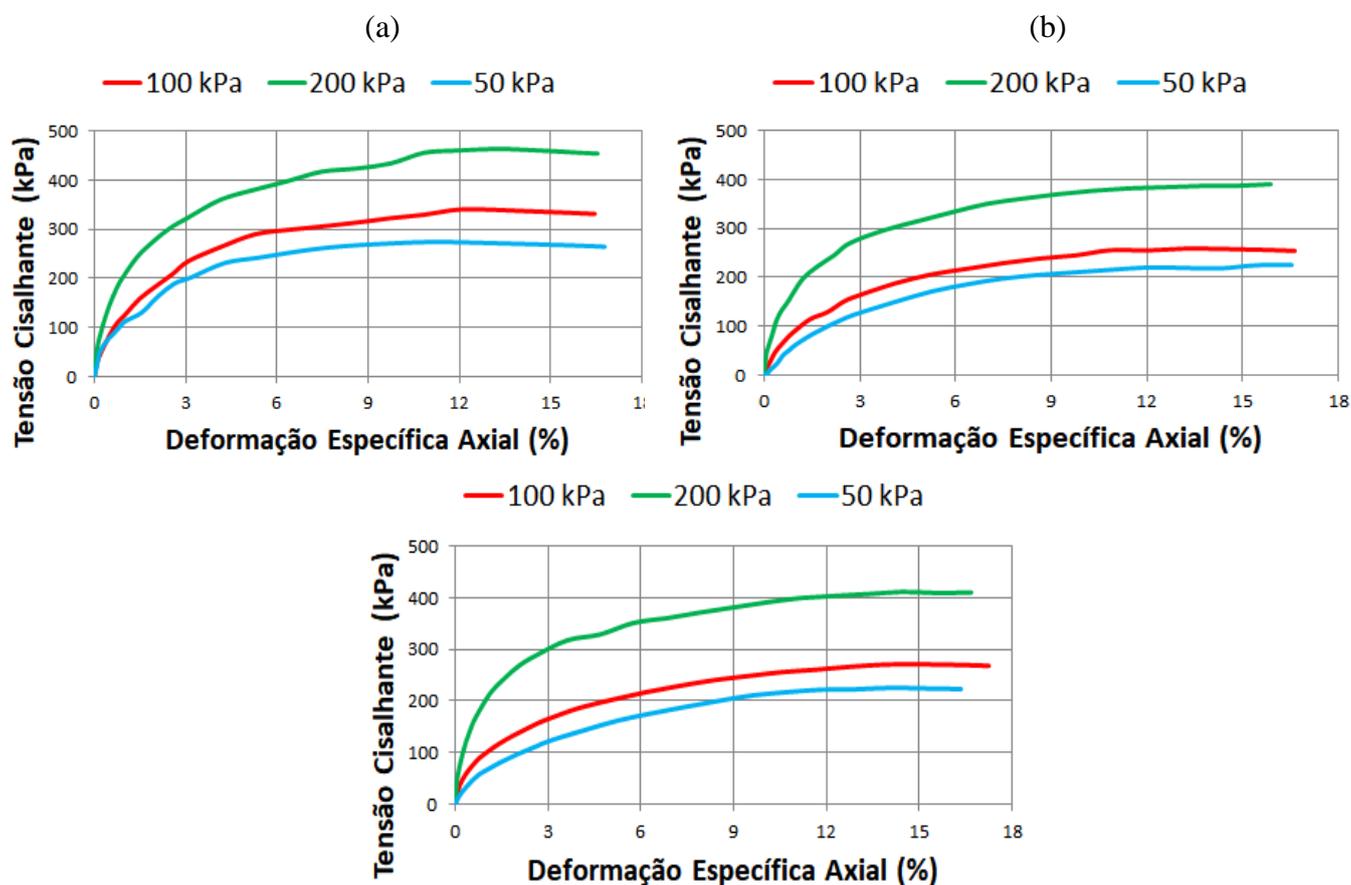
Na literatura apresentam-se resultados divergentes, com situações em que maiores teores de matéria orgânica resultam na diminuição da resistência ao cisalhamento do solo (Ohu, et al., 1985, Ohu, et al., 1986, Ekwue, 1990) enquanto que em outros, aumenta (Davies, 1985, Ekwue, 1990). Braida (2004) afirma que o comportamento mecânico do solo depende do comportamento mecânico de seus agregados. Dessa forma, é possível que os resultados divergentes na literatura sejam fruto de diferenças estruturais nas amostras avaliadas.

Do mesmo modo, a coesão e o ângulo de atrito são parâmetros que resultam das características intrínsecas do solo, pois são dependentes de outras propriedades e atributos seus, como estrutura, teor de matéria orgânica, densidade, mineralogia e teor de água (Lebert & Horn, 1991, Schjonning, 1991, Zhang, 1994, Rocha, et al., 2002), podendo ter diferentes resultados para diferentes tipos de solo.

3.2 Triaxial consolidado e não drenado

A Figura 3 apresenta os gráficos referentes a tensão cisalhante versus a deformação específica axial obtidos no ensaio triaxial CIU dos solos em estudo. Pode ser observado na Figura 3 que as amostras para ambos os solos e suas respectivas misturas, no teste consolidado e não drenado, apresentaram comportamento de endurecimento; ou seja, não havia quedas claras, portanto, sem picos pronunciados (pontos de falha) nas encostas das curvas.

Figura 3. Gráficos da tensão cisalhante versus deformação específica Axial do solo puro (Muribeca) (a), da mistura 2:1 (solo Muribeca:composto) (b), mistura 1:1 (solo Muribeca:composto) (c).



Fonte: Autores, (2020).

O Quadro 4 apresenta os resultados das tensões cisalhantes de acordo com as tensões normais dos solos puros provenientes da Muribeca e Caruaru e suas respectivas misturas.

Quadro 4. Tensões cisalhantes dos solos e suas respectivas misturas.

Tensão Normal (kPa)	Tensão cisalhante (kPa)					
	Muribeca			Caruaru		
	Solo puro	Mistura 2:1	Mistura 1:1	Solo puro	Mistura 2:1	Mistura 1:1
50	275,81	225,85	226,94	270,18	204,21	213,15
100	340,33	258,10	270,09	467,92	305,14	306,52
200	462,64	390,97	412,70	648,64	474,26	426,18

Fonte: Autores, (2020).

Os resultados obtidos pelo ensaio triaxial mostram que a adição do composto orgânico resulta na redução na tensão de cisalhamento dos solos, porém não de forma significativa. Esse resultado é compatível com os resultados obtidos pelo ensaio de cisalhamento direto, onde a adição do composto também resultou na diminuição da tensão de cisalhamento dos solos.

Quadro 5. Coesão e ângulo de atrito dos solos referentes a Muribeca e suas respectivas misturas nas proporções de 1:1 (solo:composto) e 2:1 (solo:composto).

		Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)
Muribeca	Solo puro	72,73	23,00
	Mistura 2:1 (solo:composto)	59,5	21,54
	Mistura 1:1 (solo:composto)	60,0	21,80

Fonte: Autores, (2020).

Observando os resultados do Quadro 5, conclui-se que a adição do composto orgânico resultou na diminuição significativa da coesão enquanto o ângulo de atrito obteve um pequeno aumento. Essa mesma tendência foi observada no ensaio de resistência ao cisalhamento direto.

Comparando os resultados obtidos no teste triaxial com os resultados obtidos teste de cisalhamento direto saturado observa-se que os parâmetros de resistência ao cisalhamento obtidos a partir dos resultados dos testes de cisalhamento direto e triaxial são diferentes. O ângulo de atrito do teste triaxial é em torno de 17° inferior ao obtido pelo teste de cisalhamento direto. Enquanto a coesão obteve uma diferença média de 45 kPa.

As diferenças dos valores dos parâmetros de resistência são causadas devido a diferentes estados de tensão-deformação, que é formado nas amostras durante o teste. Tensões no plano de cisalhamento, tanto para tensão normal quanto para a tensão de cisalhamento é alocado de forma desigual. As tensões verticais no plano de cisalhamento variam em mais de três vezes, enquanto o esforço de cisalhamento varia mais de duas vezes. Na amostra a tensão é distribuída uniformemente durante o teste de compressão triaxial. Na parte superior e inferior da amostra são afetados não apenas a tensão normal principal, mas também o esforço de cisalhamento. No entanto, ao calcular os parâmetros de resistência ao cisalhamento, as

tensões de cisalhamento horizontais não são consideradas. (Medzvieckas, Dirgėlienė & Skuodis, 2017)

4. Considerações Finais

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, tanto para a resistência ao cisalhamento direto quanto para o triaxial consolidado e não drenado a adição do composto orgânico resulta na redução na tensão de cisalhamento dos solos, porém não de forma significativa.

Além da diminuição da tensão de cisalhamento, a adição do composto resultou na diminuição significativa da coesão, porém o ângulo de atrito obteve aumento com a adição do composto orgânico.

Mesmo com a diminuição das tensões de cisalhamento e alteração nos valores de coesão e ângulo de atrito com a adição do composto orgânico, 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.

Desta forma, há a necessidade de intensificar estudos que analisem a aplicação destas camadas de cobertura em células experimentais para assim avaliar a sua permeabilidade em relação a líquidos e gases, de modo que seja analisado o seu potencial de redução de emissões fugitivas de gases de efeito estufa e de produção de lixiviados. Ainda como propostas futuras seria interessante viabilizar o uso de diferentes materiais nestas camadas e avaliar o seu comportamento e eficiência biológica e geotécnica.

Referências

ASTM D3080 / D3080M-11. (2011). *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions (Withdrawn 2020)*. Conshohocken: ASTM International. doi: 10.1520/D3080_D3080M-11

ASTM D4767-11. (2020). *Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils*. Conshohocken: ASTM International. doi: 10.1520/D4767-11R20.

Bajwa, T. M., & Fall, M. (2011). Mechanical characteristics and behavior of compost-based landfill cover. In *Proceedings of the 14th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*.

Baumgartl, T., & Horn, R. (1991). Effect of aggregate stability on soil compaction. *Soil and Tillage Research*, 19 (2), 203-213. doi:10.1016/0167-1987(91)90088-F

Boscov, M. E. G. (2012). *Geotecnia ambiental* (1st ed.). São Paulo: Oficina de textos.

Braida, J. A. (2004). *Matéria orgânica e resíduos vegetais na superfície do solo e suas relações com o comportamento mecânico do solo sob plantio direto* [Doctorate thesis, Federal University of Santa Maria]. http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.queos.com.br/downloads/Joao_Braida_Tese.pdf.

Davies, P. (1985). Influence of organic matter content, moisture status and time after reworking on soil shear strength. *European Journal of Soil Science*, 36 (2), 299-306. doi:10.1111/j.1365-2389.1985.tb00334.x

Ekwe, E. I., & Stone, R. J. (1995) Organic matter effects on the strength properties of compacted agricultural soils. *Transactions of the ASAE*. 38 (2), 357-365. doi: 10.13031/2013.27804

Ekwe, E. I. (1990) Organic matter effects on soil strength properties. *Soil and Tillage Research*, 16 (3), 289-297. doi:10.1016/0167-1987(90)90102-J

Horn, P., Schaaf, P., Holbach, B., Hölzl, S., & Eschnauer, H. (1993). ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr from rock and soil into vine and wine. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung* 196 (1), 407-409. doi: 10.1007/bf01190802

Khoshand, A., & Fall, M. (2014). Geotechnical characterization of compost based biocover materials. *Geotechnical and Geological Engineering*, 32 (2), 489-503.

Khoshand, A., & Fall, M. (2016). Geotechnical characterization of peat-based landfill cover materials. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8 (5), 596-604.

Lebert, M., & Horn, R. (1991) A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. *Soil and Tillage Research*, 19 (2), 275-286. doi:10.1016/0167-1987(91)90095-F

Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2010/lei/112305.htm

Medzvieckas, J., Dirgėlienė, N., & Skuodis, Š. (2017) Stress-Strain States Differences in Specimens during Triaxial Compression and Direct Shear Tests. *Procedia Engineering*, 172 (1), 739-745. doi:10.1016/j.proeng.2017.02.094

Nolan, C. (2009) Cover at Landfills, *In Proceedings of the EPA Waste Workshop 2009*.

Ohu, O. J., Raghavan, G. S. V., McKyes, E., & Mehuys, G. (1986) Shear strength prediction of soils with varying added organic matter contents. *Transactions of the ASAE*, 29 (1), 351-355. doi:10.13031/2013.30151

Ohu, O. J., Raghavan, G. S. V., & McKyes, E. (1985) Peat moss effect on the physical and hydraulic characteristics of compacted soils. *Transactions of the ASAE*, 28 (1), 420-424. doi:10.13031/2013.32271

Ohu, O. J. Raghavan, G. S. V., McKyes, E., & Mehuys, G. (1986) Shear strength prediction of soils with varying added organic matter contents. *Transactions of the ASAE*, 29 (1), 351-355. doi:10.13031/2013.30151

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da Pesquisa Científica*. Universidade Federal de Santa Maria. https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1

Rocha, W. W., Dias Junior, M. S., Lima, J. M., Miranda, E. E. V., & Silva, A. R. (2002). Resistência ao cisalhamento e grau de intemperismo de cinco solos na região de Lavras (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26 (1), 297-303. doi:10.1590/S0100-06832002000200002

Schjonning, P. (1991). Soil strength as influenced by texture, water content and soil management. *Soil and Tillage Research*, 12 (1), 277-283.

United States Environmental Protection Agency. (2003). Evapotranspiration Landfill Cover Systems Fact Sheet. Retrieved from https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-04/documents/fs_evap_covers_epa542f11001.pdf

Vendruscolo, R., Silva, R. V., Salamoni, A. T., & Andrade, A. M. H. (2009). Análise da composição inorgânica de solos utilizando as técnicas de espectrometria de difração de raios – x e espectrometria de fluorescência de raios-x por energia dispersiva. *61ª Reunião Anual da SBPC*.

Zhang, H., Hartge, K. H., & Ringe, H. (1997). Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactability. *Soil Science Society of America Journal*, 61 (1), 239- 245.

Zhang, H. (1994). Organic matter incorporation affects mechanical properties of soil aggregates. *Soil and Tillage Research*, 31 (2), 263-275.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Bruna Silveira Lira – 16,66%

Alice Jadneiza Guilherme de Albuquerque Almeida – 16,66%

Guilherme José Correa Gomes – 16,66%

José Fernando Thomé Jucá – 16,66%

Maurício Alves da Motta Sobrinho – 16,66%

Maria Odete Holanda Mariano – 16,66%