

Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento de RSU com Diferentes Idades de Aterramento

Abreu, Ana Elisa Silva de

Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC-USP), São Carlos, Brasil, a_e_abreu@yahoo.com.br

Vilar, Orencio Monje

Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC-USP), São Carlos, Brasil, orencio@sc.usp.br

RESUMO: A pesquisa realizada com resíduos sólidos urbanos (RSU) da cidade de São Carlos teve como finalidade ampliar os conhecimentos sobre as características geotécnicas dos RSU no estado de São Paulo. Buscou-se verificar a influência da degradação sobre os parâmetros de resistência dos mesmos. Foram realizados ensaios de cisalhamento direto em equipamento de grandes dimensões (500x500mm) com RSU com idades de aterramento variando entre 1 e 25 anos. Os materiais ensaiados foram coletados em aterros sanitários e em lixão desativados, por meio de trincheiras e de sondagens a trado. Também foram executados ensaios de caracterização, compreendendo a determinação de sua composição gravimétrica, umidade, granulometria e conteúdo de sólidos totais voláteis. Os resultados permitiram a proposição de envoltórias de resistência para os RSU de diferentes idades, considerando tensões confinantes de até 250 kPa. As variações nos parâmetros coesão e ângulo de atrito puderam ser correlacionadas à composição dos materiais ensaiados, que se altera ao longo do tempo devido aos processos de biodegradação e progressivo confinamento, mas que também é influenciada pelos procedimentos adotados para coleta das amostras e preparação dos corpos de prova.

PALAVRAS CHAVE: cisalhamento direto de grandes dimensões, estabilidade de taludes, aterro sanitário.

1. INTRODUÇÃO

A tendência atual, tanto para novos empreendimentos, quanto para a ampliação de aterros sanitários existentes, é ocupar a mesma área em planta com um volume maior de resíduos, o que implica construir maciços mais altos e com taludes mais íngremes. Isto envolve o conhecimento dos parâmetros de resistência ao cisalhamento destes materiais.

Apesar do grande número de investigações já realizadas sobre o assunto, ainda não há consenso sobre os valores a serem adotados na prática de engenharia. Isto se deve a diversos fatores, dentre os quais podem ser citados o fato de que os resíduos sólidos urbanos (RSU) são materiais heterogêneos, formados por partículas de dimensões e formatos

diversos. Sua composição varia de região para região e ao longo do tempo, dependendo dos níveis de desenvolvimento econômico, tecnológico, sanitário e cultural da população e também das práticas de reciclagem, reúso, incineração e pré-tratamento dos resíduos, instituídas ou fomentadas por políticas públicas. Some-se a isso a dificuldade de se obterem e de se ensaiarem amostras representativas e o fato de que ainda não existem procedimentos de ensaio normatizados específicos para esses materiais.

Outrossim, as características geomecânicas dos RSU se alteram após o aterramento, pois os componentes orgânicos sofrem biodegradação, num processo que pode se prolongar por algumas dezenas de anos.

Esta pesquisa buscou ampliar o conhecimento acerca das propriedades geomecânicas dos maciços de RSU no estado de São Paulo e deu continuidade aos trabalhos já realizados na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP) sobre este tema. Ela envolveu a realização de investigações de campo em maciço sanitário, com a aplicação de métodos geofísicos sísmicos e a determinação do peso específico *in situ* dos resíduos, a coleta de amostras e a caracterização das mesmas em laboratório e a execução de ensaios de cisalhamento direto de grandes dimensões. Outros resultados foram apresentados nos trabalhos de Abreu e Vilar (2013, 2014 a,b). Neste artigo são apresentados os resultados dos ensaios de cisalhamento direto realizados com amostras de diferentes idades de aterramento e, supostamente, diferentes estágios de degradação, visando verificar a hipótese de que os parâmetros de resistência ao cisalhamento dos RSU poderiam ser relacionados ao seu estágio de degradação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Coleta de amostras

As amostras foram coletadas no Aterro Experimental (AE), construído em 1988, no Lixão Desativado de São Carlos (LDSC), que operou entre 1979 e 1996 e no aterro sanitário de São Carlos (ASSC), que operou entre 1994 e 2011.

No Aterro Experimental a amostra foi coletada em trincheira e no LDSC a amostra, correspondente a resíduos aterrados em 1995, foi coletada em poço escavado por Shinzato (2014). No ASSC foi realizada uma campanha mais ampla de investigação de campo, com a coleta de 31 amostras de grande volume por meio de sondagens realizadas com trado helicoidal de haste oca (*hollow steam auger*). Dentre estas, três foram selecionadas para os ensaios de cisalhamento direto, a saber: amostras de resíduos aterrados em 2001, 2004 e 2007. Finalmente, a amostra de

resíduos aterrados em 2011 foi coletada em uma trincheira no ASSC. A Tabela 1 resume as características das seis amostras ensaiadas.

Tabela 1 – Características das amostras ensaiadas

Amostra	Origem	Profund. (m)	Idade de aterramento
A1988	AE	1,0 a 1,5	25 anos
A1995	LDSC	0,7 a 1,5	16 anos
A2001	AASC	16,2 a 19,0	11 anos
A2004	AASC	11,0 a 14,0	8 anos
A2007	AASC	7,0 a 9,0	5 anos
A2011	AASC	1,0 e 1,3	2 anos

2.2 Ensaios de Caracterização

Para a determinação da composição gravimétrica uma fração da amostra foi separada por quarteamentos sucessivos e colocada sobre uma peneira de abertura 19mm. O material passante foi classificado como “menor que 19mm”. O material retido foi separado manualmente nas seguintes categorias: plásticos moles, plásticos duros, madeira, tecidos, metais, pedras, borracha, papel, vidro e outros (inclui principalmente isopor, espuma e materiais que não puderam ser identificados). Após a separação as frações foram secadas em estufa a 70°C e calcularam-se as porcentagens em peso seco de seus componentes.

As determinações de umidade, calculadas sobre base seca, foram realizadas por secagem a 70°C até constância de peso.

A preparação das amostras para os ensaios de granulometria foi realizada por via úmida, separando-se os componentes em dois grupos: menores e maiores que 19mm. Em seguida, cada grupo foi quarteado e frações representativas, determinadas de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 1984) foram secadas em estufa a 60°C. A determinação da granulometria foi realizada com peneiramento por via seca, utilizando-se as peneiras de abertura 0,075; 0,149; 0,297; 0,42; 0,59; 1,19; 2,00; 4,76; 9,52; 19,1; 25,4; 50 e 75 mm.

2.3 Preparação das Amostras para Ensaio

Como o corpo de prova do ensaio de cisalhamento direto tinha dimensões de 500 x 500 x 500 mm, apenas os componentes das amostras menores que 85mm foram utilizados para moldagem dos corpos de prova. Os materiais maiores foram excluídos da amostra manualmente (escalpelamento).

2.4 Ensaio de Cisalhamento Direto

Os ensaios foram realizados em equipamento de cisalhamento direto de grandes dimensões (500 x 500 x 500 mm) construído especificamente para ensaios em RSU. A metade inferior da caixa de ensaio se movimentava, empurrada por um fuso, conectado a um motor elétrico e a um redutor. A velocidade de ensaio foi de 1 mm por minuto.

A aplicação das cargas verticais foi realizada com um cilindro hidráulico e transferida à amostra por uma tampa metálica.

As tensões aplicadas foram registradas por células de carga com capacidade para até 15 toneladas a cada 0,06 minuto. Os deslocamentos verticais foram registrados por um *encoder* com precisão de centésimo de milímetro, que estava solidarizado ao pistão de aplicação da carga vertical.

Foram considerados os resultados para deslocamentos horizontais de 125 mm, o que corresponde a um deslocamento relativo de 25%, compatível com aqueles utilizados em pesquisas com RSU.

Pretendia-se ensaiar as amostras A1988, A1995, A2007 e A2011 com as características detectadas no estrato superior do aterro sanitário durante as investigações de campo, caracterizando assim condições de aterramento mais rasas (peso específico de 9 kN/m³ e umidade de 43%). Os corpos de prova das amostras A2001 e A2004 seriam moldados com as características identificadas a profundidade maiores que 12 metros no ASSC (peso específico de 15 kN/m³ e umidade de 53%), caracterizando

as condições de aterramento mais profundas.

A Tabela 2 apresenta a relação de ensaios realizados e as características dos corpos de prova na moldagem. O grau de saturação foi calculado considerando-se o peso específico dos sólidos igual a 2,4 g/cm³ para as amostras A1988, A1995, A2001, A2004 e A2007 e 1,6 g/cm³ para a amostra A2011. A moldagem dos corpos de prova envolveu reúso de material.

Tabela 2 – Características dos corpos de prova na moldagem.

Corpo de Prova	Tensão normal (kPa)	w (%)	Peso específico (kN/m ³)	Sr
Amostras rasas				
A1988 CP3	50	44,5	9,1	39%
A1988 CP1	150	43,0	9,1	38%
A1988 CP4	250	45,5	9,1	40%
A1995 CP2	25	45,0	9,2	40%
A1995 CP1	50	43,3	9,6	41%
A1995 CP3	150	42,6	9,1	38%
A1995 CP6	250	41,6	9,3	39%
A2011 CP1	50	45,0	8,1	40%
A2011 CP5	150	39,0	9,0	44%
A2011 CP6	250	42,5	9,0	46%
A2007 CP1	50	43,0	9,7	42%
A2007 CP2	150	45,0	10,3	47%
A2007 CP3	250	43,0	11,0	50%
Amostras profundas				
A2004 CP1	50	52,0	13,8	78%
A2004 CP3	150	53,0	14,1	82%
A2004 CP5	150	49,0	14,5	83%
A2004 CP4	250	49,0	14,8	86%
A2001 CP2	50	49,0	15,1	89%
A2001 CP1	150	52,0	15,2	92%
A2001 CP3	250	52,3	14,9	89%

Como se depreende desta tabela, atingir e manter as umidades pretendidas para moldagem dos corpos de prova era difícil, tanto devido ao fato de as amostras serem grandes, como pelo fato de elas exudarem água, inclusive durante a moldagem dos corpos de prova.

Quanto aos pesos específicos, nas amostras A1988 e A1995 não foi necessária compactação para se atingir o peso específico de 9kN/m^3 . A amostra A2007 ficou com peso específico entre 9,7 e $11,0\text{kN/m}^3$ ao ser colocada na caixa de ensaio, também sem compactação. As amostras A2004 e A2011 apresentaram comportamento resiliente, ou seja, restituíam parte do deslocamento vertical obtido com a aplicação da carga estática assim que esta era removida. Isto explica porque os corpos de prova da amostra A2004 foram moldados com pesos específicos entre 13,8 e $14,5\text{kN/m}^3$, ao invés de 15kN/m^3 .

A fase de adensamento do corpo de prova foi mantida por período de no mínimo 4 e no máximo 9 horas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ensaio físico, químicos e biológicos realizados sobre as seis amostras, cujos métodos e resultados foram apresentados em Abreu e Vilar (2014b), indicaram que as amostras A1988, A1995, A2001, A2004 e A2007 deveriam ser tratadas como um conjunto para a interpretação dos resultados dos ensaios de cisalhamento, considerando-se o estado de degradação das mesmas. Elas representam resíduos bastante degradados, submetidos à metanogênese. A amostra A2011 representa resíduos menos degradados, em estágio inicial de metanogênese. A título de exemplo, citam-se os conteúdos de STV das amostras, que variaram entre 11 e 29% para as amostras com 5 a 25 anos de aterramento e era de 80% na amostra com 2 anos de aterramento.

Devido à remoção dos componentes maiores que 85 mm, o material efetivamente ensaiado corresponde a uma fração da amostra toda. Assim, as porcentagens de material utilizadas nos ensaios, em relação ao peso úmido total da amostra, correspondem a 72-74% nas amostras coletadas por sondagem, enquanto que nas amostras coletadas em trincheiras essa porcentagem cai para 47-57%.

Esses dados sugerem que os ensaios realizados com as amostras coletadas em sondagens sejam mais representativos, porém o que ocorre é justamente o contrário. Em todas as amostras coletadas por sondagem os componentes maiores que 20cm correspondem a uma porcentagem pequena do peso total da amostra (2 a 6%), enquanto que nas amostras coletadas em trincheiras esses componentes correspondem a porcentagens entre 25 e 34% do peso total da amostra. A amostragem por sondagem, utilizando-se trado helicoidal, não é capaz de remover os componentes de maiores dimensões, portanto a quantidade dos componentes menores que 85 mm já é naturalmente maior nestas amostras.

Com relação aos componentes passantes na peneira de 19 mm, verificou-se, por inspeção visual, que a composição dessa fração era variada. As amostras A1988 e A1995 assemelhavam-se a areias com poucos componentes rígidos maiores, representados por plásticos duros, metais, vidros e pedregulhos. As amostras A2001, A2004 e A2007 eram parecidas entre si e apresentavam uma matriz arenosa com componentes rígidos (plásticos duros, metais, vidros e pedregulhos) e muitos plásticos moles. Na amostra A2011 a fração menor que 19 mm era composta principalmente por gravetos, folhas e papel.

Acredita-se que o “enriquecimento” desta fração com plásticos moles que ocorre nas amostras A2001, A2004 e A2007 seja causado pela operação do trado helicoidal, que rasga os sacos plásticos maiores presentes no maciço de resíduos e os transforma em fragmentos menores. Quando se coletam amostras em trincheiras verifica-se que os sacos plásticos são componentes para os quais predominam dimensões decimétricas.

Nas Figuras 1 e 2 estão representadas as composições gravimétricas destas amostras, excluindo-se os componentes menos significativos (porcentagens menores que 5%). A Figura 1 apresenta a composição das amostras em campo. Nas amostras coletadas em trincheiras ela é mais bem distribuída do

que nas amostras coletadas em sondagens. Isto reflete o fato de que as sondagens com trado helicoidal não são capazes de retirar todos os componentes do maciço, como discutido anteriormente. Percebe-se ainda que a amostra A2011 tem composição diferente das demais: ela é mais diversificada, a fração menor que 19mm tem menor participação na composição da amostra e os papéis correspondem a 13,4% do peso total. Estes três aspectos refletem o fato de ela estar menos degradada que as demais amostras.

Comparando-se as Figuras 1 e 2 verifica-se que a diversidade de todas as amostras diminuiu com a aplicação dos procedimentos para preparação das amostras para ensaio, porém naquelas coletadas por sondagem a trado os plásticos moles continuam sendo uma fração significativa. Isso se explica pelo fato de o trado ser capaz de cortar estes componentes durante a amostragem, como discutido anteriormente.

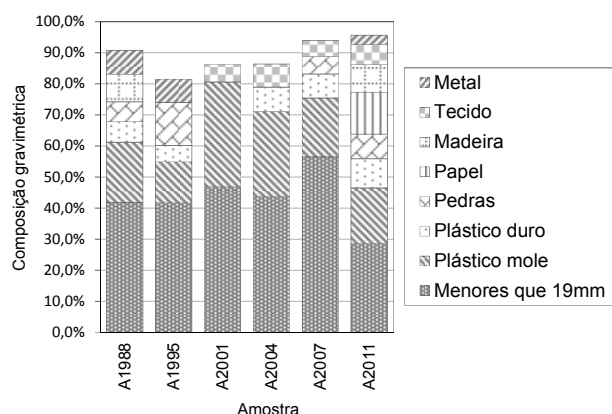


Figura 1 – Comparação da composição gravimétrica das amostras em campo.

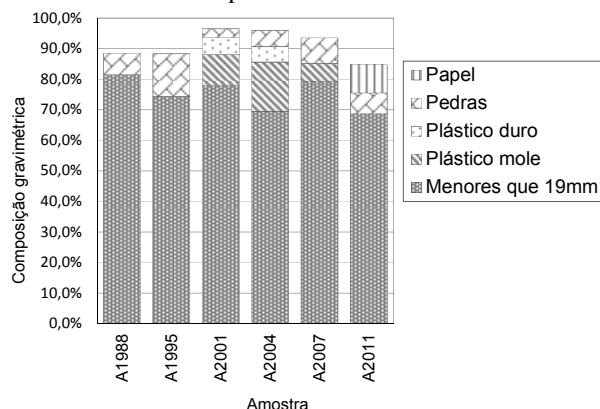


Figura 2 – Comparação da composição gravimétrica das amostras ensaiadas.

Dixon e Langer (2006) propõem que os componentes do RSU sejam classificados em relação à sua forma e às suas propriedades de resistência à tração, à compressão e ao cisalhamento, bem como sua elasticidade e alongamento na ruptura, adotando-se três categorias: “incompressíveis”, “compressíveis” e “reforçantes”. Os componentes das seis amostras ensaiadas foram agrupados, de acordo com essa classificação. Na categoria “reforçantes” foram reunidos os plásticos moles, os plásticos duros, os papéis, os têxteis, as madeiras e os metais. Na categoria “compressíveis” foram incluídas as borrachas. Na categoria “incompressíveis” foram reunidos as pedras, os vidros e os materiais classificados como “outros”.

Comparando-se a composição gravimétrica de campo e a composição gravimétrica do material ensaiado, verifica-se que todas as amostras estão enriquecidas em componentes incompressíveis e empobrecidas em componentes reforçantes. A porcentagem de componentes reforçantes nas amostras ensaiadas é de 8,0%, 6,1%, 17,8%, 23,7%, 11,6% e 20,7%, da mais antiga para a mais nova (A1988 a A2011), respectivamente.

Nas análises granulométricas constatou-se que as amostras A1988, A2001, A2003 e A2007 apresentam granulometrias bastante semelhantes entre si, enquanto que as amostras A1995 e A2011 são compostas por partículas maiores. A amostra A2011 tem distribuição granulométrica semelhante à das amostras ensaiadas por Carvalho (1999). As demais amostras são mais finas.

3.1 Resultados dos Ensaio de Cisalhamento direto

Na fase de adensamento as amostras apresentaram comportamento bastante semelhante. Registrou-se um recalque imediato pronunciado em todas elas, e em poucos minutos foi atingida uma situação de recalques secundários estável. Os resultados desta fase indicaram que a velocidade

adotada na fase de cisalhamento proporciona condições drenadas ao ensaio.

Como consequência das compressões e da expulsão de água ocorridas nas fases de adensamento e de cisalhamento, os pesos específicos e as umidades dos corpos de prova variaram durante os ensaios.

Na Figura 3 são apresentados os pesos específicos dos corpos de prova ao final da fase de adensamento. Eles são dependentes da tensão normal aplicada em cada ensaio. A amostra A2011 exibiu sempre os menores valores de peso específico no início do cisalhamento. As amostras A1988 e A1995 podem ser reunidas numa faixa intermediária de valores, enquanto que a amostra A2007 pode ser agrupada às amostras A2001 e A2004 para compor um último conjunto de resultados, com pesos específicos mais elevados que os demais. A composição das amostras parece ter maior relação com o seu peso específico imediatamente antes do ensaio, do que com as condições iniciais de moldagem do corpo de prova.

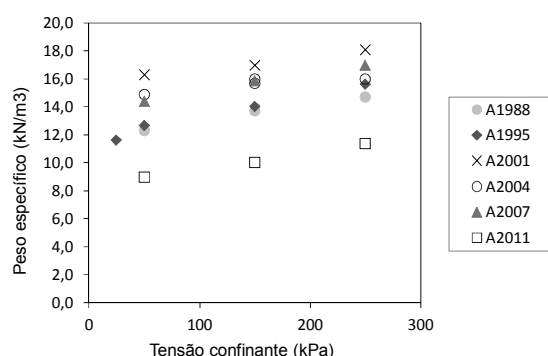


Figura 3 – Peso específico dos corpos de prova no início da fase de cisalhamento.

Quanto aos resultados dos ensaios de cisalhamento em si, todas as amostras apresentaram o mesmo comportamento nas curvas tensão-deslocamento: progressivo aumento das tensões conforme aumenta o deslocamento horizontal (endurecimento). Para todas as tensões normais ensaiadas as curvas exibem concavidade voltada para baixo e em alguns casos, as tensões parecem convergir para um valor assintótico, apresentando forma semelhante a uma hipérbole. O mesmo comportamento foi observado nos resultados apresentados por

Zekkos et al. (2010) e por Bareither et al. (2012), entre outros. Com relação aos deslocamentos verticais, verifica-se constante diminuição de volume conforme aumentam os deslocamentos horizontais, o que é típico de materiais ensaiados no estado fofo. Como exemplo, a Figura 4 apresenta as curvas tensão-deslocamento e as curvas deformação vertical-deslocamento da amostra A2011.

Para determinação das envoltórias de resistência utilizou-se o critério de Mohr-Coulomb. Uma vez que as curvas tensão-deformação não apresentavam pontos de máximo, adotaram-se deslocamentos horizontais relativos de 5, 10 e 20% (respectivamente 25, 50 e 100 mm) para o cálculo das envoltórias. As Figuras 5 e 6 apresentam estes resultados. Tanto a coesão, quanto o ângulo de atrito aumentam com a progressão do deslocamento horizontal.

As Figuras 5 e 6 também permitem a comparação dos valores de coesão (c) e de ângulo de atrito (ϕ) das várias amostras. A amostra A2011, composta por resíduos menos degradados, destaca-se por apresentar coesão maior que as demais, e ângulo de atrito mais baixo, especialmente para maiores deslocamentos.

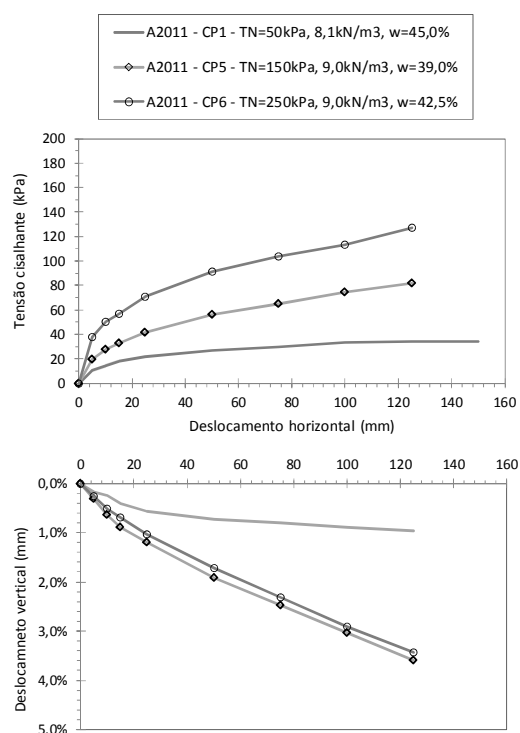


Figura 4 – Resultados dos ensaios de cisalhamento direto da amostra A2011

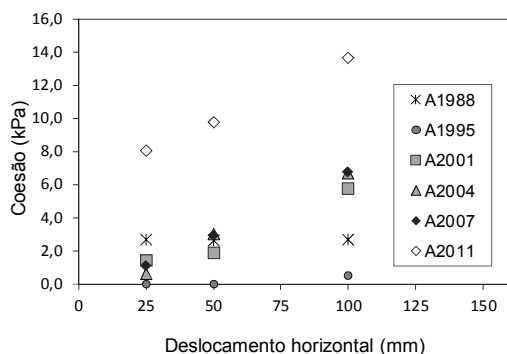


Figura 5 – Parâmetro coesão determinado para as envoltórias de resistência considerando-se deslocamentos horizontais de 25, 50 e 100mm como critério de ruptura.

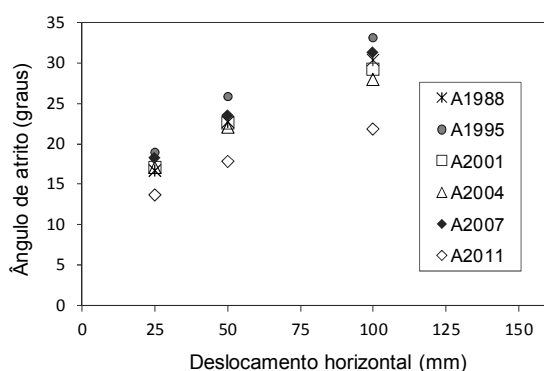


Figura 6 – Parâmetro ângulo de atrito determinado para as envoltórias de resistência considerando-se deslocamentos horizontais de 25, 50 e 100mm como critério de ruptura.

No grupo das amostras bastante degradadas a amostra A1995 apresenta os maiores valores de ângulo de atrito, enquanto a amostra A2004 apresenta os menores valores. Entretanto o que se nota é a que tendência geral é semelhante, com o ângulo de atrito aumentando na mesma proporção para todas essas amostras, conforme aumenta o deslocamento relativo adotado para definição da envoltória de resistência.

O mesmo não ocorre com o parâmetro coesão, para o qual podem ser distinguidos dois comportamentos: as amostras A2001, A2004 e A2007 apresentam coesão crescente com o aumento do deslocamento horizontal. As amostras A1988 e A1995 praticamente não apresentam variação no parâmetro coesão para as várias envoltórias de resistência calculadas. Essa diferença de comportamento pode ser explicada pelo

conteúdo de plásticos moles das amostras, que é de 0,3 e 0,5% para as amostras A1988 e A1995 e de 5,8 a 16,1% para as amostras A2001, A2004 e A2007. Outra possibilidade é que essa diferença seja explicada pelo conteúdo de componentes reforçantes, que considera também componentes rígidos como elementos de reforço, além dos plásticos moles, tecidos e papéis. As amostras A1988 e A1995 apresentam 6 a 8% em peso seco destes componentes, enquanto as amostras A2001, A2004 e A2007 apresentam porcentagens maiores (11 a 24 %).

A envoltória para deslocamentos de 100mm calculada para a amostra menos degradada tem como parâmetros $c=13,7\text{kPa}$ e $\phi=22^\circ$. A envoltória calculada para as amostras mais degradadas tem como parâmetros $c=4,4\text{kPa}$ e $\phi=30^\circ$, com R^2 de 0,98, considerando-se as cinco amostras.

4. CONCLUSÃO

Resíduos de diferentes idades de aterramento foram submetidos a ensaios de cisalhamento direto em equipamento de grandes dimensões (50 x 50 x 50 cm). Estes resíduos foram coletados no Aterro Sanitário de São Carlos, no Lixão Desativado de São Carlos e em aterro experimental construído próximo ao lixão. Além de apresentarem idades de aterramento variáveis (entre 2 e 25 anos), esses resíduos refletem condições de aterramento diferentes (formas de operação dos depósitos, ambientes de decomposição e condições de confinamento).

Os resíduos com dois anos de aterramento encontravam-se menos degradados que os demais, estando provavelmente submetidos aos estágios iniciais da fase metanogênica quando aterrados. As outras cinco amostras estudadas estavam bastante degradadas e encontravam-se provavelmente submetidas à fase metanogênica acelerada quando aterradas.

Os resultados dos ensaios de cisalhamento direto mostraram comportamento de endurecimento do material. Considerando-

se as envoltórias para deslocamentos de 100mm, os parâmetros de resistência calculados para o resíduo menos degradado foram coesão de 13,7 kPa e ângulo de atrito de 22°. Para os resíduos bastante degradados os parâmetros de resistência calculados foram coesão de 4,4 kPa e ângulo de atrito de 30°. Em ambos os casos os parâmetros referem-se a solicitações em que a resposta do maciço de RSU é do tipo drenado.

A questão da representatividade das amostras ensaiadas é bastante discutida no estudo da resistência de RSU e ainda não há consenso sobre quais são os procedimentos de ensaio e preparação de amostras mais representativos. Nesta pesquisa as amostras ensaiadas correspondem a porcentagens em peso úmido entre 47 e 74% da amostra coletada em campo. As amostras coletadas com os trados helicoidais apresentavam maiores porcentagens de plásticos moles, pois os trados eram capazes de rasgar estes componentes e incorporá-los às frações mais finas. O método adotado para a preparação das amostras, com o escalpelamento dos componentes maiores que 8,5cm, provocou um enriquecimento em componentes incompressíveis e um empobrecimento das amostras em componentes reforçantes. Isto se aplica tanto às amostras coletadas em trincheiras, quanto às amostras coletadas em sondagens. Ainda não há dados suficientes para se afirmar quão significativas são estas alterações, em relação à resistência dos RSU *in situ*.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pela FAPESP e pelo CNPq. Agradecemos aos proprietários do Aterro Sanitário de São Carlos e das terras onde se localizam o lixão desativado e o aterro experimental por permitirem o acesso para coleta de amostras.

REFERÊNCIAS

- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984, 13 p.
- Abreu, A.E.S. e Vilar, O. (2013) In-place MSW unit weight measurement in São Carlos landfill, Brazil. *Proceedings Sardinia 2013, Thirteenth International Landfill Symposium*, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 11 p. CD-ROM.
- Abreu, A.E.S. e Vilar, O. (2014a) Caracterização Geotécnica do Aterro Sanitário de São Carlos – SP. *XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, COBRAMSEG 2014, Anais...8p*. CD-ROM.
- Abreu, A.E.S. e Vilar, O. (2014b) Degradation state indicators for MSW samples recovered from different disposal sites. *ISWA 2014 Solid Waste World Congress. Annals...* São Paulo, Brazil, 14p. CD-ROM.
- Bareither, C.A.; Benson, C.H.; Edil, T.B. (2012) Effects of Waste Composition and Decomposition on the Shear Strength of Municipal Solid Waste. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 138, No. 6, p. 1161-1174.
- Carvalho, M. F. (1999) *Comportamento Mecânico de Resíduos Sólidos Urbanos*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos. 300p.
- Dixon, N., Langer, U. (2006) Development of a MSW classification system for the evaluation of mechanical properties. *Waste Management* Vol. 26, p.220–232.
- Shinzato, M.P.B. (2014) *Mobilização de poluentes no maciço de resíduos de lixão desativado*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos. 196p.
- Zekkos, D.; Athanasopoulos, G.A.; Bray, J.D.; Grizi, A.; Theodoratos, A. (2010) Large-scale direct shear testing of municipal solid waste. *Waste Management*, Vol. 30, p.1544–1555.