

COMPRESSIBILIDADE DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS - ATERRO METROPOLITANO CENTRO - BA

Miriam de Fátima Carvalho¹
Sandro Lemos Machado²
Maíra Bitencourt Rocha³

RESUMO: *Este artigo apresenta resultados preliminares obtidos de um estudo sobre a compressibilidade de amostras de resíduos sólidos urbanos (RSU), coletadas no Aterro Metropolitano Centro (AMC), localizado na cidade de Salvador – Ba, Brasil. Para execução dos ensaios, na tentativa de preservar a representatividade do material, foi desenvolvido um consolidômetro de grandes dimensões (60cm de diâmetro), onde o carregamento vertical é transmitido ao RSU através da aplicação de ar comprimido numa câmara de pressão. Os resultados de ensaios de compressão confinada executados em amostras deformadas de resíduo, com cerca de 4 anos de aterramento, mostraram uma grande influência das deformações por compressão secundária no comportamento do RSU. São apresentadas curvas de compressão do RSU e curvas de deformação diferida no tempo, que permitem a obtenção de parâmetros de compressibilidade e fluência, úteis para a previsão de recalques em aterros sanitários.*

Palavras-chave: Resíduo sólido; Compressibilidade; Aterro sanitário.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a necessidade de proteger o planeta em que vivemos tem despertado uma maior conscientização ecológica tanto por parte da sociedade quanto por parte dos governantes. Considerações sobre disposição de lixo, comportamento de aterros sanitários, recuperação de áreas degradadas e emprego de tecnologias mais limpas estão constantemente em pauta. Por outro lado, não são raros os problemas resultantes da disposição inadequada de resíduos, os quais podem causar contaminação de solos, mananciais de água e pessoas. Associado a esses problemas há grande dificuldade de adaptar procedimentos e teorias existentes para a aplicação no estudo do comportamento dos resíduos sólidos, visto serem estes materiais bastante heterogêneos e apresentarem características particulares, sobretudo no que se refere à degradação ao longo do tempo. Neste contexto, as propriedades físicas e mecânicas dos resíduos sólidos urbanos são difíceis de serem quantificadas e previstas e, ainda hoje, são determinadas, utilizando as teorias clássicas da mecânica dos solos. Diversos autores, dentre eles, Landva e Clark (1990, p.86), Singh e Murphy (1990, p.245), Grisolia e Napoleoni (1996, p.642), König e Jessberger (1997, p.50), Van Impe (1998, p.1174), têm apresentado dados sobre as propriedades físicas e mecânicas dos RSU. A composição física varia de uma região para outra, estando relacionada com os níveis de desenvolvimento econômico, tecnológico e cultural dessas regiões e com práticas como reciclagem, incineração, compostagem etc. De uma forma geral, a quantidade de matéria orgânica em resíduos sólidos tende a diminuir com o grau de desenvolvimento da região considerada. No que concerne à textura do RSU, o tamanho típico

¹Professora Doutora da Escola de Engenharia da Universidade Católica do Salvador; e-mail: miriam@ucsal.br

²Professor Doutor da Universidade Federal da Bahia; e-mail: smachado@ufba.br

³Bolsista de Iniciação Científica - UFBA; e-mail: maira@geoamb.eng.ufba.br

das partículas encontradas varia desde partículas maiores do que pedregulho a partículas finas, menores que 0,075mm, que apresentam em geral percentagens menores do que 20% (peso seco). Segundo Knochenmus et al. (1998, p.983), existe uma tendência da fração mais fina do RSU aumentar com o aumento da idade do lixo, como resultado da biodegradação do material orgânico. Diferentes valores de teor de umidade e pesos específicos *in situ* são apresentados na literatura. A umidade varia entre 30 a mais de 100%, e o peso específico *in situ* varia, tipicamente, entre 8 a 15kN/m³ e, geralmente, aumenta com a profundidade devido à bioconsolidação do RSU com o tempo e à compressão devido à sobrecarga (GOTTELAND et al. 1995, p.785; WITHIAN et al. 1995, p.1017; KAVAZANJIAN et al. 1995, p.1140).

No que se refere à compressibilidade dos resíduos sólidos urbanos, apesar das diferenças na composição, na idade e no estado de alteração do resíduo, parece consenso entre os pesquisadores que a deformação secundária é a mais preponderante para esses materiais (GRISOLIA e NAPOLEONI, 1996, p.644; KNOCHENMUS et al. 1998, p.978). Tais deformações ocorrem ao longo do tempo e estão associadas ao processo de degradação dos resíduos. Os resíduos sólidos urbanos se transformam através de fenômenos físico-químicos e biológicos, com o tempo e em condições ambientais propícias, em gases, líquidos e sólidos inorgânicos e orgânicos relativamente inertes (TCHOBANOGLIOUS et al. 1993, p.520). De acordo com Sowers (1973, p.207) e Yen e Sconlon (1975, p.477), nos aterros municipais, ocorrem os seguintes mecanismos favoráveis aos recalques: a) solicitações mecânicas decorrentes do peso próprio e das sobrecargas, que ocasionam processos similares à consolidação dos solos orgânicos e turfas; b) degradação bioquímica: fermentação e decomposição, tanto anaeróbia como aeróbia, com a conseqüente perda de massa para o exterior, através da fuga de gases e migração de finos para os vazios maiores, devido à percolação da água infiltrada e da lixívia; c) transformações físico-químicas: corrosão, oxidação.

A elevada compressibilidade dos aterros sanitários, apesar de ser, por um lado, problemática, por outro, prolonga a vida útil do aterro, possibilitando deposições adicionais (EDIL et al. 1990, p. 230). Em geral, os recalques nos aterros municipais são normalmente irregulares, sendo, no período inicial (1 a 2 meses após finalizada a construção), bastante intensos. Em seguida, continuam a ocorrer por um longo período, porém com velocidade menor. O maciço de RSU recalca, sob peso próprio, entre 10 a 30% da altura original, e a maioria dos recalques ocorre nos primeiros anos (SOWERS, 1968, p.207; EDIL et al. 1990, p.230; GRISOLIA e NAPOLEONI, 1996, p.645). Grisolia e Napoleoni (1996, p.646) apresentam uma curva de compressibilidade teórica para os RSU (Figura 1). Segundo esses autores, os resíduos, assim como os solos, são meios multifásicos constituídos de elementos sólidos, líquidos e gasosos. Mas existem diferenças essenciais entre esses dois materiais. Na fase sólida do lixo, podem-se distinguir três classes de materiais: materiais inertes estáveis (metais, vidros, entulho), cujo comportamento pode ser assumido como o de um solo heterogêneo de granulação grossa; materiais altamente deformáveis (fragmentos e caixas de papel, plásticos e têxteis), que apresentam grandes recalques e comportamento anisotrópico; materiais facilmente degradáveis (materiais orgânicos, vegetais, restos alimentares), os quais passam por transformações físico-químicas, em um curto espaço de tempo, causando redução de volume e gerando gases e líquidos.

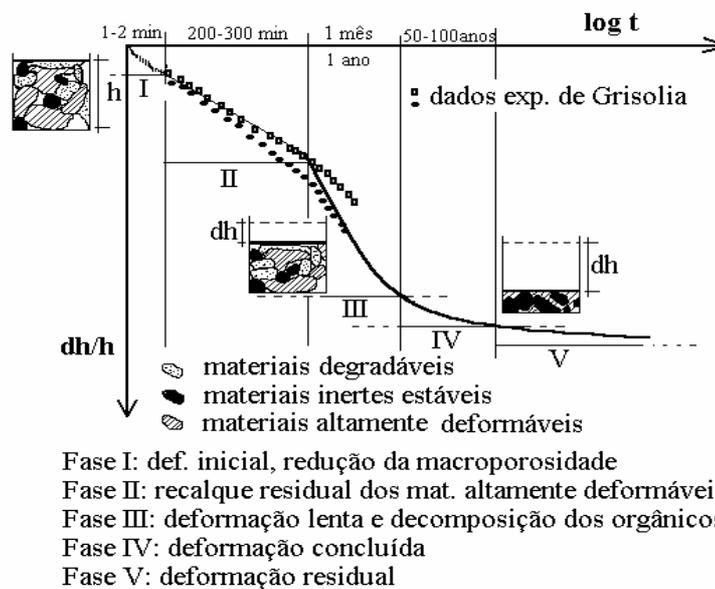


Figura 1 - Curva teórica de compressibilidade do RSU. Modificado de Grisolia e Napoleoni, 1996.

Após a disposição no aterro, o resíduo apresenta uma estrutura porosa que pode variar bastante de forma e volume. Com o acréscimo das sobrecargas, ocorre uma acentuada redução de volume dos materiais altamente deformáveis e deslocamento dos inertes estáveis (fase II). Mantendo a sobrecarga constante, ocorrem deformações do tipo *creep* e transformações da matéria orgânica (fase III), até que estabeleçam, no fim do processo, contatos diretos entre os elementos inertes estáveis. Como se pode observar, a previsão de recalques em maciços de resíduos municipais é complexa e envolve variáveis de difícil quantificação. Apesar disso, tem-se utilizado os conceitos da teoria clássica de adensamento, para avaliar o comportamento dos resíduos sólidos domiciliares. A dificuldade no emprego dessa teoria está em determinar os parâmetros C_c , C_α e e_o , requeridos na análise, visto que os resíduos apresentam grande heterogeneidade e presença de materiais de grandes dimensões, necessitando de equipamentos de ensaios de dimensões maiores que contemplem esses aspectos particulares.

O presente trabalho apresenta resultados preliminares de ensaios de compressão confinada de grandes dimensões, executados em amostras deformadas de RSU. São mostradas curvas de compressibilidade do RSU e curvas de deformação diferida no tempo, possibilitando a obtenção de parâmetros de compressibilidade e fluência. Também são apresentadas curvas granulométricas do resíduo para diferentes idades e dados de composição.

RESÍDUO ESTUDADO

O resíduo estudado provém do AMC, localizado na cidade de Salvador, na estrada do CIA-Aeroporto (Km 6,5 - Zona Norte). Este aterro é a principal área de disposição de resíduos sólidos urbanos da cidade, recebendo hoje cerca de 2.500 ton/dia. Neste aterro, foram coletadas quatro amostras de resíduos com idades diferentes, em torno de quatro, um ano e 6 meses de aterramento e uma amostra de resíduo novo, retirada da frente de lançamento no aterro. O resíduo com quatro anos de aterrado foi retirado de uma cava aberta na massa de resíduo, com profundidade de cerca 1,5m, após a retirada da camada de solo de cobertura, enquanto as amostras com 1ano e 6 meses foram retiradas de um furo executado com trado de 30cm de diâmetro. Essas amostras foram quarteadas e colocadas em tambores para serem utilizadas em

ensaios de caracterização física e compressibilidade. A cava aberta para a coleta da amostra de RSU de 4 anos foi impermeabilizada com manta sintética e preenchida com água, a fim de determinar o peso específico do resíduo, o qual foi de cerca de 14,3 kN/m³. Este valor, razoavelmente alto quando comparado com valores da literatura, pode ser explicado pela boa compactação inicial empregada, pelo fato de existir no local uma espessa camada de recobrimento de solo, de cerca de 2,0m e devido aos altos valores de umidade obtidos, de cerca de 83%. A literatura técnica apresenta uma grande faixa de variação para pesos específicos úmidos de resíduo sólido urbano, a qual pode estar compreendida entre 3kN/m³, para resíduos não compactados ou pobremente compactados a 17kN/m³, para resíduos com alto grau de compactação e após adensamento do maciço (KÖNIG e JESSBERGER, 1997, p. 70). Valores de até 18,5kN/m³ foram apresentados por Gotteland *et al.* (1995, p.786) para resíduos domésticos da França. Santos *et al.* (1998, p.183) apresentaram valores de pesos específicos variando entre 14 – 19kN/m³ para o aterro da Muribeca, na cidade de Recife (Brasil), os quais foram obtidos de ensaios em valas escavadas, impermeabilizadas e preenchidas com água. Carvalho (1999, p.173) apresentou para o resíduo do Aterro Sanitário Bandeirantes, em São Paulo, valores médios de peso específico *in situ* de 14kN/m³.

Caracterização física do resíduo

A caracterização física do resíduo foi realizada através da execução de testes para a determinação de sua composição gravimétrica, da sua distribuição granulométrica e de sólidos totais voláteis (STV). Além disso, testes estão sendo realizados para a determinação do teor de lignina, para cada amostra, cujos resultados darão suporte ao estudo do processo de decomposição diferida no tempo do RSU. A composição física dos resíduos estudados foi obtida por meio da separação manual e quantificação, em peso seco, dos componentes presentes, tais como madeira, papel, pedra, materiais têxteis, borracha, plástico, vidro, metal e fração pastosa. O termo fração pastosa foi utilizado para definir a parcela da amostra remanescente da segregação manual, constituída de solo de cobertura, componentes em diferentes estágios de degradação e outros difíceis de serem identificados. No quadro 1 apresenta-se a composição física obtida para os resíduos coletados na área do Aterro Metropolitano Centro.

Tabela 1- Comparação da composição física de resíduos com diferentes idades

Componentes	Percentagem de ocorrência (%)		
	RSU novo (momento de descarga no aterro)	RSU após 6 meses de aterrado	RSU após 4 anos de aterrado
Madeira	10,1	5,2	5,6
Pedra / cerâmica	23	7,36	13,4
Têxtil	2,7	5,37	2,5
Borracha	0,2	0,36	0,2
Plástico	14,1	19,46	13,8
Vidro	6,1	2,89	4,1
Metal	6,5	2,49	5
Papel / papelão	11,4	2,24	5,2
Fração pastosa	25,9	54,63	50,2

Observa-se que, com o tempo, ocorreu uma redução no percentual de madeira e papel/papelão enquanto a fração pastosa sofreu um aumento no seu percentual, quando se comparam os três resíduos. Com base nestas observações, pode-se afirmar que parcelas significativas de papel/papelão e madeira são incorporadas à fração pastosa à medida que o processo de degradação evolui. Outro ponto digno de ser notado é que, para o resíduo aterrado, parte do selo de cobertura é incorporada nesta fração pastosa durante o período de operação/funcionamento do aterro e/ou durante a coleta das amostras em campo. Isso, conseqüentemente, acaba provocando um aumento no percentual da fração pastosa do resíduo aterrado em relação ao resíduo antes da disposição. Todavia é importante esclarecer que esse aumento da fração pastosa com o tempo não significa aumento do percentual de matéria orgânica biodegradável, que certamente irá decair com tempo de aterramento. Para quantificar a porcentagem de matéria orgânica e sua variação com o tempo, foram realizados, para cada amostra, diversos ensaios de quantificação dos STV e estão sendo realizados ensaios para a determinação do teor de lignina da parte orgânica, os quais permitirão descrever melhor o processo de decomposição do RSU em campo. A fração pastosa resultante da separação manual dos componentes dos resíduos foi utilizada para a determinação do teor de sólidos totais voláteis - STV. Inicialmente, essa fração foi triturada para a diminuição de sua estrutura original. Logo após, pequenas quantidades de material triturado foram colocadas em estufa a 70°C por um hora e depois calcinadas em mufla a 600°C por duas horas. O valor do STV foi obtido pela diferença de pesos da amostra após secagem na estufa (material inerte + não inerte) e na mufla (material inerte). Obtiveram-se valores de STV médio de cerca 20% para o resíduo com 4 anos de aterramento, de cerca de 41% para o resíduo novo e de cerca de 18%, para o resíduo com 6 meses de aterrado.

A curva granulométrica do resíduo foi obtida através da passagem do material seco à temperatura de 70° C, através de uma série de peneiras pré-selecionadas (50,8; 38,1; 31,7; 25,4; 19,1; 12,7; 9,4; 4,8; 2,38; 1,0; 0,50; 0,35; 0,25; 0,18; 0,125; 0,090; e 0,075mm) e da medida direta de componentes com dimensões maiores que 2". Assim, obteve-se a porcentagem das partículas que passavam em cada peneira, possibilitando o traçado da curva representativa dos diâmetros dos componentes. A figura 2 apresenta as curvas granulométricas obtidas para os resíduos estudados, em conjunto com a faixa de ocorrência indicada por Jessberger (1994, p.102). Salienta-se que, para o traçado destas curvas, o material fibroso (têxteis e plásticos moles) não foi incluído.

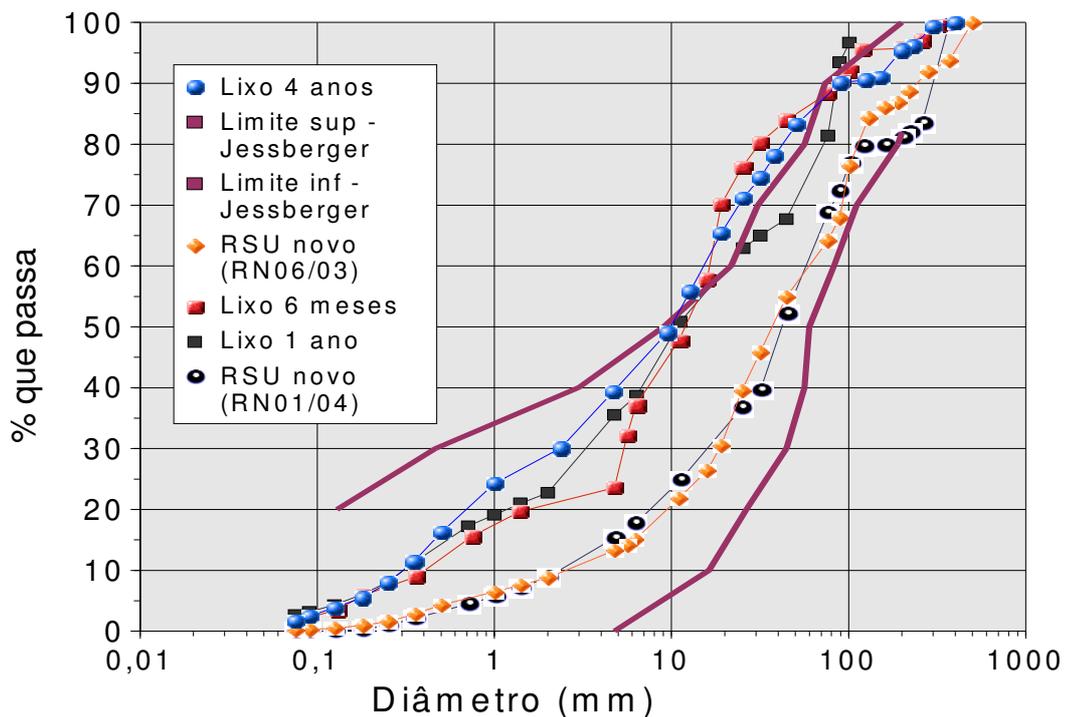


Figura 2 - Comparação entre curvas granulométricas obtidas para resíduo novo, após 1 ano e 4 anos de aterramento e após 6 meses de aterramento.

Como pode ser visto, para o resíduo com 4 anos de aterramento, cerca de 50% das partículas possuem diâmetro menor que 10mm; para o resíduo com 6 meses e 1 ano, tem-se cerca de 48%; e para o resíduo novo, apenas 22% das partículas têm diâmetro inferior a 10mm. De uma forma geral, as curvas granulométricas mostram uma diminuição da textura do resíduo com o passar dos anos.

Estudo da Compressibilidade

Para estudo da compressibilidade das amostras de RSU em laboratório, foi construído um consolidômetro de grandes dimensões, com diâmetro interno de 548,30mm e altura de 496,80mm. O equipamento possui uma câmara de pressão e pedras porosas no topo e na base para drenagem dos líquidos resultante do processo de adensamento (Figura 3). A pressão é transmitida ao resíduo sólido pela aplicação de ar comprimido na câmara de pressão formada pelo espaço entre o êmbolo em que se apóia o pistão e o disco-tampa. O êmbolo que contém o pistão possui dois *o'rings* para vedar a passagem de ar para o lixo. Foram executados ensaios de compressão confinada em amostras de resíduo de 4 anos de aterrado, as quais foram compactadas por meio de soquete manual até atingir o peso específico estipulado. Atualmente está sendo executado ensaio de compressão confinada em amostra de resíduo novo.

Para determinação dos índices físicos das amostras, houve necessidade de determinar o peso específico médio das partículas sólidas, o qual foi obtido adaptando as técnicas utilizadas na mecânica dos solos (NBR 6508/84), substituindo-se o picnômetro por um béquer de 2 litros, devidamente calibrado para um intervalo de temperatura de 15° a 40°C. A média dos pesos específicos das partículas sólidas obtida para o resíduo com 4 anos de aterramento, em vários ensaios executados, foi de 22,2kN/m³.



Figura 3- Vista do consolidômetro construído para a realização dos ensaios de compressão confinada.

Para a realização dos ensaios com amostras de resíduo de 4 anos de aterrado, as mesmas foram colocadas manualmente no consolidômetro, em 4 camadas e o resíduo comprimido, até atingir pesos específicos de 10 e 12kN/m³. Aplicaram-se vários estágios de pressão vertical na amostra, sempre dobrando a pressão anterior (10, 20, 40, 80, 160 e 320kPa). As deformações verticais foram medidas por meio de um extensômetro de 50mm, com sensibilidade de 0,01mm, posicionado no topo do pistão. O primeiro ensaio, realizado com peso específico de 12kN/m³, foi interrompido após cerca de 15 dias de carregamento com 160kPa, visto que o *o'ring* de vedação da pressão de ar para a massa de resíduo rompeu. O segundo ensaio de compressão confinada, realizado com peso específico de 10kN/m³, foi inicialmente carregado até 80kPa e descarregado até 20kPa e, novamente, recarregado. Nesse ensaio, puderam-se executar estágios de carregamento com pressão de até 640kPa. Cada estágio de carregamento teve em média duração de 30 dias, sendo que alguns estágios foram prolongados por mais tempo para caracterizar adequadamente as compressões secundárias. Atualmente, no ensaio com resíduo novo, uma pressão de 100kPa está sendo aplicada.

As Figuras 4 e 5 apresentam, respectivamente, as curvas típicas de deformação *versus* raiz do tempo e índice de vazios *versus* log t, para o estágio de carregamento de 160kPa, obtido para o resíduo compactado com 12kN/m³. Nestas figuras, pode-se observar um acentuado processo de compressão secundária. A partir do gráfico e x logt foi possível determinar os índices de compressão secundária ($C_{\alpha} = \Delta e / \Delta \log t$) e os coeficientes de compressão secundária ($C'_{\alpha} = C_{\alpha} / (1 + e_0)$) para cada estágio de carregamento, os quais são apresentados no quadro 2.

Conforme se pode observar na tabela 2, descartando-se os valores mais baixos, obtidos para o estágio de 20kPa, provocados provavelmente por acomodações tanto do equipamento, como do próprio resíduo, verifica-se que o índice de compressão secundária (C_{α}) varia de 0,0141 a 0,0431, podendo-se adotar um valor médio de 0,031 e que C'_{α} varia de 0,0046 a 0,0178, com valor médio de 0,0109.

Os resultados do ensaio de compressão confinada apresentados nas figuras 4 e 5 mostram que o resíduo estudado não apresentou curvas de deformação *versus* tempo semelhante àquelas obtidas para solos argilosos, pois o trecho de compressão primária é de pequena monta. O processo de compressão primária para o resíduo é relativamente rápido e, em poucos minutos,

após a aplicação da pressão, tem-se o aumento linear das deformações com o logaritmo do tempo, caracterizando o processo de compressão secundária. Na figura 6, onde é apresentada a curva de compressão obtida para o resíduo, pode-se observar no trecho de descarregamento uma reduzida recuperação do índice de vazios. Além disso, no trecho de recarregamento, observa-se uma significativa variação do índice de vazios em relação ao trecho de descarga. Este comportamento é diferente daquele que se observa em ensaios realizados em solos, onde normalmente o estágio é interrompido tão logo cesse o processo de compressão primária. Deste modo, acredita-se que a histerese observada na curva de compressão esteja relacionada com a compressão secundária que ocorre durante os testes realizados no RSU, a qual envolve normalmente as deformações mecânicas por *creep*. Por meio da curva índice de vazios *versus* log da tensão vertical, pôde-se determinar o índice de compressão primária ($C_c = \Delta e / \Delta \log \sigma$), para o resíduo coletado do AMC. A tabela 3 apresenta o valor do índice de compressão primária, C_c , bem como o valor do índice de compressão primária, referido ao índice de vazios, C'_c , [$C'_c = C_c / (1 + e_0)$].

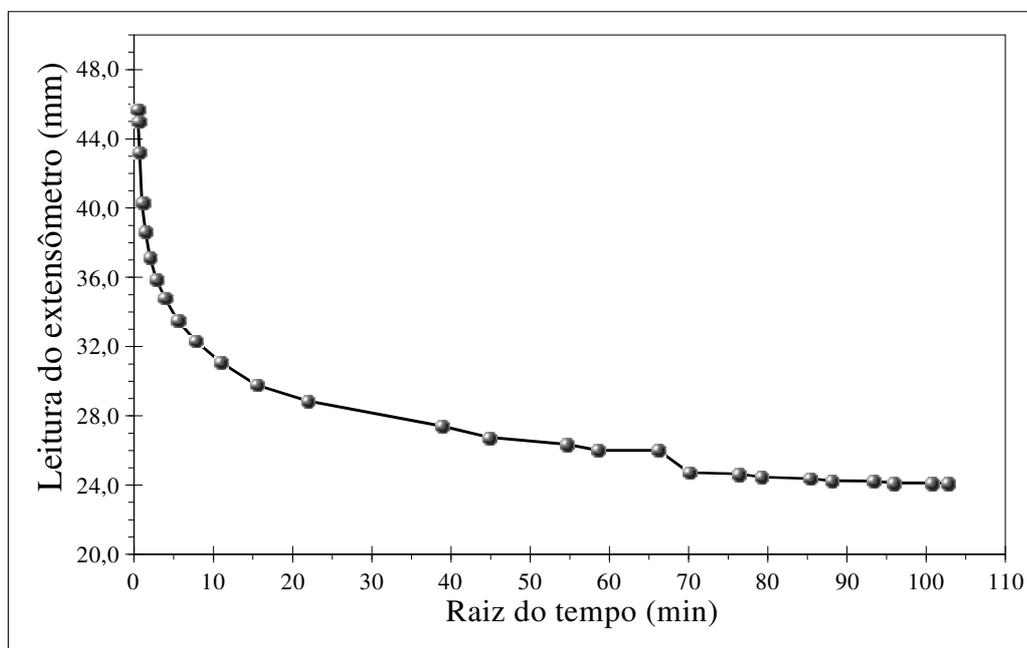


Figura 4 – Curva típica leitura do extensômetro *versus* raiz do tempo obtida para resíduo com 4 anos de aterrado, compactado com 12kN/m^3 , estágio de 160 kPa.

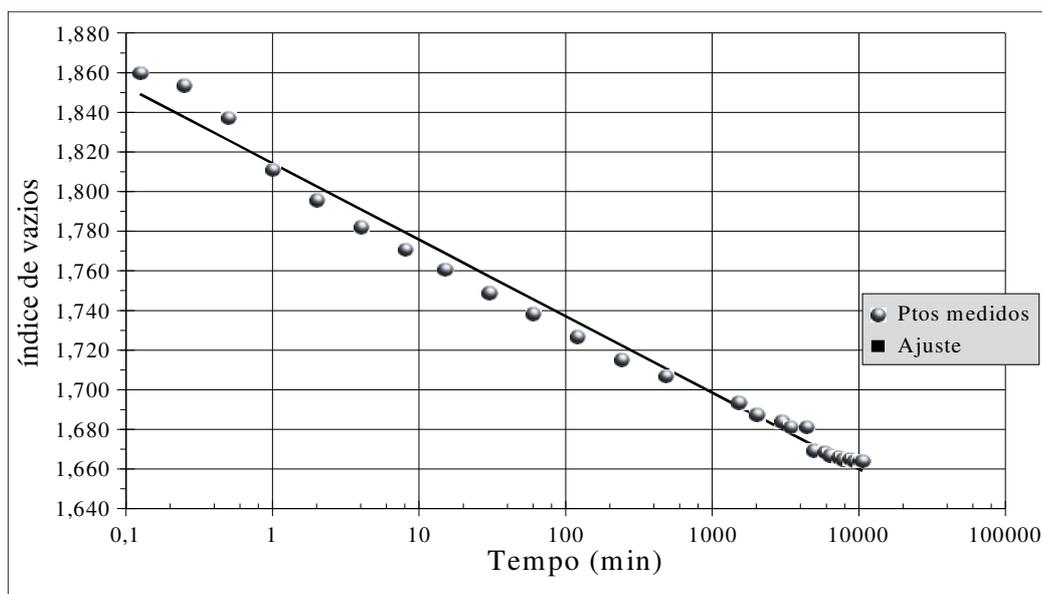


Figura 5 - Curva índice de vazios *versus* log t, obtida para resíduo com 4 anos de aterrado, compactado com 12kN/m³, estágio de 160 kPa.

Tabela 2 – Valores de C_α e C'_α para o resíduo estudado.

Amostra	γ (kN/m ³)	Índice de vazios	Sr (%)	Tensão vertical (kPa)	C_α	C'_α	R^2
Resíduo 4 anos	12,00	2,0616	70	20	-	-	-
				40	0,0141	0,0046	0,91
				80	0,0202	0,0068	0,99
				160	0,0386	0,0135	0,99
	10,00	2,3312	51,0	20	0,0604	0,0188	0,95
				40	0,0155	0,0052	0,96
				80	0,0219	0,0077	0,96
				160	0,0339	0,0129	0,99
			320	0,0431	0,0178	1,00	

Tabela 3 – Valores de C_c e C'_c para o resíduo estudado.

Amostra	γ (kN/m ³)	Índice de vazios	C_c	C'_c	R^2
Resíduo 4 anos	12,00	2,0616	0,5103	0,1667	0,975
	10,00	2,3312	0,6510	0,1954	0,976

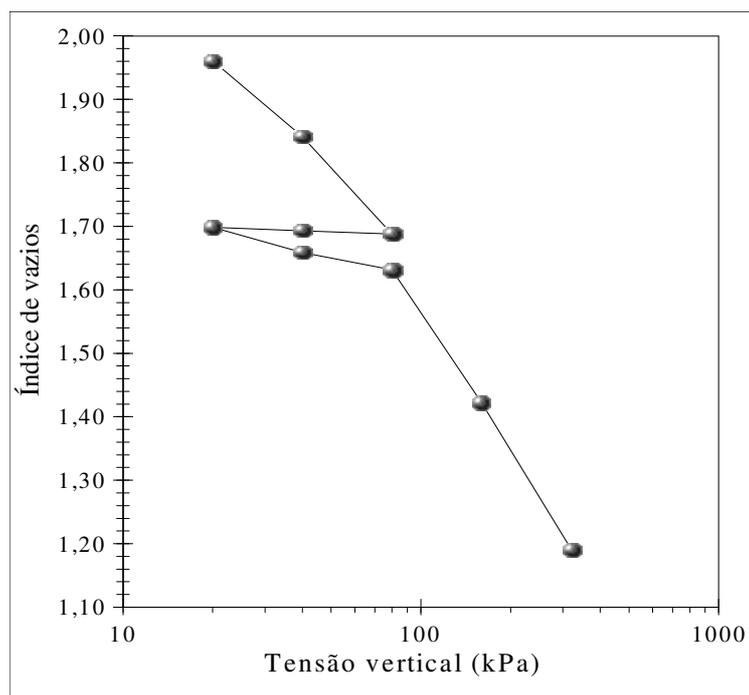


Figura 6 – Relação e x $\log \sigma$ obtida para o resíduo sólido do AMC com quatro anos de aterramento. Amostra compactada com $\gamma=10\text{kN/m}^3$.

CONCLUSÃO

Neste artigo são apresentados alguns resultados de ensaios de caracterização obtidos a partir de amostras de resíduo coletadas no AMC. Com o aumento do tempo de aterramento das amostras, observou-se uma redução no percentual de madeira e papel/papelão, enquanto a fração pastosa sofreu um aumento no seu percentual. Este aumento é em decorrência da incorporação, nesta fração, de materiais de difícil identificação, bem como de parte do selo de cobertura do resíduo. Também foi observado uma diminuição da granulometria do resíduo com o passar dos anos, a qual pode ser devido à decomposição e também devido à compactação a que os resíduos são submetidos durante sua disposição. Obteve-se para o resíduo de 4 anos de aterramento um peso específico médio das partículas sólidas igual a $22,2\text{kN/m}^3$. Ensaio de compressão confinada realizados com o resíduo com 4 anos de aterramento mostraram elevada compressibilidade, sendo a compressão secundária bastante pronunciada. Obtiveram-se valores médios de 0,031 para o índice de compressão secundária (C_α), de 0,0109 para o coeficiente C'_α [$=C_\alpha/(1+e_o)$] e de 0,181 para o coeficiente de compressão primária, os quais são necessários no estudo e previsão de recalques em campo. Com os dados disponíveis, não foi possível estabelecer tendência de variação de C'_α com a sobrecarga ou com o peso específico, embora pareça haver um crescimento desse parâmetro com o aumento da sobrecarga.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à VEGA – Vega Bahia Tratamento de Resíduos S.A- pelo apoio financeiro e logístico concedido para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT, **NBR 6508**: grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm - determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

CARVALHO, M. F. **Comportamento Geotécnico de Resíduos Sólidos Urbanos**. 1999. 250f. Tese (Doutorado)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 1999.

EDIL, T. B.; RANGUETTE, V. J.; WUELLNER, W. W. (1990). **Settlement of Municipal Refuse**. Geotechnics of Waste Fills - Theory and Practice, ASTM STP 1070, LANDVA, A.; KNOWLES, G. D. (ed.), American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1990. p.225-239.

GOTTELAND, P.; LEMARÉCHAL, D.; RICHARD, P. **Analysis and Monitoring of the Stability of a Domestic Waste Landfill**. *Proceedings Sardinia 95, International Landfill Symposium*, 5th, 1995, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy. p.777-787.

GRISOLIA, M.; NAPOLEONI. **Geotechnical Characterization of Municipal Solid Waste: Choice of Design Parameters**. In: International Congress on Environmental Geotechnics, 2nd, 1996, Osaka, Japan. A.A.Balkema, v.2, p. 641-646.

JESSBERGER, H. L. **Geotechnical Aspects of Landfill Design and Construction**. Part 1: Principles and Requirements. *Proc. Instn Civ. Engrs Geotechnical. Eng.*, 1994, v.107. p.99 - 104.

KAVAZANJIAN, E.; MATASOVIC, N.; BONAPARTE, R.; SCHMERTMAM, G. R. Evaluation of MSW Properties for Seismic Analysis. **Geoenviromental 2000**. Geotechnical Special Publication n^o 46, ASCE, v.2, ACAR, Y. B.; DANIEL, D. E. (ed.), 1995. p.1126 - 1142.

KNOCHENMUS, G.; WOJNAROWICZ, M.; VAN IMPE W. F. **Stability of Municipal Solid Wastes**. In: International Congress on Environmental Geotechnics, 3rd, 1998, Lisboa, Portugal. Balkema, Rotterdam: Sêco e Pinto (ed.), 1998. ISBN 90 5809 006x, p. 977-1000.

KÖNIG, D.; JESSBERGER, H.L. **Waste Mechanics**. In: ISSMFE Technical Committee TC5 on Environmental Geotechnics, 1997. p. 35 – 76.

LANDVA, A. O.; CLARK, J. I. **Geotechnics of Waste Fill**: Geotechnics of Waste Fills - Theory and Practice, ASTM STP 1070, LANDVA, A.; KNOWLES, G. D. (ed.), American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1990. p.86-103.

SANTOS, S. M.; JUCÁ, J. F. T.; ARAGÃO, J. M. S. **Geotechnical Properties of a Solid Waste Landfill**: Muribeca's Case. In: International Congress on Environmental Geotechnics, 3rd, 1998, Lisboa, Portugal. Balkema, Rotterdam: Sêco e Pinto (ed.), 1998. ISBN 90 5809 006x, p. 181-184.

SINGH, S.; MURPHY, B. J. **Evaluation of the Stability of Sanitary Landfills**. Geotechnics of Waste Fills - Theory and Practice, ASTM STP 1070, Landva, A.; Knowles, G. D. (ed.), American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1990. p.240-258.

SOWERS, G. F. Foundation Problems in Sanitary Landfills. **Journal of the Sanitary Engineering Division**, ASCE, v.4, 1968. p.103-116.

SOWERS, G. F. **Settlement of Waste Disposal Fills**. In: Eighth International Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineerings, 1973, v.2, parte 2, Moscow-URSS 1973. p.207-210.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues**. McGraw-Hill, Inc, 1993, 978f.

VAN IMPE, W. F. **Environmental Geotechnics: ITC5 activities – State of the art**. In: International Congress on Environmental Geotechnics, 3rd, 1998, Lisboa, Portugal. Balkema, Rotterdam: Sêco e Pinto (ed.), ISBN 90 5809 006x, p. 1163-1187.

WITHIAM, J. L.; TARVIN, P. A.; BUSHELL, T. D.; SNOW, R. E.; GERMAM, H. W. Prediction and Performance of Municipal Landfill Slope. **Geoenvironmental 2000**. Geotechnical Special Publication n° 46, ASCE, v.2, ACAR, Y. B.; DANIEL, D. E. (ed.), New Orleans, 1995. p.1005-1019.

YEN, B. C.; SCANLON, B. Sanitary Landfill Settlement Rates. **Journal of Geotechnical Division**, ASCE, v.101, GT5, 1975. p.475-487.