

CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS – ATERRO METROPOLITANO CENTRO - BA

Átila Caldas Santos¹
André Luiz Marinho dos Santos²
Sandro Lemos Machado³
Miriam de Fátima Carvalho⁴
Kleber Azevedo Dourado⁵

RESUMO: Neste trabalho se apresenta a metodologia que vem sendo utilizada pelo Laboratório de Geotecnia Ambiental da UFBA (Geoamb) para a coleta de amostras de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e nos procedimentos de ensaios de caracterização destes resíduos, dentre eles, composição gravimétrica, análise granulométrica, sólidos totais voláteis e lignina. Amostras de RSU com diferentes idades de decomposição foram coletadas no Aterro Metropolitano Centro, localizado em Salvador – Ba, para realização de ensaios de caracterização. Os resultados mostram a variação do teor de umidade com que os RSU chegam ao aterro, conforme o período da coleta, e a variação em sua composição devido ao efeito da degradação apresentada por materiais que o constitui. Parâmetros publicados na literatura técnica especializada são comparados com resultados apresentados neste trabalho.

Palavras-chave: Resíduo sólido urbano; Caracterização de resíduos; Aterro sanitário.

1 - INTRODUÇÃO

No mundo atual, um dos temas que mais se discute é a questão de como fazer para tratar de forma correta os resíduos sólidos que são produzidos pelas atividades diárias do homem. No que se refere ao meio ambiente, os resíduos sólidos produzidos nas cidades representam problemas não só de ordem estética, mas um grave problema à sociedade quando os resíduos necessitam de grandes espaços para serem dispostos, ameaça significativa para a saúde pública quando os resíduos são depositados de forma inadequada e com isso contaminam os solos, os mananciais e as pessoas. Os resíduos sólidos apresentam características bem particulares, principalmente no quesito de degradação ao longo do tempo, além de serem bastante heterogêneos, variando sua composição de local para local devido a inúmeros fatores como variações sazonais, condições climáticas, hábitos e costumes, intervenções na economia e muitas outras. A determinação das propriedades físicas dos resíduos sólidos ainda não são bem definidas e apresentam dificuldade para serem quantificadas e previstas, sendo atualmente determinadas com base nas teorias clássicas da mecânica dos solos. Uma gama de autores têm apresentado dados sobre as propriedades físicas dos resíduos sólidos urbanos – RSU, entre eles destacam-se Landva e Clark (1990), Singh e Murphy (1990), Grisolia e Napoleoni (1996), Köning e Jessberger (1997), Van Impe (1998).

No que se refere à caracterização dos resíduos sólidos urbanos, a determinação do teor da umidade é feita tanto do conjunto como de cada constituinte, utilizando amostras de resíduos coletadas no aterro sanitário. O teor de umidade varia entre os constituintes e em alguns casos

¹ Iniciação científica - UFBA; e-mail: atilaeng@hotmail.com; Autor

² Iniciação científica - UFBA; e-mail: andrehari@ibest.com.br; Co-autor

³ Professor Doutor da Universidade Federal da Bahia; e-mail: smachado@ufba.br; Orientador

⁴ Professora Doutora da Universidade Católica do Salvador; e-mail: miriam@ucsal.br; Co-orientadora

⁵ Professor Mestre da Universidade Católica do Salvador; e-mail: kleber_dourado@yahoo.com.br; Co-orientador

ultrapassam 100%. A determinação da composição gravimétrica do RSU processa-se com a secagem do resíduo em estufa a uma temperatura conveniente para que se possa obter o tamanho das partículas, que vão da ordem de 101,0 a 0,075mm. Quanto à determinação dos sólidos totais voláteis – STV e o teor de lignina, são coletadas frações representativas da amostra da fração orgânica que foi previamente determinada a umidade. O processo de determinação desses dois parâmetros, STV e lignina, exige um pouco mais de cautela por utilizarem frações finas da amostra. Já a determinação do peso específico das partículas sólidas do RSU é realizada com adaptações de técnicas utilizadas em outras áreas do conhecimento. Valores de umidade, composição gravimétrica, STV, lignina e peso específico in situ foram determinados pela equipe no laboratório de Geotecnia Ambiental e comparados com outros encontrados na literatura.

2 - ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Resíduos de diferentes idades foram coletados no ATERRO METROPOLITANO CENTRO (AMC), Salvador – BA, e submetidos a ensaios de caracterização visando obtenção da composição gravimétrica, a curva do tamanho das partículas e o teor de umidade, dentre outros.

Os resíduos coletados no momento da descarga, aqui designados como resíduo novo, foram coletados e estudados em épocas diferentes. A título de entendimento e maior facilidade de análise os dados são apresentados da seguinte forma: Primeira coleta (RN06/03), Segunda coleta (RN01/04), Terceira coleta (RN09/04), Quarta coleta (RN03/05) e Quinta coleta (RN09/05). Nesta nomenclatura, RN representa resíduo novo, e os dígitos que se seguem identificam o mês e ano em que a coleta foi realizada. Os resíduos coletados diretamente do maciço, e que foram depositados no aterro em data anterior à data de coleta, são designados resíduos velhos. Foram realizadas caracterizações para resíduos com os seguintes tempos de armazenamento: 6 meses, 1 ano e 4 anos.

2.1 - Coleta de amostras de resíduo novo

Na coleta do resíduo novo foi adotada a seguinte metodologia: selecionaram-se quatro carretas provenientes da estação de transbordo de Canabrava, que recebe resíduo de boa parte da cidade de Salvador; no momento da descarga, com o auxílio de uma retro-escavadeira, coletou-se cerca de 200 litros de resíduo em cada carreta, com o auxílio de uma retro-escavadeira. Todo o resíduo foi colocado sobre uma manta plástica e procedeu-se a homogeneização e quarteamento do material. Após o quarteamento, retirou-se uma amostra representativa, que foi devidamente acondicionada em tambor metálico, sendo transportada para laboratórios, onde se processou a caracterização. A separação manual prévia dos componentes dos resíduos se deu no próprio Aterro Metropolitano Centro, no laboratório de campo. Em regime de mutirão, os diversos componentes foram separados, acondicionados adequadamente, para não alterar o teor de umidade. Em seguida, estes materiais foram conduzidos ao laboratório de Geoamb para dar continuidade ao processo de caracterização.

2.2 - Determinação do teor de umidade do resíduo novo

Devido às características particulares dos diferentes componentes presentes no resíduo, está sendo determinada tanto a umidade de cada componente, como a umidade do conjunto, tratado aqui como umidade global.

Como já mencionado, durante a coleta da amostra foi realizada no próprio aterro sanitário a separação manual dos componentes presentes no resíduo. Essa separação teve por objetivo determinar o percentual em base seca de cada componente em relação à massa total e o seu respectivo teor de umidade. Após a separação, obteve-se a massa úmida de cada componente e

então realizou-se a secagem em estufa aquecida na temperatura de 70°C, a fim de evitar a queima dos orgânicos e, conseqüentemente, variações em quantificações posteriores do teor de sólidos totais voláteis e lignina.

A tabela 1 mostra o valor médio da umidade, em base seca, de cada componente presente na amostra de resíduo novo coletado em diferentes datas. Cabe ressaltar que esta tabela não contém os dados da amostra RN06/03, visto que a umidade de cada componente começou somente a ser determinada a partir da segunda coleta. Observa-se desta tabela uma grande variabilidade no teor de umidade de cada componente. No que se refere à amostra RN09/05 têm-se os componentes vidro, borracha, metal e pedra cerâmica como aqueles que apresentaram menores valores de teor de umidade, por apresentarem capacidade de absorção de água pequena, enquanto que papel/papelão, fração pastosa e os têxteis apresentaram teor de umidade acima de 100%, em virtude da sua maior capacidade de retenção.

Tabela 1 - Teor de umidade de cada componente para o resíduo novo coletado em março e setembro de 2005 (RN03/05, RN09/05), janeiro e setembro de 2004 (RN01/04, RN09/04) em termos de base seca.

Teor de umidade – Base seca (%)					
Componentes	RSU novo (RN09/05)	RSU novo (RN03/05)	RSU novo (RN09/04)	RSU novo (RN01/04)	Média
Madeira	61,63	41,5	73,8	44,4	55,3
Pedra / cerâmica	10,66	9,4	17,8	13,0	12,7
Têxteis	123,62	119,3	100,6	121,6	116,3
Borracha	2,5	11,8	13,8	62,5	22,7
Plástico	45,22	72,6	59,6	67,5	61,2
Vidro	0,15	1,0	0,2	2,5	0,9
Metal	8,48	21,1	9,7	17,7	14,2
Papel / papelão	163,53	78,8	143,0	94,3	119,9
Fração pastosa	133,71	127,3	112,0	162,2	102,0

Comparando os teores de umidade para as quatro amostras de resíduo novo coletadas em épocas diferentes, observa-se significativa variação nos resultados obtidos. Vale ressaltar que o teor de umidade da fração pastosa nas amostras RN09/05, RN03/05 e RN09/04 (coletadas em períodos de baixa pluviosidade) apresentou uma redução significativa em comparação com o obtido para a amostra RN01/04 (coletada no período de alta pluviosidade). O teor de umidade da fração plástico praticamente não sofreu modificações nos diferentes períodos de amostragem. No entanto, o teor de umidade obtido para madeira, papel/papelão nos resíduos coletados em setembro de 2004 (RN09/04) e 2005 (RN09/05) sofreu aumento significativo quando comparado com as outras duas amostragens.

A figura 1 apresenta o teor umidade global, em base seca, para as cinco amostras de resíduo novo coletadas em épocas diferentes. Como se pode observar, as amostras apresentaram teores de umidade variáveis, sendo que a terceira, quarta e quinta amostras (RN09/04, RN03/05 e RN09/05), coletadas no início do mês de setembro de 2004, no início do mês de março de 2005 e

no mês de setembro de 2005, em períodos de baixa pluviosidade na cidade, apresentaram teores de umidade, em base seca, bastante parecidos (84,11% e 83,03% e 83,82% respectivamente). Percebe-se que as amostras coletadas em períodos de alta pluviosidade (RN06/03 e RN 01/04) apresentaram teores de umidade um pouco maiores que as amostras coletadas em períodos de baixa pluviosidade. Cabe ressaltar que janeiro de 2004 foi um período atípico na cidade com grande ocorrência de chuva.

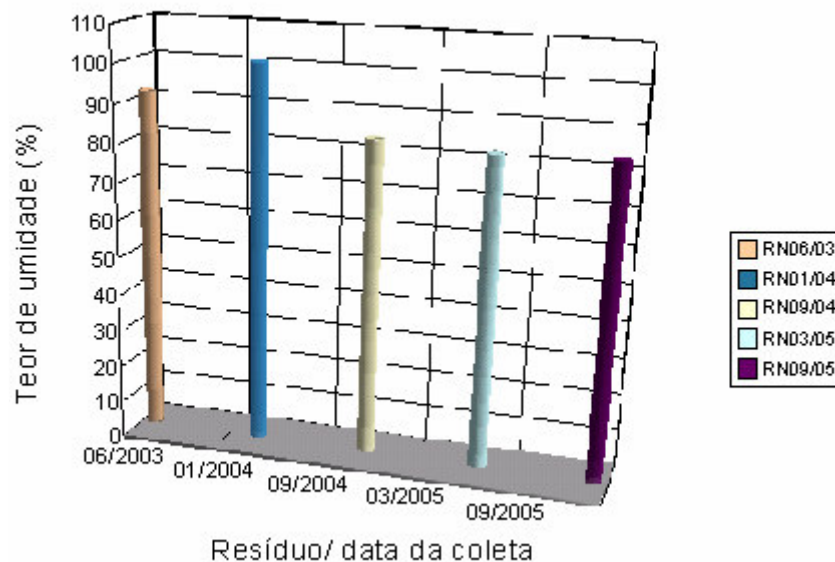


Figura 1 – Comparação do teor de umidade, em base seca, para o resíduo novo coletado em épocas diferentes.

É importante ressaltar que o teor de umidade com que o RSU chega no aterro depende da composição inicial do material e das condições climáticas locais e, após a sua disposição, esse teor de umidade passará a depender, também, do processo de operação dos aterros, da taxa de decomposição biológica, da capacidade e funcionamento dos sistemas de coleta de líquidos percolados e do sistema de *liner* de recobrimento, etc.

2.3 - Determinação da composição gravimétrica do resíduo novo

Antes da secagem do resíduo em estufa à temperatura de 70°C, procedeu-se à separação manual de cada um dos componentes do resíduo, obedecendo os seguintes grupos:

- plásticos (inclui todos os tipos de materiais plásticos, tais como, sacos de lixo, sacolinhas, embalagens, plásticos duros, etc)
- vidros (frascos e cacos de vidro)
- metais (todas as sucatas de alumínio, ferro, aço, latas, pregos, moedas e outros)
- papéis (jornal, papelão, embalagens e outros)
- borrachas (tiras de chinelo e de pneu e outros)
- têxteis (tecido, trapo e couro)
- madeiras
- pedras e cerâmica
- fração pastosa (matéria orgânica, outros materiais não possíveis de separação)

Cada grupo de componente foi pesado antes e depois de ser secado, e a partir daí foi determinado o percentual que eles representam em relação à amostra total úmida e seca. A tabela 2 apresenta uma comparação entre a composição gravimétrica em termos de base seca e base úmida para as amostras de resíduo novo coletado em épocas distintas.

Como pode ser observado para alguns componentes, os resultados em base seca se diferem bastante dos obtidos em base úmida. Isso demonstra que um cuidado especial deve ser tomado quando se compara valores de composição de resíduos de diferentes locais, visto que entre os autores ainda não há consenso quanto à utilização de dados em termos de base seca ou úmida. Acredita-se que os resultados em termos de base seca são os mais interessantes, pois os teores de umidade para os resíduos são bastante variáveis e isto acaba afetando a composição, e conseqüentemente, as análises que dependam dela.

Tabela 2 - Comparação da composição física do resíduo novo coletado em épocas diferentes em termos de base seca e base úmida.

Componentes	Porcentagem de ocorrência (%)								
	RN06/03 B. seca	RN01/04 B. seca	RN01/04 B. úmida	RN09/04 B. seca	RN09/04 B. úmida	RN03/05 B. seca	RN03/05 B. úmida	RN09/05 B. seca	RN09/05 B. úmida
Madeira	10,13	1,51	1,09	1,89	1,82	7,75	5,99	4,68	1,50
Pedra / cerâmica	22,97	6,01	3,38	14,41	9,43	6,03	3,61	16,39	9,80
Têxteis	2,65	4,28	4,72	2,25	2,51	4,03	4,83	1,59	2,34
Borracha	0,24	0,04	0,03	0,42	0,26	0,76	0,47	1,17	0,66
Plástico	14,13	25,51	21,4	24,22	22,08	27,17	26,14	23,16	20,79
Vidro	6,11	3,6	1,83	2,93	1,63	1,15	0,63	4,75	2,64
Metal	6,45	3,58	2,1	2,35	1,43	2,84	1,88	1,85	0,40
Papel / papelão	11,40	19,78	19,08	15,12	20,31	22,23	21,69	8,42	12,92
Fração pastosa	25,92	35,68	46,38	36,41	40,53	28,04	34,77	37,99	48,95

2.4 - Determinação do tamanho das partículas do resíduo novo

Após a realização da composição gravimétrica, determinou-se a curva granulométrica do resíduo seco em estufa a 70°C, através da passagem do material por uma série de peneiras pré-selecionadas (com aberturas de malhas de 101,0; 88,9; 76,2; 44,4; 31,7; 25,0; 11,2; 6,3; 4,75; 2,0; 1,4; 1,0; 0,71; 0,355; 0,25; 0,18; 0,125; 0,090 e 0,075mm) e medida direta, com a trena, dos componentes com dimensões maiores que 101,0mm. Assim, obteve-se a percentagem das partículas que passavam em cada peneira, possibilitando o traçado da curva representativa dos diâmetros dos componentes.

Apresenta-se na figura 2 a curva granulométrica obtida para o resíduo novo coletado em campanhas diferentes em conjunto com a faixa de ocorrência indicada por Jessberger (1994). Como pode ser visto, as cinco amostras apresentam curvas granulométricas dentro da faixa indicada por Jessberger (1994) e a amostra RN09/05 apresenta uma granulometria bastante parecida com a granulometria da amostra RN09/04. Salienta-se que nestas curvas o material fibroso (têxteis e plásticos moles) não foi incluído.

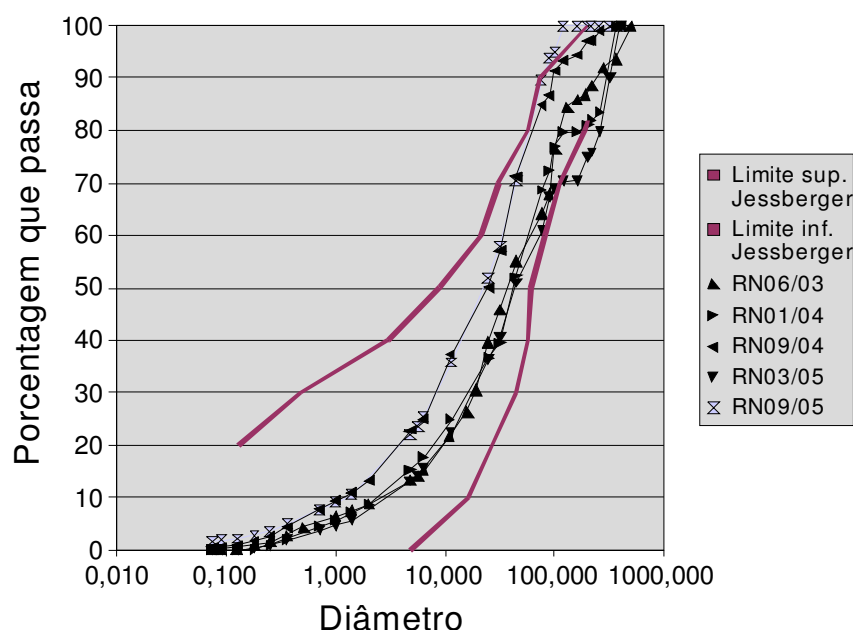


Figura 2 - Comparação entre curvas granulométricas obtidas para resíduo novo em cinco campanhas de amostragem distintas.

2.5 - Determinação dos sólidos totais voláteis

Utilizou-se a fração pastosa resultante da separação manual dos componentes dos resíduos para determinação do teor de sólidos totais voláteis - STV. Essa fração foi triturada usando um liquidificador. Pequenas porções de material triturado foram colocadas em estufa a 70°C por um período de 6 a 8 horas, até que a massa estabilizasse, e depois calcinada 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).

A tabela 3 e a figura 3 apresentam os resultados de sólidos totais voláteis e teor de matéria orgânica obtidos para a fração pastosa dos resíduos novos coletados em épocas diferentes. Os valores de STV obtidos variam entre 41 e 65%, sendo que o RN03/05 apresenta STV próximo ao RN01/04. A matéria orgânica da fração pastosa é obtida em função da sua porcentagem de ocorrência e do seu STV. Como se pode observar, apenas a amostra RN06/03 apresentou valor de matéria orgânica destoante em relação às demais; isso pode ser em decorrência da composição dessa amostra ter apresentado um percentual de pedra/cerâmica atípico ou devido a alguma incerteza nos resultados dos ensaios.

Tabela 3 - Teores de sólidos totais voláteis para os resíduos novos estudados.

Resultados	Resíduos novos em diferentes amostragens				
	RN06/03	RN01/04	RN09/04	RN03/05	RN09/05
% de Fração pastosa	25,9	35,7	36,41	28,04	37,99
STV (%)	41,30	65,54	47,43	63,37	56,70
Desvio Padrão	8,27	9,08	4,92	4,02	12,62
Coeficiente de Variação	9,00	13,86	10,37	6,35	22,26
Matéria orgânica da fração pastosa com relação ao total (base seca)	10,7	23,4	17,27	17,77	21,54

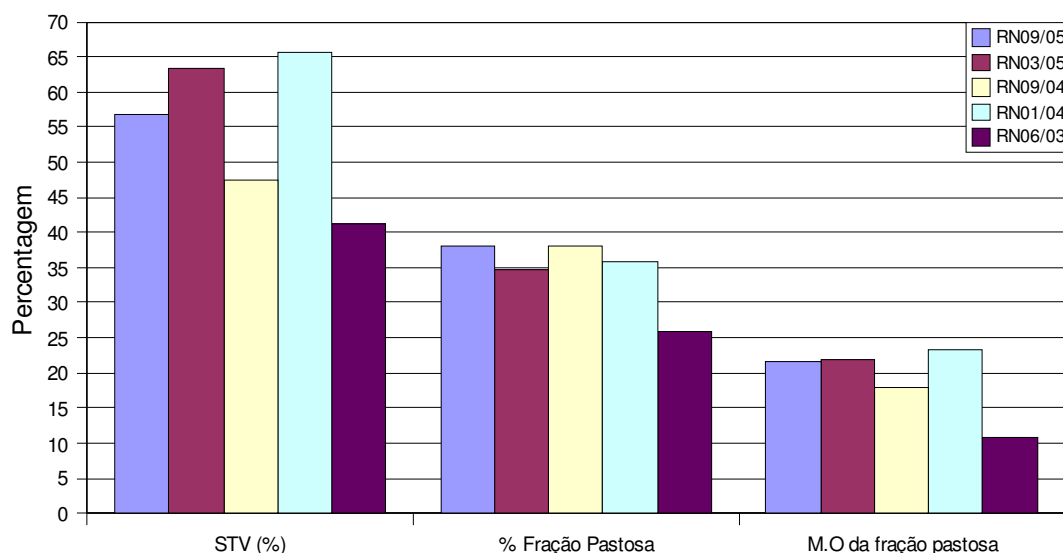


Figura 3 – Resultados de STV e percentual de matéria orgânica presente na fração pastosa para os resíduos novos.

2.6 - Determinação do teor de lignina

Por meio de análise da metodologia aplicada por Halfield *et al* (1993) para determinação do teor de lignina, o Laboratório de Geotecnia Ambiental da Universidade Federal da Bahia vem desenvolvendo uma metodologia para a obtenção do teor de lignina/celulose em amostras de resíduos sólidos urbanos (RSU).

Segundo Halfield *et al* (1993), as percentagens de ocorrência de celulose e hemicelulose podem ser estimadas quando as amostras são submetidas a dois estágios de hidrólises ácidas. Um estágio é a lavagem da amostra com solução 2:1 de tolueno + etanol a 95% para remoção dos lipídios e com ácido sulfúrico (H₂SO₄) a 72% caracterizando a hidrólise primária. A hidrólise secundária se dá pela diluição de 28 vezes da amostra.

Após a realização das hidrólises ácidas, o remanescente consiste em materiais orgânicos (sem hemicelulose ou celulose) e inorgânicos. Assim, material resultante das lixiviações é

submetido a um ensaio de STV e os voláteis calculados pelo calcinamento são considerados LIGNINA.

Foram realizados ensaios em duas amostras de RSU coletadas, uma em junho de 2003 (RN06/03) e outra de março de 2005 (RN03/05); outros ensaios estão sendo executados. A tabela 4 apresenta os resultados obtidos para o teor de lignina para algumas amostras de resíduo novo.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios de lignina em amostras de resíduo novo.

Identificação	Parâmetros (%)					
		Celulose	Lignina+Mineral	Lignina	Mineral	STV
RN 06/03	Amostra 01	43	57	14	43	57
	Amostra 02	42	58	12	46	54
	Média	42,5	57,5	13	44,5	55,5
RN 03/05	Amostra 01	56	44	14	29	71
	Amostra 02	-	-	-	-	-
	Média	56	44	14	29	71

2.7 - Peso específico dos grãos para o resíduo novo

O peso específico das partículas sólidas para o resíduo está sendo determinado adaptando as técnicas tradicionais utilizadas na mecânica dos solos (NBR 6508/84).

O material foi posto em estufa à 70°C até completa secagem e, em seguida, picado e inserido em picnômetro de peso conhecido. O conjunto (sólido + recipiente) foi pesado para obtenção da massa dos sólidos. Água destilada e deaerada foi acrescentada ao material e o conjunto foi levado para banho-maria para um pré -aquecimento e, em seguida, levado à bomba de vácuo afim de retirar o ar presente entre as partículas. Após a completa retirada do ar e estabilização da temperatura, obteve-se o peso do conjunto (pic+sólidos+água). Na tabela de calibração do picnômetro, tomou-se para a temperatura de ensaio, o peso do pic+ água. Com estes dados, pode-se calcular o peso específico das partículas sólidas, conforme especificado na NBR 6508/84.

Obteve-se para o resíduo com 4 anos de aterramento, em vários ensaios executados, um peso específico das partículas igual a 22,22kN/m³, e para o resíduo novo, o valor médio encontrado de dois ensaios executados foi de 16,50kN/m³. O valor obtido de peso específico para o resíduo novo está abaixo do esperado; isso pode ser em decorrência de estratificação da amostra durante a preparação. A amostra usada apresentou, visualmente, grande concentração de plásticos. Novos ensaios serão executados a fim de dirimir estas dúvidas. Também serão executados ensaios em amostras preparadas misturando os diferentes materiais presentes no resíduo em proporções resultantes dos ensaios de composição gravimétrica.

Para se ter uma melhor idéia de ordem de grandeza dessa variável, fez-se a média ponderada, considerando a contribuição da composição de cada componente e o peso específico médio das partículas que o compõe (Tabela 5). Nesta tabela pode se observar que o valor estimado para o resíduo novo foi de 17,0kN/m³, portanto, maior que o encontrado no ensaio. Quanto à diferença de valores entre o resíduo novo e o resíduo com 4 anos de aterrado, deve-se considerar que com o aterramento as partículas apresentam degradação, modificando sua composição, e conseqüentemente do peso específico médio delas. Cabe ressaltar que o cálculo

foi feito considerando o peso específico médio das partículas sem levar em consideração a degradação; isso justifica, conforme mostra a tabela 5, uma estimativa maior para o peso específico das partículas para o resíduo com 4 anos de aterrado em relação ao obtido no ensaio ($22,22\text{kN/m}^3$).

Tabela 2.5 – Cálculo do peso específico das partículas do resíduo sólido estudado.

Componente	Resíduo novo			Resíduo com 4 anos		
	Composição	P esp	Contribuição	Composição	P esp	Composição
	(%)	(kNm^3)		(%)	(kNm^3)	
Madeira	7,75	9	0,7	5,6	9	0,5
Pedra / cerâmica	6,03	26,5	1,6	13,4	26,5	3,55
Têxteis	4,03	9	0,36	2,5	9	0,23
Borracha	0,76	11,5	0,09	0,2	11,5	0,02
Plástico	27,17	10,5	2,85	13,8	10,5	1,45
Vidro	1,15	26,5	0,3	4,1	26,5	1,09
Metal	2,84	79	2,24	5	79	3,95
Papel / papelão	22,23	11	2,45	5,2	11	0,57
Fração pastosa	28,04	23	6,45	50,2	23	11,55
		P esp Médio	17,04		P esp Médio	22,91

3- CONCLUSÃO

Foi apresentado um resumo da metodologia que vem sendo adotada pelo Laboratório de Geotecnia Ambiental da UFBA (Geoamb) para a caracterização de resíduo sólido urbano, bem como, resultados de ensaios em amostras coletadas no Aterro Metropolitano Centro, Salvador - BA. Dentre os ensaios realizados, pode-se citar: teor de umidade, composição gravimétrica, análise granulométrica, sólidos totais voláteis e lignina, tanto para resíduos novos, quanto para resíduo com diferentes tempos de decomposição (6 meses, 1 e 4 anos). Com os resultados obtidos, verificou-se que o RSU que chega ao aterro apresenta uma considerável variação no teor de umidade (quando coletados em períodos de intensidade pluviométrica diferente), que as medidas de STV nas amostras de resíduo novo estiveram entre 41% e 65% e que há um aumento no peso específico das partículas sólidas, decorrente do processo de decomposição. Estas informações constituem uma importante contribuição para o tema, haja vista que existem os poucos dados disponíveis em literatura, principalmente para o RSU local, e estão sendo utilizadas em outros projetos de pesquisa em desenvolvimento no Geoamb (www.geoamb.eng.ufba.br), tais como, na previsão de geração de gás em aterros sanitários.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508: Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8mm - Determinação da Massa Específica. Rio de Janeiro, 1984.

Grisolia, M. e Napoleoni. (1996). Geotechnical Characterization of Municipal Solid Waste: Choice of Design Parameters. Proc. Of The Second International Congress on Environmental Geotechnics, Osaka, Japan, A.A.Balkema, v.2, p. 641-646.

HALFIELD, R.D; JUNG, H.J; RALPH, J; BUTON, D. R. (1994). A comparison of the insoluble residues produced by the klason lignin and acid detergent lignin produces. In: J. Set Food Agric, v. 65, p 51 – 58.

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

KÖNIG, D. & JESSBERGER, H.L. (1997). Waste Mechanics. In: ISSMFE Technical Committee TC5 on Environmental Geotechnics pg. 35 – 76.

LANDVA, A. O. & CLARK, J. I. (1990). Geotechnics of Waste Fill. Geotechnics of Waste Fills - Theory and Practice, ASTM STP 1070, Arvid Landva, G. David Knowles, editors, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1990, p.86-103.

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

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