

### III-123 – INFLUÊNCIA DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA NA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

**Bárbara Passos Triginelli<sup>(1)</sup>**

Estudante de graduação do curso Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Lavras (UFLA).

**André Geraldo Cornélio Ribeiro<sup>(2)</sup>**

Professor Adjunto na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutor em Geotecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

**Carson dos Santos Neves<sup>(3)</sup>**

Estudante de graduação do curso Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Lavras (UFLA).

**Rodrigo César Vasconcelos Santos<sup>(4)</sup>**

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Mestrando no Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA).

**Luiz Fernando Coutinho de Oliveira<sup>(5)</sup>**

Professor Associado na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Engenheiro Agrícola pela Escola Superior Agrícola de Lavras (ESAL). Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Comendador José Esteves, 646 - Centro -Lavras - MG - CEP: 32700-000 - Brasil - Tel: (35) 9174-5673 - e-mail: barbaratrigi@hotmail.com

#### RESUMO

O aterro sanitário é considerado uma das melhores formas de disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos, porém trata-se de uma obra de engenharia a qual necessita de parâmetros de dimensionamento bem definidos. Um deles é a condutividade hidráulica dos RSU utilizada para os cálculos de dimensionamento da rede de drenagem dos percolados. Esse parâmetro possui diversas modificações em seu valor numérico conforme as condições de disposição, composição da massa dos RSU, entre outros fatores, por se tratar de um material extremamente heterogêneo. Grande parte da massa de resíduos sólidos descartada nas cidades dos sul de Minas Gerais, bem como na maior parte dos municípios brasileiros, é composta por matéria orgânica, portanto faz-se necessário o estudo da influência desse composto na massa final dos RSU. Para isto, utilizou-se no presente trabalho de um permeâmetro de grandes dimensões e carga constante para os ensaios de condutividade hidráulica de massas de resíduos sólidos com 60% e 40% de matéria orgânica em sua massa total. A partir dos dados coletados obteve-se os valores de  $1,57 \times 10^{-4}$  m/s e  $1,94 \times 10^{-5}$  m/s para o ensaio de 60% e 40%, respectivamente. Comparando-se os valores obtidos com os encontrados na literatura, percebeu-se que os valores são coerentes por estarem dentro da faixa de valores apresentados por outros autores. Entretanto a relação quanto maior o teor de matéria orgânica menor o valor de condutividade hidráulica não foi confirmada por alguns fatores como o uso de diferentes tipos de matéria orgânica entre os ensaios, e a utilização de apenas uma categoria de plástico (plástico mole) em comparação com outros autores. Porém pode-se concluir que a composição gravimétrica é um fator de grande influência no parâmetro estudado e o permeâmetro de grandes dimensões é uma forma eficaz para valoração da condutividade hidráulica dos resíduos sólidos urbano.

**PALAVRAS-CHAVE:** Permeâmetro, Gestão de Resíduos Sólidos, Parâmetros Mecânicos.

#### INTRODUÇÃO

A problemática dos resíduos sólidos urbanos (RSU) vem recebendo destaque cada vez maior nos últimos anos principalmente devido ao crescimento urbano, que somado ao poder aquisitivo e as mudanças dos hábitos de descarte por parte da população, gera um aumento da geração de “lixo”.

Entre as formas de disposição final dos resíduos existentes no Brasil, têm-se os vazadouros a céu aberto, popularmente conhecido como “lixões”, o aterro controlado e o aterro sanitário, sendo este a melhor opção atual por tomar a maior quantidade de precauções contra a contaminação do solo, água e ar na disposição dos RSU. Segundo os dados do Panorama da Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de Minas

Gerais em 2013 realizado pela FEAM (2013), 22,81% dos municípios de Minas Gerais dispõem seus resíduos em “lixões”, 15,57% em aterros controlados, 59,14 % em aterros sanitários regularizados e 2,48% em aterros sanitários não regularizados.

O aterro sanitário é um projeto de engenharia, no qual para seu devido dimensionamento e eficiência, é necessário o conhecimento de alguns parâmetros do solo, e dos resíduos sólidos a serem depositados. Dentre esses parâmetros pode-se destacar o peso específico e a condutividade hidráulica dos RSU, sendo este último de grande importância para o bom dimensionamento dos sistemas de drenagem e tratamento de percolados e gases.

Segundo Carvalho (2006), atualmente, nos projetos de aterros sanitários são utilizados parâmetros de resíduos advindos de países Europeus e Norte Americanos. Porém, sabe-se que a massa de resíduos não é homogênea e com características fixas, sofrendo alterações conforme o clima, renda da população, hábitos culturais, entre outros fatores. Portanto faz-se necessário a determinação de parâmetros relacionados com a realidade brasileira a fim de melhorar as ações técnicas relacionadas à disposição dos RSU.

Franco (2012) destaca que a grande parte da massa de resíduos sólidos urbanos é composta por matéria orgânica, sendo esta uma característica que pode influenciar o parâmetro da condutividade hidráulica. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo analisar a influência da matéria orgânica na condutividade hidráulica dos RSU, uma vez que a composição gravimétrica dos resíduos encaminhados para os aterros sanitários varia em função da gestão de resíduos nos municípios e consequentemente dos seus componentes.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi construído um permeâmetro com 50 cm de diâmetro e 85 cm de altura, conforme Figura 1, fechado no topo e na base por tampas fixadas por meio de hastes parafusadas. Para não sofrer corrosão, todo o equipamento foi fabricado com material PVC, com exceção das hastes.

As amostras utilizadas foram compostas por quantidades pré-determinadas para cada material de acordo com o que foi relatado por Franco (2012) sobre composição gravimétrica de resíduos sólidos dos municípios do sul de Minas Gerais.

Para realização dos ensaios, deve-se proceder em sequência:

- Cálculo dos componentes a serem utilizados no experimento.
- Compactação dos RSU no permeâmetro;
- Execução e monitoramento do experimento para determinação da condutividade hidráulica dos resíduos estudados, utilizando a Lei de Darcy (equação 1).

$$Q = K \cdot i \cdot A$$

(equação. 1)

onde:

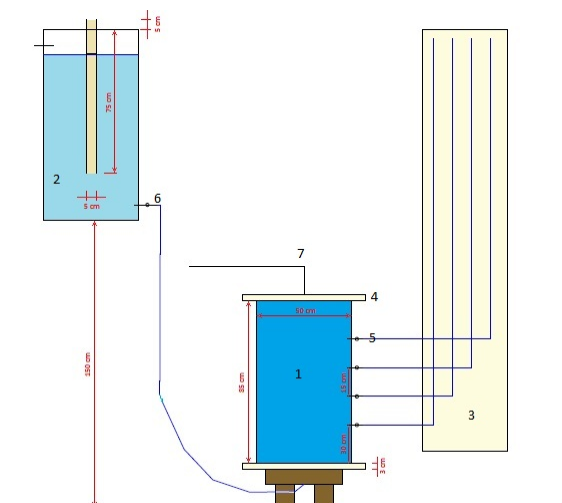
$Q = \Delta V / \Delta t$  - vazão em m<sup>3</sup>/s;

K - coeficiente de permeabilidade ou condutividade hidráulica em m/s;

A - área da seção transversal do permeâmetro (0,196 m<sup>2</sup>);

i - gradiente hidráulico em m/m.

Os gradientes hidráulicos são determinados entre os piezômetros do permeâmetro, através das leituras no painel piezométrico (Figura 2).

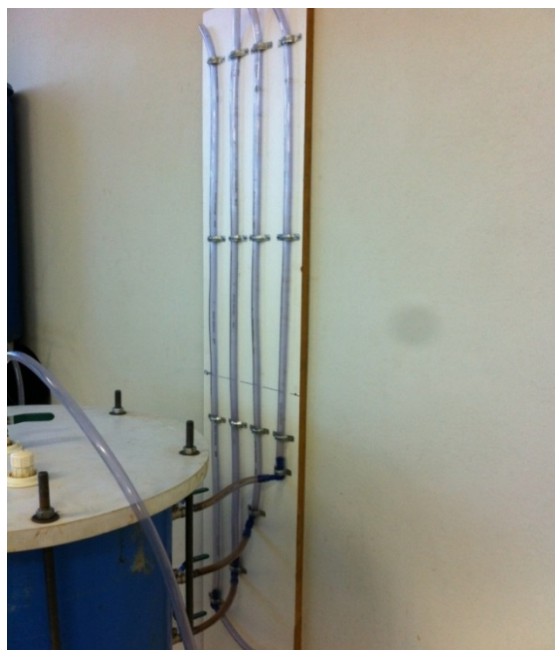


(a)



(b)

**Figura 1: Permeâmetro de carga constante (princípio de Mariote) desenvolvido em grandes dimensões. (a) Croqui esquemático do equipamento. (b) Vista geral do ensaio.**



**Figura 2: Painel Piezométrico**

A vazão de água que passa pela amostra é medida através de volume e tempo em cada leitura realizada. Para dar confiabilidade aos dados levantados, por se tratar de uma massa extremamente heterogênea, utiliza-se do critério do “Intervalo de Confiança” (equação 2), após o cálculo da média e desvio padrão do conjunto, conforme relatado por Rocha (2008).

$$IC(u) = \text{média} \pm t \times \frac{\text{desvpad}}{\sqrt{n}}$$

(equação 2)

Onde:

- n é o número de amostras;
- t é obtido pela Tabela 1 (Rocha, 2008), usando como grau de liberdade “n-1” pontos.

**Tabela 1: Valores de t em níveis de 10% a 0,1% de probabilidade - tabela bilateral (Rocha, 2008).**

Graus de liberdade	10%	5%	2%	1%	0,5%	0,1%
1	6,31	12,71	31,82	63,66	127,32	636,62
2	2,92	4,30	6,97	9,92	14,09	31,60
3	2,35	3,18	4,54	5,84	7,45	12,94
4	2,13	2,78	3,75	4,60	5,60	8,61
5	2,02	2,57	3,37	4,03	4,77	6,86
6	1,94	2,45	3,14	3,71	4,32	5,96
7	1,90	2,36	3,10	3,50	4,03	5,41
8	1,86	2,31	2,90	3,36	3,83	5,04
9	1,83	2,26	2,82	3,25	3,69	4,78
10	1,81	2,23	2,76	3,17	3,58	4,59
11	1,80	2,20	2,72	3,11	3,50	4,44
12	1,78	2,18	2,68	3,06	3,43	4,32
13	1,77	2,16	2,65	3,01	3,37	4,22
14	1,76	2,14	2,62	2,98	3,33	4,14
15	1,75	2,13	2,60	2,95	3,29	4,07
16	1,75	2,12	2,58	2,92	3,25	4,02
17	1,74	2,11	2,57	2,90	3,22	3,97
18	1,73	2,10	2,55	2,88	3,20	3,92
19	1,73	2,09	2,54	2,86	3,17	3,88
20	1,73	2,09	2,53	2,84	3,15	3,85
21	1,72	2,08	2,52	2,83	3,14	3,82
22	1,72	2,07	2,51	2,82	3,12	3,79
23	1,71	2,07	2,50	2,81	3,10	3,77
24	1,71	2,06	2,49	2,80	3,09	3,75
25	1,71	2,06	2,49	2,79	3,08	3,73
26	1,71	2,06	2,48	2,78	3,07	3,71
27	1,70	2,05	2,47	2,77	3,06	3,69
28	1,70	2,05	2,47	2,76	3,05	3,67
29	1,70	2,04	2,46	2,76	3,04	3,66
30	1,70	2,04	2,46	2,75	3,03	3,65
40	1,68	2,02	2,42	2,70	2,97	3,55
60	1,67	2,00	2,39	2,66	2,92	3,46
120	1,65	1,98	2,36	2,62	2,86	3,37
∞	1,65	1,96	2,33	2,58	2,81	3,29

O parâmetro analisado é o gradiente hidráulico, sendo “n” igual ao número de leituras realizadas. Adota-se “t” igual a 1%, significando que se tem 99% de confiança que o valor do gradiente hidráulico se encontra dentro dos limites estipulados dessa maneira.

Os valores que se apresentarem fora do intervalo de confiança são descartados e calcula-se novamente a média dos valores do gradiente hidráulico, utilizando-se apenas valores dentro do intervalo estipulado.

Após a obtenção do parâmetro utilizou-se de dados da literatura para averiguação dos resultados (Tabela 2).

**Tabela 2: Valores de condutividade hidráulica encontrados na literatura relacionados com peso específico e teor de matéria orgânica da amostra, seus autores e metodologia utilizada.**

Referência	Método	Peso Esp. (kN/m <sup>3</sup> )	% MO	K (m/s)
Azevedo et.al. (2002)	Percâmetro	11,07	---	$9,48 \times 10^{-6}$
Libânio (2003)	Permeâmetro de carga variável	6,7	49,82	$5,15 \pm 0,14 \times 10^{-6}$
Barros (2004)	Permeâmetro de grandes dimensões	7	65,8/ 49,64	$7,92 \times 10^{-6}$
Calle (2007)	Percâmetro	9,7	---	$1,57 \times 10^{-5}$
Rocha (2008)	Permeâmetro de grandes dimensões	3,47	56,84	$3,64 \times 10^{-4}$
		7		$3,34 \times 10^{-5}$
		10		$9,74 \times 10^{-6}$
Mortatti et. al. (2013)	Permeâmetro de grandes dimensões	6,2	46	$5,7 \times 10^{-5} \pm 2,4 \times 10^{-8}$
		7,1		$2,8 \times 10^{-5} \pm 6,5 \times 10^{-9}$
Mortatti (2013)		4,9	47,3	$1,6 \times 10^{-2} \pm 2,3 \times 10^{-4}$
		7,2		$4,2 \times 10^{-3} \pm 6,1 \times 10^{-4}$

A partir da Tabela 2 apresentada, verificam-se os diferentes valores de condutividade hidráulica obtidos que variam na faixa de  $10^{-2}$  a  $10^{-6}$  m/s, conforme a metodologia, o peso específico e a composição gravimétrica da amostra utilizada. Isso confirma a dificuldade de se trabalhar com um material heterogêneo como os resíduos sólidos urbanos e a necessidade de uma continua pesquisa na área.

## RESULTADOS

Foram realizados 2 ensaios com variação de teor de matéria orgânica de 60% e 40% (em peso) e com peso específico de 5 kN/m<sup>3</sup>. As Tabelas 3 e 4 a seguir apresentam a composição gravimétrica utilizada nos dois ensaios.

**Tabela 3: Composição Gravimétrica da amostra de RSU - primeiro ensaio.**

Ensaio: 60% MO, $\gamma = 5 \text{ kN/m}^3$		
Material	%	Massa (Kg)
MO	60	45,0
Plástico	8	6,0
Papel	5	3,8
Papelão	5	3,8
Metal	2	1,5
Rejeito	20	15,0
Total	100	75,1



Tabela 4: Composição Gravimétrica da amostra de RSU - segundo ensaio.

Ensaio: 40% MO, $\gamma = 5 \text{ kN/m}^3$		
Material	%	Massa (Kg)
MO	40	30,0
Plástico	12	9,0
Papel	9	6,8
Papelão	9	6,8
Metal	6	4,5
Rejeito	24	18,0
Total	100	75,1

Para o primeiro ensaio, obteve-se o valor de  $1,57 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  ou  $1,57 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$  para a condutividade hidráulica da amostra com 60% de MO.

O valor encontrado é consistente com a literatura por ser encontrar dentro da faixa descrita por diversos autores. Porém, este valor, se comparado com o encontrado por Barros (2004) (K em torno de  $10^{-6} \text{ m/s}$  para 65,8% e 49,64% de matéria orgânica) pode ser explicado pelo fato do peso específico utilizado pelo referido autor ser maior, o que leva a uma condutividade hidráulica menor já que o número de poros da amostra é reduzido com uma maior compactação da amostra.

Outro fator que pode ter levado a diferença dos valores é o tipo de matéria orgânica utilizada. No primeiro ensaio utilizou-se de material proveniente do restaurante universitário, o qual é caracterizado como uma matéria orgânica mais fluida, por se tratar apenas de restos de comida. Este material pode ser facilmente dissolvido ou arrastado pela água utilizada para os ensaios. Com isso há uma variação da composição gravimétrica da amostra e o número de poros da amostra tende a aumentar, já que grande parte de seu material orgânico foi perdido ao longo do processo de saturação. O aumento do número de poros faz com que a condutividade hidráulica aumente, sendo assim uma justificativa para o valor encontrado.

Comparando-se o valor encontrado com o observado por Rocha (K em torno de  $10^{-4}$  e  $10^{-5} \text{ m/s}$  para um peso específico de 3,47 e  $7 \text{ kN/m}^3$  respectivamente, e 56,84% de matéria orgânica) observa-se uma relação positiva, pois o valor encontrado no ensaio está dentro das faixas observadas pelo autor, apesar da diferença na porcentagem de papel/papelão e plásticos, respectivamente 6,9% e 8,7% maiores que do presente trabalho.

Para o segundo ensaio encontrou-se o valor de  $1,94 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  ou  $1,94 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$  para a condutividade hidráulica da amostra com 40% de MO.

O valor encontrado é consistente com a literatura por ser encontrar dentro da faixa descrita por diversos autores. Porém, se comparado com o valor encontrado por Mortatti (2013) (K em torno de  $10^{-2} \text{ m/s}$  com peso específico de  $4,9 \text{ kN/m}^3$  e 47,3% de matéria orgânica) percebe-se uma grande diferença. Um dos motivos que pode explicar essa discrepância é a quantidade de plástico na amostra. Conforme apresentado por Mortatti (2013) sua amostra continha 47,3% de MO (matéria orgânica e podas) e 14,8% de plástico (plástico duro, plástico mole e vidro, conforme a metodologia utilizada pelo autor). Já no presente trabalho, o segundo ensaio foi realizado com a amostra contendo 12% de plástico.

A diferença de 2,8% de plástico nas amostras pode ser considerada relevante por se tratar de um componente muito leve o que leva a ser necessário grande quantidade de material para alcançar certo peso. Quanto maior a quantidade de plástico, maior a quantidade de poros na amostra e consequentemente maior a condutividade hidráulica da mesma. Outro ponto importante é a presença de plástico duro e vidro na amostra utilizada por Mortatti (2013) o que aumenta de forma mais significativa os vazios formados pelos resíduos. Este tipo de plástico e o vidro não foram utilizados na amostra do presente trabalho.

Apesar de ambos os valores encontrados estarem em acordo com a literatura apresentada, não foi possível observar a seguinte relação: “Quanto maior a quantidade de matéria orgânica presente na amostra menor a

condutividade hidráulica” já que na amostra com 60% de MO obteve-se um valor em torno de  $10^{-4}$  m/s e na amostra com 40% de MO obteve-se um valor em torno de  $10^{-5}$  m/s.

Um dos principais motivos para tal diferença pode estar na origem da matéria orgânica. O material utilizado no segundo ensaio foi resíduo de feira livre, ou seja, matéria orgânica mais sólida e fibrosa, não sendo possível sua diminuição percentual na amostra após a saturação.

Outro ponto importante é a compactação. Mesmo esta etapa ter sido feita em camadas para maior garantia de uma amostra homogênea, após compactada não é possível garantir que não houve a formação de camadas com maior ou menor peso específico, já que se trata de uma compactação feita manualmente.

## CONCLUSÕES

A partir dos dados obtidos através dos ensaios realizados pode-se observar que o permeâmetro de grandes dimensões atingiu o seu objetivo, pois se mostrou um equipamento eficiente na obtenção de valores para a condutividade hidráulica dos resíduos sólidos urbanos. Porém, por se tratar de um equipamento de grande porte, este apresentou algumas dificuldades construtivas como, por exemplo, o alcance de uma completa vedação. Outra dificuldade encontrada foi garantir que a leitura nos piezômetros não tivesse influência de possíveis caminhos preferenciais da água, por exemplo, nas paredes do permeâmetro, o que tornaria o dado de condutividade hidráulica encontrada com baixa confiabilidade. Sendo assim, ainda são necessários alguns ajustes no mesmo para que os ensaios se tornem cada vez mais precisos e de fácil execução.

Apesar de os resultados não validarem a premissa “Quanto maior a quantidade de matéria orgânica presente na amostra menor a condutividade hidráulica”, ao qual era um resultado esperado, foi possível observar que existe sim uma relação na quantidade de matéria orgânica presente na amostra de resíduos sólidos, que em diferentes porcentagem variam o valor de condutividade hidráulica. Entretanto existem outros fatores que também devem ser relacionados para se obter valores de condutividade hidráulica dos resíduos mais próximos da realidade como, grau de compactação, grau de degradação dos resíduos, variação na porcentagem de outros componentes existentes nos resíduos, idade dos resíduos, entre outros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZEVEDO, R. F.; CARVALHO, A. R.; MARQUES, E. A. G.; AZEVEDO, I. C. D. . Propriedades Geotécnicas dos Resíduos do Aterro Sanitário de Santo André, São Paulo, Brasil. In: VIII Congresso Nacional de Geotecnia, 2002, Lisboa. Anais do VIII Congresso Nacional de Geotecnia em Portugal,, 2002. v. 4. p. 1885-1895
2. BARROS, H. L. Estudo de balanço hídrico em aterro sanitário por meio de lisímetros de grandes dimensões. Dissertação de Mestrado. Viçosa: UFV, 112p, 2004.
3. CALLE, J. A. C. Comportamento Geomecânico de Resíduos Sólidos Urbanos. Tese de doutorado. Rio de Janeiro: UFRJ, 160p, 2007.
4. CARVALHO, A. R. Desenvolvimento de um equipamento para a determinação de parâmetros geotécnicos de resíduos sólidos. Tese de doutorado. Rio de Janeiro: UFRJ, 160p, 2006.
5. FRANCO, C. S. Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares e percepção dos hábitos de descarte no sul de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Lavras: UFLA, 142p, 2012
6. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. Panorama da Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de Minas Gerais em 2013. Disponível em: <[http://www.feam.br/images/stories/minas\\_sem\\_lixoes/Publicacoes2014/relatrio%20de%20progresso%20-%20panorama%20rsu\\_2013\\_gerub.pdf](http://www.feam.br/images/stories/minas_sem_lixoes/Publicacoes2014/relatrio%20de%20progresso%20-%20panorama%20rsu_2013_gerub.pdf)> Acesso em : 02 de Maio de 2015.
7. LIBÂNIO, P. A. C., COSTA, B. M. P., CINTRA, I. S., CHERNICARO, C. A. de L. Avaliação da variação temporal da condutividade hidráulica em resíduos sólidos urbanos. In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003, Joinville/Santa Catarina. Anais... Joinville, 2003.
8. MORTATTI, B. C. Determinação da Condutividade Hidráulica e Análise Química do Lixiviado de Resíduos Sólidos Urbanos Utilizando Permeâmetros de Grandes Dimensões. Dissertação de Mestrado. Campinas: Unicamp, 110p, 2013
9. MORTATTI, B. C., MARTINS, B. C., BENATTI, J. C. B; PAIXÃO FILHO, MIGUEL, M. G., PEREIRA, S. Y. Hydraulic Conductivity of Municipal Solid Waste from Brazil. In: The 28th International

- Conference on Solid Waste Technology and Management, 2013, Philadelphia-PA. ICSW2013. Widener University: Philadelphia-PA, 2013. v. 1. p. 1087-1095
10. ROCHA, E. F. Determinação da Condutividade Hidráulica e da Capacidade de Campo de Resíduos Sólidos Urbanos. Dissertação de Mestrado. Viçosa: UFV, 88p. 2008.