

### III-141 - AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO CHUVA - VAZÃO DE LIXIVIADOS NO ATERRO SANITÁRIO DE BELO HORIZONTE

**Cícero Antonio Antunes Catapreta<sup>(1)</sup>**

Eng. Civil (PUCMG), Mestre e Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG), Professor Adjunto do Centro Universitário UNA. Engenheiro Sanitarista da Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte, MG, Brasil.

**Gustavo Ferreira Simões**

Eng. Civil (UFMG), Mestre e Doutor em Engenharia Civil (PUC-Rio). Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/DESA (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

**Mariana Gomes Cardoso de Abreu**

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária - CEFET/MG.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte – SLU/BH. Departamento de Tratamento e Disposição Final de Resíduos. Rodovia BR 040 – Km 531 – Jardim Filadélfia - Belo Horizonte – MG. Brasil - Tel: (31) 3277-9808 – e-mail: catapret@pbh.gov.br.

#### RESUMO

Os modelos matemáticos mais utilizados para a estimativa de geração de líquidos lixiviados, no Brasil, são: o Método Suíço e o Método do Balanço Hídrico. Através da aplicação do Método Suíço, este trabalho objetivou avaliar o coeficiente K, que relaciona os índices pluviométricos e a geração de líquidos lixiviados, no Aterro Sanitário de Belo Horizonte e compará-los com os resultados propostos na literatura. Os dados referentes ao aterro sanitário de Belo Horizonte foram obtidos por meio de monitoramento ambiental, que inclui, dentre outros, a medição diária das vazões dos líquidos lixiviados e de dados pluviométricos locais. Utilizando os registros de vazão e pluviometria do período de 2001 a 2017, pode-se aferir que o Método Suíço, apesar de sua simplicidade, evidenciou coerência entre os resultados médios obtidos e os sugeridos pela literatura, embora uma grande dispersão dos valores tenha sido observada. Além disso, nota-se que o efeito da precipitação na vazão dos líquidos lixiviados não é imediato, sendo necessário um tempo para que seja possível sua identificação. Este fato pode estar relacionado às dimensões do aterro em estudo e aos complexos mecanismos responsáveis pelo fluxo de líquidos no seu interior. Também, observou-se que, após o encerramento das atividades, a construção da camada de cobertura final, que minimiza a infiltração, associada ao estado de degradação dos resíduos sólidos dispostos tem implicação direta no coeficiente K, sugerindo que quanto maior a idade dos resíduos aterrados, menor será a geração de líquidos devidos aos processos de biodegradação e mais evidente será a relação da vazão com a pluviosidade local.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos Sólidos, Aterro Sanitário, Líquidos Lixiviados, Chorume, Balanço Hídrico.

#### INTRODUÇÃO

Para definição dos sistemas de coleta, remoção e tratamento de líquidos lixiviados em aterros sanitários é fundamental que se tenha conhecimento prévio dos volumes que são gerados desses líquidos. A impermeabilização de fundo e a cobertura final das células necessitam da estimativa do balanço hídrico para serem definidos e projetados. Para que seja possível avaliar a estabilidade estrutural dos aterros sanitários, é necessário que se entenda a variação de umidade no interior da massa de resíduos com o tempo, que tem importância fundamental na avaliação de propriedades geotécnicas dos mesmos e na análise dos processos de degradação dos resíduos.

O balanço hídrico em aterros sanitários consiste no levantamento de sua contabilidade hídrica, considerando-se todas as fontes de entradas e saídas de líquidos. Esses líquidos são provenientes das trocas com a atmosfera, da infiltração, do escoamento superficial, da umidade e estado de decomposição dos resíduos sólidos urbanos (RSU) aterrados. A somatória de todos os componentes do balanço resulta na estimativa do volume de líquidos retida na massa do aterro e dos volumes de líquidos gerados, o que permite prever o seu comportamento e otimizar a operação.

Usualmente são utilizados métodos empíricos para a avaliação do balanço hídrico de um aterro sanitário. Diversos modelos têm sido desenvolvidos para explicar o movimento de umidade dentro da massa de resíduos. Estes modelos podem ser enquadrados em algumas categorias: Modelos de balanço hídrico, fluxo saturado, fluxo não-saturado (uni e bi-dimensional) e modelos bioquímicos e hidrodinâmicos.

Os modelos matemáticos mais utilizados para a estimativa de geração de líquidos lixiviados são o método suíço e o método do balanço hídrico (CATAPRETA, 2008).

Dentre os modelos citados, o Método Suíço possui destaque principalmente por sua simplicidade. Este é baseado em estudos de aterros sanitários da Suíça, na qual verificou-se que existia relação entre a precipitação e a vazão de líquidos lixiviados e, dessa forma, estabeleceu-se uma sistemática empírica para a sua determinação. O Método Suíço é fundamentado na perspectiva de que uma porcentagem do volume precipitado resulta em líquidos lixiviados. Esta porcentagem é estimada em função do peso específico dos resíduos dispostos (Tabela 1) e da experiência do projetista e é denominada como coeficiente K. Portanto, o cálculo da vazão de líquidos lixiviados é dada pela Equação 1.

$$Q = \frac{P \cdot A \cdot K}{T} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

Q = Vazão média de líquidos lixiviados [ $L^3 \cdot T^{-1}$ ];

P = Precipitação média anual [L];

A = Área total do aterro [ $L^2$ ];

T = Tempo [T].

**Tabela 1 – Valores de K para aplicação no Método Suíço.**

Resíduos	Peso específico do resíduo ( $kN/m^3$ )	K
Fracamente compactados	4 a 7	0,25 a 0,50
Fortemente compactados	Acima de 7	0,15 a 0,25

Fonte: Capelo Neto *et al.* (1999).

Através da aplicação do Método Suíço, este trabalho objetiva avaliar o coeficiente K no Aterro Sanitário de Belo Horizonte e compará-los com os resultados propostos pelo modelo utilizado.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Central de Tratamento de Resíduos Sólidos da BR 040 (CTRS BR040)*

A CTRS BR 040 está localizada às margens da Rodovia BR 040, na região Noroeste de Belo Horizonte e é composta das seguintes unidades: aterro sanitário de RSU, aterro de inertes, célula hospitalar, pátio de compostagem e usina de reciclagem de entulhos, além de unidade de educação ambiental. O aterro de RSU entrou em operação em 1975 e figurou como a única área de disposição de RSU de Belo Horizonte por 32 anos, encerrando suas atividades de aterragem em 2007. Durante 14 anos funcionou como aterro controlado, passando a energético em 1989, época em que os gases gerados passaram a serem reaproveitados. Em 1995, passou-se a adotar a técnica de biorremediação como forma de tratar a massa de resíduos aterrada e em 2002 voltou a ser operado de forma convencional.

### *Vazões*

A determinação da vazão dos líquidos lixiviados foi realizada de forma sistemática, por meio de medições diárias, em vertedouro triangular e por meio de descarga livre.

### Controle Pluviométrico e Dados climatológicos

O registro das precipitações foi realizado diariamente em um pluviômetro e um pluviógrafo, instalados na área interna da CTRS BR040, assim como outros dados climatológicos de interesse para o estudo foram fornecidos por outra Estação Climatológica da Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, e envolveram: temperatura mínima, média e máxima do ar, umidade relativa do ar, direção e velocidade dos ventos, pressão atmosférica e radiação solar.

## RESULTADOS

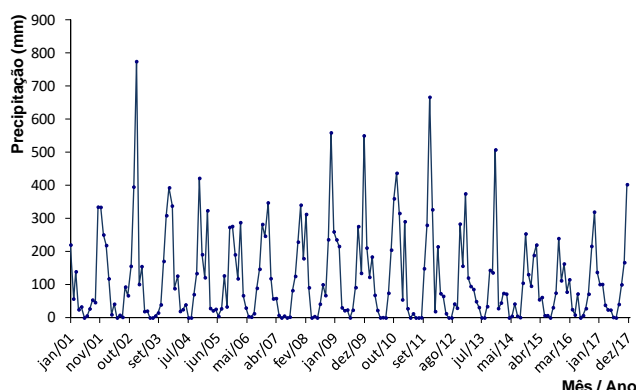
### Precipitação

A região metropolitana de Belo Horizonte, por sua localização geográfica, sofre influência de fenômenos meteorológicos de latitudes médias e tropicais que imprimem a essa localidade características de um clima de transição. Duas estações bem definidas podem ser identificadas: uma seca, durante o outono e inverno, e outra chuvosa, que se estende de outubro a março.

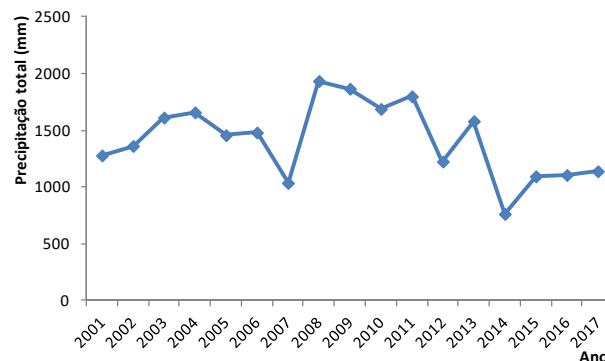
Na Tabela 2 e Figuras 1 e 2 são apresentados os dados pluviométricos observados na região do aterro sanitário de Belo Horizonte no período de 2001 a 2017. Nota-se também que em 2014 o volume de precipitações pluviométricas foi bem inferior à média observada nos anos anteriores, tendo sido verificado um volume de até 30% menor que os demais.

**Tabela 2 - Pluviometria total mensal observada no aterro sanitário de Belo Horizonte (mm) Período 2001 a 2017.**

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Total
Ano														
2001	220,5	57,2	139,6	24,8	33,2	0	6	27,3	54	46,4	335,06	334,4	106,54	1278,46
2002	250,9	218,9	118,2	9,7	41,6	0	8,1	1,9	93,4	67,2	156,1	395,7	113,48	1361,70
2003	775,1	101,2	155,3	19,3	20,6	0	0	5,9	15	39,6	171	309,2	134,35	1612,20
2004	393,4	338,4	88,6	126,5	19,7	25	39,4	0	0	70,6	134,2	422,1	138,16	1657,90
2005	191,3	121,6	324,2	28,5	21,6	26,1	4,7	27,7	127,2	33,4	273,7	276,6	121,38	1456,60
2006	190,9	118,4	288,2	67,2	29,9	4	2,4	12,7	89,6	147,2	282,7	247,1	123,36	1480,30
2007	347,9	118,8	57,5	58,6	7,5	0	5,6	0	2,4	82,6	125,7	229,3	86,33	1035,90
2008	341	179,2	313	91,2	0	4,2	0	41,6	100,3	67,6	236,5	559,7	161,19	1934,30
2009	260,3	236	216,1	30,7	22	23,9	0,2	23,4	91,7	276,2	134,9	550,6	155,50	1866,00
2010	211,3	122,9	184,2	68,4	22,7	0,2	1	0	74,7	205,1	360,3	437,4	140,68	1688,20
2011	316	54,7	291	27,9	0	12,5	0	0	0,5	148,8	280,1	667,2	149,89	1798,70
2012	327,1	19,2	215	73,3	65,4	12,8	0	0	42	29,5	283,7	156,5	102,04	1224,50
2013	375,2	120,7	95,1	86,1	49,3	31,5	0	0	34,2	143,7	136,4	508,2	131,70	1580,40
2014	28,3	45,1	74,2	72	0	5	42	5	1	105	254	131	63,55	762,60
2015	96	189	220,4	55	61,8	6,6	7	0	31	75	240	112,4	91,18	1094,20
2016	163,2	78,1	115,5	25	8,7	72,4	0	6,8	28,1	71,8	216,4	320	92,17	1106,00
2017	137,7	101	101,3	38,4	24,4	23,6	1,5	0	40,8	100,25	167,17	403	94,93	1139,12



**Figura 1 - Precipitação média mensal no período 2001 - 2017**



**Figura 2 - Precipitação anual no período 2001 - 2017**

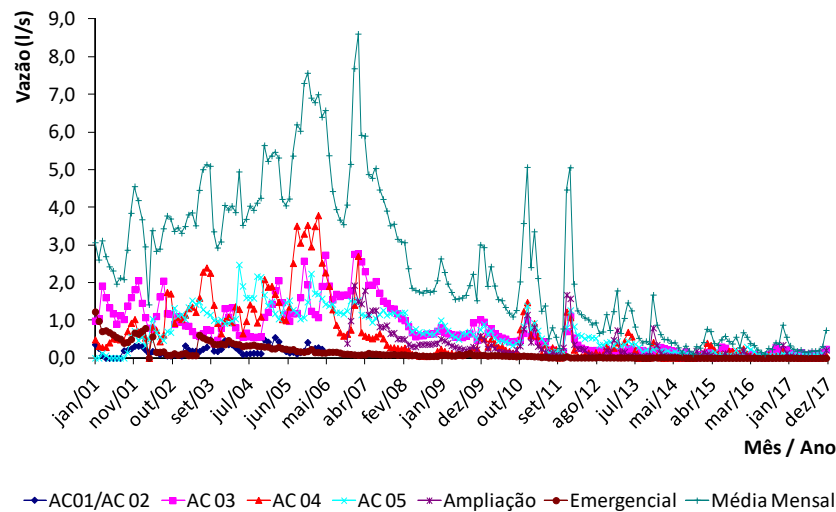
### Vazão de Líquidos Lixiviados

Na Tabela 3 é apresentada a vazão média mensal observada no aterro sanitário, enquanto que na Figura 3 podem ser observadas as variações das vazões médias mensais medidas, por célula de aterragem. O valor mais baixo observado foi de 0,11 l/s e o mais elevado 8,61 l/s, com valor médio de 2,48 l/s.

Os resultados sugerem haver relação entre o regime pluviométrico e a vazão de líquidos no período monitorado, apesar da correlação ser de apenas 22% entre os valores. Os resultados também sugerem que as vazões de líquidos lixiviados não são afetadas imediatamente pelas precipitações, levando certo tempo para que seja observada influência das chuvas sobre o volume de líquidos lixiviados produzidos. Tal fato também foi observado por Khattabi *et al* (2002), tendo esses autores atribuído o fato aos múltiplos caminhos preferenciais no aterro e/ou à baixa umidade dos resíduos. Ressalta-se que as dimensões do aterro em estudo no presente trabalho também influenciam esse intervalo de tempo entre a precipitação e a geração de líquidos lixiviados.

**Tabela 3 - Vazão média mensal observada no aterro sanitário de Belo Horizonte (l/s)**

Mês Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Total
2001	3,07	2,61	3,12	2,7	2,43	2,32	1,97	2,13	2,09	2,87	3,85	4,56	2,81	33,72
2002	4,19	3,68	2,96	1,42	3,39	2,84	2,9	3,44	3,78	3,7	3,37	3,46	3,26	39,13
2003	3,32	3,5	3,81	3,86	3,52	4,46	5,01	5,14	5,1	3,36	2,93	3,09	3,93	47,10
2004	4,06	3,94	4,04	3,87	4,95	3,53	3,69	4,04	3,93	4,12	4,25	5,65	4,17	50,07
2005	5,23	5,37	5,47	5,32	4,22	4,05	4,23	5,37	6,2	6,03	7,3	7,57	5,53	66,36
2006	6,91	6,79	7	6,4	6,58	5,38	4,43	3,95	3,67	3,55	4,07	5,15	5,32	63,88
2007	7,69	8,61	5,92	5,9	4,88	4,78	5,04	4,47	4,22	3,91	3,52	3,56	5,21	62,50
2008	3,16	3,09	3,07	2,38	1,86	1,8	1,76	1,73	1,8	1,75	1,78	2,06	2,19	26,24
2009	2,64	2,28	1,97	1,75	1,56	1,58	1,6	1,67	1,93	2,23	1,53	3,01	1,98	23,75
2010	2,94	1,91	2,43	1,92	1,56	1,53	1,35	1,2	1,1	1,27	2,03	3,58	1,90	22,82
2011	5,07	2,41	3,36	2,12	1,25	1,39	0,52	0,81	0,56	0,26	0,78	4,47	1,92	23,00
2012	5,06	1,97	1,26	1,16	1,07	1,02	0,89	0,94	0,66	0,7	1,16	0,74	1,39	16,63
2013	1,24	1,79	0,66	1,06	1,47	1,26	0,83	0,53	0,41	0,45	0,37	1,68	0,98	11,75
2014	0,88	0,63	0,5	0,49	0,4	0,41	0,28	0,14	0,32	0,19	0,11	0,31	0,39	4,66
2015	0,27	0,42	0,77	0,71	0,39	0,34	0,49	0,58	0,45	0,38	0,56	0,28	0,47	5,64
2016	0,68	0,56	0,39	0,34	0,22	0,15	0,11	0,26	0,23	0,41	0,37	0,88	0,38	4,60
2017	0,56	0,33	0,24	0,19	0,22	0,16	0,15	0,19	0,19	0,2	0,31	0,74	0,29	3,48



**Figura 3 – Vaz média mensal por célula**

### **Relação Precipitação – Vazão**

Nas Figuras 4 e 5 são apresentadas comparações entre a vazão e precipitação acumuladas. Observa-se que há uma relação entre estes parâmetros, sendo que nos períodos de maiores precipitações pode-se observar uma elevação da vazão dos líquidos lixiviados. Observa-se que até o ano de 2007, quando as operações de aterragem de resíduos foram encerradas, há uma tendência de aumento da quantidade de líquidos gerados, provavelmente em função da deposição de novas camadas de resíduos e ausência da camada de cobertura final em toda a extensão do aterro. A partir do ano de 2008, com a implantação da camada de cobertura final em toda a área do aterro, observa-se uma redução significativa das vazões de líquidos, o que evidencia a eficiência dessa camada.

Na Figura 6 são apresentados os resultados da relação precipitação mensal x vazão mensal. Com exceção de alguns valores extremos, a faixa de variação do coeficiente K encontra-se dentro da sugerida pelo método (Tabela 1).

Os resultados mostram a variabilidade deste coeficiente e ao mesmo tempo a limitação do modelo, que considera apenas uma faixa de variação de um coeficiente de infiltração de águas de chuva, que varia entre 25 e 50% da precipitação total anual, ao contrário do observado no monitoramento do Aterro Sanitário de Belo Horizonte, que demonstrou haver uma variação muito grande desse coeficiente ao longo do ano.

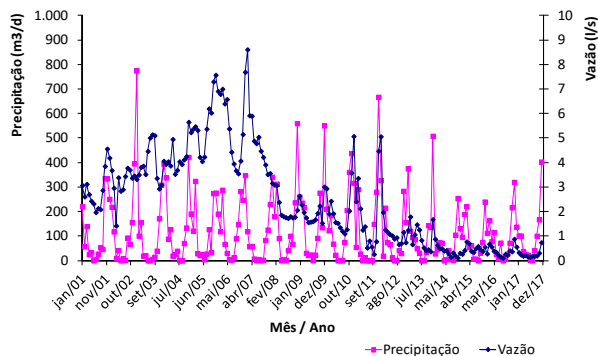
O valor mediano foi 27%, coerente com o peso específico médio obtido no Aterro Sanitário de Belo Horizonte, que é de 9,0 kN/m<sup>3</sup>, sendo o menor valor observado igual a 4% e o maior valor observado foi de 95%. Essa ampla faixa de variação demonstra que a utilização dessa relação para previsão de geração de líquidos lixiviados em aterros sanitários deve ser considerada com cautela, pois pode levar a erros que impliquem em subestimar ou superestimar a quantidade a ser gerada, que no caso de projeto pode levar ao sub ou superdimensionamento dos sistemas de drenagem e tratamento de lixiviados.

Observou-se também que nos períodos chuvosos essa relação tende a ser mais elevada em relação aos períodos secos, apesar de em alguns momentos ter-se observado valores elevados também no período seco.

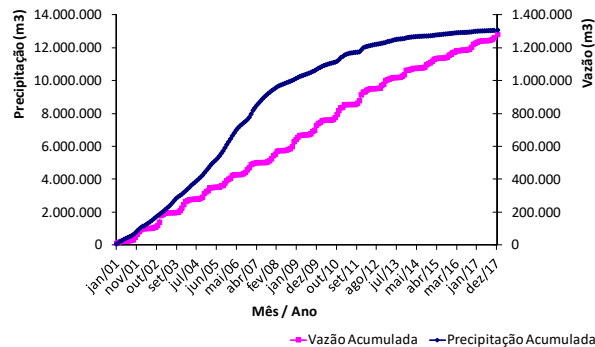
Os coeficientes que ficaram acima de 1,0 não foram considerados, já que este valor é o limite máximo que eventualmente poderia ocorrer entre a precipitação e vazão observada, segundo o Método Suíço. Para os dias em que não houve precipitação, o coeficiente K não foi determinado.

Deve-se destacar que a simples relação entre vazão e precipitação não incorpora outras variáveis que influenciam o balanço hídrico, baseando-se apenas na relação entre o peso específico dos resíduos dispostos no aterro e um coeficiente de infiltração de águas de chuva. Tem o inconveniente também de considerar a geração

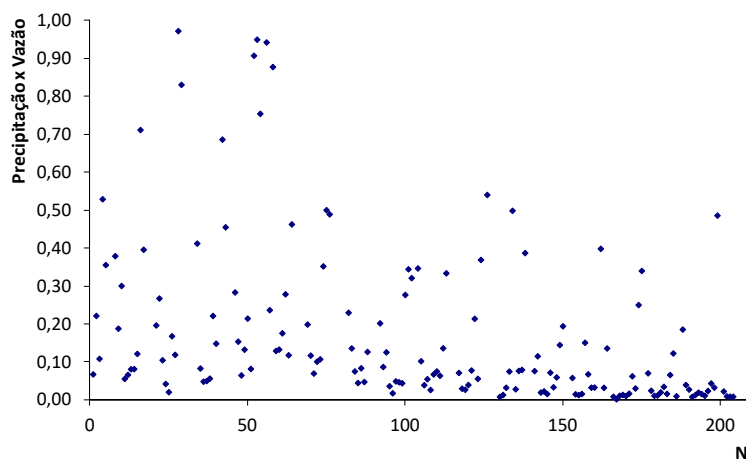
de lixiviados em períodos secos igual à das estações chuvosas. Além disso, fornece somente um valor de vazão, o qual é considerado constante ao longo da vida útil do aterro, o que, como mencionado anteriormente, pode levar ao superdimensionamento dos sistemas de coleta e tratamento de líquidos lixiviados.



**Figura 4 – Vazão mensal e precipitação mensal**



**Figura 5 – Vazão e precipitação acumulada**



**Figura 6 - Relação entre vazão e precipitação mensais (coeficiente K do Método Suíço)**

## CONCLUSÕES

Embora os resultados médios possam ser considerados coerentes com os valores sugeridos na literatura, não foi possível identificar uma relação concreta entre os volumes precipitados e as vazões de líquidos lixiviados medidas no Aterro Sanitário de Belo Horizonte. Observa-se na Figura 5 que não é possível identificar relação da variação mensal da vazão com as precipitações em praticamente todo o período do universo amostral.

A Figura 4 demonstra que, após a desativação do aterro sanitário em dez/2007 pode-se observar uma tendência de redução da relação entre a vazão dos líquidos lixiviados e a precipitação. Este fato pode ser devido a dois fatores. Pela fase de degradação da massa de resíduos, onde quanto maior a idade dos resíduos dispostos e quanto mais tempo sem a aterragem de novos resíduos, menor será a geração de líquidos relacionados aos processos de biodegradação e mais fiel à precipitação a vazão será, pois dependerá basicamente do tempo de infiltração dos fluxos hídricos. Por outro lado, deve-se considerar também que a construção da camada de cobertura final em toda a área do aterro, ocorrida após 2008, minimizou a infiltração e, consequentemente, os fluxos internos e a geração de líquidos lixiviados.

O Método Suíço é uma forma prática e simples de se estimar a geração de líquidos lixiviados, porém não incorpora outras variáveis que influenciam o balanço hídrico, baseando-se apenas na precipitação e no peso específico dos resíduos dispostos, fornecendo somente a previsão de vazões, não considerando a parcela de



líquidos retida na massa de resíduos, que tem influência nos processos de biodegradação e na estabilidade estrutural dos aterros sanitários.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores expressam seus agradecimentos à SLU-PBH (Superintendência de Limpeza Urbana da Prefeitura de Belo Horizonte) por todo o apoio a este estudo; à CAPES (Coordenação para o Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo contínuo apoio financeiro.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Capelo Neto, J.; Mota, S.; Silva, F. J. A. (1999) Geração de percolado em aterro sanitário no semi-árido nordestino: uma abordagem quantitativa. In: Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 4, n. 3, pp. 160-167.
2. CATAPRETA, C. A. A. Comportamento de um Aterro Sanitário Experimental: Avaliação da Influência do Projeto, Construção e Operação. (Tese de Doutorado). Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008