



### III-119 – AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO CHUVA – VAZÃO DE LIXIVIADOS NO ATERRO SANITÁRIO DE BELO HORIZONTE

**Cícero Antonio Antunes Catapreta**

Eng. Civil, Mestre e Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG), Engenheiro Sanitarista da Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte

**Gustavo Ferreira Simões**<sup>(1)</sup>

Eng. Civil (UFMG), Mestre e Doutor em Engenharia Civil (PUC-Rio), Professor Associado do Depto. de Engenharia de Transportes e Geotecnia da UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Escola de Engenharia da UFMG. Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia. Av. do Contorno, 842 – 6º andar – Sala 608 – Centro – Belo Horizonte – Minas Gerais – CEP: 30.110-060 – Brasil – Tel: +55 (31) 3409-1792 – Fax: +55 (31) 3409-1793 – e-mail: [gustavo@etg.ufmg.br](mailto:gustavo@etg.ufmg.br)

#### RESUMO

Os aterros sanitários quando executados de forma inadequada, podem ter o seu sistema de cobertura, final ou intermediária, comprometido e propiciar a infiltração de águas de chuva que poderão acarretar o aumento da quantidade de líquidos lixiviados gerados. Essa infiltração, se ocorrer de forma excessiva, pode levar à instabilidade geotécnica dos aterros sanitários, levando-os em casos extremos, à ruptura. Uma maneira fácil de verificar essa influência, é por meio da avaliação da relação chuva-vazão de um aterro sanitário, correspondente ao coeficiente K do Método Suíço, apesar desse método ser simples e limitado. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar a relação entre os índices pluviométricos e a geração de líquidos lixiviados no Aterro Sanitário de Belo Horizonte e compará-los com os resultados propostos pelo modelo. Os resultados indicaram uma grande variabilidade da relação entre as precipitações e as vazões do aterro sanitário, indicando que a utilização apenas de dois percentuais como indica o Método Suíço, pode levar ao super ou sub-dimensionamento dos sistemas de drenagem e tratamento de líquidos desses empreendimentos e/ou induzir a uma avaliação errônea de sua operação.

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

#### INTRODUÇÃO

O balanço hídrico é um dos principais fatores que controlam o comportamento dos aterros sanitários. Por meio de sua avaliação e monitoramento pode-se melhor compreender e estimar as taxas de geração e acumulação de líquidos lixiviados. O seu conhecimento é de extrema importância para o projeto, operação e manutenção dos aterros sanitários, pois fornece elementos para o dimensionamento dos sistemas de tratamento e drenagem de líquidos, e para a avaliação do comportamento geomecânico, principalmente no aspecto da estabilidade estrutural. Sua avaliação pode ser realizada por diversos métodos, tais como: Método Suíço, Método do Balanço Hídrico Climatológico, HELP (*Hydrologic Evaluation of Landfill Performance*), UNSAT-H (*Unsaturated Soil Water and Heat Flow Model*) e MODUELO.

Dentre esses modelos, destaca-se o Método Suíço, principalmente por sua simplicidade de aplicação, apesar de suas limitações. O método é baseado em estudos realizados em aterros sanitários na Suíça, onde a partir da verificação da relação entre precipitação pluviométrica e o escoamento de líquidos lixiviados, foi estabelecida, uma sistemática empírica para determinação da vazão de líquidos lixiviados, denominada Método Suíço (Barros, 2004).

Uma das principais limitações desse modelo, é que o mesmo não considera os efeitos da evaporação potencial, além de outros parâmetros que podem afetar o balanço hídrico de uma região. Segundo Capelo Neto *et al.* (1999), é um método bem simples, mas deixa a desejar no que diz respeito à precisão.

Neste método, segundo Barros (2004), estima-se que uma porcentagem da precipitação infiltra nos resíduos, atinge a camada de impermeabilização de base e, conseqüentemente, deve ser drenada. Esta porcentagem é, normalmente, estipulada em função do peso específico dos resíduos dispostos no aterro e da experiência do projetista. O método suíço considera como elementos principais a precipitação pluviométrica sobre a cobertura



e o peso específico inicial dos resíduos. O modelo não permite a avaliação da evolução do volume de líquidos retido na massa de resíduos, pois ao considerar que uma parcela da precipitação infiltrará e produzirá os líquidos lixiviados imediatamente, o modelo assume que os resíduos já se encontram em sua capacidade de campo, sendo esta uma condição permanente. Esta condição pode não ser válida para aterros em operação, como o analisado neste artigo. O cálculo da vazão média pode ser expresso pela Equação 1.

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

Em que: Q = Vazão média de líquidos lixiviados (l/s); P = Precipitação média anual (mm); A = Área total do aterro (hectares); t = Tempo (segundos/ano); K = Coeficiente que depende do peso específico inicial dos RSU (Tabela 1).

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

Resíduos	Peso Específico dos Resíduos (kN/m³)	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).

Esse método permite avaliar de maneira rápida e simples a influência dos métodos operacionais empregados nos aterros sanitários sobre o balanço hídrico dos mesmos, apenas por meio das vazões de líquidos observadas e das precipitações pluviométricas registradas. Desta forma, a obtenção da relação chuva-vazão em um aterro sanitário é de grande relevância e pode contribuir para a adoção de medidas mitigadoras, se necessário.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a relação entre os índices pluviométricos e a geração de líquidos lixiviados no Aterro Sanitário de Belo Horizonte e compará-los com os resultados propostos pelo modelo.

## MATERIAL E MÉTODOS

### • Central de Tratamento de Resíduos Sólidos da BR 040

A CTRRS BR 040 está localizada às margens da Rodovia BR 040, na região Noroeste de Belo Horizonte e é composta pelas 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 única área de disposição de RSU de Belo Horizonte por 32 anos, encerrando as atividades de aterragem em 2007. Durante os primeiros 14 anos de operação, o aterro 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.



**Figura 1 – Aterro Sanitário de Belo Horizonte**



- **Vazões**

A determinação da vazão dos líquidos lixiviados vem sendo realizada de forma sistemática desde o ano de 2000. As medições são diárias e o método empregado é o da descarga livre.

- **Dados Climatológicos**

O registro das precipitações vem sendo realizado diariamente em um pluviômetro e um pluviógrafo, instalados na área do aterro sanitário de Belo Horizonte, 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

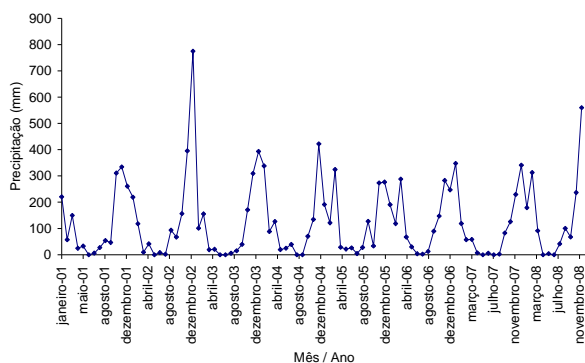
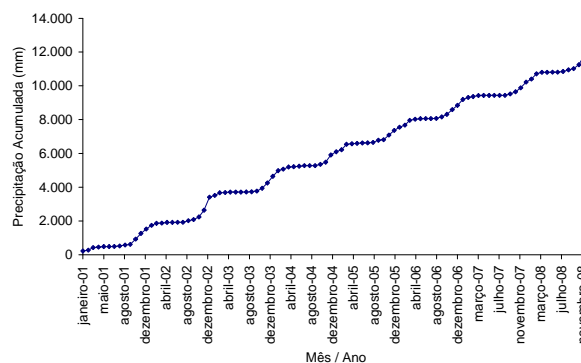
- **Precipitação**

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 2 e 3 são apresentados os dados pluviométricos observados na região do aterro sanitário de Belo Horizonte nos últimos 8 anos. Nota-se também que nos anos de 2007 e 2008 a precipitação observada foi atípica, sendo que em 2007 o volume de precipitações pluviométricas foi bem inferior à média observada nos anos anteriores, tendo sido verificado um volume aproximadamente 30% menor. Em 2008 esse volume foi igualmente cerca de 30% superior à média.

**Tabela 2** - Pluviometria total mensal acumulada observada no aterro sanitário de Belo Horizonte (mm)

Mês	Ano							
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Janeiro	220,50	260,90	775,10	393,40	191,30	190,90	347,90	341,00
Fevereiro	57,20	218,90	101,20	338,40	121,60	118,40	118,80	179,20
Março	149,60	118,20	155,30	88,60	324,20	288,20	57,50	313,00
Abril	24,80	9,70	19,30	126,50	28,50	67,20	58,60	91,20
Maiο	33,20	41,60	20,60	19,70	21,60	29,90	7,50	0,00
Junho	0,00	0,00	0,00	25,00	26,10	4,00	0,00	4,20
Julho	6,00	8,10	0,00	39,40	4,70	2,40	5,60	0,00
Agosto	27,30	1,90	5,90	0,00	27,70	12,70	0,00	41,60
Setembro	54,00	93,40	15,00	0,00	127,20	89,60	2,40	100,30
Outubro	46,40	67,20	39,60	70,60	33,40	147,20	82,60	67,60
Novembro	311,06	156,70	171,00	134,20	273,70	282,70	125,70	236,50
Dezembro	334,40	395,70	309,20	422,10	276,60	247,10	229,30	559,70
<b>Média</b>	<b>105,37</b>	<b>114,36</b>	<b>134,35</b>	<b>138,16</b>	<b>121,38</b>	<b>123,36</b>	<b>86,33</b>	<b>161,19</b>
<b>Total</b>	<b>1264,46</b>	<b>1372,30</b>	<b>1612,20</b>	<b>1657,90</b>	<b>1456,60</b>	<b>1480,30</b>	<b>1035,90</b>	<b>1934,30</b>

**Figura 2 - Precipitação média mensal no período 2001 - 2008****Figura 3 - Precipitação acumulada no período 2001 - 2008**

- **Vazão de Líquidos Lixiviados**

Na Tabela 3 é apresentada a vazão média mensal observada no aterro sanitário e na Figura 4 podem ser observadas as variações das vazões médias mensais medidas, por célula de aterragem. O valor mais baixo observado foi de 1,42 l/s e o mais elevado 8,61 l/s, com valor médio de 4,05 l/s.

Os resultados sugerem haver relação entre do 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. Catapreta & Simões (2008) avaliando os dados de precipitação e vazão de líquidos em um aterro sanitário experimental construído na mesma área do aterro sanitário de Belo Horizonte, também observaram resultados semelhantes.

Deve-se considerar também o fato de que em todo o período monitorado, o aterro sanitário de Belo Horizonte estava em operação, fazendo com que grande parte das precipitações observadas escoem superficialmente, diminuindo a infiltração. Porém, pela formulação matemática proposta no Método Suíço, todas essas variáveis já são consideradas no coeficiente K.

Outro fator que pode influenciar a relação chuva-vazão pode estar relacionado à permeabilidade das camadas de cobertura do aterro sanitário, cujos valores, no caso do aterro sanitário de Belo Horizonte onde a cobertura era realizada com resíduos de construção civil e solos diversos, apresentam valores que variam entre  $1 \times 10^{-3}$  e  $1 \times 10^{-5}$  cm/s, conforme descrito em Catapreta & Simões (2007). Essa cobertura, associada às medidas implantadas durante a operação para facilitar o escoamento superficial, contribui para a minimização da infiltração imediata de grandes quantidades de águas de chuva no maciço de resíduos.

O sistema de drenagem interno de líquidos lixiviados, a permeabilidade dos resíduos e a geometria do maciço de resíduos do aterro sanitário também devem ser consideradas, pois podem influenciar a geração, ou percolação de águas de chuva pela massa de resíduos disposta no aterro sanitário.

Em relação à permeabilidade dos resíduos compactados no aterro sanitário, a literatura indica que esta pode variar entre  $1 \times 10^{-2}$  e  $10^{-4}$  cm/s. No caso do aterro sanitário de Belo Horizonte, conforme descrito em Catapreta & Simões (2007), esta é em torno de  $1 \times 10^{-4}$  cm/s. Esta permeabilidade, apesar de ser considerada elevada, associada à existência de camadas de cobertura intermediárias, normalmente construídas de solos, podem contribuir para que ocorra uma percolação mais lenta dos líquidos no corpo do aterro sanitário, o que justificaria o intervalo de tempo entre a ocorrência de precipitações e sua influência sobre a vazão, principalmente se a infiltração ocorrer nas camadas superiores do aterro.

Em relação à geometria do aterro sanitário, como esse foi executado por camadas sobrepostas, cada uma com 5,0 m de espessura aproximadamente, e possui inclinação geral dos taludes acabados em 1 (H) : 3 (V), grande parte das precipitações que incidem sobre o maciço, tendem a escoar superficialmente, dificultando a sua infiltração.



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

Mês	Ano							
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Janeiro	3,07	4,19	3,32	4,06	5,23	6,91	7,69	3,16
Fevereiro	2,61	3,68	3,50	3,94	5,37	6,79	8,61	3,09
Março	3,12	2,96	3,81	4,04	5,47	7,00	5,92	3,07
Abril	2,70	1,42	3,86	3,87	5,32	6,40	5,90	2,38
Maio	2,43	3,39	3,52	4,95	4,22	6,58	4,88	1,86
Junho	2,32	2,84	4,46	3,53	4,05	5,38	4,78	1,80
Julho	1,97	2,90	5,01	3,69	4,23	4,43	5,04	1,76
Agosto	2,13	3,44	5,14	4,04	5,37	3,95	4,47	1,73
Setembro	2,09	3,78	5,10	3,93	6,20	3,67	4,22	1,80
Outubro	2,87	3,70	3,36	4,12	6,03	3,55	3,91	1,75
Novembro	3,85	3,37	2,93	4,25	7,30	4,07	3,52	1,78
Dezembro	4,56	3,46	3,09	5,65	7,57	5,15	3,56	2,06
<b>Média</b>	<b>2,81</b>	<b>3,26</b>	<b>3,93</b>	<b>4,17</b>	<b>5,53</b>	<b>5,32</b>	<b>5,21</b>	<b>2,19</b>
<b>Total</b>	<b>33,72</b>	<b>39,13</b>	<b>47,10</b>	<b>50,07</b>	<b>66,36</b>	<b>63,88</b>	<b>62,50</b>	<b>26,24</b>

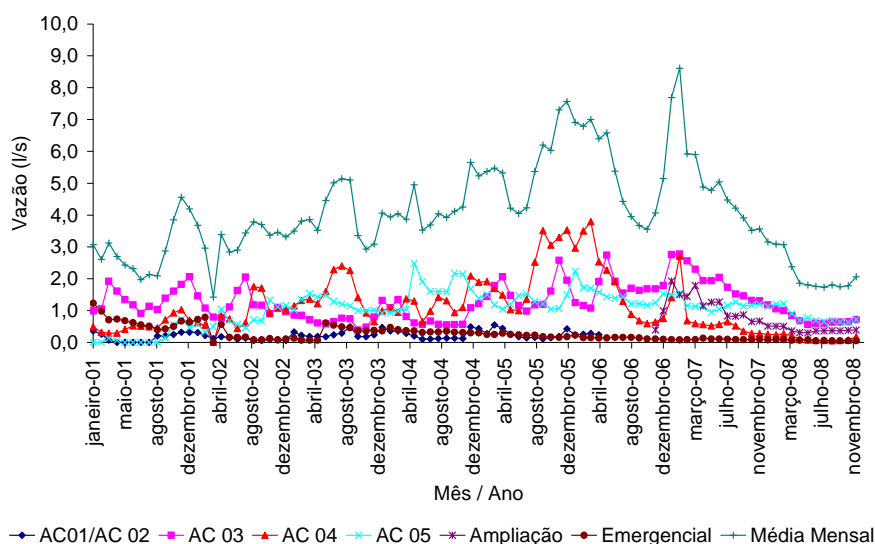
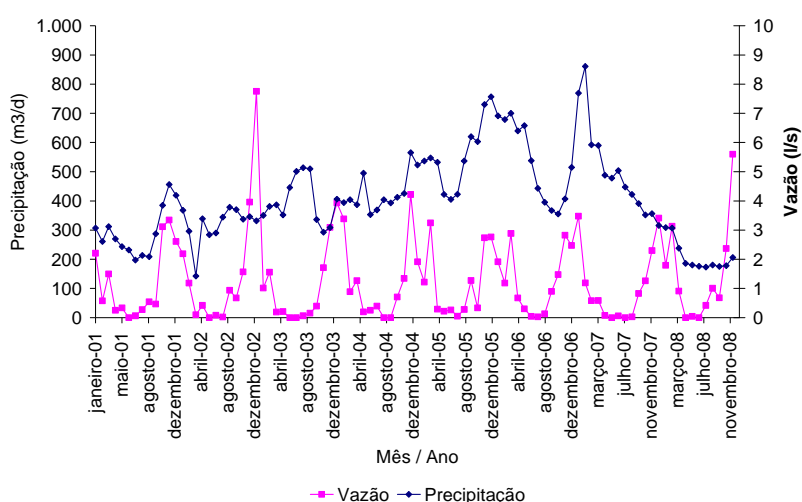


Figura 4 – Vazão média mensal por célula

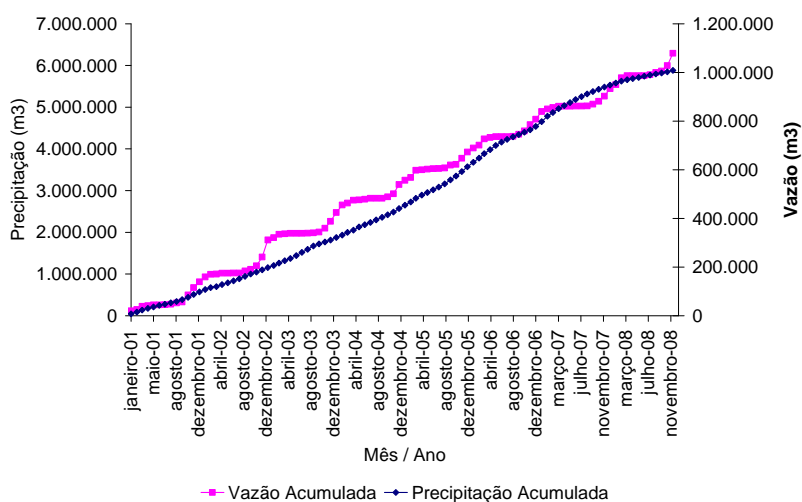
#### • Relação Precipitação – Vazão

Nas Figuras 5 e 6 é apresentada uma comparação entre a vazão e precipitação mensais e acumuladas, respectivamente. Observa-se que há uma relação entre esses dois parâmetros, principalmente quando se comparam os valores acumulados. Nos períodos de maiores precipitações é observada uma elevação da vazão de líquidos lixiviados. Concomitante a essa observação, nota-se também que ao longo do período monitorado há um aumento da quantidade de líquidos gerados, provavelmente em função da deposição de novas camadas de resíduos e conseqüente geração de líquidos.



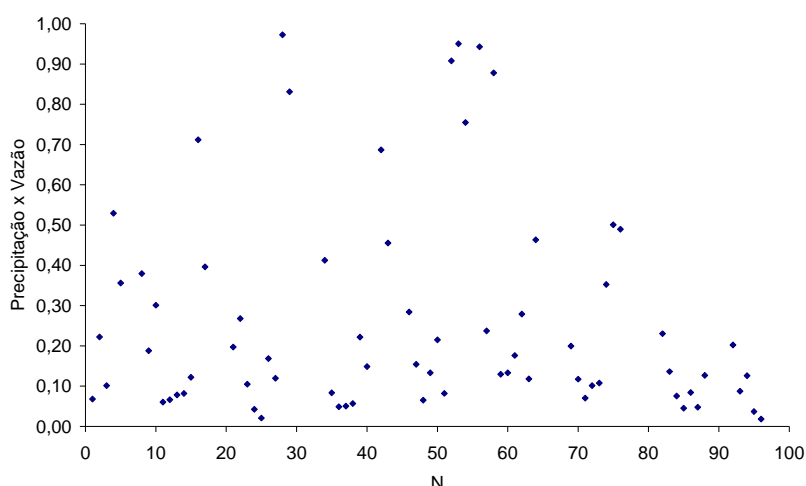


**Figura 5 – Vazão mensal vs precipitação mensal**



**Figura 6 – Vazão acumulada vs precipitação acumulada**

Na Figura 7 são apresentados os resultados da relação precipitação mensal x vazão mensal. 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.



**Figura 7 - Relação entre vazão e precipitação diárias (coeficiente K do Método Suíço)**

O valor mediano foi 26%, que pode ser considerado coerente com o sugerido na literatura para aterros com peso específico médio de  $9,0 \text{ kN/m}^3$ , observado no Aterro Sanitário de Belo Horizonte, foi superior ao observado por Catapreta & Simões (2008) para o aterro sanitário experimental de Belo Horizonte, cujo valor foi de 11%. O menor valor observado foi igual a 2% e o maior valor observado foi de 97%. 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-dimensionamento ou super-dimensionamento dos sistemas de drenagem e tratamento de lixiviados.

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

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 fornecer somente um valor de vazão, o qual é considerado constante ao longo da vida útil do aterro, podendo levar ao superdimensionamento dos sistemas de coleta e tratamento de líquidos lixiviados, assim como indica geração de lixiviados em períodos secos igual à de estações chuvosas.

## CONCLUSÕES

A análise dos resultados indicou uma grande variação da relação entre os volumes precipitados e as vazões de líquidos lixiviados medidas no Aterro Sanitário de Belo Horizonte, embora os resultados médios possam ser considerados coerentes com os valores sugeridos na literatura.

Apesar da sua simplicidade, deve-se destacar que o Método Suíço não incorpora outras variáveis que influenciam o balanço hídrico, baseando-se apenas na precipitação e no peso específico dos resíduos dispostos. Tem também o inconveniente de fornecer 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.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Barros, H. L. *Estudo de balanço hídrico em aterro sanitário por meio de lisímetros de grandes dimensões*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004, 112p.
- 2 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.



- 3 Catapreta, C. A. A., Simões, G. F. Avaliação da relação chuva-vazão de líquidos lixiviados em um aterro sanitário experimental. IN: *Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitária y Ambiental*, 31, 2008, Santiago, Chile. Anais.. Santiago: AIDIS, 2008.
- 4 Catapreta, C. A. A., Simões, G. F. Monitoramento Ambiental, Operacional e Geotécnico de Aterros Sanitários. In: *Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental*, 6, 2007, Recife/PE. Anais... São Paulo: ABMS, 2007.
- 5 Katabi, H., Aleya, L., Mania, J. (2002) Changes in the quality of landfill leachates from recent and aged municipal solid waste. In: *Waste Management & Research*, v. 20, n. 4, pp. 357 - 364.