

QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS EM VOÇOROCA OCUPADA POR RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS – UBERLÂNDIA (MG)

Leonardo Rocha

Professor do Instituto Federal do Triângulo Mineiro/IFTM
leonardorochoa@iftm.edu.br

Luiz Nishiyama

Professor Dr. do Instituto de Geografia/IG/UFU
nishi@ufu.br

Resumo

Até cerca de 20 anos atrás o panorama da disposição de resíduos sólidos urbanos em Uberlândia-MG não era diferente do restante do País. Entre 1989 e 1993 todos os resíduos sólidos urbanos, incluindo os industriais e os de serviços de saúde, produzidos na cidade foram dispostos em voçorocas na zona rural, especificamente na bacia hidrográfica do Córrego dos Macacos localizada na porção sudoeste do município. Assim, o presente trabalho objetiva avaliar os impactos remanescentes da deposição inadequada de resíduos sólidos urbanos na qualidade das águas subterrânea e superficial no entorno do sítio de disposição após quase duas décadas do encerramento. Para tanto, foram coletadas amostras de água subterrânea e superficial para determinação de dezesseis parâmetros físico-químicos e amostras de solo para caracterização física. Foram realizados ensaios granulométricos e de permeabilidade *in situ* para determinação da condutividade hidráulica do solo. As amostras de solo foram ensaiadas no Laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil da UFU e as de água foram analisadas no Laboratório de Análises Químicas do Instituto de Química da UFU. A granulometria evidenciou que o solo presente na área de disposição e também empregado para a cobertura final do aterro controlado apresenta elevado teor de areia, condição essa que favorece uma intensa percolação da água de chuva e, conseqüentemente, maior geração de chorume. O solo arenoso propicia à percolação do chorume através da base do aterro controlado e atinge a água freática. As altas concentrações de parâmetros químicos analisados nas amostras de água evidenciam contaminação.

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos. Qualidade da água. Voçoroca.

QUALITY OF SURFACE WATER AND GROUNDWATER IN A GULLY OCCUPIED BY URBAN SOLID WASTE - UBERLÂNDIA (MG)

Abstract

Since about 20 years ago the panorama of the disposition of urban solid waste in Uberlândia-MG was not different from the rest of the country. From 1989 to 1993, all the waste produced in this city were deposited into gullies in rural areas, specifically in the basin of the stream of Macacos, located southwest of the city. In this context, the objective of this study was to evaluate the consequences of this inappropriate deposition on the quality of groundwater and surface water around the old gully after almost two decades. For this reason, samples of

groundwater and surface water were collected for determination of sixteen physicochemical parameters and samples of soil were collected for physical characterization. Granulometric tests were conducted on soil samples and permeability tests in situ were realized to determine their hydraulic conductivity. The soil samples were sent to the Laboratory of Geotechnics, Department of Civil Engineering of the Uberlândia Federal University, and the water samples were analyzed in the Chemical Analysis Laboratory of the Institute of Chemistry of the UFU. The granulometric tests demonstrated that both the soil found in the area and the one used in the top cover of the landfill present high concentration of sand. This sandy soil promotes a condition that is favoring the percolation of large amounts of water and consequently higher generation of manure supported by high concentrations found in water samples, indicating contamination.

Keywords: Urban solid waste. water quality. gully.

Introdução

O atual nível de desenvolvimento econômico da humanidade caracteriza-se pela intensa exploração dos recursos naturais do planeta, com geração maciça de resíduos sólidos e de gases nocivos à saúde humana e indutor das mudanças climáticas globais. Desse modo, verifica-se, na realidade, um abismo cada vez maior entre o desenvolvimento tecnológico e a sustentabilidade ambiental. Na medida em que quanto mais rápido se dá o crescimento econômico de um país, maiores são os problemas relativos ao esgotamento dos recursos naturais e a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU). Estes resíduos vêm provocando uma série de impactos no meio ambiente, como reflexo direto das atividades antrópicas ligadas ao crescimento populacional e a intensidade da industrialização, com conseqüências danosas à sociedade como um todo.

A destinação final dos resíduos, bem como dos esgotos doméstico e industrial, são dois dos principais problemas urbanos e ambientais não resolvidos no Brasil e também na maioria dos países em desenvolvimento, assim como em parte dos países desenvolvidos. No Brasil inúmeros municípios apresentam problemas ambientais relacionados à deposição inadequada de resíduos sólidos e líquidos, tais como: contaminação das águas superficiais e subterrâneas, contaminação do solo, do ar e, conseqüentemente, de espécies animais e vegetais e, ainda, do próprio homem (ZULAUF, 1986).

Em Uberlândia-MG a destinação final dos resíduos sólidos, até o ano de 1993, não era diferente do restante do país, onde grande parte dos municípios ainda dispõe seus resíduos sólidos de forma inadequada no meio ambiente. No período compreendido entre 1989 e 1993, todo o lixo produzido na cidade e em seus distritos foi disposto no interior de duas voçorocas

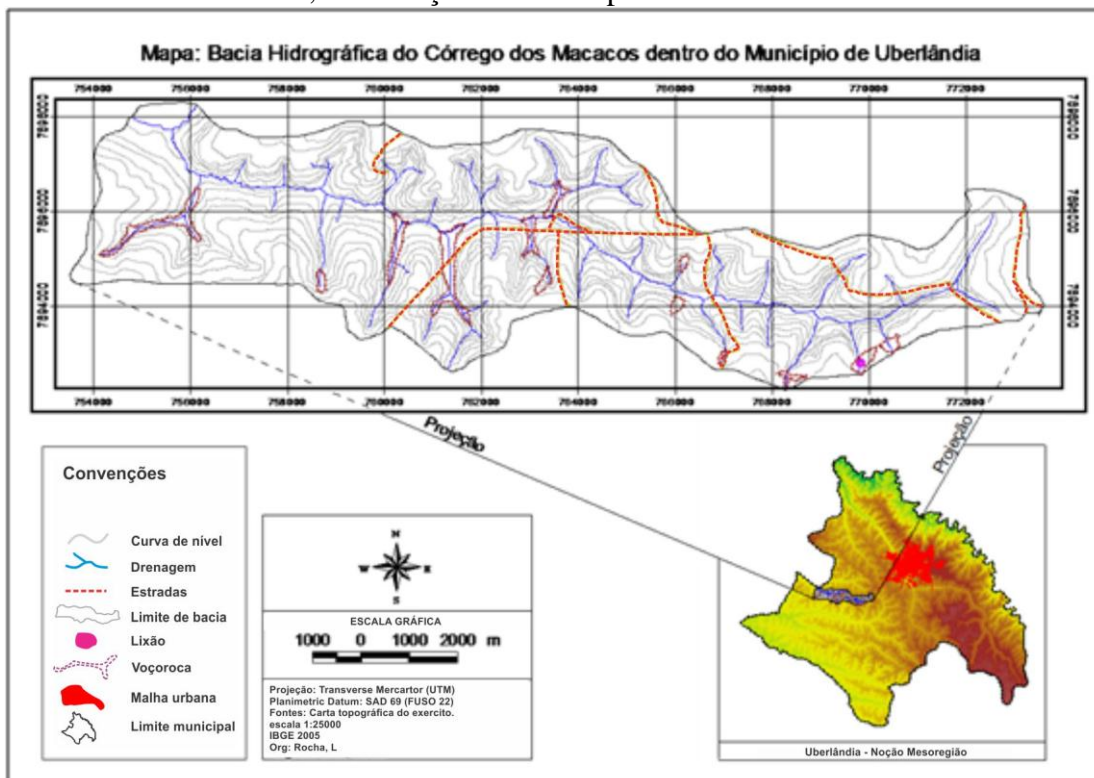
localizadas na bacia hidrográfica do córrego dos Macacos, situadas na porção sudoeste do município, com uma área total de cerca de 30 mil metros quadrados, tendo atingido sua capacidade limite já no quinto ano de operação.

Considerando isso, este trabalho teve como objetivo avaliar as conseqüências da deposição dos resíduos sólidos urbanos na qualidade da água subterrânea freática e de um córrego adjacente à área da antiga voçoroca, que contribui diretamente para a alimentação do córrego dos Macacos.

Aspéctos Físicos da Área

A área de estudo localiza-se no município de Uberlândia - oeste do estado de Minas Gerais - na Fazenda Douradinho, especificamente na bacia do córrego dos Macacos, distante cerca de 23 km da sede do município. Esta área encontra-se balizada pelas coordenadas geográficas 18°59' e 19°02' de latitude Sul, e 48°23' e 48°35' de longitude Oeste do meridiano de Greenwich (Figuras 1 e 2). A área total da bacia do córrego dos Macacos é de 6.700 ha, a qual tem como uso principal do solo as atividades ligadas à agropecuária.

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do córrego dos Macacos, onde encontra-se inserida a área estudada, em relação ao município de Uberlândia-MG.



Fonte: Carta topográfica do exército. Escala 1:25000. IBGE 2005. Organização: ROCHA, 2007.

Figura 2 - Fotografia aérea de 1979 (IBC-GERCA) evidenciando as voçorocas onde foram lançados os resíduos sólidos urbanos de Uberlândia-MG.



Fonte: IBC – GERCA, 1979.

Segundo Del Grossi (1993), o clima da região é do tipo Cwa pela classificação de Köppen, caracterizado por duas estações climáticas bem definidas: uma seca, que compreende os meses de março a outubro e, a outra, chuvosa, que compreende os meses de novembro a fevereiro.

Na área estudada, a unidade geológica presente é a Formação Marília, representada pelo Membro Serra da Galga, sobrejacentes aos basaltos da Formação Serra Geral. Apesar da ampla distribuição regional, raramente constitui afloramentos contínuos, onde seus litotipos possam ser caracterizados visualmente. Essa feição deve-se a intensa alteração intempérica e à colúviação, o que resulta no recobrimento da rocha matriz. Locais mais propícios para a visualização e descrição dos materiais sedimentares da Formação Marília são justamente os taludes de erosão, principalmente no interior de grandes voçorocas que se desenvolvem nos materiais de alteração de litologias da unidade.

Predominam entre os litotipos do Membro Serra da Galga, arenitos imaturos (elevada porcentagem de finos), localmente com concentração de minerais micáceos (muscovita). Exibem uma granulometria variável de banco para banco, desde areia fina a grossa até níveis conglomeráticos contendo seixos centimétricos esparsos numa matriz areno-argilosa. A coloração também é variável, predominando tonalidades roseo-avermelhada, marrom-

avermelhada e acinzentada. Apresenta baixo grau de cimentação em todo o pacote sedimentar, o que confere às litologias baixa resistência mecânica.

BACCARO (1.990), ao realizar a compartimentação topomorfológica e estrutura superficial regional, baseada na geologia, forma e nível de dissecação do relevo, distingue quatro grandes compartimentos na região do Triângulo Mineiro: áreas de relevo intensamente dissecado; medianamente dissecado; residual e áreas elevadas de cimeira. A área estudada situa-se no compartimento caracterizado pela autora mencionada como relevo medianamente dissecado com os topos nivelados entre 750 e 900 metros.

Segundo a Embrapa (1982), na bacia do Córrego dos Macacos estão presentes os Latossolos vermelho-amarelo, Latossolos vermelho-escuro, Litossolos e os solos Hidromórficos.

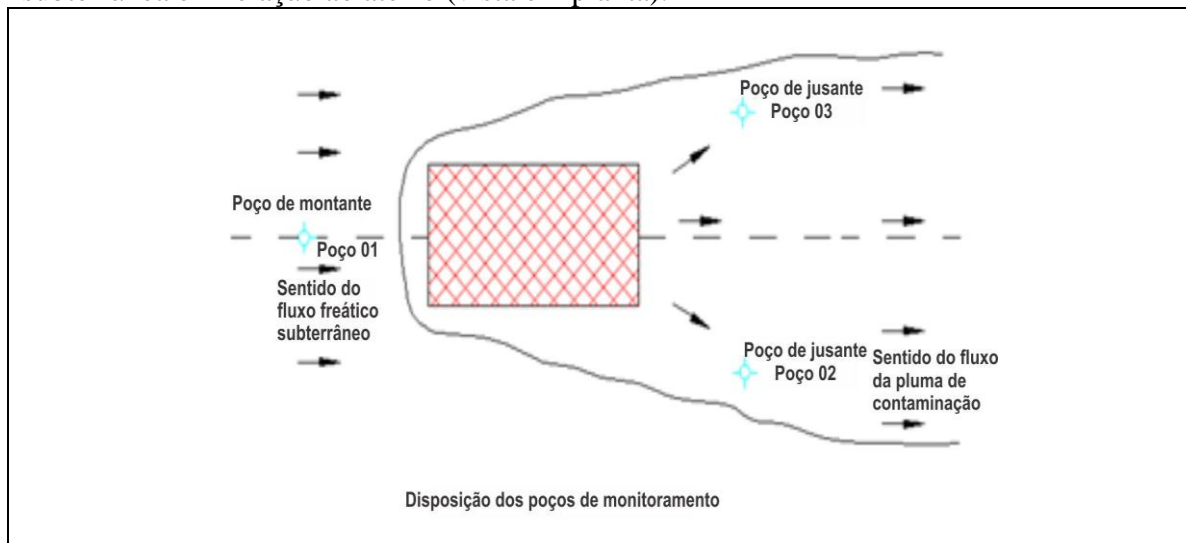
Delimitação da área do aterro

Para a delimitação da área onde foram dispostos os resíduos, foram utilizadas fotografias aéreas do ano de 1979 (Figura 2) e imagem de satélite Quickbird de 2002 (Figura 8), na escala de 1:4.000. Utilizou-se o programa ARCVIEW 9.0 para proceder à digitalização e a organização das imagens, gerando uma carta-imagem que melhor representasse a área estudada e orientasse a localização dos poços de monitoramento, dos pontos de coleta das mostras da água subterrânea, além dos pontos de coleta das amostras de solo.

Localização dos poços de amostragem de água subterrânea.

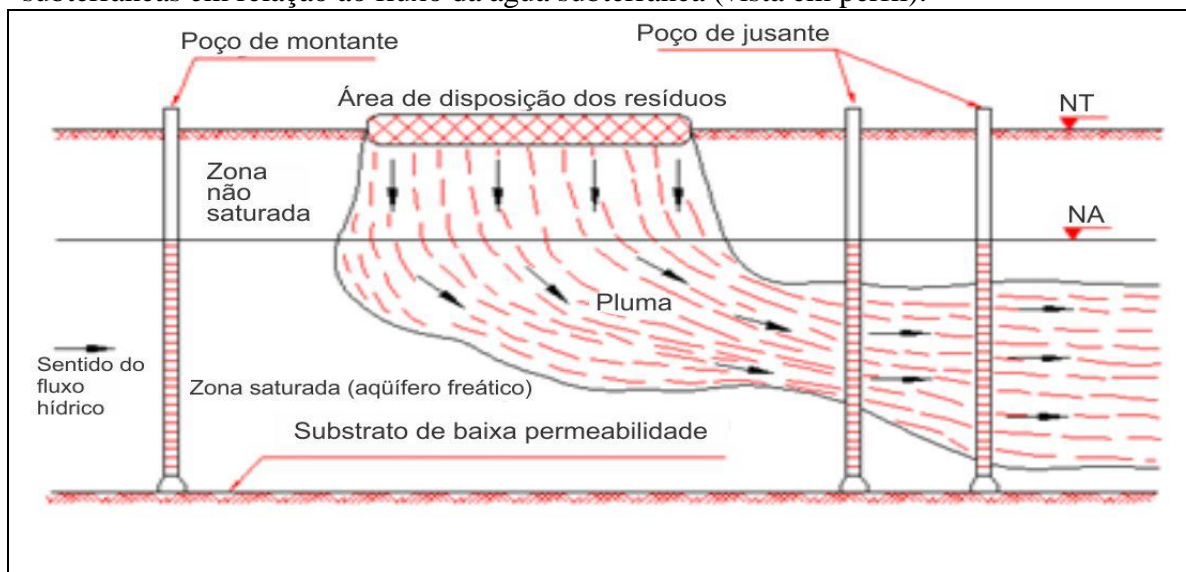
Concomitante aos levantamentos cartográficos iniciou-se os trabalhos de instalação dos poços de monitoramento de água subterrânea, de acordo com a norma NBR 15495 (ABNT, 2007). Para tanto, procurou-se definir a localização de três poços de monitoramento nos pontos mais representativos em termos de localização em relação ao aterro. Assim definiu-se um poço em posição montante e dois à jusante da área estudada. Os poços foram posicionados considerando-se a possível direção do fluxo de água subterrânea, além da topografia do terreno, conforme apresentados nas Figuras 3 e 4.

Figura 3 - Representação esquemática da localização dos poços de monitoramento de água subterrânea em relação ao aterro (vista em planta).



Organização: ROCHA, 2007.

Figura 4 - Representação esquemática da localização dos poços de monitoramento de águas subterrâneas em relação ao fluxo da água subterrânea (vista em perfil).



Organização: ROCHA, 2007.

Para a instalação do poço de monitoramento localizado a montante do aterro, utilizou-se uma perfuratriz movida a ar comprimido (Figura 5), enquanto que os poços a jusante do aterro foram perfurados com um trado “tipo helicoidal” (Figura 6).

Figura 5 - Perfuração do solo com equipamento movido a ar comprimido



Autor: ROCHA, 2007.

Figura 6 - Trado tipo helicoidal utilizado na perfuração manual



Autor: ROCHA, 2007.

O poço a montante foi perfurado até uma profundidade de 14 metros, enquanto que nos poços a jusante (1 e 2), as profundidades foram de 5 metros em função da topografia do local e da proximidade do lençol freático em relação à superfície do terreno.

Os poços de monitoramento foram revestidos com tubos de PVC perfurados em sua parte inferior para permitir a entrada de água. Estes mesmos tubos foram revestidos com manta geotextil (Bidim). No espaço anelar entre o tubo e a parede do furo foi introduzido, até cerca de um metro da superfície, brita nº 0 e areia grossa, com a finalidade de impedir o selamento da manta geotextil. A parte superior foi protegida com concreto e uma tampa de PVC para impedir qualquer tipo de interferência externa ao poço (Figura 7).

Figura 7 - Poço de Monitoramento de água subterrânea



Autor: ROCHA, 2007.

Localização dos pontos de amostragem de água superficial.

Para o monitoramento das águas superficiais foram definidos dois pontos de coleta situados no córrego adjacente ao aterro, sendo um ponto de amostragem a montante e outro a jusante em relação ao aterro.

Amostragem de água e parâmetros avaliados.

Foram realizadas coletas em dois períodos distintos do ano, sendo a primeira em setembro de 2005 (final da estação seca) e a segunda em março de 2006 (final da estação chuvosa), perfazendo um total de 10 amostras de água. Ao se definirem os referidos meses para a amostragem, procurou-se verificar a influência da sazonalidade climática sobre os parâmetros avaliados. As amostras de água, tanto dos poços quanto do córrego, foram coletadas seguindo as orientações contidas na NBR 13895 (ABNT, 1997).

Imediatamente após a coleta, as amostras foram armazenadas em caixas térmicas e, posteriormente, encaminhadas ao Laboratório de Química do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), onde foram realizadas análises para quantificação dos seguintes parâmetros: D.Q.O, D.B.O, dureza total, dureza de cálcio, fósforo, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, nitrogênio total, óleos e graxas, O.D, nitratos, pH, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos, sólidos totais dissolvidos.

Determinação do coeficiente de permeabilidade *in situ*.

A permeabilidade do solo é um atributo físico de grande importância para a engenharia, sendo necessária a sua determinação nos trabalhos com movimento d'água no solo (MARTINS et al. 2002). Vários são os atributos físicos do solo que influenciam os valores do seu coeficiente de permeabilidade, principalmente a granulometria, densidade, porosidade, macro e microporosidade (MESQUITA & MORAES, 2004). Ela pode ser definida como a maior ou menor facilidade que os solos oferecem à passagem de água (ALONSO, 1999). Segundo Neves (1987), pode-se determinar o coeficiente de permeabilidade por diferentes maneiras: fórmulas empíricas, ensaios de laboratório (com o uso de permeômetros) ou ensaios de campo.

A determinação da permeabilidade *in situ* foi realizada na profundidade de 50 cm com o auxílio do permeâmetro de Guelph, sendo baseada na suposição do regime estacionário da velocidade de infiltração básica tridimensional de um orifício cilíndrico perfurado no solo (REYNOLDS & ELRICK, 1985). Segundo Gupta *et al.* (1993), o permeâmetro funciona com o princípio de “Mariotte”, fornecendo água sob carga constante através de dois tubos concêntricos. O tubo interno “ar-inlet” provê o ar e os tubos externos servem como reservatório e de saída de água. Este equipamento é provavelmente a melhor ferramenta difundida para se determinar medidas simples e precisas de coeficientes de permeabilidade do solo.

Amostragem de solo e análise granulométrica.

A granulometria e a estrutura apresentam influência direta sobre o espaço poroso do solo, sua porosidade total e distribuição de poros, dificultando em maior ou menor intensidade o movimento da água (MESQUITA, 2001). A amostragem foi realizada em cinco pontos diferentes, sendo duas amostras da cobertura do aterro, e as demais em pontos adjacentes ao aterro. Utilizaram-se amostras deformadas e coletadas na profundidade de 0,20 m. Além destas, foram coletadas mais 13 amostras do perfil vertical (talude) de uma voçoroca adjacente a área de estudada, sendo coletada uma amostra a cada metro de profundidade.

As amostras foram encaminhadas ao laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia para a análise granulométrica.

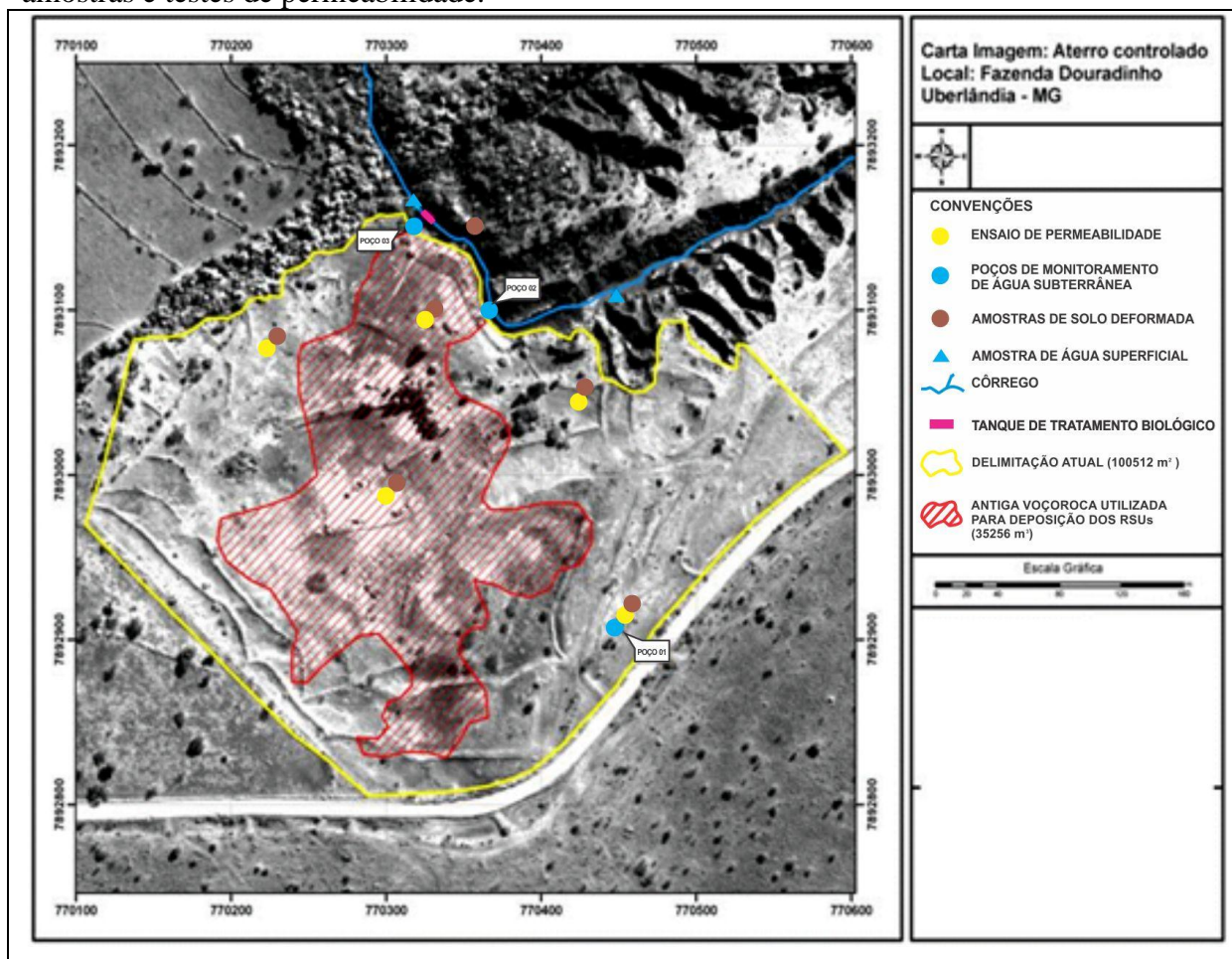
Resultados e discussões

Delimitação da área de trabalho e locação dos pontos de amostragem.

A figura 8 apresenta a delimitação da área do antigo sítio de disposição de resíduos de Uberlândia, a localização dos três poços de monitoramento da água subterrânea, pontos de coleta de água superficial, pontos onde foram realizados os ensaios de permeabilidade e coleta de amostras de solo. Pode-se visualizar na figura que a área está localizada na margem de um curso d'água, que é afluente direto do córrego dos macacos.

Com a digitalização da imagem de satélite, a área foi delimitada e os pontos de monitoramento foram definidos. A deposição dos resíduos foi feita em uma área de 35.256 m², com uma estimativa de 3.817,750 m³ de resíduos (produção acumulada).

Figura 8 - Delimitação da área do aterro e localização dos pontos de monitoramento, coleta de amostras e testes de permeabilidade.



Fonte: Quikbrid, 2002. Organização: SUPERBI, 2007.

Ensaio granulométricos

Para se obter o resultado das análises granulométricas dos solos da área estudada, utilizou-se a metodologia disponível no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997).

As frações granulométricas que compõem as amostras de solos analisados, bem como suas respectivas classificações, são apresentados nos Quadros 1 e 2. Pode-se aferir por meio da Tabela 1 que, ao longo do perfil vertical da voçoroca, houve variações significativas das frações silte e argila no perfil, com maior porcentagem de argila nas camadas superiores. Os

Qualidade das águas superficiais e subterrâneas em voçoroca ocupada por resíduos sólidos urbanos – Uberlândia (MG)

Leonardo Rocha; Luiz Nishiyama

valores encontrados permitem afirmar que existe a predominância da fração areia em relação as demais, sendo basicamente constituída de areia fina e média.

A porcentagem de areia variou entre 50% e 81%, situando-se a média em torno de 70%; a fração silte oscilou entre 4 e 20% com a média de 13%; e a fração argila entre 4 e 34%, ficando a média em 15%. Observa-se, mediante os valores encontrados, que existem níveis com maior porcentagem de argila, notadamente entre 1 e 2 metros e entre 4 e 5 metros de profundidade. Em geral, nas profundidades onde as porcentagens de argila são baixas, o silte se destaca com valores superiores.

Tabela 1 – Distribuição granulométrica e classificação textural dos solos coletados no perfil vertical da voçoroca.

Profundidade (m)	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)				Pedreg. (%)	Classificação Textural
			Fina	Média	Grossa	Total		
1	34	8	30	26	2	58	0	Areia argilosa
2	34	4	32	28	2	62	0	Areia argilosa
3	8	14	48	28	2	78	0	Areia siltosa
4	25	7	36	25	6	67	1	Areia argilosa
5	30	20	27	20	3	50	0	Areia argilo-siltosa
6	8	17	40	26	3	69	6	Areia siltosa
7	14	11	48	24	2	74	1	Areia argilo-siltosa
8	9	18	48	23	2	73	0	Areia siltosa
9	4	15	39	41	1	81	0	Areia siltosa
10	5	17	38	39	1	78	0	Areia siltosa
11	8	12	26	50	4	76	0	Areia siltosa
12	6	17	42	34	1	76	0	Areia siltosa
13	11	14	40	34	1	74	0	Areia argilosa silto

Organização: ROCHA, 2007.

Os solos coletados no perfil da voçoroca podem ser classificados, em sua maioria, como areno-siltoso, o que pode sinalizar como solos de elevados coeficientes de permeabilidade (k).

Na área do aterro controlado foram coletadas cinco amostras de solo as quais evidenciaram solos com a fração areia variando entre 59% e 79 %, com media de aproximadamente de 72 %; a fração silte oscilando entre 11% e 28% e sua média em 19%; e a fração argila de 4% e 13%, tendo como média 8%. Os valores encontrados demonstram uma distribuição granulométrica menos discrepante entre os máximos e mínimos de cada fração granulométrica (Tabela 2).

Tabela 2 – Distribuição granulométrica e classificação textural dos solos coletados na camada de cobertura do aterro.

Pontos	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)			Total %	Pedreg. (%)	Classificação Granulométrica
			Fina	Média	Grossa			
1	10	11	50	27	2	79	0	Areia argilo-siltosa
2	8	20	40	30	2	72	0	Areia siltosa
3	13	28	39	18	2	59	0	Areia argilo-siltosa
4	4	20	46	27	3	76	0	Areia siltosa
5	7	18	35	37	3	75	0	Areia siltosa

Organização: ROCHA, 2007.

Quando se comparam os resultados da granulometria da camada superior de solo da voçoroca (um metro) com a da cobertura do aterro, podem-se perceber diferenças discrepantes de valores, com maiores valores de areia e menores valores de argila para a camada de cobertura do aterro. Com estes resultados, espera-se que a dinâmica da água neste local apresente também diferenças em relação ao solo da voçoroca, uma vez que esta, dentre outros fatores, também é influenciada pela granulometria do solo.

Ensaio para obtenção do coeficiente de permeabilidade (k)

De acordo com a NBR 13.896 (ABNT, 1997), as áreas destinadas à deposição de resíduos sólidos urbanos devem possuir depósitos naturais extensos e homogêneos de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s, além de uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m. Os ensaios *in situ* evidenciaram que os solos utilizados para a cobertura final do aterro possuem elevados coeficientes de permeabilidade comparando-se com o que recomenda a NBR 13.896 (ABNT, 1997), fato que pode ser explicado pela análise granulométrica apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultado dos coeficientes de permeabilidade (K) obtido nos cinco pontos amostrados.

Pontos	Coeficiente de permeabilidade (k cm/seg)
*Ponto 1	$1,9 \times 10^{-4}$
Ponto 2	$2,1 \times 10^{-4}$
Ponto 3	$2,2 \times 10^{-4}$
*Ponto 4	$1,7 \times 10^{-4}$
Ponto 5	$3,8 \times 10^{-4}$

Organização: ROCHA, 2007.

* Ensaio realizado fora da área do aterro.

Os pontos onde foram realizados ensaios de permeabilidade apresentaram valores semelhantes de coeficiente de permeabilidade (k), apontando para coeficientes superiores ao recomendado pela NBR 13.896, embora para os pontos localizados fora da área do aterro, a permeabilidade foi ligeiramente inferior ao medido dentro da área. A média dos resultados obtidos nos ensaios também apontou para um coeficiente superior ao indicado pela NBR 13.896 ($2,2 \times 10^{-4}$ cm/seg).

Esta situação sugere que durante o período chuvoso ocorre intensa infiltração de águas pluviais através da cobertura para o interior do aterro, e que em um segundo momento estas se somem aos líquidos gerados pela decomposição da massa de lixo, percolando em direção ao lenço freático e se transformando, posteriormente, em escoamento de base, o que pode contribuir para a contaminação do córrego a jusante do aterro.

Resultado das análises de água

Nas Tabelas 4, 5, 6 e 7 são apresentados os resultados das análises da qualidade da água coletada no córrego e nos poços de monitoramento. A maioria dos parâmetros avaliados apresentou variações significativas em seus valores. Em alguns deles detectaram-se níveis de contaminação acima do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 e 420/2009.

Observando a Tabela 4, é possível inferir a influência do aterro na qualidade da água do córrego dos Macacos. Pode-se perceber, a partir dos resultados, que na amostra coletada em posição montante ao aterro os valores dos parâmetros avaliados apresentaram-se inferiores em relação à amostra do ponto de jusante. Analisando-se os valores de sólidos suspensos na estação chuvosa percebe-se que a amostra de jusante contribui com 34 mg/L a mais em relação à amostra de montante, enquanto que sua contribuição para os sólidos totais foi de 48 mg/L superior ao ponto de montante.

Quando se comparam as Tabelas 4 e 5, para estes mesmos parâmetros, verifica-se que na estação seca a contribuição do aterro para os sólidos suspensos foi de 30 mg/L e de sólidos totais de 42 mg/L, enquanto que para os sólidos totais dissolvidos esta contribuição permaneceu praticamente constante. Desta forma, pode-se inferir que, tanto na estação chuvosa assim como na estação seca, o aterro contribui com uma carga de sólidos suspensos ao córrego, sendo esta contribuição mais acentuada no período chuvoso do ano.

Outro fato relevante constatado é quando se compara o mesmo local de coleta (ponto de jusante) para as duas estações. Fazendo esta comparação, percebeu-se que no período chuvoso

existe uma contribuição de 28 mg/L de sólidos totais e 26 mg/L de sólidos em suspensão em relação ao período seco do ano. Esta situação sugere que o aterro contribui para o assoreamento do curso d'água. Todavia, na estação das chuvas também acarreta no aumento de escoamento de base ocasionado pela recarga freática e, conseqüentemente, o aumento da vazão do córrego. Desse modo, havia expectativa de que alguns dos parâmetros avaliados sofressem redução na sua concentração, fato que foi constatado para a DBO, DQO, Nitrogênio orgânico e Oxigênio dissolvido.

Observando-se os resultados da DBO e de DQO constantes nos Quadros 4 e 5, evidencia-se uma contaminação local do curso d'água quando se compara com a resolução CONAMA nº 357, sendo comprovada pelos valores relativamente elevados da DBO: 223 mg/L e 193 mg/L nas amostras do ponto de jusante, respectivamente na estação seca e na estação chuvosa.

Como era de se esperar, a partir dos valores de DBO, os resultados de DQO também evidenciaram a mesma tendência, tendo apresentado 411 mg/L e 357 mg/L, respectivamente na estação seca e na estação chuvosa. Os valores da DBO e DQO foram muito superiores aos encontrados nas amostras de água coletadas a montante do aterro, que foram respectivamente, 5,0 mg/L na estação seca e 6,3 mg/L na estação chuvosa, 8,0 mg/L na estação seca e 11,0 mg/L na estação chuvosa.

Quando se avalia o pH, as amostras apresentam-se com pequenas variações. Os resultados apontaram as seguintes condições: nas amostras coletadas a montante da área, na estação chuvosa, o pH apresentou-se na faixa de 6,73 e, á jusante do aterro, 6,26. Na estação seca, o valor para o ponto a montante foi 6,41, enquanto que para o ponto a jusante foi 5,95. Esta ligeira queda indica que, no período chuvoso, existe um carreamento mais acentuado de compostos orgânicos para este ponto, o que acaba conferindo tais características.

Qualidade das águas superficiais e subterrâneas em voçoroca ocupada por resíduos sólidos urbanos – Uberlândia (MG)

Leonardo Rocha; Luiz Nishiyama

Tabela 4 – Qualidade da água do córrego na estação chuvosa.

Parâmetros avaliados	A montante do aterro	A jusante do aterro
D.Q.O (mg/L)	11,0	357
D.B.O (mg/L)	6,3	193
Dureza total (mg/L)	6,9	2336
Dureza de cálcio (mg/L)	4,0	1881
Fósforo (mg/L)	0,03	2,5
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	0,42	16,2
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Zero	3,22
Nitrogênio total (mg/L)	0,42	19,5
Óleo e graxas (mg/L)	0,20	1,20
Oxigênio dissolvido (mg/L)	8,0	7,0
Nitratos (mg/L)	0,40	8,0
Ph	6,73	6,26
Sólidos Sedimentados (mg/L)	Inferior a 0,05	0,8
Sólidos Suspensos 105° C (mg/L)	82	116
Sólidos totais (mg/L)	102	150
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	20	34

Organização: ROCHA, 2007.

Tabela 5 – Qualidade da água do córrego na estação seca.

Parâmetros avaliados	A montante do aterro	A jusante do aterro
D.Q.O (mg/L)	8,0	411
D.B.O (mg/L)	5,0	223
Dureza total (mg/L)	4,0	2300
Dureza de cálcio (mg/L)	3,0	1780
Fósforo (mg/L)	0,03	2,0
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	0,56	11,5
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Zero	3,78
Nitrogênio total (mg/L)	0,56	15,3
Óleo e graxas (mg/L)	0,40	1,0
Oxigênio dissolvido (mg/L)	9,2	8,4
Nitratos (mg/L)	0,50	6,0
pH	6,41	5,95
Sólidos Sedimentados (mg/L)	0,05	1,0
Sólidos Suspensos 105° C (mg/L)	60	90
Sólidos totais (mg/L)	80	122
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	20	32

Organização: ROCHA, 2007.

Mediante a análise dos parâmetros apresentados na Tabela 6, é possível inferir a influência do aterro na qualidade da água subterrânea freática que, por sua vez, abastece o córrego dos Macacos e o aquífero Bauru. Nas amostras de água coletada no poço situado a montante em relação ao aterro os valores dos parâmetros analisados apresentaram-se consideravelmente menores do que nas amostras dos poços de jusante. Percebeu-se que, mesmo na estação seca, o aterro tem papel fundamental no carreamento de sólidos em

suspensão e totais. Quando se comparam as Tabelas 6 e 7, relativas aos períodos seco e chuvoso do ano, respectivamente. Levando em consideração estes parâmetro no poço 2 (jusante), verifica-se um acréscimo de 15mg/L de sólidos totais e 16 mg/L de sólidos em suspensão em relação ao poço de montante.

O aumento da concentração dos parâmetros validados nos poços situados a jusante pode estar relacionado, em parte, com a entrada de águas pluviais no sistema (aterro) mediante a infiltração da água de chuva que, como já foi caracterizado, apresenta coeficiente de permeabilidade relativamente elevado. A percolação de águas pluviais para o interior do aterro induz e acelera o processo de deslocamento dos particulados para o nível freático, contribuindo para o aumento das concentrações dos parâmetros analisados, principalmente em pontos localizados a jusante da área de disposição. Como o fluxo de águas subterrâneas tende a se deslocar para os pontos de menor declividade do terreno, isso favorece o carreamento e o aumento na concentração dos contaminantes nos pontos de monitoramento localizados a jusante do aterro, situações que podem ser evidenciadas nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 – Qualidade da água dos poços de monitoramento na estação seca.

Parâmetros avaliados	Poço a Montante	Poço a Jusante	Poço a Jusante
		1	2
D.Q.O (mg/L)	8,0	146	173
D.B.O (mg/L)	5,0	77	95
Dureza total (mg/L)	4,0	1000	760
Dureza de cálcio (mg/L)	3,0	840	620
Fósforo (mg/L)	0,05	0,10	1,50
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	0,70	1,82	1,54
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Zero	0,14	0,70
Nitrogênio total (mg/L)	0,70	1,96	2,24
Óleo e graxas (mg/L)	0,50	0,40	0,30
Oxigênio dissolvido (mg/L)	7,6	7,6	6,4
Nitratos (mg/L)	0,40	0,80	0,80
pH	7,16	5,85	5,93
Sólidos Sedimentados (mg/L)	Inferior a 0,05	Inferior a 0,05	Inferior a 0,05
Sólidos Suspensos 105° C (mg/L)	60	60	65
Sólidos totais (mg/L)	68	72	80
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	8,0	12	15

Organização: ROCHA, 2007.

Qualidade das águas superficiais e subterrâneas em voçoroca ocupada por resíduos sólidos urbanos – Uberlândia (MG)

Leonardo Rocha; Luiz Nishiyama

Tabela 7 – Qualidade da água dos poços de monitoramento na estação chuvosa.

Parâmetros avaliados	Poço a Montante	Poço a Jusante	Poço a Jusante
		1	2
D.Q.O 5(mg/L)	15,0	154	232
D.B.O (mg/L)	8,1	780	124
Dureza total (mg/L)	4,0	1036	824
Dureza de cálcio (mg/L)	3,0	871	685
Fósforo (mg/L)	0,03	0,12	1,5
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	1,54	2,66	2,38
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Zero	0,21	1,12
Nitrogênio total (mg/L)	1,54	2,87	3,50
Óleo e graxas (mg/L)	0,10	0,60	0,80
Oxigênio dissolvido (mg/L)	8,6	8,2	8,0
Nitratos (mg/L)	0,50	0,60	1,0
Ph	7,31	6,15	6,18
Sólidos Sedimentados (mg/L)	0,1	0,05	0,1
Sólidos Suspensos 105° C (mg/L)	44	56	80
Sólidos totais (mg/L)	60	80	96
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	16	24	16

Organização: ROCHA, 2007.

Embora no período seco a incidência de águas pluviais seja menor, as concentrações nos parâmetros analisados permaneceram relativamente elevadas se comparado ao poço de monitoramento de montante. Este fato pode estar relacionado, principalmente, ao carreamento dos contaminantes via deslocamento do fluxo subterrâneo.

As amostras de águas coletadas no córrego, independentemente do período analisado, também apresentaram valores relativamente elevados dos parâmetros analisados, condição que pode ser atribuída à contaminação da água freática.

Em uma análise mais detalhada, observou-se que as amostras coletadas no poço à montante, apesar de estar teoricamente fora da área de abrangência do aterro, também apresentaram valores da DBO e DQO acima do esperado para uma condição natural: 5,0 mg/L de DBO no período seco e 8,1 mg/L na estação chuvosa. A DQO apresentou 8,0 mg/L na estação seca e 15,0 mg/L na estação chuvosa. Já os poços à jusante foram os que apresentaram maiores aumentos da DBO e DQO. Tomando-se por base o poço nº 1, os valores da DBO encontrados foram de 77 mg/L na estação seca e 80 mg/L na estação chuvosa. Resultados da DQO foram de 146 mg/L na estação seca e 154 mg/L na estação chuvosa.

Dentre os dois poços de monitoramento de jusante, o que apresentou maior nível de contaminação foi o poço 2, com os seguintes valores: DBO - 95 mg/L na estação seca e 124 mg/L na estação chuvosa; DQO - 173 mg/L na estação seca e 232 mg/L na estação chuvosa.

Os elevados valores para esse poço estão relacionados, sobretudo, com o fluxo das águas que escoam em seu sentido. Esse aumento significativo nos valores da DBO e DQO, de montante para jusante, deve-se ao fluxo subterrâneo contaminado pelo chorume e, este por sua vez, incide sobre as águas superficiais via escoamento de base.

Os valores obtidos para estes parâmetros foram superiores ao estabelecido na Resolução CONAMA 420/2009.

O pH também é um parâmetro que fornece dados relativos às condições ambientais de um dado corpo hídrico, uma vez que as características relativas à acidez, à neutralidade ou à alcalinidade da água fornecem subsídios para a interpretação da qualidade ambiental dos recursos hídricos analisados. Assim, o impacto produzido pelo chorume sobre os recursos hídricos está diretamente relacionado com a fase de decomposição de resíduos. O chorume de aterros novos, quando recebe quantidades significativas de águas pluviais, é caracterizado por pH ácido; no entanto, apesar do aterro ter aproximadamente 17 anos, as características de seu potencial hidrogeniônico ainda remetem ao ambiente em processo de oxidação da matéria orgânica presente na massa de lixo, o que vem favorecendo a contaminação por esses compostos indicado pelo baixo valor do pH encontrado em grande parte das amostras de água analisadas durante a estação seca.

O único poço de monitoramento que se manteve próximo ao pH neutro foi o poço de montante. Neste, o pH apresentou-se na faixa de 7,16 na estação seca e 7,31 na estação chuvosa. Esta condição de pH pode estar associada a inúmeros fatores, entre os quais a possibilidade do poço ter sido instalado no limite da pluma de contaminação, o que poderia explicar as baixas concentrações de compostos orgânicos, ou então, devido a uma maior dispersão destes compostos.

Poços de jusante 1 e 2 apresentaram, respectivamente, pH de 5,85 e 5,93 na estação seca, o que indica condições ácidas. Enquanto na estação chuvosa observa-se um aumento significativo nos valores, sendo de 6,15 para o poço 1 e de 6,18 para o poço 2. Este aumento do pH leva a supor que, durante a estação chuvosa ocorre uma maior diluição dos compostos orgânicos em função da percolação de águas pluviais no aterro e conseqüente elevação do nível freático.

Outro parâmetro que apresentou índices elevados foi a dureza de cálcio. Embora a dureza de cálcio possa estar relacionada à dissolução de minerais carbonáticos, relaciona-se também a despejos industriais e entulhos da construção civil, uma vez que grande parte destes resíduos apresenta, em seus constituintes, produtos processados a partir do calcário, como

cimento, cal dentre outros (VON SPERLING, 1996). Ainda segundo o mesmo autor, esse parâmetro pode ser indicativo de contaminação causada por ações antrópicas.

Do período seco à estação chuvosa, observou-se uma pequena variação na concentração da dureza de cálcio nas amostras de água coletadas no córrego em posição montante ao aterro (1,0 mg/L) nos dois períodos do ano. No entanto, foram nas amostras de água provenientes do ponto de monitoramento de jusante foram observadas as maiores concentrações, da ordem de 1780 mg/L para a estação seca e 1881 mg/L para a estação chuvosa, o que denota um aumento de 101,0 mg/L de um período para outro, comprovando que a contaminação dos mananciais esta intimamente relacionada à disposição dos resíduos sólidos.

Nos poços de monitoramento de águas subterrâneas, foram observados os seguintes valores de dureza de cálcio: 3,0 mg/L no poço de montante, independente do período analisado; para o poço 1 situado a jusante 840 mg/L na estação seca e 781 mg/L na estação chuvosa; para poço 2 os valores foram de 760 mg/L na estação seca e 824 mg/L na estação chuvosa.

Conclusão

As variações observadas nos parâmetros analisados nas amostras de água coletadas nos pontos de referência situados a montante do aterro e nos pontos de jusante, tanto no córrego quanto nos poços evidenciaram que a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, mesmo decorridos 17 anos após o encerramento das operações de disposição de resíduos sólidos no local, ainda continua a ocorrer. Os resultados das análises também permitem afirmar que, mesmo em regiões de clima tropical, o processo de degradação de resíduos orgânicos pode perdurar por, pelo menos duas décadas em lixões ou vazadouros, aterros controlados e aterros sanitários.

O estudo realizado não abrangeu todo o espectro que envolve a contaminação do solo e das águas. Dentre os parâmetros de grande importância, em função de seu efeito cumulativo na cadeia trófica, estão os metais inorgânicos. Embora a pesquisa tenha evidenciado que duas décadas podem ser insuficientes para a degradação de resíduos orgânicos, os metais inorgânicos podem ser liberados pelos resíduos ali dispostos por um tempo muito maior.

Dessa forma, a pesquisa realizada enseja estudos mais aprofundados em áreas de lixões transformados em aterros controlados e, igualmente em aterros sanitários desativados, no sentido de se conhecer a extensão e a severidade da contaminação. Quando ultrapassado os

limites admissíveis estabelecidos na Resolução CONAMA 420/2009, medidas corretivas e ou atenuadoras necessitam ser adotadas.

Infelizmente, na maioria dos casos, quando encerradas as atividades de disposição de resíduos, também são encerrados os trabalhos de monitoramento da qualidade das águas, dos biogases gerados, da estabilidade do maciço de resíduos, da integridade da camada de cobertura, do controle de vetores de doenças infecto-contagiosas, de animais peçonhentos e da ocupação humana para fins residenciais.

Referências:

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13895. Construção de poços de monitoramento e amostragem. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13896. Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projetos, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997. Acesso em: 19 de Outubro de 2005.

ALONSO, U. R. **Rebaixamento temporário de aquíferos**. São Paulo: TECNOGEO/GEOFIX, 1999. 131 p.

BACCARO, C. Unidades Geomorfológicas do Triângulo Mineiro. **Revista Sociedade & Natureza**. Uberlândia, 3 (5 e 6): 37-42, dezembro 1991.

DEL GROSSI, Suely R. A dinâmica climática atual de Uberlândia e suas implicações geomorfológicas. Uberlândia. **Sociedade e Natureza**. 5 (9 e 10): 115-120, janeiro/dezembro 1993.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de Métodos de Análise de Solo, Rio de Janeiro 1997.

GUPTA, R.K.; RUDRA, R.P.; DICKINSON, W.T.; PATINI, N.K.; WALL, G.J. Comparison of saturated hydraulic conductivity measured by various field methods. Transaction of the ASAE, St. **Joseph**, v.28, n.5, p. 1901-1908, Sept/Oct. 1985.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Avaliação de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Revista Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 32-41, 2002.

MESQUITA, M. G. B. F. **Caracterização estatística da condutividade hidráulica saturada do solo**. 2001. 110 f. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 963-969, maio/jun. 2004.

NEVES, M. **Estudo da permeabilidade do solo colapsível da região de São Carlos.** 1987. 138 f. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

RESOLUÇÃO CONAMA 357. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>

REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E. In situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the α parameter using the Guelph permeameter. **Soil Science, Baltimore**, v.140, n.4, p.292-302, Oct. 1985.

RODRIGUES, L. **Aplicação da técnica de avaliação de terrenos na bacia do córrego dos Macacos**, Uberlândia (MG), com ênfase em erosão dos solos. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2002. (Dissertação de Mestrado).

VON SPERLING, M. **Introdução á qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Departamento de engenharia sanitária e ambiental – DESA. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

ZULAUF, W, E. **Brasil Pensa: o Lixo Urbano.** São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 1986. (Fita VHS).