

## **Espacialização dos topos de Belo Horizonte-MG passíveis de implementação de ações indutoras de infiltração**

Miguel Fernandes Felipe – mestrando em Geografia e Análise Ambiental, IGC/UFMG; felippegeo@yahoo.com.br

Antônio Pereira Magalhães Jr. – Departamento de Geografia, IGC/UFMG; magalhaesufmg@yahoo.com.br

**Abstract:** With about 80% of the municipal territory occupied by urban spaces, Belo Horizonte has important problems of aquifers recharge. It's believed that only one third of the captured underground water is recharged. So, it's important to define priority areas to implement actions to induce the infiltration of the pluvial waters. This work brings a mapping of the tops – considered preferential recharge zones – that might be prioritized by the public politics to minimizing the underground recharge problem in Belo Horizonte.

**Keywords:** tops; underground recharge; induced infiltration; Belo Horizonte.

**Resumo:** Com aproximadamente 80% do território municipal ocupado por espaços urbanos, Belo Horizonte possui sérios problemas com a recarga subterrânea. Acredita-se que apenas um terço das águas subterrâneas catadas são recarregadas. Assim, é importante que se definam áreas prioritárias para implementação de ações que induzam a infiltração das águas pluviais. Esse trabalho espacializa os topos – considerados como zonas preferenciais de recarga – que devem ser priorizados pelas políticas públicas para minimizar o problema da recarga subterrânea em Belo Horizonte.

Palavras-chave: topos; recarga subterrânea; infiltração induzida; Belo Horizonte.

### **1. Introdução**

A recarga dos aquíferos é um processo essencial para a dinâmica entre águas superficiais e subterrâneas. Todavia, ela não ocorre de forma homogênea no espaço. Geomorfologicamente, tomando-se a vertente como unidade de interpretação, o topo é a porção mais eficiente na recarga, já que seus fluxos são, temporalmente, mais longos, promovendo o armazenamento de água durante todo o ano, distribuindo-a – superficial e subterraneamente – por toda a bacia.

A dinâmica hidrológica, contudo, é vulnerável às ações humanas. É nesse ponto que surge a discussão sobre a recarga dos aquíferos de Belo Horizonte. São retirados, anualmente, 5.987.985.600 litros de água subterrânea. A infiltração natural do ambiente é de 11.239.250.000 litros (Costa, 2002). Por um cálculo simples, chega-se à recarga positiva de 5.251.264.400 litros/ano. Porém, a metodologia utilizada para a estimativa de recarga pode ser questionada, posto que aproximadamente 83% do município encontram-se total ou parcialmente impermeabilizado (Felippe, 2007). Com essa nova variável o total recarregado anualmente em Belo Horizonte seria reduzido a 1.910.672.500 litros, um terço do que é retirado.

Nesse sentido, este trabalho tem por objetivo identificar e mapear topos de Belo Horizonte – considerados aqui zonas preferenciais de recarga – passíveis de implementação de ações indutoras de infiltração das águas pluviais. Acredita-se que os resultados podem contribuir positivamente para a definição de políticas no município, direcionando a alocação de recursos para a melhoria da qualidade ambiental.

A metodologia baseou-se no geoprocessamento. Primeiramente foi necessário mapear os topos do município, a partir da carta topográfica (IBGE, 1979). A imagem do satélite CBERS 2 (CCD), Órbita/Ponto 155/122, de 27 de março de 2007, foi interpretada no software ArcGIS a partir da banda 3, para a determinação da densidade de ocupação. Por fim, elaborou-se um mapa síntese que consiste na intercessão das áreas de baixa densidade de ocupação com os topos – zonas preferenciais de recarga.

## **2. Topos: zonas preferenciais de recarga subterrânea**

As zonas de recarga de aquíferos são locais da superfície terrestre que possibilitam a infiltração e a percolação da água em direção a um sistema geológico capaz de armazenar e distribuir o recurso. Sob esse conceito, qualquer área que possua um aquífero em subsuperfície pode-se constituir em uma zona de recarga, posto que em qualquer ambiente pode haver infiltração caso apresente as condições ambientais necessárias para tal. Não obstante, existem zonas que são mais eficientes para a recarga dos aquíferos, as quais neste trabalho estão sendo chamadas *preferenciais* (Felippe, 2007).

Assim, têm-se dois processos dicotômicos – recarga e descarga – que, tomados em conjunto, facilitam a determinação das zonas preferenciais de recarga. Esses processos são controlados pelos fluxos subterrâneos que se originam nos locais de maior potencial hidráulico e se destinam para os de menor (Rebouças, 1999). Ou seja, a água subterrânea flui dos ambientes de maior energia, para os de menor energia.

“A quantidade de energia que uma partícula de água possui em qualquer posição dentro de um sistema de fluxos é a soma de suas três formas de energia potencial – energia de elevação, energia de pressão e energia de velocidade” (Ward; Trimble, 2004, p. 321).

A energia de elevação está diretamente ligada à força da gravidade, determinada pela posição topográfica da partícula – em termos altimétricos – em relação a um nível de base – por exemplo, o oceano. A energia de pressão é função das forças existentes entre as partículas de água e a matéria que constitui o aquífero. Os aquíferos confinados apresentam elevada energia de pressão, mas nos aquíferos livres essa energia é praticamente nula. A

energia de velocidade é resultante da movimentação da água em subsuperfície. Entretanto, como o deslocamento das partículas – exceto em dutos cársticos – é muito lento, esse tipo de energia contribui muito pouco para o potencial hidráulico (Ward; Trimble, 2004).

Portanto, nos aquíferos livres o potencial hidráulico é função direta da elevação – gravidade – posto que a energia de pressão é inexistente. Por outro lado, a determinação das zonas de alto e baixo potencial hidráulico em aquíferos confinados é mais complexa, dependendo das condições estruturais da rocha, já que ambas as energias – elevação e pressão – são atuantes. Nos aquíferos cársticos, por fim, os fluxos serão controlados pela energia de velocidade, que atuará de forma mais intensa que as demais.

Assim, os fluxos subterrâneos determinam diretamente a localização das zonas de descarga e das zonas de recarga dos aquíferos. Sabe-se que a movimentação da água em subsuperfície é das regiões de alto potencial hidráulico para as de baixo potencial, então, as zonas de recarga caracterizam-se por elevada energia potencial, contrariamente às zonas de descarga.

A partir dessas informações, é possível determinar as zonas preferenciais de recarga de aquíferos, sabendo que, as interações entre os elementos do ambiente são essenciais para sua eficiência, mas não necessariamente para sua determinação, posto que a energia dos fluxos cumpre esse papel.

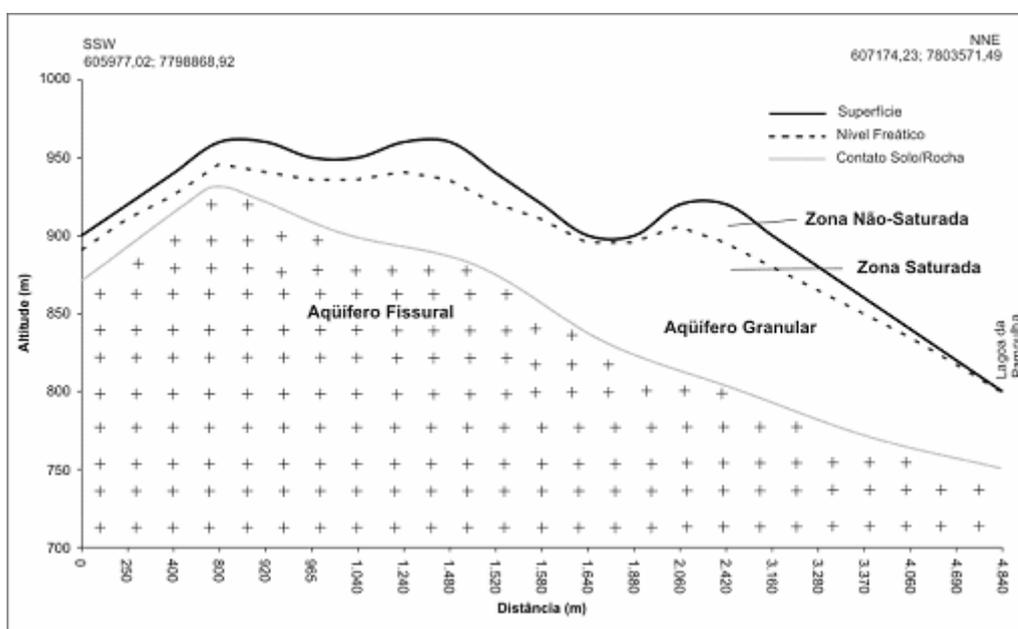
Geograficamente, é necessário selecionar unidades espacializáveis. Em concomitância, sabe-se que independentemente do aquífero existente – granular, fissural ou cárstico – em uma região, seus fluxos serão condicionados, em maior ou menor proporção, pela gravidade. A topografia, então, emerge como o elemento mais importante na identificação dos fluxos.

Então, a tendência é que o sopé das vertentes se caracterize por fluxos de curta duração – fluxos locais – estando, sobretudo as planícies, hidraulicamente conectados aos canais de drenagem. Na porção mediana da vertente, por outro lado, prioriza-se o escoamento superficial. Porém, ambas as unidades recebem água subterrânea dos topos que, em teoria, possuem fluxos mais longos – fluxos regionais – capazes de estabilizar a dinâmica hidrológica e recarregar os aquíferos sotopostos. Pelo movimento lento, mesmo na estação seca, esse fluxo é mantido. Pode-se afirmar, contudo, que os topos são as zonas preferenciais de recarga de aquíferos, por estarem em cotas altimétricas mais elevadas, o que promove maior potencial hidráulico às águas infiltradas.

### 3. Espacialização dos topos de Belo Horizonte

A configuração hidrogeológica de Belo Horizonte é, resumidamente, determinada pelo embasamento cristalino e pelo Quadrilátero Ferrífero, associados ao aquífero granular sobreposto. Assim, o comportamento da água em subsuperfície será distinto em relação a essas unidades. Todavia, por constituírem sistemas aquíferos livres, a dinâmica hidrológica subterrânea possui concordâncias entre estes.

A Figura 1 apresenta um perfil topográfico obtido na região da Pampulha, associado à profundidade do manto de intemperismo e à profundidade do nível freático. Acredita-se que tal ilustração representa bem a realidade do município, posto que o domínio hidrogeológico do Complexo Belo Horizonte ocupa cerca de 70% do território.



**FIGURA 1:** Perfil topográfico relacionado à profundidade do manto de intemperismo e do nível freático. Fonte: Felipe, 2007.

Percebe-se, pela figura, que a profundidade do nível freático está relacionada com a topografia da região. As áreas convexas, de altitude mais elevada, apresentam uma zona não-saturada mais espessa quando comparada às encostas ou aos vales. Próximo à distância de 1.700 metros há uma região côncava em que o nível freático praticamente se encontra com a superfície; nessas condições pode ocorrer exfiltração. De fato, o afloramento da água subterrânea é percebido na Lagoa da Pampulha, nível de base local.

Assim, apoiando-se em Costa (2002), todos os sistemas aquíferos do município são livres, com importante papel do manto de intemperismo na estruturação dos processos

hidrogeológicos. Isso implica que a principal força determinante dos fluxos subterrâneos é a energia de elevação (Ward; Trimble, 2004), posto que a energia de pressão – resultante do confinamento – e a energia de movimento – resultante da carstificação – são nulas.

Dessa forma, reafirma-se que devido às características ambientais de Belo Horizonte, os topos são as zonas preferenciais de recarga de aquíferos. Corroboram essa afirmação os Mapas Potenciométricos apresentados em Costa (2002) e Silva *et al* (1995). As linhas de maior potencial hidráulico se encontram nas áreas mais elevadas do relevo. Assim, os fluxos divergem dessas regiões, drenando as sub-bacias subterrâneas.

Os fluxos subterrâneos em Belo Horizonte possuem direção predominante E-W. Um primeiro nível de base se configura nos talwegues dos canais de drenagem das sub-bacias superficiais. Todavia, o nível de base geral da drenagem subterrânea do município é o rio das Velhas (Silva *et al*, 1995; Beato, 2001; Costa, 2002). Ademais, o divisor de águas das bacias do Onça e do Arrudas é, também, o divisor dos fluxos das águas subterrâneas (Costa, 2002).

A dinâmica dos fluxos subterrâneos, então, colaborou para a definição conceitual dos topos como as zonas preferenciais de recarga dos aquíferos. Assim, possibilitou-se a espacialização dessas unidades no município de Belo Horizonte (MAPA 1). Além de ser uma importante ferramenta metodológica para o desenvolvimento da classificação das zonas de recarga, acredita-se que o Mapa 1 é um primeiro produto deste trabalho.

A compartimentação geomorfológica de Belo Horizonte, promove uma distribuição heterogênea das zonas de recarga no território. Todavia, de acordo com a morfologia do terreno, os topos podem apresentar formatos espaciais distintos.

A porção nordeste do município apresenta um grande número de zonas de recarga de aquíferos. Além disso, o relevo de colinas faz com que os topos dessa região sejam amplos e planos. Por outro lado, a proximidade com o nível de base – rio das Velhas – promove uma recarga restrita aos fluxos locais que podem, em curto tempo, destinar a água à superfície.

A porção central do município é outra área importante de recarga e, da mesma forma que a bacia do Isidoro, possui topos extensos e relativamente planos. Por serem interflúvios das bacias do Arrudas e do Onça e, conseqüentemente, divisores dos fluxos subterrâneos, essas zonas de recarga possuem uma importância ainda maior, com uma área drenada mais vasta.

Outra importante região de recarga dos aquíferos de Belo Horizonte é a das serras do Quadrilátero Ferrífero. A morfologia dos topos é bem distinta daquela existente na porção

setentrional, apresentando-se alongados e estreitos, muitos sendo formados pelas cristas das serras.

Além dessas três regiões mencionadas anteriormente, há topos indiscriminadamente em todo o território que, hidrologicamente, funcionam como zonas preferenciais de recarga de aquíferos. A escala adotada – curvas de nível com 20 metros de equidistância – oculta inúmeros outros pequenos topos que podem existir; todavia, sabe-se que a área é um importante fator na recarga. Com isso, os procedimentos adotados permitiram que as mais importantes zonas de recarga de aquíferos de Belo Horizonte fossem espacializadas, indicando que a escala de estudo atendeu aos anseios propostos.

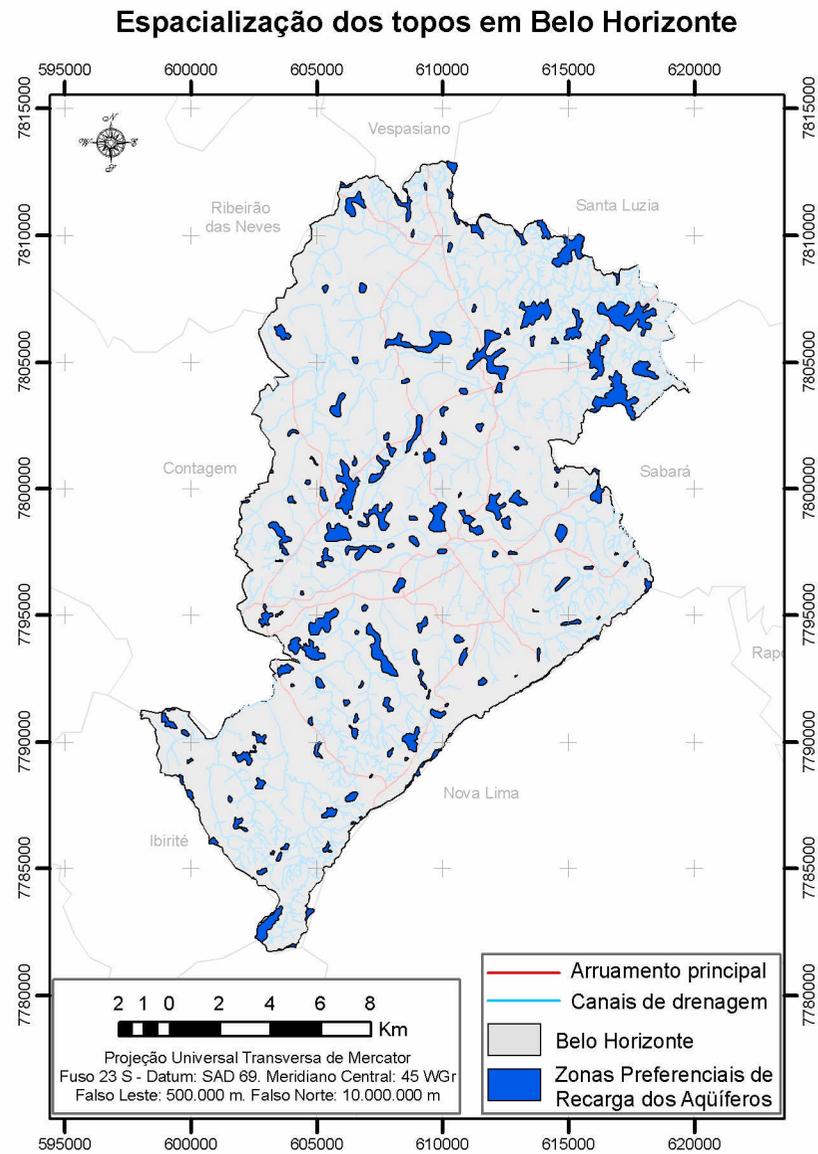
#### **4. Resultados e possibilidades**

Após o esforço analítico de espacialização das zonas preferenciais de recarga de aquíferos de Belo Horizonte, é importante apresentar propostas de intervenções no espaço para a melhoria nas condições de equilíbrio da dinâmica hidrológica local.

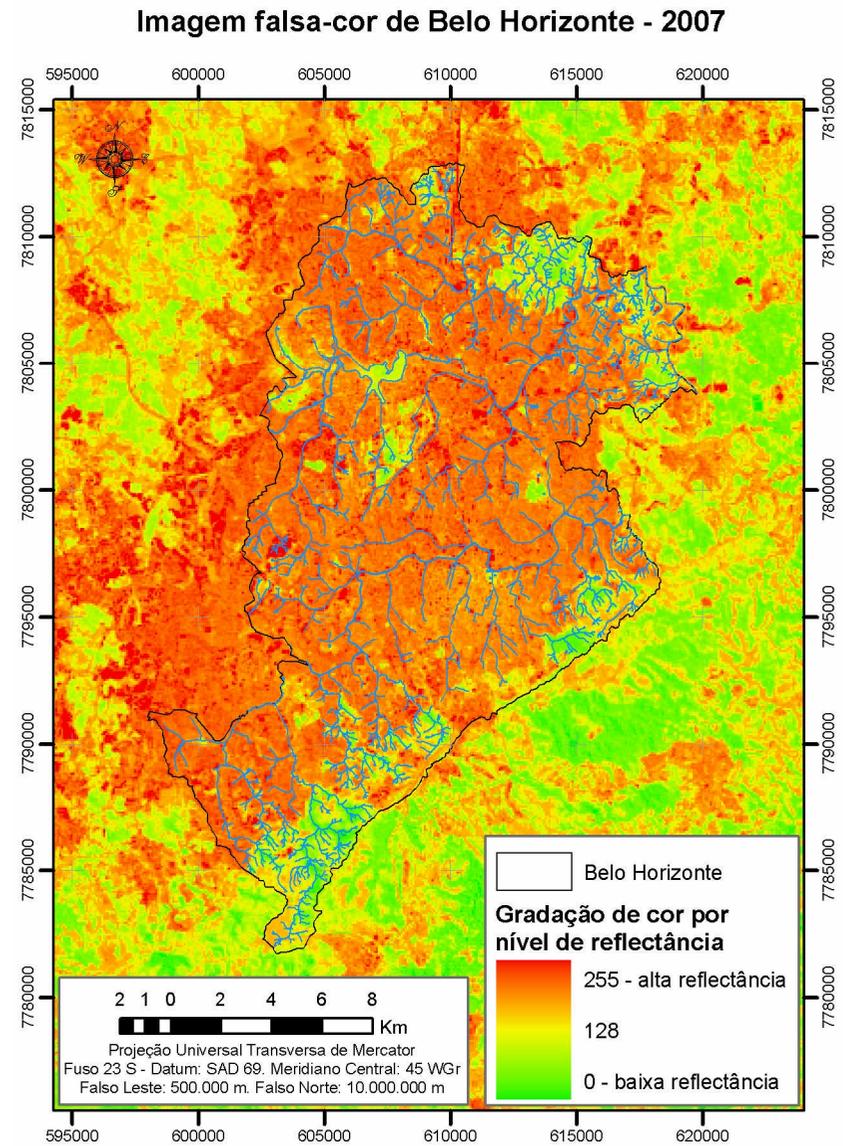
Sabendo que há um severo comprometimento da realimentação de aquíferos devido às condições ambientais de Belo Horizonte, foram mapeados os espaços prioritários para indução de infiltração, tendo os topos como zonas preferenciais de recarga.

A lógica dessas intervenções deve ser de minimizar os impactos da impermeabilização induzindo, mesmo que artificialmente, a entrada de água no solo. Alguns exemplos são dutos de drenagem pluvial e sarjetas permeáveis, calçadas gramadas, lagos, barragens, etc. As áreas de baixa densidade populacional são priorizadas, já que os custos de implementação dessas obras é menor. Exemplos belo-horizontinos de intervenções que contribuem para a recarga subterrânea são as barragens da Pampulha e de Santa Lúcia, por mais que não tenham sido criadas para tal fim.

O Mapa 2 apresenta uma imagem de satélite que evidencia as áreas de maior e menor densidade de ocupação urbana. As áreas em vermelho apresentam alta reflectância e, conseqüentemente, elevada densidade de ocupação. Por outro lado, as áreas verdes representam áreas de baixa densidade de ocupação. Sabe-se que essas últimas devem ser priorizadas para implementação de infiltração artificial, primeiramente pela facilidade de intervenções onde um menor número de pessoas é envolvido e, em segundo lugar, por apresentarem remanescentes de vegetação que são de grande importância para os processos hidrológicos.



**MAPA 1:** Espacialização das zonas preferenciais de recarga de aquíferos em Belo Horizonte. Fonte: elaboração própria a partir da base IBGE, 2000.



**MAPA 2:** Imagem falsa-cor de Belo Horizonte - 2007. Fonte: base cartográfica IBGE, 2000; imagem CBERS-2/CCD, de 27 de março de 2007.

O Mapa 3 espacializa o cruzamento de informações da densidade de ocupação com a localização das zonas de recarga. Sendo assim, são evidenciados os locais que devem ser priorizados para melhoria nas condições de recarga. Os resultados mostram que apesar de poucas e muito diminutas, essas regiões são essenciais para a manutenção do equilíbrio hidrológico. Percebe-se pelo mapa que há fragmentos dessas áreas heterogeneamente dispersos por todo o território do município. Isso é um aspecto importante a ser considerado, pois quanto mais bem distribuídas, espacialmente, essas ações de indução de infiltração, melhor a contribuição para a recarga.

A bacia do córrego do Isidoro – nordeste do município – possui extensas áreas de importância para efetivação de obras que viabilizem a infiltração. Outra área de concentração de locais que devem ser priorizados para a melhoria das condições de recarga é o sul da capital, nas serras do quadrilátero. Finalmente deve-se destacar a área do campus da UFMG.

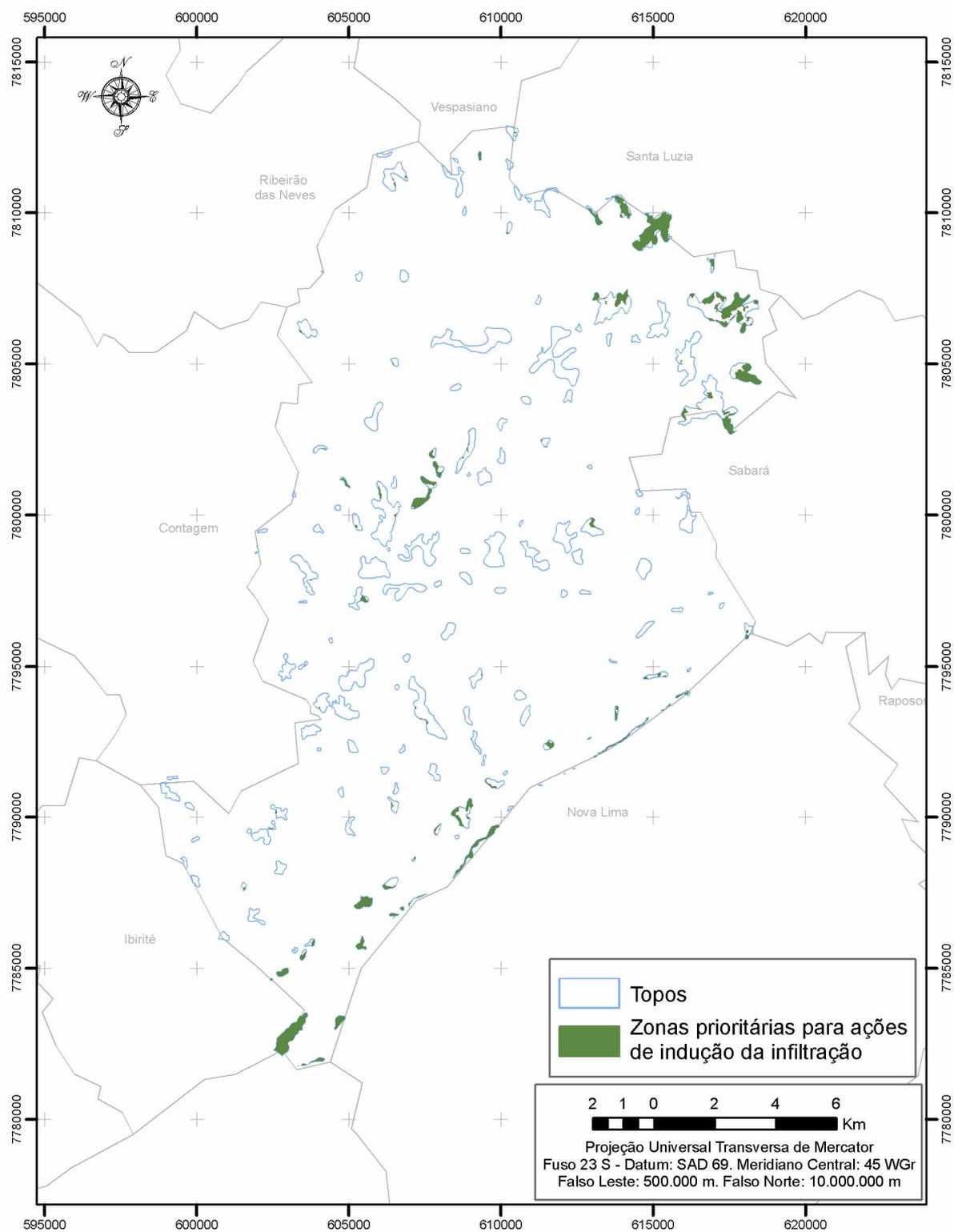
## **5. Considerações Finais**

Belo Horizonte é uma metrópole que passou no último século por intensas transformações. A área total ocupada por infra-estrutura urbana se elevou de pouco mais de 3% em 1918 para mais de 80% do município em 2007. Além disso, estudos realizados indicam que atualmente a impermeabilização do solo atinge aproximadamente 75% dos topos – área das zonas preferenciais de recarga de aquíferos (Felippe, 2007).

Fica evidente, então, que há um sério comprometimento da dinâmica hidrológica local, posto que a infiltração é praticamente nula em grande parte do município. Portanto, a recarga de aquíferos de Belo Horizonte está comprometida. É necessário que haja políticas públicas capazes de promover a melhora nas condições, sobretudo de infiltração, diminuindo os impactos urbanos sobre a dinâmica hidrológica.

Justamente nessa lacuna que este trabalho se insere, ao mapear os topos, considerados zonas preferenciais de recarga, a serem priorizados em eventuais ações de indução de infiltração. A metodologia utilizada buscou a espacialização de regiões de mais baixa densidade de ocupação, prevendo menores custos das obras nesses locais. Os resultados obtidos mostram que há espaços passíveis de intervenção heterogeneamente distribuídos em todo o município, mesmo em pequenas áreas. A não impermeabilização desses espaços parece ser imprescindível para minimizar os efeitos da metropolização nas águas subterrâneas e, conseqüentemente, na dinâmica hidrológica de Belo Horizonte.

### Zonas de topos prioritárias para implementação de ações indutoras de infiltração e recarga subterrânea



MAPA 3: Zonas preferenciais de recarga de aquíferos passíveis de implementação de ações indutoras de infiltração e recarga subterrânea. Fonte: base cartográfica IBGE, 2000.

## 6. Referências

Beato, D. A. C. (coord) (2001). **Estudo Hidrogeológico da Bacia da Pampulha: relatório final**. CPRM/PBH, Belo Horizonte.

Costa, W. D. (2002). **Caracterização das condições de uso e preservação das águas subterrâneas do município de Belo Horizonte – MG**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

Felippe, M. F. (2007). **Espacialização e classificação dos topos como zonas preferenciais de recarga de aquíferos de Belo Horizonte-MG**. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Minas Gerais.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2000). **Atlas nacional do Brasil**. IBGE, Rio de Janeiro.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1979). **Belo Horizonte**. Escala 1:50.000. IBGE, Rio de Janeiro.

Rebouças, A. C. (1999). Águas subterrâneas. In: Rebouças, A.; Braga, B.; Tundisi, J. (org.). **Águas doces do Brasil**. Escrituras, São Paulo. p. 117-150.

Silva, A. B.; Carvalho, E. T.; Fantinel, L. M.; Romano, A. W.; Viana, C. S. (1995). **Estudos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos e geoambientais integrados no município de Belo Horizonte: projeto estudos técnicos para o levantamento da carta geológica do município de Belo Horizonte; relatório final**. FUNDEP/UFMG-IGC, Belo Horizonte.

Ward, A.; Trimble, S. (2004) **Environmental hydrology**. 2<sup>a</sup> ed. Lewis Publishers, Boca Raton.