



RAFAEL RODRIGUES CAMARGO
*Vegetação sobre os afloramentos
rochosos do carste, 2012*

'ÁGUA MOLE EM PEDRA DURA, TANTO BATE ATÉ QUE FURA'

As migrações da água sob nossos pés

ROBERTO CÉLIO VALADÃO*

JOSÉ SÍLVIO SILVEIRA**

RESUMO Este artigo trata das migrações da água efetivadas no contexto do ciclo hidrológico, com ênfase nos processos encadeados no subsolo. Em razão de seu caráter distante do olhar humano, por se fazer em profundidade, sob nossos pés, a migração da água em subsuperfície é comumente ignorada. Todavia, em terrenos cársticos, essa migração adquire caráter particular e condiciona um coletivo de fenômenos que, embora se desenvolva em profundidade no solo e na rocha, afeta as atividades humanas em superfície, e vice-versa. Apesar de essa retroalimentação ser chancelada pela ciência, a qual ainda comprova quão frágil e vulnerável são os terrenos cársticos diante das demandas sociais e políticas, instrumentos destinados a suas gestões territorial e ambiental revelam-se ainda frágeis e pouco efetivos.

PALAVRAS-CHAVE Ciclo Hidrológico. Carste. Planejamento Territorial. Gestão Ambiental.

'WATER DROPPING DAY BY DAY WEARS THE HARDEST ROCK AWAY'

The migrations of water under our feet.

ABSTRACT This article approaches water migrations in the hydrological cycle, with emphasis on processes occurring underground. This migration of water underground is commonly ignored because it occurs in depth and under our feet. In karst areas, this underground migration results in phenomena that affect human activities on the surface, and vice versa. Although this feedback is known by science, policies and instruments for territorial and environmental management of karst areas are still fragile. This fact is a problem, given the proven fragility and vulnerability of karst areas in relation to social demands.

KEYWORDS Hydrological Cycle. Karst. Territorial Planning. Environmental Management.

*Professor Titular do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: valadao@ufmg.br

**Professor do Centro Universitário de Sete Lagoas / UNIFEMM. E-mail: ssilveirabh@unifemm.edu.br

1. Introdução

No que se refere à mobilidade daqueles elementos constituintes dos distintos ambientes do globo, a água se destaca tanto por estar presente na totalidade deles, como também por seu inerente caráter de mobilidade no espaço e no tempo. Está presente em parcela considerável dos corpos de organismos vegetais e animais que vivem nesses ambientes, inclusive como constituinte fundamental da fisiologia do próprio ser humano. Está presente nas diferentes esferas preconizadas pelas ciências ambientais – a atmosfera, a hidrosfera, a biosfera, a litosfera, a tecnosfera – e, nelas, promove trocas, fluxos, retroalimentações, transformações. O papel da migração da água é amplamente conhecido e de pronto reconhecimento naquelas esferas de mais fácil acesso ao olhar humano ao se revelar de modo mais explícito em nosso cotidiano. Daí ser possível observar a migração da água na multiplicidade de fenômenos atmosféricos, a exemplo das chuvas, do seu deslocamento ditado pelos caminhos tortuosos dos rios, para onde convergem extensa rede de córregos e ribeirões, de seus fluxos ao fomentar a vida em plantas e animais, de sua transferência nas cidades por tubulações pública e privada; de sua incorporação industrial e doméstica em alimentos que integram nossa pauta alimentar cotidiana, e, de modo menos evidente, e por isso mesmo, de mais difícil reconhecimento, as transformações causadas pela água ao migrar onde o olhar cotidiano não alcança: sob nossos pés.

Este é o nosso objetivo aqui: dar ênfase e destaque à presença e funcionalidade da água em subsuperfície e, mais ainda, demonstrar que, embora nem sempre nos seja visível por ocupar espaço sob nossos pés, ela desempenha papel relevante nas atividades humanas cotidianas e constitui condicionante fundamental na qualidade de vida daqueles que sobre a superfície habitam e caminham. Faz-se uso ainda do ditado popular “água mole em pedra dura, tanto bate até que fura”, com o objetivo de abordar o efeito que a migração da água pode, por vezes, resultar: a abertura de cavidades subterrâneas, de espaços vazios, de subsidências e colapsos da própria superfície. Esses

fenômenos constituem desafios para aqueles que habitam espaços cujas rochas são mais suscetíveis à solubilidade em contato com a água, tal como na porção setentrional da Região Metropolitana de Belo Horizonte, aqui discutida.

Nessa porção do território mineiro, a fenomenologia desencadeada pela água em ação vai além da mera abertura de cavidades subterrâneas, instaurando um sistema ambiental em que interagem processos de superfície e subsuperfície: o carste. As características inerentes aos terrenos cársticos criam assinaturas de fragilidade e vulnerabilidade ambientais particulares que impactam sobremaneira as atividades humanas, como também são por essas últimas impactadas. Diante desse quadro, e em atenção às particularidades do carste, é que têm sido implementadas políticas e instrumentos para as gestões territorial e ambiental da região localizada a norte da capital mineira. É nosso interesse ainda abordar a efetividade socioambiental dessas políticas e de seus instrumentos, mediante cotejo da, até então, pouco conhecida migração da água no subsolo por parte do observador leigo, em contraposição àquele conhecimento franqueado pelo observador científico.

2. Sob nossos pés: como migra a água em subsuperfície?

A compreensão acerca dos mecanismos de entrada, migração e saída da água ao circular pela atmosfera, hidrosfera, biosfera, litosfera e tecnosfera está, diríamos, elegantemente posta no ciclo hidrológico. Há, na literatura especializada, distintas proposições que tratam desse ciclo, mas aqui fazemos uso daquela preconizada por Summerfield (1991), por ela atender ela aos objetivos que norteiam este artigo (FIG. 1). O autor toma o recorte espacial de uma bacia hidrográfica para explicitar os muitos caminhos possíveis da

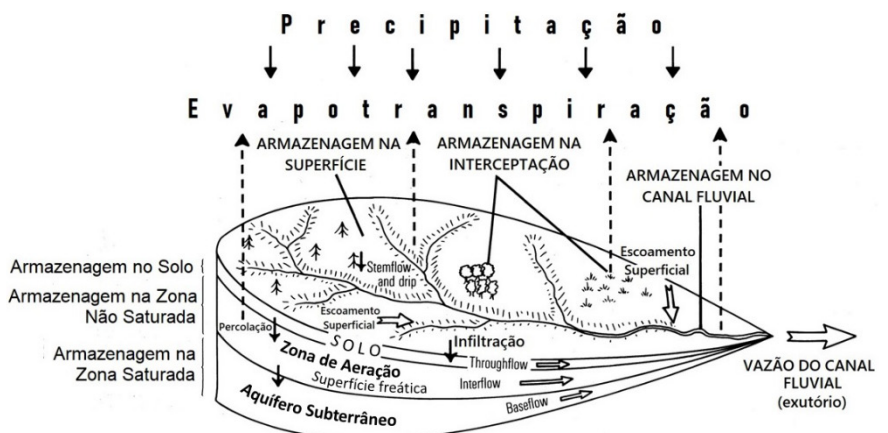


Figura 1 – Migração e armazenamento da água em uma bacia hidrográfica. Fonte: Summerfield (1991, p. 191, adaptado.).

água que, uma vez precipitada durante as chuvas, tende, pelo menos em parte, a convergir para a rede de drenagem que compõe a bacia.

A entrada de água em uma bacia hidrográfica se faz mediante a precipitação pluviométrica, mecanismo responsável pela transferência da água da atmosfera em direção à superfície, onde o ser humano vive, habita, constrói e estabelece suas relações com o meio. Nessa transferência, parcela da água pode retornar à atmosfera pelo processo de evaporação, sem mesmo chegar a tocar a superfície, ou ainda pela evapotranspiração de plantas e animais. Via de regra, o maior quantitativo da água precipitada é aquele lançado sobre os muitos anteparos que comumente revestem o solo, desde objetos tecnológicos (a exemplo de telhados de residências e edifícios, arruamentos, avenidas, estradas, campos cultivados, pastagens) até aqueles de mais forte vinculação à natureza (as diferentes tipologias de cobertura vegetal). Há, todavia, trechos da superfície desprovidos de quaisquer anteparos, onde as gotas de chuva bombardeiam diretamente o solo, a exemplo de campos recentemente arados e preparados para cultivo, de áreas submetidas a terraplenagem nos espaços urbanizados e mesmo de zonas cujo solo encontra-se naturalmente exposto. Naquelas superfícies revestidas por anteparos, a água, uma vez interceptada, pode ser transferida em direção ao solo. É o solo o receptáculo da água direta ou indiretamente precipitada, configurando-se esta última a água interceptada.

Ao alcançar o solo, a água se infiltra – processo compreendido como a transferência da água da superfície para a subsuperfície. Passa então a ocupar o espaço poroso de materiais inconsolidados ou não – solos e rochas – que, uma vez saturado, dificulta momentaneamente a continuidade da infiltração e promove um excedente hídrico junto à superfície responsável pelo escoamento superficial pluvial (*overland flow*). Esse escoamento da água precipitada pela chuva se faz ao longo das vertentes, rampas da superfície que se inclinam em direção aos fundos de vale. Não obstante, a percolação subterrânea da água para zonas mais profundas do subsolo, graças à porosidade e permeabilidade nelas vigentes, dita a formação de duas zonas hidrológicas separadas por uma superfície freática: uma zona não saturada (zona de aeração ou vadosa); uma zona saturada (*ground water*; lençol freático). Essa última zona, em que o espaço poroso se encontra plenamente saturado pela água, é que constitui os aquíferos, “unidades rochosas ou de sedimentos, porosas e permeáveis, que armazenam e transmitem volumes significativos de água subterrânea passível de ser explorada pela sociedade”

(Karmann, 2008, p. 125). A percolação, ou seja, a migração da água notadamente, segundo trajetória vertical ao longo das zonas não saturada e saturada, é que conduz à recarga dos aquíferos subterrâneos. Já a migração da água no subsolo, cuja trajetória é, grosso modo, paralela à superfície, recebe denominação outra: fluxos subsuperficiais. Esses fluxos no subsolo, laterais por excelência, distinguem-se, segundo Summerfield (1991), em *throughflow*, *interflow* e *baseflow* de acordo com seu respectivo posicionamento (i) na porção superior da zona não saturada em que a permeabilidade é elevada, (ii) na zona não saturada propriamente dita, e (iii) na zona saturada.

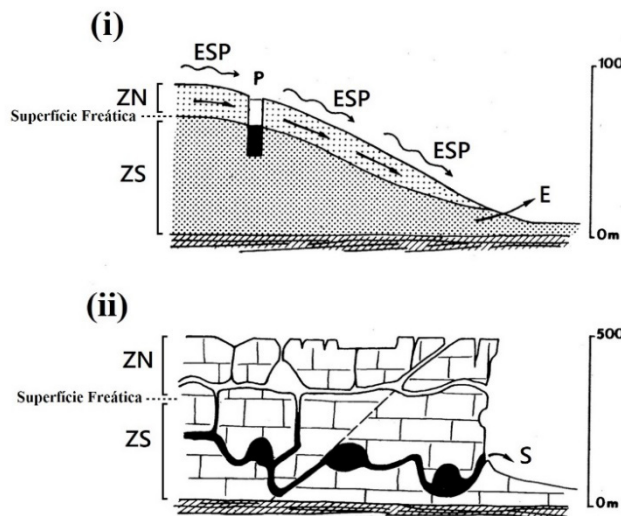
Todos esses fluxos subsuperficiais tendem a se dirigir e convergir para os fundos de vale, onde alimentam os canais fluviais (córregos, ribeirões e rios) ao exfiltrarem ao longo dos principais talvegues. Essa exfiltração é mais volumosa quando proveniente do fluxo basal (*baseflow*), uma vez que, na prática, ocorre mediante contato da superfície freática com a superfície do terreno ao longo dos fundos de vale. Trata-se, então, do fluxo subterrâneo que garante a perenidade dos canais fluviais mesmo durante longos períodos de estiagem, haja vista que, sem a entrada das chuvas, não estarão ativos os fluxos inerentes à zona não saturada. Consequentemente, um canal fluvial destituído de contribuição hídrica oriunda do fluxo basal manterá sua vazão meramente durante os eventos de precipitação pluviométrica, quando então será abastecido exclusivamente pelo escoamento superficial pluvial (*overland flow*, *throughflow* e *interflow*).

Assim é que a migração da água no contexto aqui em tela se faz segundo duas temporalidades marcadamente distintas: uma migração rápida, facilmente perceptível aos olhos do observador, pois é o que se assiste na superfície a cada evento chuvoso, quando a água precipitada escoar rapidamente pelas vertentes, encostas, ruas, avenidas, campos cultivados, lançando-se nos fundos de vale e, por vezes, causando cheias e inundações, inclusive nas cidades; uma outra, mais lenta, que se faz em caráter subterrâneo e, por isso, escapa até mesmo ao observador mais atento, embora seja ela essencial à alimentação do sistema radicular das plantas no solo, à recarga em profundidade dos aquíferos, à manutenção da perenidade de rios e ribeirões mesmo em período de prolongada estiagem. A rapidez da primeira decorre da migração praticamente livre da água ao escoar pela superfície, ao passo que, na segunda, a água se desloca lentamente por entre os poros do solo e da rocha em condições de reduzida condutividade hidráulica, estando submetida à maior ou menor conectividade entre eles, a permeabilidade.

Na superfície, a transmissividade da água é rápida, em condição de subsuperfície lenta. Os diferentes usos do solo socialmente instituídos acabam por alterar significativamente as condições de permeabilidade das superfícies ocupadas pelo homem, a exemplo das extensas coberturas de concreto e asfalto nas cidades em que a infiltração é drasticamente reduzida, aumentando o caudal hídrico (escoamento direto) materializado em fortes enxurradas, transbordamento de canais e alagamentos. Uma vez aumentado o escoamento direto, é reduzida em mesma proporção a entrada da água no subsolo, o que, em cadeia, acaba por comprometer a recarga dos aquíferos e a manutenção das vazões dos canais fluviais nas estiagens prolongadas.

Essas são as condições gerais de migração da água por diferentes meios, em superfície e subsuperfície. Todavia, a fenomenologia até aqui tratada revela particularidades e pormenores ditados tanto pela variabilidade temporal e espacial dos elementos do clima quanto pelas características vigentes na superfície e no subsolo de um dado recorte territorial. Tendo em vista os objetivos traçados de início, cabe distinguir as particularidades da migração da água em territórios marcados pela ocorrência de rochas solúveis, com destaque para os calcários e os dolomitos. Essas rochas, em interação com a água, dissolvem-se, abrindo poros em subsuperfície que alcançam dimensão muito variada, de milimétrica a algumas dezenas de metros. Trata-se da denominada porosidade cárstica, na qual a migração da água ocorre de modo marcadamente diferenciado daquele até então discutido (FIG. 2).

Figura 2 – Migrações da água em ambientes não cárstico (i) e cárstico (ii)



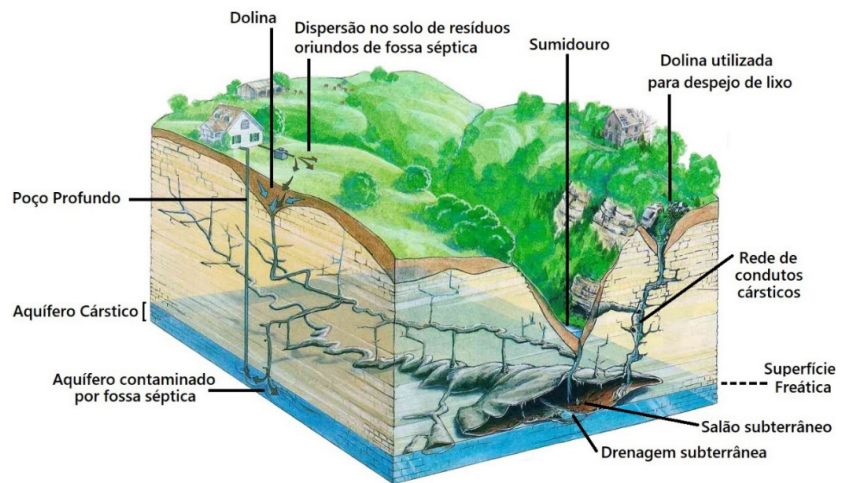
No caso de ambientes cársticos, as cavidades subterrâneas posicionadas abaixo da superfície freática se encontram, via de regra, plenamente preenchidas por água que registra mais rápida migração vertical e lateral. Legenda: ESP – escoamento superficial pluvial; ZN – migração da água na zona não saturada; ZS – migração da água na zona saturada; S – surgência; E – alimentação de canal fluvial por exfiltração. Observe, em preto, a água acumulada em subsuperfície em uma cisterna ou poço (P) e em condutos cársticos. Fonte: Demangeot (1987, p. 55, adaptado).

3. Perfurações subterrâneas da água: condutos, galerias, cavernas... (o ambiente cárstico em perspectiva)

A referência feita à capacidade da água de, embora “mole”, por tanto “bater” na pedra dura, resultar na sua perfuração, tal como grafado no dito popular que intitula este artigo, está associada à porosidade cárstica, à pedra “furada” pela água. No entanto, fundamental desde já destacar que a água, nesse caso, a despeito do vulgo popular, exerce não um papel mecânico preponderante na abertura de condutos, galerias e até mesmo de cavernas em calcários e dolomitos, mas, sim, os dissolvem (FIG. 3). Trata-se, em última instância, de poros abertos pelo quimismo água/rocha, o que obviamente não dispensa a ação mecânica desse fluido, porém é ela marginal na fenomenologia cárstica.

O processo de dissolução das rochas que contêm elevada proporção de minerais carbonáticos em sua constituição, a exemplo dos calcários e dolomitos, atribui aos ambientes cársticos assinaturas particulares na superfície e subsuperfície. Essas assinaturas, quando em superfície, são comumente reunidas sob a égide do exocarste, em clara alusão ao fato de que aquilo sobre o qual caminha e vive o homem se trata, meramente, da expressão visível de um fenômeno complexo que a superfície oblitera e esconde. Daí as dolinas, uvalas, claraboias, sumidouros, surgências e entradas de cavernas. Já o escondido, o não prontamente revelado, enverga a assinatura, corporificando os condutos, cavidades e salões eventualmente ornamentados por rica e bizarra coleção de espeleotemas – duas assinaturas que, na prática, se fundem e se dialogam no tempo e no espaço, retroalimentadas que são pela migração e pelo caráter transformador da água.

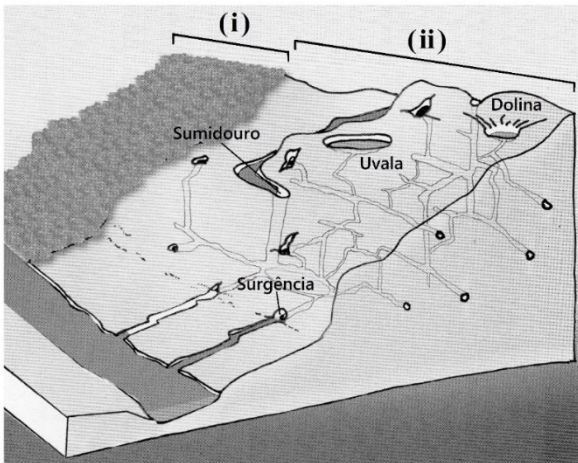
Figura 3 – Feições cársticas e fontes de contaminação do aquífero subterrâneo



Observe as feições desenvolvidas tanto em superfície (exocarste) quanto no subsolo (enocarste), todas elas associadas à migração e ação da água ao dissolver rochas solúveis. Disponível em: <<http://sourcerocks.blogspot.com>>. Acesso em: 6 abr. 2018 (adaptado).

Em detrimento da funcionalidade e organicidade dessa miríade de feições e de seus processos dinâmicos em franca atuação, as relações e interesses sociais que operam em superfície e sua materialidade expressa na apropriação do solo para implantação de fixos (campos cultivados, pastagens destinadas à pecuária, redes viária, de energia e informacionais, cidades e extensas aglomerações urbanas e seus equipamentos) e de fluxos (de indivíduos e de veículos que se movem, de informações e dados que se transmite) (SANTOS, 2006), raramente dão conta das fragilidades e até mesmo das potencialidades daquilo que se mantém escondido sob o chão. A Figura 4 procura revelar traços de uma paisagem cárstica muitas vezes a nós obscura.

Figura 4 – A paisagem cárstica nem sempre revelada



Observe que, em razão de seu caráter muitas vezes oculto em sub-superfície, a gama de feições do carste pode ser obliterada por objetos que revestem o terreno, a exemplo da cobertura vegetal que nessa figura se estende sobre a vertente e seu fundo de vale (i). Retirada essa cobertura, expõem-se dolinas, uvalas, sumidouros e surgências (ii), mantendo-se ainda oculta uma complexa rede subterrânea de condutos cársticos interconectados representada por linhas mais delgadas, o endocarste. Fonte: Kresic (2013, p: 55, adaptado.)

O caráter nem sempre revelado e, por isso mesmo, até desconhecido por considerável parcela da numerosa população que vive sobre terrenos cársticos, interpõe desafios às diversificadas atividades que sobre eles se verificam. A vulnerabilidade intrínseca daqueles recortes territoriais assentados em terrenos cársticos confirma, por si só, o quão fundamental é a condução, junto a eles, de ações mediadas por um planejamento pautado em bases sustentáveis e no uso racional de seus recursos ambientais. Abordar a fenomenologia cárstica em consonância com algumas demandas da sociedade é o nosso objetivo ao abordar os subitens que seguem.

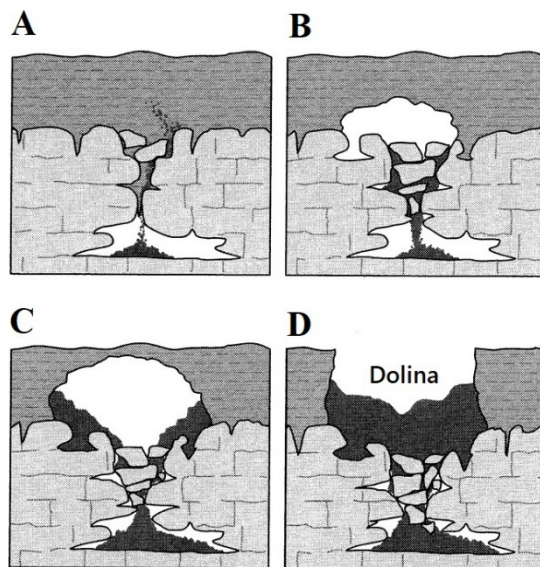
3.1 Crateras que se abrem... e engolem.

A migração e o quimismo da água em ambientes cársticos são responsáveis, como já dito, pelo desencadeamento de processos complexos, o que redundará em transformações das morfologias do terreno em superfície e subsuperfície. Destacamos aqui, de início, aquele fenômeno cárstico de mais forte apelo frente ao olhar humano, talvez, diríamos, o mais explícito deles: as subsidências e os colapsos. Esse apelo decorre tanto da geração de morfologias muito particulares na superfície quanto de seu possível caráter instantâneo e, por isso mesmo, catastrófico.

Subsidências e colapsos resultam, em ambientes cársticos, na formação de depressões fechadas denominadas dolinas. Caso haja a expansão lateral de duas ou mais dolinas e, conseqüentemente, sua coalescência, passa a morfologia resultante a ser denominada uvala (FIG. 4). Há, ainda, distintas velocidades na abertura dessas depressões fechadas: uma lenta e gradual, derivada da subsidência do terreno, e uma instantânea, rápida, derivada do seu colapso, a exemplo do processo de formação da dolina representado na Figura 5. O caráter instantâneo das dolinas de colapso pode exercer considerável impacto nas atividades e equipamentos humanos, seja nas cidades, seja naqueles espaços apropriados por atividades agropecuárias. Não obstante, são mais raras as dolinas de colapso quando comparadas àquelas de dissolução, como já salientado por Waltham et al. (2004). As dolinas de dissolução, embora evoluam lentamente, podem também danificar objetos edificadas na superfície, uma vez que causam movimentações no solo, trincando pisos, paredes, muros e deslocando pilares e colunas.

Na literatura especializada, são descritos e avaliados inúmeros casos de colapsos e seus efeitos, inclusive no Brasil. Vejamos alguns deles descritos por Kresic (2013). Em 2008, na província chinesa de Guangdong, uma cratera com extensão lateral de 20m e profundidade de 10m abriu-se instantaneamente, engolindo trecho de uma autoestrada. No mesmo ano, nessa mesma província, em desastre que chegou a alcançar área de 5.000m², seis edificações colapsaram, três tombaram e outras dez tiveram seus pisos, paredes e muros rachados e deformados. Em 2006, em Nixa, Missouri, EUA, o colapso e a formação de uma dolina chegou a engolir a garagem de uma residência e o veículo que nela estava estacionado. Kresic (2013) finaliza sua análise desses casos deixando claro que os riscos inerentes ao desenvolvimento de dolinas são hoje muito bem conhecidos e descritos em numerosas publicações, de tal modo que não é a ausência de conhecimento acerca desse processo uma escusa para a sua usual desconsideração em planejamentos ambientais e na vasta gama de usos do solo efetivada sobre terrenos cársticos.

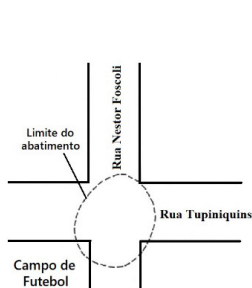
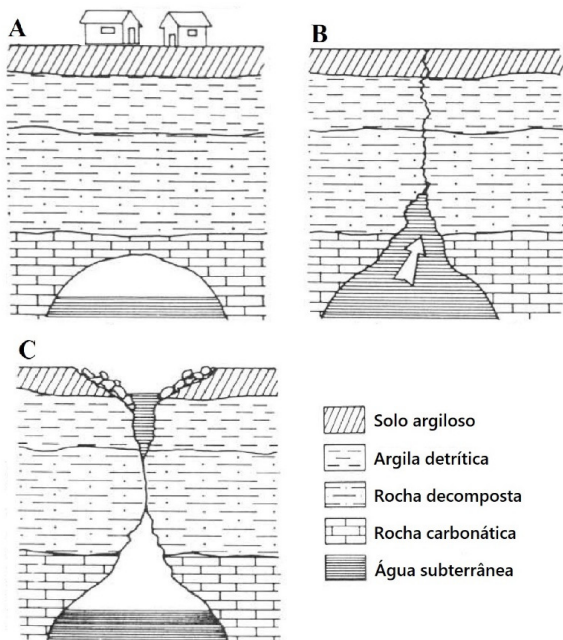
Figura 5 – Processo de formação de uma dolina de colapso



A superfície topográfica se mantém praticamente inalterada durante a fase inicial do processo de formação da dolina (etapas A, B e C), apesar das intensas transformações que se processam em subsuperfície responsáveis pela abertura de cavidades subterrâneas mediante dissolução da rocha calcária. A continuidade dessa dissolução pode colapsar a superfície, formando então a dolina propriamente dita (etapa D). Fonte: Tihansky (1999, p. 127, adaptado).

A demasiada exploração de aquíferos cársticos (figuras 2 e 3), em atendimento à demanda de variada tipologia de atividades econômicas, é reconhecidamente indutora do processo de formação de dolinas. A retirada excessiva de água subterrânea, que outrora preenchia a porosidade cárstica ou de condutos, acaba por fomentar colapsos de galerias hoje vazias (ALBRECHT, 1998). Em ambientes cársticos, as consequências advindas do rebaixamento regional da superfície freática são amplamente conhecidas pelos especialistas, notadamente em recortes territoriais cujas atividades demandam o bombeamento até a superfície de grande volume hídrico subterrâneo, com destaque para o abastecimento público e a agricultura irrigada. Investigações dessa natureza foram muito bem documentadas na Flórida, EUA, por Beck e Sinclair (1986) e Tihansky (1999).

Figura 6 – Fases de evolução do abatimento do solo ocorrido em 4 de março de 1988, na cidade de Sete Lagoas/MG



No Brasil, os colapsos instantâneos e a consequente formação de dolinas são também conhecidos (NAKAZAWA et al., 1995; OLIVEIRA, 1997, 2010; PRANDINI et al., 1987; PRANDINI et al., 1990; SALLUN FILHO, 2009). Santos (2008) salienta que, embora seja comum a ocorrência desses fenômenos em terrenos cársticos no país, são registrados e investigados aqueles causadores de maiores danos e de repercussão na mídia, localizados, mais das vezes, nos espaços urbanos. Esse autor apresenta ainda um quadro histórico dessas ocorrências, com exemplos nos estados de São Paulo, Piauí, Paraná e Minas Gerais. Em Minas Gerais, destacam-se os colapsos na região cárstica localizada na porção setentrional de Belo Horizonte, a exemplo do fenômeno descrito por Braz da Silva (1988) (FIG. 6).

As fases A e B se desenrolaram ao longo do tempo geológico, mas o colapso propriamente dito (fase C) ocorreu de modo instantâneo, tragando parcela considerável do cruzamento de duas ruas localizadas nas proximidades da área central da cidade. Para além da dolina aberta pelo colapso, trincas surgiram no pavimento das ruas e em residências próximas. A cratera alcançou 9m de largura. Fonte: Braz da Silva (1988, p. 65 e 66, adaptado.).

3.2 Cavidades e condutos que sorvem líquidos... e dispersam contaminantes.

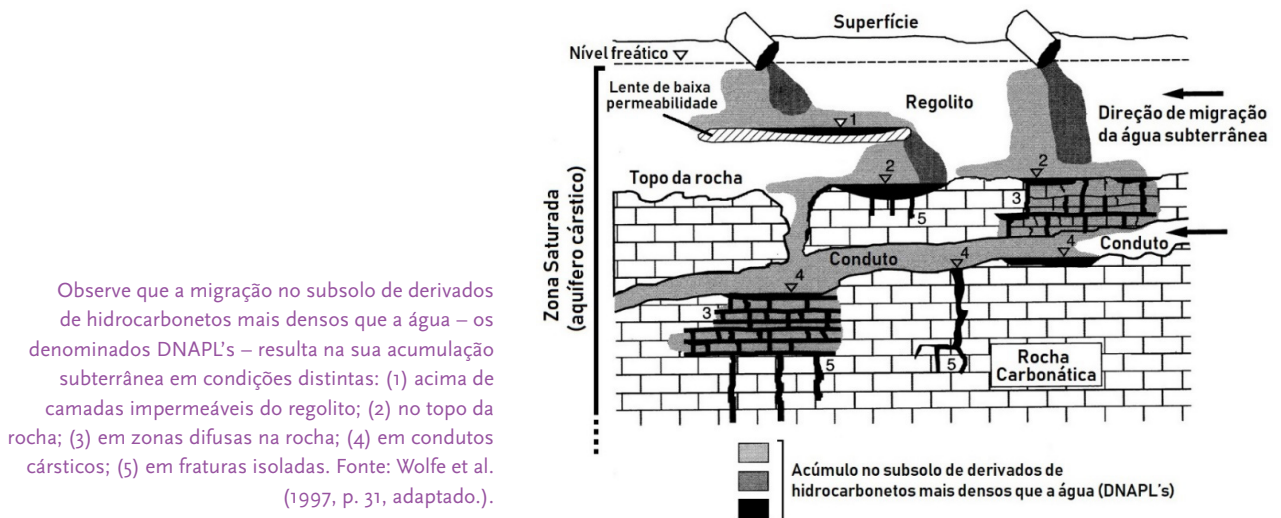
Apesar de a migração da água em subsuperfície constituir fato recorrente nos mais distintos espaços do globo, como já anteriormente registrado, são nos terrenos cársticos que esse processo se faz marcado tanto pelo considerável volume hídrico em trânsito, em uma complexa rede subterrânea de cavidades e condutos, como também pela intrínseca conectividade dessa última à superfície. As trocas e retroalimentações são, portanto, traços marcantes entre o endocarste e o exocarste. Essa é a perspectiva que nos interessa aqui destacar, tendo em vista que a água e os elementos a ela adicionados ou ainda quaisquer outros fluidos que alcancem os terrenos cársticos são rapidamente sorvidos para o subsolo e nele se dispersam.

Há padrões nacionais e internacionais que regem a qualidade da água destinada, por exemplo, ao abastecimento público, ao uso industrial e à irrigação de culturas (tal qual, no Brasil, a resolução 357, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, de 17 de março de 2005, e a portaria 518 do Ministério da Saúde, de 25 de março de 2004). A existência desses padrões comprova, por si só, que a água disponível à manutenção dos mais diversos interesses sociais e econômicos nem sempre está apta ao consumo humano, ao cultivo de alimentos que compõem o nosso cardápio cotidiano, a ser incorporada em produtos industrializados, à balneabilidade, de modo a proteger a saúde pública e controlar substâncias e organismos potencialmente prejudiciais aos indivíduos.

Parcela considerável dos contaminantes incorporados à água decorre do lançamento de esgotos urbanos e industriais nos corpos hídricos. Todavia, uma coleção de outras atividades humanas dispersa contaminantes, a exemplo do uso indiscriminado de agroquímicos em práticas agropecuárias, da penetração no solo de chorume decorrente da decomposição de lixo orgânico, da dispersão no solo de resíduos oriundos de fossas sépticas, do emprego de substâncias químicas em cavas de mineração e do vazamento de derivados de petróleo de tanques subterrâneos em postos combustíveis. Como se pode depreender desses exemplos, há fontes contaminantes da água tanto pontuais como zonais. Vejamos quão delicada é essa questão no caso daqueles ambientes cársticos: no caso da contaminação das águas subterrâneas por meio do vazamento de derivados de hidrocarbonetos, estudo de caso conduzido por Wolfe e co-

laboradores (WOLFE et al., 1997) no Tennessee, USA, atesta o quão frágil e particular são as regiões cársticas frente às ações cotidianas das populações que nelas vivem e das atividades econômicas que nelas se desenvolvem (FIG. 7). Esses autores demonstram que os denominados DNAPL's, os hidrocarbonetos mais densos que a água, caso se infiltrem no solo e migrem até a zona saturada em áreas cársticas, passam a ocupar tanto o espaço poroso intergranular do regolito, quanto aquele de condutos e cavidades, onde se acumulam (condições de acumulação 1 a 5, representadas na Figura 7). Esses espaços são aqueles originalmente saturados pela água e, por essa razão, integram o aquífero cárstico, o qual passa a armazenar e transmitir água agora contaminada por derivados de petróleo. Essa contaminação torna a água imprópria, por exemplo, para o consumo humano, a dessedentação de animais e a irrigação.

Figura 7 – Contaminação de aquífero cárstico por derivados de petróleo, decorrente do vazamento de tanques combustíveis subterrâneos



Há, nesse contexto, dois aspectos fundamentais que merecem ser destacados: (i) a infiltração dos derivados de petróleo no solo, que, embora se faça em caráter pontual por meio de tanques combustíveis subterrâneos, adquire migração de caráter zonal e difusa em profundidade ao alcançar uma complexa rede de condutos cársticos subterrâneos; (ii) a alta velocidade de migração desses derivados ao se deslocarem por cavidades interconectadas – velocidade muito superior àquela verificada em zonas saturadas cuja porosidade é intergranular (FIG. 2).

A inerente interdependência entre exocarste e endocarste introduz outro elemento importante quanto à dispersão de contaminantes. Mesmo o contaminante que em superfície se dispersa em caráter zonal, ou seja, que se expressa segundo recorte espacial de dimensão variada, a exemplo da pulverização de agroquímicos em cultivos agrícolas, pode ser escoado pela superfície juntamente com a água das chuvas até depressões do terreno onde, em caráter pontual, infiltra-se. Aqui nos referimos à funcionalidade hidrológica de dolinas e uvalas, pontos de intenso fluxo de fluidos percolantes entre a superfície e o subsolo, como já salientado. Uma vez infiltrado no solo oriundo de fontes pontuais ou zonais, o contaminante, ao alcançar a rede subterrânea de condutos, pode, então, deslocar-se rapidamente a longas distâncias.

4. Mais um dito popular: “Em terra de cego, quem tem um olho é rei”. Será mesmo?

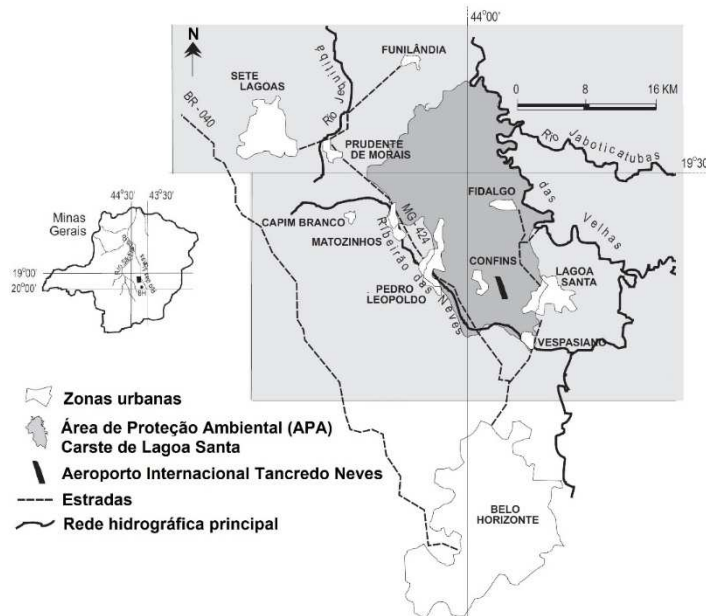
Recorremos aqui a mais um dito popular com o intuito de demonstrar que algo que, até então, era obscuro para o observador leigo passa a ser comumente desvelado pelo observador científico. No contexto da temática abordada neste artigo, a cegueira atribuída ao leigo se refere à migração da água em subsuperfície que, embora chancelada pela ciência, por se fazer distante do olhar humano, já que está sob nossos pés, é desconhecida por muitos, e, por isso mesmo, seus pormenores, significados e implicações cotidianas são rotineiramente desconsiderados. Rei, portanto, é a expressão aqui tomada para se referir ao investigador científico, cuja função social está comprometida com o olhar para além do senso comum, da cegueira, mesmo que de posse de um único olho. Isso mesmo, um único olho, pois muito ainda escapa ao olhar científico de mais acurada capacidade investigativa. Mas esse dito popular é mesmo assertivo no caso da ocupação humana dos espaços em que o carste se faz presente? Respondemos: nem sempre.

Para subsidiar a resposta já dada a esse questionamento, nós nos reportamos a trecho do território mineiro localizado na porção setentrional da capital mineira, com vistas a demonstrar que recomendações e diretrizes preconizadas pela ciência nem sempre são efetivamente incorporadas nas políticas e instrumentos destinados às gestões territorial e ambiental. E mais ainda, quando incorporadas, revelam-se parcialmente

cumpridas, mesmo naqueles cenários de reconhecidas fragilidade e vulnerabilidade dos sistemas ambientais.

O recorte territorial localizado imediatamente a norte de Belo Horizonte é aquele cujas rochas são carbonáticas e que, portanto, condicionaram a gênese de seu relevo cárstico. Nesse recorte, há municípios que integram o vetor norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH (Vespasiano, Confins, Pedro Leopoldo, Capim Branco, Matozinhos, Lagoa Santa), como também de seu colar metropolitano (Sete Lagoas, Prudente de Morais, Funilândia) (FIG. 8). Trabalhos acadêmicos desenvolvidos na UFMG sob nossa orientação abordaram, em momentos distintos, condições ambientais vigentes no carste dessa região em cotejo com ações e interesses sociais nela vigentes (BOTELHO e VALADÃO, 2007; ALT, 2008; ALT, VALADÃO e CARMO, 2008; BOTELHO, 2008; SILVEIRA e VALADÃO, 2008; PEREIRA, 2018). Nesses trabalhos, como em tantos outros desenvolvidos nessa mesma instituição e em demais organizações ambientais públicas e privadas, há claros indicadores quanto à ainda frágil efetividade socioambiental daquelas ações que têm sido implementadas na região cárstica localizada a norte de Belo Horizonte. Entre essas ações, destacamos a seguir aquelas de mais forte vinculação com o papel desempenhado pela migração da água em subsuperfície.

Figura 8 – Principais zonas urbanas da porção setentrional de Belo Horizonte edificadas sobre terrenos cársticos



Observe a abrangência espacial da APA Carste de Lagoa Santa.
Fonte: Berbert-Born (2002, p. 417, adaptado.).

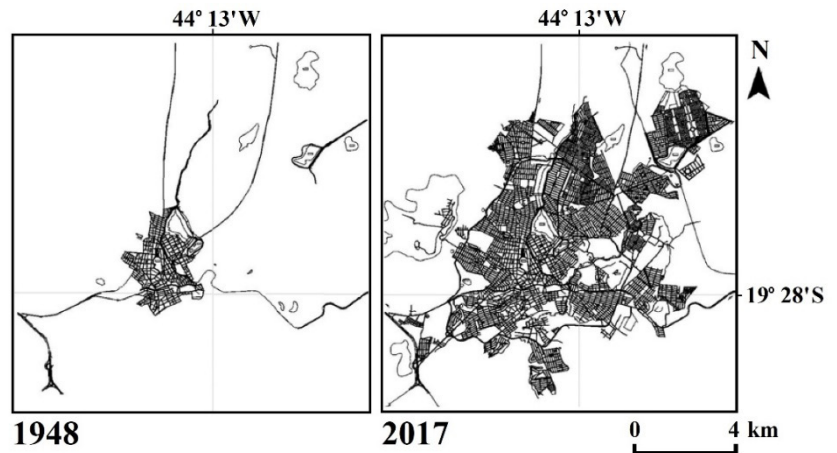
4.1 Insegurança hídrica e abastecimento público por aquíferos cársticos subterrâneos

A ausência de cursos d'água de elevado caudal hídrico no município de Sete Lagoas, em parte explicada por estar esse município situado em terrenos cársticos onde a drenagem em superfície é pouco efetiva, levou, na década de 1940, o poder público municipal a passar a captar em poços subterrâneos a água destinada à sua população. Naquela década, o contingente populacional do município era reduzido, e a água, captada em alguns de seus córregos e em cisternas (PREFEITURA MUNICIPAL DE SETE LAGOAS, 2006).

O aumento desse contingente, hoje estimado em 240.000 habitantes, tornou a captação de água em superfície insuficiente, o que levou à perfuração sistemática de poços profundos ao longo dos últimos 80 anos (BOTELHO e VALADÃO, 2007; BOTELHO, 2008). A atual malha de poços subterrâneos que abastece Sete Lagoas obtém água do aquífero cárstico sobre o qual a cidade foi edificada e se expande (FIG. 9). Essa malha é composta de mais de 120 poços sob responsabilidade de uma autarquia municipal, o SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto). Porém, há um grande número de outros poços de uso privado perfurados por terceiros, destinados ao fornecimento de água a indústrias e demais atividades econômicas desenvolvidas no município.

A histórica exploração subterrânea da água em Sete Lagoas é entremeada por tensões e conflitos decorrentes da sistemática escassez de água para o abastecimento de alguns trechos da cidade, de poços secos, poluídos e contaminados. Uma vez que essa captação se faz em aquífero marcado pela rápida transmissividade da água por uma complexa

Figura 9 – Evolução espacial da malha urbana da sede municipal de Sete Lagoas, em Minas Gerais



Na década de 1940, a cidade e seu contingente populacional aproximado de 20.000 habitantes eram abastecidos pela captação de água em superfície e cisternas. Nos últimos 80 anos, foram perfurados mais de uma centena de poços alimentados por aquífero cárstico, hoje administrados por autarquia municipal. A atual malha urbana de Sete Lagoas abriga cerca de 240.000 habitantes. Fonte: Botelho (2008, p. 53, adaptado.).

rede de condutos, os contaminantes podem afetar parcela considerável da população, como já discutido anteriormente (FIG. 7). Destaca-se, ainda, o aumento considerável da perfuração de poços em décadas mais recentes que, em condição de superexploração, podem rebaixar a superfície freática e fomentar subsidências e colapsos (FIG. 5 e 6). No município, essa relação entre superexploração hídrica subterrânea e subsidências/colapsos já foi objeto de relatórios elaborados por empresas privadas e por técnicos da administração municipal, os quais alertam para os riscos causados pela variação brusca da superfície freática em decorrência do rápido bombeamento da água até a superfície, recomendando-se a elaboração de um plano de sustentabilidade dos recursos hídricos.

A essa multiplicidade de fenômenos inerentes às condições de abastecimento hídrico de Sete Lagoas e, mais ainda, às condições em que ela se expressa é que Botelho (2008), há uma década, se referia e já alertava sobre o caráter de insegurança hídrica instaurado no município. Essa insegurança decorre não do desconhecimento das fragilidades intrínsecas dos reservatórios de água subterrânea do município, mas das ações ainda limitadas e frágeis interpostas por uma gestão política acentuadamente desenvolvimentista em detrimento de outra conservacionista e sustentável. A questão, portanto, embora envergue uma dimensão geofísica e até mesmo quantitativa, é iminentemente social e se aporta ao desenvolvimento econômico e cultural (VARGAS, 1999; REBOUÇAS, 2002) e reclama por uma gestão racional dos terrenos cársticos. A referida insegurança hídrica se denota ainda em decretos municipais de emergência quando, nos períodos de estiagem prolongada, o rebaixamento da superfície freática resulta na secagem de alguns poços. Nessas condições, parte da cidade é abastecida por caminhões-pipa, e comumente se impõe racionamento hídrico à população.

4.2 Efetividade socioambiental de Unidades de Conservação em terrenos cársticos

Parcela territorial dos terrenos cársticos localizada no vetor norte de expansão da Região Metropolitana de Belo Horizonte tem sua preservação ambiental expressa em termos legais. Nesse contexto, destaca-se, em razão de sua abrangência espacial, a criação, em 1990, da Área de Proteção Ambiental Carste de Lagoa Santa (FIG. 8), cujo

objetivo é garantir a relação harmônica entre intervenções antrópicas e preservação do patrimônio cárstico regional (Decreto Federal 98.881, de 25 de janeiro de 1990). Sete anos após a criação dessa APA, em 1997, foi realizado seu Zoneamento Ambiental; em 1998, foi publicado seu Plano de Gestão Ambiental, e, desde 2005, encontra-se em atividade, nessa unidade de conservação (UC), seu Conselho Consultivo. Esse coletivo de instrumentos comprova o reconhecimento da vulnerabilidade ambiental da região por parte do poder público federal, segundo critérios estabelecidos por investigações científicas historicamente conduzidas na região. Superposto ao território dessa APA, há ainda um complexo mosaico de políticas e instrumentos criado para as gestões ambiental e territorial que converge, em tese, para o uso sustentável e racional dos terrenos cársticos; essa miríade de instrumentos foi desvelada e detalhadamente analisada por Alt (2008) e Pereira (2018).

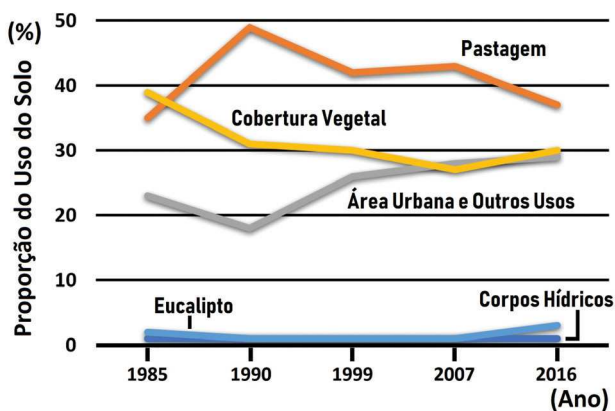
As referidas autoras questionam a efetividade socioambiental desse mosaico, apesar de ele contemplar instrumentos da (i) política nacional de meio ambiente (plano de manejo de APA; Zoneamento Ecológico Econômico; licenciamentos ambientais decorrentes de Estudos de Impacto Ambiental – EIA; legislação pertinente às cavidades naturais), (ii) da política urbana (planos diretores municipais), e (iii) da política nacional de recursos hídricos (plano de bacia hidrográfica). Para as autoras, os Planos Diretores (PDs) que regem a política urbana nos municípios cujos territórios se estendem sobre a APA Carste de Lagoa Santa correspondem aos instrumentos que estabelecem maior quantitativo de medidas protetivas da paisagem cárstica. Todavia, digno de nota é o fato de os PDs de municípios mais próximos a Belo Horizonte estabelecerem zoneamento urbano em claro conflito com o zoneamento da referida APA.

Uma vez que há, no Brasil, uma legislação específica que normatiza o uso de cavidades naturais subterrâneas – as cavernas – (Instrução Normativa nº 2 de 20/08/2009/MMA - Ministério do Meio Ambiente), a sua aplicação no contexto da APA Carste de Lagoa Santa, ao permitir a supressão de feições cuja dinâmica hidrogeológica desempenha papel fundamental na recarga pontual de seu aquífero cárstico, pode afetar o volume de água armazenado em subsuperfície hoje essencial ao abastecimento público e ao atendimento da demanda hídrica de variada tipologia de atividades econômicas. Referimo-nos aqui àquelas entradas de cavernas para onde convergem as águas de superfície, os denominados sumidouros (FIG. 3 e 4).

Há de se destacar ainda que o complexo mosaico de políticas e instrumentos particularmente criado para as gestões ambiental e territorial dos terrenos cársticos ao norte de Belo Horizonte, embora aparentemente garantidor de uma ocupação racional e sustentável, revela-se frágil, considerando os objetivos propostos. Alt (2008), ao entrevistar residentes que ocupam o território da APA Carste de Lagoa Santa, concluiu que cerca de 60% deles relataram convívio cotidiano com problemas ambientais, mesmo após transcorridos onze anos do estabelecimento de seu zoneamento. Os residentes citaram mais frequentemente problemas relacionados aos recursos hídricos, com destaque para a poluição das águas, enchentes e assoreamento. Relataram ainda a disposição de lixo em lotes vagos e em lagoas, os danos decorrentes da atividade minerária do calcário (poeira; trincas em paredes em razão do uso de explosivos), desmatamentos, queimadas e a perfuração não autorizada de poços tubulares. Não obstante, destacaram a melhoria significativa do saneamento básico após a criação da APA, apesar da manutenção de grande número de fossas rudimentares. Uma vez entrevistados os membros que em 2007 integravam o Conselho Consultivo dessa UC, foi referendada a coleção de problemas ambientais citada pelos residentes.

Fato relevante é que, transcorridos 21 anos da implantação do referido zoneamento, Pereira (2018) confirmou a persistência dos problemas ambientais reconhecidos por Alt (2008). Em consonância com essa persistência, as referidas autoras compro-

Figura 10 – Evolução temporal e espacial de diferentes categorias de uso do solo na APA Carste de Lagoa Santa - MG, estabelecida por meio da interpretação de imagens orbitais



Os percentuais registrados no gráfico foram obtidos por Alt (2008) e Pereira (2018).

varam, com base em análises temporais de imagens orbitais, que, nos últimos 31 anos, não se registrou uma significativa diferença na dinâmica espacial do uso do solo no interior da APA e em áreas adjacentes a ela. Ao que tudo indica, a aplicação dos instrumentos de gestão historicamente em curso nessa UC não parece capaz de administrar de modo racional a influência do transbordamento do tecido urbano da RMBH em direção ao seu vetor norte de expansão (FIG. 10).

Após a criação da APA Carste de Lagoa Santa, em 1990, e mesmo do estabelecimento de seu zoneamento, em 1997, houve significativa perda de sua

cobertura vegetal. Áreas ocupadas por pastagens também registraram redução. Consequentemente, ocorreu, no período considerado, notória conversão de espaços até então ocupados por pastagens e revestidos por cobertura vegetal em áreas urbanas e outros usos. Esses últimos correspondem, sobretudo, à abertura de novos loteamentos que se aglomeram em torno das cidades de Lagoa Santa, Pedro Leopoldo e Matozinhos (FIG. 8) e ao longo dos principais eixos viários. Incluem, ainda, a área ocupada pelo Aeroporto Internacional Tancredo Neves, as extrações de areia em fundos de vale e as cavas de mineração de calcário. Essa conversão de porções territoriais de extensão considerável em zonas urbanas impõe profunda alteração no processo de migração da água em superfície e em profundidade no subsolo. Ao longo das últimas três décadas, passaram a vigorar nos terrenos cársticos, aqui em perspectiva, uma redução das condições ótimas para a migração da água sob nossos pés, ou seja, daquela ciclagem hídrica de temporalidade longa marcada pela infiltração e percolação da água no subsolo. Em contrapartida, nessa mesma temporalidade, implantaram-se condições ideais para aumento do caudal hídrico de superfície rápido, aquele do escoamento direto, pouco efetivo à manutenção dos aquíferos cársticos tão vitais aos interesses sociais que cada vez mais se aglomeram na região.

A esperada relação harmônica entre intervenções antrópicas e preservação do patrimônio cárstico regional parece, então, distanciar-se. E, mais ainda, de modo rápido, como se vê.

No caso em tela, a capacidade do investigador científico em enxergar para além do senso comum constitui uma realidade. Foi a acumulação do conhecimento científico acerca dos terrenos cársticos localizados na porção setentrional da RMBH que fomentou a implantação de instrumentos de gestões territorial e ambiental pautados em sua inerente fragilidade e vulnerabilidade. Todavia, uma forçante vigorosa tem introduzido, nessa região cárstica, uma coleção de fenômenos de forte conotação espaço-ambiental já também bastante conhecida pela ciência: o transbordamento do tecido urbano de uma metrópole sobre suas áreas limítrofes, envolvendo-a em uma complexa teia de atividades e demandas socioeconômicas. A captura de novos espaços por essa teia, mais do que a demanda por superfícies sobre as quais as cidades possam se expandir, decorre mesmo dos interesses do capital que se faz valer do fetiche, por ele mesmo forjado, do viver “sustentável e seguro” em empreendimentos imobiliários apartados do

cotidiano estressante também por ele gestado. Mesmo aquela visão científica captada por um único olho, embora fundamental na proposição de procedimentos racionais e sustentáveis dos espaços, tem sido, a nosso ver, obliterada e posta à margem. Nesse embate de interesses e forças, talvez caiba mais um dito popular: “O Rei reina, mas não governa”. É quase isso: ignora-se o conhecimento científico.

Considerações Finais

As intrincadas relações que se interpõem no complexo litosfera – biosfera – atmosfera – hidrosfera têm constituído objeto fundamental para o campo das ciências ditas ambientais. Nesse campo, reconhecer, caracterizar, analisar e, acima de tudo, desvelar retroalimentações e causalidades é pauta há muito já perseguida pelo investigador científico embalado por uma perspectiva de laicização da Natureza, tal qual explicitado por Barros e Valadão (2016). Essa perseguição, em meados do século XX, gradativamente passa a incorporar demandas da dimensão do humano e, portanto, das sociedades. Surge daí mais uma esfera no já complexo cenário anteriormente traçado, a tecnosfera. Essa esfera, repleta de fixos e fluxos construídos graças aos recursos tecnológicos desenvolvidos pela ciência (Santos, 2006), instaura a tecnificação que, embora domine a Natureza e acelere a libertação do homem das injunções impostas por essa última, degrada e corrói a qualidade de vida nas sociedades contemporâneas. Esse é o antagonismo ao qual hoje estamos submetidos.

Desse quadro antagonístico é que emergem questões urgentes ligadas à inerente migração da água pelas aludidas esferas. Há, como vimos, migrações hídricas que são plenamente explícitas, pois se processam em superfície (item 2, deste artigo), transformando-se prontamente em demandas sociais que anseiam por mais apurada qualidade de vida. Não obstante, há migrações hídricas de difícil reconhecimento pelo olhar do leigo e é por ele comumente ignorado, pois se fazem sob nossos pés e de modo imperceptível (itens 2 e 3). Embora de difícil reconhecimento, essas migrações da água no subsolo desempenham papel fundamental em processos na superfície e, mais ainda, impactam nas demandas sociais que nela se reproduzem, sobretudo em terrenos cársticos (itens 3.1 e 3.2).

Todavia, esse desconhecimento é traço característico do olhar do leigo, não do investigador científico. Parafraseando Kresic (2013), não é a ausência de conhecimento quanto à dinâmica da migração da água e suas implicações em terrenos cársticos uma escusa para sua usual desconsideração em planejamentos ambientais e na vasta gama de usos do solo sobre eles efetivada (itens 4, 4.1 e 4.2). Esse é mais um desafio interposto às ciências ambientais: desenvolver estratégias e recursos tecnológicos, visando à mitigação de danos já instaurados, bem como materializar, na prática, os rumos traçados por políticas e instrumentos de planejamento e gestão territorial comprometidos com a sustentabilidade.

Referências

- ALBRECHT, K. J. *Avaliação geológica-geotécnica de terrenos sujeitos a problemas cársticos – base para o mapeamento geotécnico*. 1998. 210f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
- ALT, L. de R. *Efetividade sócio-ambiental da APA Carste de Lagoa Santa - MG: uma avaliação a partir de suas ferramentas de planejamento e gestão*. 2008. 243f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- ALT, L. de R.; VALADÃO, R. C.; CARMO, V. A. Avaliação da efetividade da APA Carste de Lagoa Santa a partir do estudo das relações entre os habitantes e a Unidade de Conservação. *Cadernos Manuelzão*, v. 3, p. 51-62, 2008.
- BARROS, P. H. C. de A.; VALADÃO, R. C. Cronologia na Corologia – A construção de uma perspectiva temporal. *Revista UFMG*, v. 23, n. 1/2, p. 196-221, jan./dez. 2016. Disponível em: <<https://seer.ufmg.br/index.php/revistadaufmg/article/view/11002/8328>>. Acesso em: 30 maio 2018.
- BECK, B. F.; SINCLAIR, W. C. *Sinkholes in Florida: An Introduction*. Orlando: The Florida Sinkhole Research Institute, 1986. Report 85-86-4, 16p.
- BERBERT-BORN, M. Carste de Lagoa Santa, MG: berço da paleontologia e da espeleologia brasileira. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. L. C. (Eds.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM, 2002. v. 1, p. 415-430. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/sitio015/sitio015.htm>>. Acesso em: 17 abr. 2018.
- BOTELHO, L. A. L. A.; VALADÃO, R. C. Abastecimento Público em Ambiente Cárstico: o caso do Município de Sete Lagoas/MG. In: Encontro Brasileiro de Estudos do Carste, 2, 2007, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Instituto de Geociências/USP, 2007. v. 1, p. 123-126.

BOTELHO, L. A. L. A. *Gestão dos recursos hídricos em Sete Lagoas/MG: uma abordagem a partir da evolução espaço-temporal da demanda e da captação de água*. 2008. 130f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

BRAZ DA SILVA, A. Abatimento de solo na cidade de Sete Lagoas, Minas Gerais. *Revista Águas Subterrâneas*, v. 12, n. 1, p. 57-66, 1988. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/11283/7864>>. Acesso em: 6 abr. 2018.

DEMANGEOT, J. *Les Milieux "Naturels" du Globe*. 2^e édition. Paris: Masson, Collection Geographie, 1987. 250p.

KARMANN, I. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Orgs.) *Decifrando a Terra*. 3^a reimpressão. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008, p. 113-138.

KRESIC, N. *Water in Karst: management, vulnerability and restoration*. New York: Mc Graw-Hill, 2013. 708p.

NAKAZAWA, V. A.; PRANDINI, F. L.; DINIZ, N. C. Subsídências e colapsos de solo em áreas urbanas. In: BITAR, O. Y. (Coord.). *Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995. Cap. 3-5, p. 101-133.

OLIVEIRA, L. M. de. *A gestão de riscos geológicos urbanos em áreas de carste*. 1997. 46f. Monografia (Especialização) – Pontifícia Universidade Católica, Curitiba, 1997.

OLIVEIRA, L. M. de. *Acidentes geológicos urbanos*. Curitiba: Mineropar - Serviço Geológico do Paraná, 2010. 78p.

PEREIRA, M. C. *O carste sob os olhares da superfície: fragilidade, antropismo e planejamentos urbano e ambiental na região cárstica de Lagoa Santa - MG*. 2018. 224f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

PRANDINI, F. L.; NAKAZAWA, V. A.; ÁVILA, I. G.; OLIVEIRA, A. M. S.; SANTOS, A. R. Cajamar - carst e urbanização: zoneamento de risco. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 5, 1987, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABGE, 1987. v. 2, p. 461-470.

PRANDINI, F. L.; NAKAZAWA, V. A.; SANTOS, A. R. *Evolução de cavidades em carst coberto – contribuição da Geologia de Engenharia*. In: Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano, 1, 1990, São Paulo. *Atas...* São Paulo: ABGE, p. 197-205.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SETE LAGOAS. *Relatório para o Plano Diretor do Município de Sete Lagoas*. Sete Lagoas, 2006.

REBOUÇAS, A. C. Águas subterrâneas. In: REBOUÇAS, A. C.; Braga, B. & Tundisi, J.G. (Orgs.) *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 2^a ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. 703p.

SALLUN FILHO, W. Subsidência e colapso em terrenos cársticos. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do (Orgs.) *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. Cap. 7, p. 99-110.

SANTOS, A. R. dos *Terrenos Calcários: Áreas de risco geológico para a Engenharia e para o Meio Ambiente*. 2008. Disponível em: <<http://noticias.ambientebrasil.com.br/artigos/2008/05/05/37974-terrenos-calcarios-areas-de-risco-geologico-para-a-engenharia-e-para-o-meio-ambiente.html>>. Acesso em: 6 abr. 2018.

SANTOS, M. *A natureza do espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção*. 4ª ed. 2ª reimpr. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006. 258p. Disponível em: <http://files.leadt-ufal.webnode.com.br/20000026-4d5134e4ca/Milton_Santos_A_Natureza_do_Espaco.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2018.

SILVEIRA, J. S.; VALADÃO, R. C. Geomorfologia cárstica aplicada à Análise locacional de empreendimentos Industriais. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 7, Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2, 2008, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: União da Geomorfologia Brasileira - UGB, 2008. v. 1, p. 1-13.

SUMMERFIELD, M. A. *Global Geomorphology*. Harlow: Pearson - Prentice Hall, 1991. 537p.

TIHANSKY, A. B. Sinkholes, west-central Florida - A link between surface water and ground water. In: GALLOWAY, D.; JONES, D. R. INGEBRITSEN, S. E. (Eds.) *Land Subsidence in the United States*. Reston: U.S. Geological Survey Circular 1182, 1999. p. 121-140. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/circ/circ1182/pdf/15WCFlorida.pdf>> Acesso em: 2 jun. 2018.

VARGAS, M. O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema sócioambiental. *Revista Ambiente e Sociedade*, ano 2, n. 5, 1999. p: 109-134. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/n5/n5a09.pdf>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

WALTHAM, T.; BELL, F. G; CULSHAW, M. *Sinkholes and Subsidence, Karst and Cavernous Rocks in Engineering and Construction*. Chichester: Springer, Praxis Publishing, 2005. 350p.

WOLFE, W. J.; HAUGH, C. J.; WEBBERS, A.; DIEHL, T. H. *Preliminary conceptual models of the occurrence, fate, and transport of chlorinated solvents in karst regions of Tennessee*. Nashville: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report, 97-4097, 1977. 80p. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/wri/wri974097/graphics/wrir.pdf>>. Acesso em: 2 jun. 2018.