

## ZONA DE PROTEÇÃO MICROBIOLÓGICA: limitações do método de salvaguarda dos pontos de captação de água subterrânea.

*Mauro César de Brito Sousa<sup>1</sup>, Claudio Damasceno de Souza<sup>2</sup>, Cleto Augusto Baratta Monteiro<sup>3</sup>, José Wilker de Freitas Sales<sup>4</sup>, Liliana Maria Mota de Oliveira<sup>5</sup> & Marco Aurélio Holanda de Castro<sup>6</sup>*

**RESUMO** --- O presente trabalho pretende desenvolver uma análise das metodologias de proteção de águas subterrâneas lançando um enfoque sobre a abordagem que trata da Delimitação das Áreas de Proteção das Fontes de Abastecimento de Água Subterrânea e apresentando o porquê das críticas referentes à delimitação da zona de proteção microbiológica.

**ABSTRACT** --- This paper presents an analysis of methodologies for protection in groundwater with a focus on Wellhead Protection Areas and particularly in the delineation of the area for microbial protection.

Palavras-chave: Águas Subterrâneas, Áreas de Proteção de Fontes, Contaminação Microbiológica.

---

<sup>1</sup> Doutorando em Engenharia Civil - Recursos Hídricos (UFC), Centro de Tecnologia, DEHA, Campus do Pici, Bloco 713, 60451-970, Fortaleza - CE, e-mail: [engmaurocesar@gmail.com](mailto:engmaurocesar@gmail.com).

<sup>2</sup> Doutorando em Engenharia Civil - Recursos Hídricos (UFC), Centro de Tecnologia, DEHA, Campus do Pici, Bloco 713, 60451-970, Fortaleza - CE, e-mail: [claudioufc@gmail.com](mailto:claudioufc@gmail.com).

<sup>3</sup> Professor Adjunto da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Universidade Federal do Piauí, Centro de Tecnologia, Campus Ininga, e-mail: [cleto\\_baratta@hotmail.com](mailto:cleto_baratta@hotmail.com).

<sup>4</sup> Mestrando em Saneamento Ambiental (UFC), Rua Martins Sales, 05. CEP: 60411-000. Fortaleza-CE, email: [wilkersales@oi.com.br](mailto:wilkersales@oi.com.br).

<sup>5</sup> Aluna do Curso de Especialização em Geoprocessamento e Análise Ambiental e Recursos Hídricos, (UECE), [lilianaoliveira@hotmail.com](mailto:lilianaoliveira@hotmail.com).

<sup>6</sup> Professor Adjunto da Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Centro de Tecnologia, Campus do Pici, Bloco 713, 60451-970, Fortaleza - CE, e-mail: [marco@ufc.br](mailto:marco@ufc.br).

## **1 - INTRODUÇÃO**

A água subterrânea constitui hoje um dos atores principais dos Objetivos do Milênio para o Desenvolvimento das Nações Unidas, que pretende dentre outros pontos, diminuir até 2015 a proporção de pessoas sem saneamento básico, onde um quinto da população não possui acesso à água potável. Acredita-se que com certo grau de gerenciamento, os mananciais de água subterrâneos podem resolver problemas de abastecimento de boa parte da demanda de água potável do planeta (UNITED NATIONS, 2002).

O presente trabalho desenvolve uma análise das metodologias de proteção de águas subterrâneas realizadas por especialistas, engenheiros ambientais e cientistas encarregados de desenvolver estratégias de proteção da qualidade da água para o abastecimento. Lançando um enfoque sobre a abordagem que trata da Delimitação das Áreas de Proteção das Fontes de Abastecimento de Água Subterrânea.

Pretende também mostrar o porquê das críticas a esse método de gestão de aquíferos, através da verificação do estado da arte referente à avaliação dos métodos de transporte de microrganismos patogênicos em meios subsuperficiais e detalhamento dos estudos que enunciam divergências com relação à aplicação das atuais formas de gestão de áreas para proteção de fontes subterrâneas para abastecimento, particularmente na delimitação da zona tida como de proteção microbiológica.

## **2 – ÁREAS DE PROTEÇÃO DE FONTES DE ABASTECIMENTO**

As estratégias de proteção de água subterrânea podem ter dois enfoques. O primeiro, que comumente envolve estudos de vulnerabilidade, é a proteção geral que identifica áreas mais suscetíveis de forma a promover um controle regional do processo de uso do solo em toda a sua extensão. O segundo enfoque é a proteção dos pontos de coleta de água subterrânea, particularmente, àquelas destinadas ao abastecimento humano (ANA, 2007).

As áreas de proteção pontual, ou Perímetro de Proteção de Poços segundo a Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS, 2001), ou Wellhead Protection Areas (EPA, 1994), ou ainda Source Protection Zone (EA, 1998), contemplam a proteção contra contaminantes que se degradam com o tempo e contaminantes não degradáveis.

Em 1902, a lei francesa já previa a necessidade de faixas de proteção contra intervenientes poluidores passíveis de acometer os pontos de captação, enquanto que, somente a partir da década de 50 os países industrializados modificaram suas legislações para melhor combater a degradação de seus recursos hídricos instituindo os perímetros de proteção. A eficiência do método levou a

outros países como EUA e Canadá a adotarem esta mesma estratégia de proteção de forma a garantir a qualidade da água destinada ao abastecimento público (COELHO, 2003).

A proteção pontual destina-se à salvaguarda de uma área associada ao ponto de captação, delimitada pelas linhas de fluxo que convergem a este ponto. A área a ser protegida seria então denominada de Zona de Contribuição ou zona de captura, onde todas as atividades potencialmente contaminantes teriam de ser proibidas a fim de eliminar completamente o risco de contaminação,

Entretanto, eliminar todas as atividades potencialmente contaminantes é com frequência impraticável, uma vez que proteger toda a zona de captura configura-se em distâncias proibitivas para o contexto econômico em que estão inseridas as fontes de captação destes mananciais. Dessa forma outras subdivisões aliadas às categorias de risco e degradação do contaminante são tomadas, de modo que restrições mais rigorosas ao uso do solo sejam aplicadas somente nas áreas próximas da fonte.

Dentre as principais subdivisões para delimitações de áreas de proteção de fontes, cita-se a Zona de Proteção Microbiológica, ou Perímetro de Alerta (ANA, 2007), cuja função é promover uma proteção à possibilidade de contaminação microbiológica. É sem dúvida o ponto de maior discussão (TAYLOR *et al.*, 2004) das diversas metodologias de delimitação de áreas de proteção de fontes, devido às hipóteses assumidas em sua concepção que abordam diretamente a capacidade de atenuação de contaminantes patogênicos na matriz do solo, sobrevivência do patógeno no meio subsuperficial e a capacidade de transporte do patógeno no meio subterrâneo..

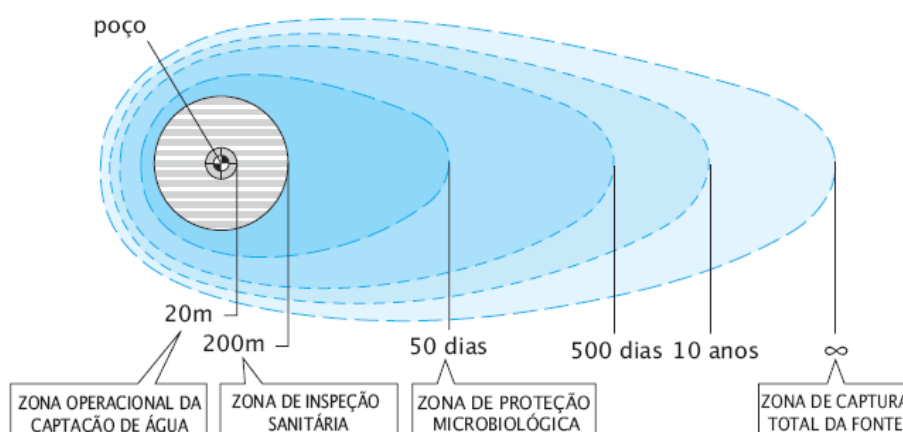


Figura 1 - Esquema das zonas de captura de água subterrânea e dos perímetros do tempo.  
Fonte: Foster *et al.* (2006).

A Zona de Proteção Microbiológica defini-se como a área de proteção interna baseada na distância equivalente a um tempo de trânsito horizontal médio na zona saturada, servindo como barreira de atenuação contra atividades que infiltram vírus, bactérias e parasitas patogênicos. Estes patógenos entram em aquíferos rasos provenientes de fossas sépticas, valas de drenagem, latrinas, esgotos ou cursos de água superficiais contaminados (FOSTER *et al.*, 2006, p. 35).

O risco de contaminação microbiológica relaciona-se portanto ao potencial de um meio contaminado por patógenos alcançar a fonte usada para a captação de água subterrânea, adotando-

se, para tanto, uma estimativa do tempo de percurso que levaria para a água potencialmente poluidora alcançar determinada fonte ou poço que esteja em vias de utilização para o consumo humano.

Evidências empíricas mostram que estimar faixas de tempos de percursos entre 25 e 50 dias, é suficiente para reduzir concentrações de coliforme fecal a um nível de detecção improvável nas amostras de qualidade da água (ARGOSS, 2001). Segundo apresentado em Foster (2006), alguns estudos sugerem que a distância horizontal percorrida pelos patógenos na zona saturada é governada pela velocidade do fluxo de água subterrânea e em todos os incidentes em que doenças foram registradas pela ingestão de águas subterrâneas contaminadas por patógenos, o tempo de viagem entre fonte de captação e ponto de poluição era de no máximo 20 dias.

Dessa forma, convencionou-se que 50 dias é um valor razoável para se definir a zona de proteção microbiológica, o que está em conformidade com a prática de muitos países de alta e baixa renda *per capita*. Onde, conforme considerações dos órgãos que adotam esta metodologia, este tempo seria suficiente, por se basear em tempos de sobrevivência dos microrganismos patogênicos em laboratório e em estudos de campo (ARGOSS, 2001).

É fato, portanto, que embora dotada de incertezas, o aspecto prático levou esta metodologia a compor os critérios de proteção de fontes de captação de água subterrânea de vários países do mundo, como por exemplo, a norma de Proteção de Áreas de Poços promovido pela USEPA (1987 *apud* ANDERSON E WOESSER, 1992) e o programa de Zoneamento de Proteção de Fontes desenvolvido pela Agência de Meio Ambiente do Reino Unido (ENVIRONMENT AGENCY 1997 *apud* EHS, 2001).

### **3 – LIMITAÇÕES E CRÍTICAS AO MÉTODO**

As atuais estratégias para proteger águas subterrâneas de fontes de contaminação microbiana baseiam-se na atenuação natural de microrganismos patogênicos na matriz de solo e nas distâncias assumidas entre fontes potenciais de contaminação e fontes de captação de água, fazendo prevalecer um tempo mínimo de trânsito horizontal de atenuação.

A não redução da possibilidade de contaminação microbiana, entretanto, é fato nos Estados Unidos desde a sua implementação, o que pode ser um cenário sugerido também para as demais localidades que adotam os mesmos princípios (MARCLER; MERCLE, 2000).

O principal descrédito conferido às zonas de proteção microbiológica está nas suas duas hipóteses fundamentais, onde se afirma que microrganismos se deslocam à velocidade média do fluxo da água subterrânea e que o tempo de sobrevivência dos patógenos no meio é conhecido. Segundo Taylor *et al.* (2004) são duas hipóteses inválidas.

A velocidade média linear do fluxo de água subterrânea definida pela lei de Darcy (FETTER, 1993) é regularmente usada para descrever a velocidade do transporte de substâncias dissolvidas em águas subterrâneas que não reagem com o substrato geológico.

Segundo Fetter (1993):

$$v_x = \frac{k}{\eta_e} \frac{dh}{dl} \quad (1)$$

Onde:

$v_x$  = Velocidade linear média do fluxo subterrâneo [L/T];

$k$  = Condutividade hidráulica [L/T];

$\eta_e$  = Porosidade efetiva;

$dh / dl$  = Gradiente hidráulico [L/L].

O uso da velocidade média linear do fluxo de água subterrânea (Lei de Darcy), entretanto, ignora as muitas possibilidades de velocidades de fluxos das águas subterrâneas que realmente ocorrem. Observações em micro-escala ao longo de algum caminho de fluxo subterrâneo particular (por exemplo, em estudos com traçadores biológicos) evidenciam velocidades que podem ser mais rápidas que a velocidade média definida pela formulação de Darcy.

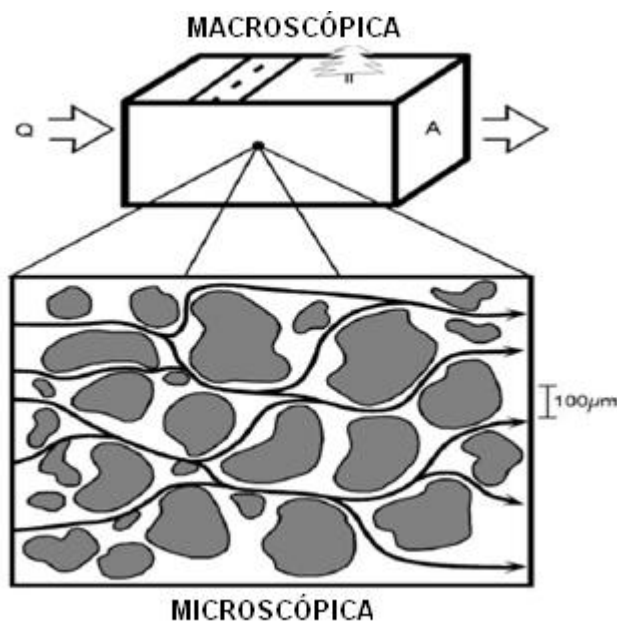


Figura 2 - Representação conceitual macroscópica e microscópica da velocidade de fluxo de água subterrânea.

FONTE: Taylor *et al.* (2004).

O estudo com traçadores biológicos são comumente empregados em análises de fluxo e transporte de águas subterrâneas a fim de avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas para contaminação por microrganismos patogênicos.

Nesses estudos de campo com traçadores biológicos (bacteriófagos), conforme Taylor *et al.* (2004), o transporte comumente ocorre mais rapidamente do que o dos traçadores conservativos que representam a velocidade linear média do fluxo de água subterrânea.

Para além dessa rápida velocidade de transporte observada em traçadores biológicos em relação à média da velocidade linear do fluxo subterrâneo, uma majoração dessa diferença ocorre em rochas fraturadas se comparadas à matriz de solos onde o fluxo intragranular é predominante (aquíferos arenosos ou aluviais).

Em suma apesar de não haver uma precisão na correlação entre traçadores biológicos e patógenos derivados de efluentes, fica claro que existem comportamentos extremos de velocidades de transporte muito acima da velocidade média aferida pelas definições de Darcy.

No que concerne a segunda hipótese, embora, as condições que delimitam particularidades da sobrevivência de microrganismos patogênicos na subsuperfície sejam apresentadas em muitos estudos, tais particularidades margeiam um campo do conhecimento científico ainda tido por incipiente.

Por exemplo, bactérias indicadoras (como coliformes termotolerantes), organismos derivados de águas residuárias inclusive protozoários, bactérias e vírus entéricos foram detectados em grandes profundidades nas águas subterrâneas indicando o transporte através de zonas saturadas e insaturadas que por caracterização clássica deveriam encarregar-se da inativação destes organismos detectados (TAYLOR *et al.*, 2004).

E mesmo que o nível de detecção aponte uma magnitude limitada de contaminação, de maneira a evidenciar que apenas uma proporção ínfima seja necessariamente transportada, a preocupação ainda se justifica porque diferentemente de muitos compostos químicos, doenças de veiculação hídrica ocorrem pela ingestão de pequenas quantidades de organismos patogênicos e vírus entéricos.

Outra característica se deve ao fato de que os dias tidos por padrão do tempo de sobrevivência de microrganismos em meio subterrâneo, estão intimamente ligados às bactérias patogênicas como o *E. coli*, o que desconsidera em absoluto a maior capacidade de sobrevivência de vírus, notórios pela sua capacidade infectante em doses diminutas (ARGOSS, 2001).

Em adição às inconsistências acima citadas, em vários países, registrou-se um incremento da incidência de doenças em virtude do aumento de eventos extremos de chuva nessas regiões (GODFREY *et al.*, 2005). O que traria novas possibilidades em acréscimos de velocidades de

transportes de microrganismos e condições não contempladas pela metodologia habitual do zoneamento de proteção microbiológica.

#### 4 – CONCLUSÕES

Inadvertidamente ocorre grande dependência da captação de água subterrânea não tratada para o abastecimento em comunidades rurais, países de baixa renda e mesmo em países desenvolvidos. A pré-concepção da potabilidade natural desses mananciais propicia certo nível de negligência passível de instaurar um meio suscetível à aquisição de doenças de veiculação hídrica pela ingestão de microrganismos patogênicos.

Certamente a praticidade ocasionou a tomada da metodologia de zoneamento para proteção microbiológica como o padrão adotado por órgãos ambientais de vários países desenvolvidos e como modelo aferido por incontestes por outros reconhecidamente incapazes de inferir métodos mais consistentes de preservação de seus mananciais e pontos de coleta de água para abastecimento.

Entretanto, conforme visto nas análises dos artigos citados nesta revisão, as duas hipóteses que fundamentam tal método de zoneamento são tidas por incoerentes para a proteção denominada por microbiológica. Primeiro por não se ter certeza da capacidade de sobrevivência de microrganismos em meio subterrâneo e o grau de atenuação conferida pela matriz de solo. Segundo, por se evidenciar velocidades bem maiores, a partir de traçadores biológicos, do que a média concebida pela formulação de Darcy. Além do que, existe a possibilidade de tomada de fluxo preferencial por fissuras e um acréscimo adicional de carga hidráulica oriundo de eventos de chuva que podem facilitar as velocidades estatisticamente extremas dos patógenos.

Dessa forma, pode-se extrair desse estudo que a avaliação dos perigos de contaminação aos pontos de captação de água subterrânea remete a políticas mais transparentes e maiores cuidados na delimitação de faixas regulamentares de proteção microbiológica. Também se torna evidente a necessidade do aumento do caráter informativo às comunidades que tendem a tomar posse das abordagens citadas nesse estudo como única forma de preservação das fontes de captação de águas subterrâneas para abastecimento próprio.

Percebe-se que em face às indeterminações ocasionadas pelas zonas de proteção microbiológica, o binômio composto por higiene e melhores acessos a serviços de saneamento, podem refletir em uma redução ao risco de contaminação das fontes de captação.

#### 5 – BIBLIOGRAFIA

ABAS. (2001). *ABAS INFORMA*. Disponível em [HTTP://www.abas.org/abasinforma/121/paginas/09.htm](http://www.abas.org/abasinforma/121/paginas/09.htm)

- ANA (Agência Nacional de Águas). (2007). *Caderno de Recursos Hídricos - Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil e Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil*. Brasília : ANA. 124 p.: il. (Caderno de Recursos Hídricos, 5).2007.
- ANDERSON, M., WOESSNER, W. (1992). *Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport*. San Diego: Academic Press, Inc. 381 pp.
- ARGOSS. (2001). *Guidelines for assessing the risk to groundwater from on-site sanitation*. British Geological Survey Commissioned Report CR/01/142. BGS keyworth, England. 104 p.
- COELHO, V M. (2003). *Perímetros de proteção para fontes naturais de águas minerais*. Revista Águas Subterrâneas, n. 17, p. 77, maio.
- EHS. (2001). *Policy and Practice for the Protection of Groundwater in Northern Ireland*. Department of the Environment. Printing Unit. Booklet. 40 p. 2001.
- ENVIRONMENT AGENCY. (1998). *Policy and practice for the protection of groundwater*. Londres:HMSO.
- EPA (Environmental Protection Agency). (1994). *Handbook on groundwater and wellhead protection*. Environmental Protection Agency, Washington, D. C.
- FETTER, C. W. (1993). *Contaminant Hydrogeology*. Macmillan Publishig Company, N. Y.
- FOSTER, S. S. D.;HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M. PARIS, M. (2006). *Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos Municipais e agências ambientais*. Tradução Silvana Vieira. Revisão Técnica Ricardo Hirata. São Paulo: Servmar – Serviços Técnicos Ambientais Ltda.
- GODFREY, S.; TIMO, F.; SMITH, M. (2005). *Relationship between rainfall and microbiological contamination of shallow groundwater in Northern Mozambique*. Water S. A. [Water S. A.]. Vol. 31, no. 4, pp. 609-614.
- MACLER, B. A.; MERKLE, J.C. (2000). *Current knowledge on groundwater microbial pathogens and their control*. Hydrogeology. J. 8, 29–40.
- TAYLOR, R.; CRONIN, A.; PEDLEY, S.; BARKER, J.; ATKINSON, T. (2004). *The implications of groundwater velocity variations on microbial transport and wellhead protection - review of field evidence*. FEMS Microbiol. Ecology, v. 49, n. 1, p. 17-26.
- UNITED NATIONS (2002). *UN Millennium Development Goals (MDG)*. Disponível em <http://www.un.org/millenniumgoals/>.