

# Perímetros de proteção de poços: uma importante ferramenta para a sustentabilidade de mananciais públicos

Ingo Wahnfried & Ricardo Hirata<sup>1</sup>

## Resumo

Perímetros de proteção de poços (PPP) são definidos para impedir que o manancial de abastecimento de água subterrânea (poço ou fonte) seja contaminado por atividades antrópicas. Suas dimensões e forma dependem das características hidrogeológicas locais, mas normalmente esbarram em interesses e restrições econômicas. Em função disto, várias técnicas para sua definição são usadas, adaptando-se a cada diferente situação. No presente trabalho são abordadas de forma sucinta as técnicas mais comuns (raio arbitrário fixo ou calculado; formas simples variadas; modelos hidrogeológicos analíticos; mapeamento hidrogeológico e modelos numéricos de fluxo), hierarquizando a facilidade de implementação e custo. Muito embora haja limitações na aplicação de PPP, a técnica tem-se mostrado a mais eficiente para a proteção de mananciais e aquela de uso mais amplo no mundo todo. É também demonstrado que os gastos gerados pela contaminação de solo e água subterrânea facilmente atingem a centenas de milhares de dólares (chegando até a US\$ 54 milhões, em casos de remediação profunda). Estes valores são muito maiores que aqueles usados na implantação de estratégias de proteção de fontes de abastecimento.

## Abstract

*Wellhead (source) protection areas are used to avoid source water contamination by anthropic activities. Their dimensions and shape depend on local hydrogeological characteristics, but are usually determined by economical interest and limitations. Several different techniques (arbitrary fixed/calculated radius; simplified variable shapes; analytical hydrogeological models; hydrogeological mapping; numerical groundwater flow models) are therefore used for their definition. This paper shortly mentions the most common ones, organized by ease of application, cost, reliability, and some limitations of the concept. Another table accounts the costs generated by source water pollution remediation or change, showing the importance of wellhead protection zones. The cost for aquifer remediation or construction of a new well, in substitution of a contaminated one, easily reaches US\$ 150,000 (or up to US\$ 45 million in case of remediation of soil and aquifer).*

---

<sup>1</sup>Laboratório de Modelos Físicos, Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, Instituto de Geociências/USP - Rua do Lago, 562 - Cidade Universitária, São Paulo/SP 05508-080; e-mail: iwahn@igc.usp.br, rhirata@usp.br

Palavras-chave: perímetros de proteção, contaminação

1. Definição: o quê é um perímetro de proteção de poço?

Para eliminar completamente o risco de contaminação de um manancial de água potável, quer seja poço ou fonte, todas as atividades potencialmente contaminantes deveriam ser proibidas dentro de sua área de captação de recarga, formando um perímetro de proteção (figura 1). Mas isto muitas vezes é impossível ou antieconômico, principalmente por causa das pressões da sociedade para o desenvolvimento de uma dada região. Assim, as áreas de recarga são subdivididas, limitando as maiores restrições de uso do solo aos locais mais próximos dos mananciais.

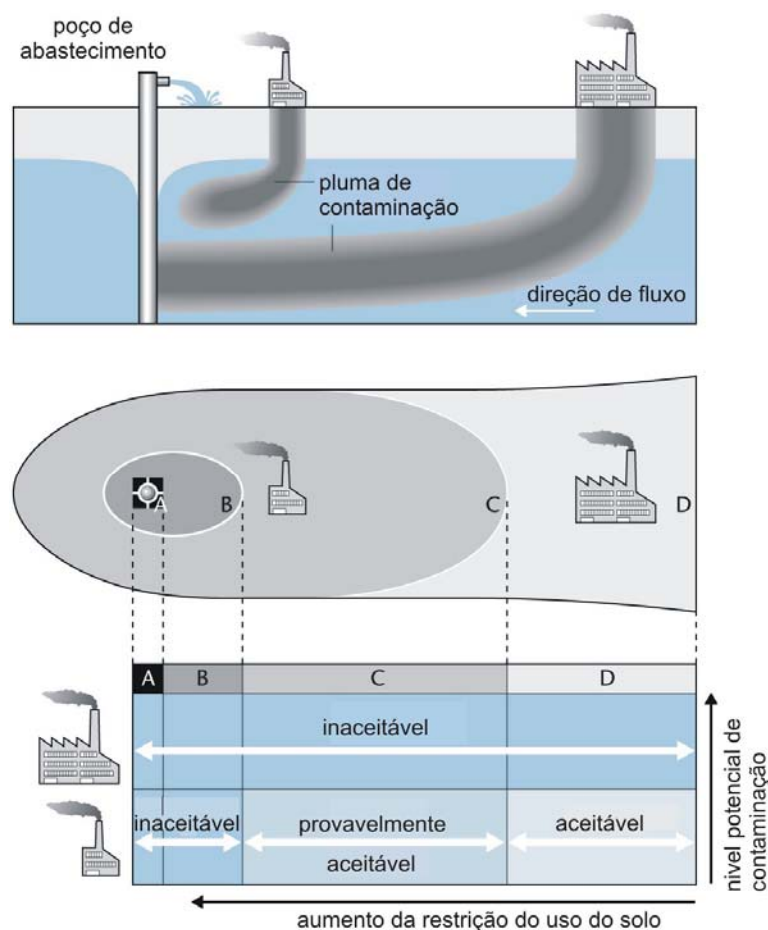


Fig. 1: Conceito de áreas de proteção de poços com restrição de uso do território (Foster *et al.* 2003)

Essa subdivisão pode ser baseada em critérios de distância ou tempo de fluxo até o manancial, porcentagem de área de recarga, capacidade de diluição ou atenuação da zona saturada. Mas em geral usa-se uma combinação do tempo de fluxo horizontal e distância à fonte. As três zonas mais importantes que devem ser definidas com base em critérios hidrogeológicos e de características do manancial são (Adams e Foster 1992, Foster e Skinner 1995):

### 1.1 Área total de captura do poço

A área de proteção mais externa que pode ser definida para um manancial é a área de captura de recarga. É a área na qual toda a água de recarga do aquífero será captada pelo poço. Ela é definida através da área de contribuição necessária para equilibrar a recarga (= vazão de extração), pela geometria da trajetória de fluxo da água subterrânea. Esta é a zona que provê uma vazão de exploração protegida em longo prazo (figura 2).

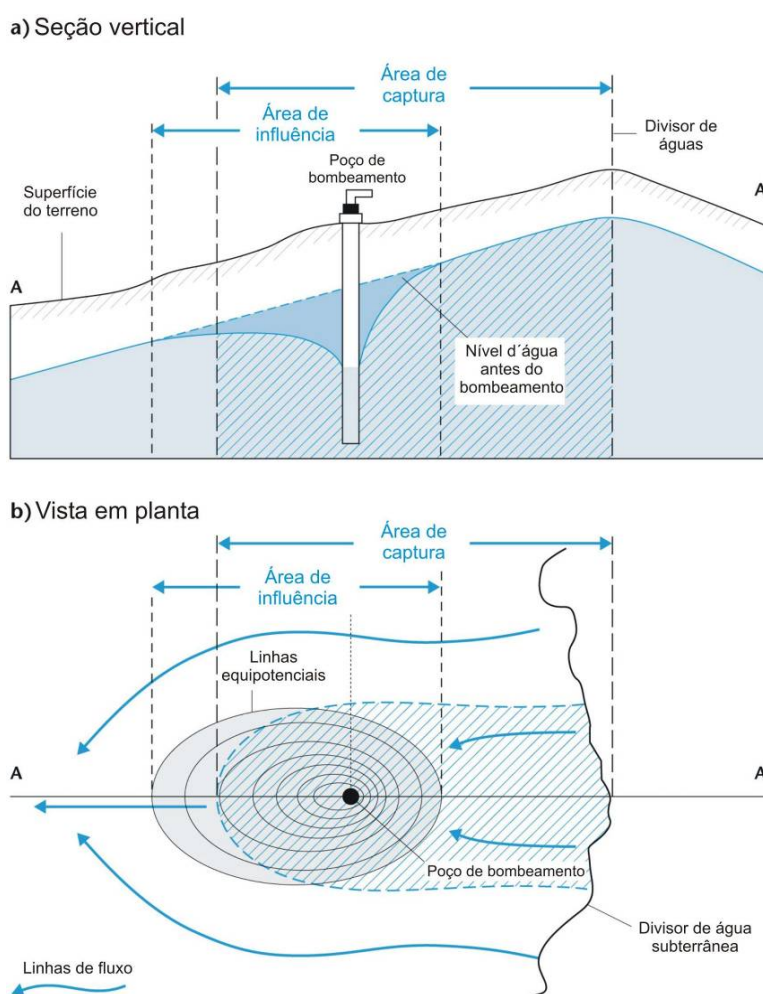


Fig. 2: Diferença entre área de captura e de influência de um poço (Foster *et al.* 2003)

## 1.2 Área de proteção microbiológica

Uma zona de proteção interior tem sido amplamente usada para proteger a captação subterrânea de atividades que são potenciais fontes de parasitas, bactérias e vírus patógenos (Foster e Skinner 1995), tais como águas residuais e esgoto usado na irrigação agrícola. A área é determinada em função de um tempo de trânsito horizontal médio da água na zona saturada do aquífero. O tempo adotado varia bastante de um país para outro (entre 10 e 100 dias). No Estado de São Paulo é adotado o período de 50 dias, em consonância com a maioria das legislações do mundo. Este perímetro é provavelmente o mais importante de todos em termos de saúde pública, por normalmente englobar uma área reduzida sendo, na prática, de fácil aplicação e controle.

## 1.3 Zona operacional do poço

Trata-se do perímetro de proteção mais interno, compreendendo uma pequena área ao redor da obra de captação. É desejável que seja de propriedade da pessoa ou entidade que explora a água. As atividades realizadas nela devem ser somente aquelas diretamente relacionadas ao poço. Para impedir o acesso de vândalos e animais, é comum a colocação de uma cerca ao redor desta área. O tamanho dela é arbitrário, e depende da geologia local. Recomenda-se um raio de pelo menos 20 metros, com a realização de uma inspeção detalhada das condições sanitárias em um raio de pelo menos 200 metros ao redor do poço. Uma área mais próxima ao redor deste, que será usada para sua manutenção, deveria ser coberta com uma laje de cimento, evitando o contato de óleo e outros produtos químicos normalmente usados na manutenção da bomba e do poço.

## 1.4 Outras subdivisões

Pode ser necessário fazer outras subdivisões da área de captação em perímetros externos à zona de proteção microbiológica. Um exemplo é o uso da isócrona de 500 dias de tempo de fluxo para evitar a contaminação por poluentes mais persistentes. Na verdade a escolha do tempo é arbitrária. Ela é útil para que ações de remediação possam ser implementadas antes de contaminar o poço ou fonte. Às vezes esta área é denominada zona defensiva interior do manancial.

Usando as características dos diferentes aquíferos existentes no Estado de São Paulo, Hirata (1994) definiu as dimensões médias das zonas de contribuição e dos perímetros de proteção de poços em cada um (tabela 1 e figura 3):

Tabela 1: Dimensões médias das zonas de contribuição e perímetros de proteção para os aquíferos do Estado de São Paulo usando métodos analíticos.

Aquíferos	Distância máxima entre poço e zona de captura (em metros)		
	50 dias (***)	365 dias	1825 dias
Bauru Superior	<20	60/50/40 (**)	150/120/80(**)
Caiuá	30	150/75/50	250/80/25
Serra Geral (*)	40	130/40/20	290/40/20
Botucatu/Pirambóia aflorante	40	80/50/40	310/100/40
Passa Dois	-	-	-
Itararé	<20	40/40/40	70/70/70
Furnas	<40	40/40/40	80/80/80
Cristalino	40	100/40/20	180/45/20

\* analisado como aquífero poroso

\*\* 1ºvalor/2ºvalor/3ºvalor: maior distância longitudinal (montante), largura (borda a borda) e maior distância transversal (jusante), em metros, respectivamente.

\*\*\*formato circular

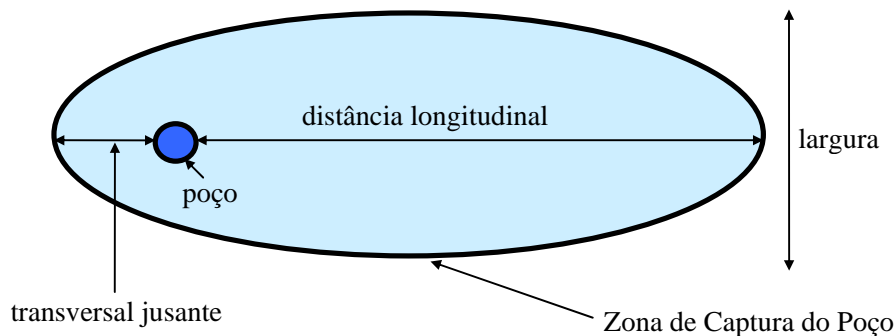


Fig. 3: Nomenclaturas usadas na tabela 1

## 2. Legislação

A base legal que define os perímetros de captação em poços no Estado de São Paulo é dada pela Lei no. 6.134, de 02 de junho de 1988, que "dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo", e sua regulamentação, o Decreto no. 32.955, de 7 de fevereiro de 1991, cuja Seção V trata "Das Áreas de Proteção de Poços e Outras Captações", a qual está transcrita abaixo:

Artigo 24 - Nas Áreas de Proteção de Poços e Outras Captações, será instituído Perímetro Imediato de Proteção Sanitária, abrangendo raio de dez metros, a partir do ponto de captação, cercado e protegido com telas, devendo o seu interior ficar resguardado da entrada ou penetração de poluentes.

Parágrafo 1º - Nas áreas a que se refere este artigo, os poços e as captações deverão ser dotados de laje de proteção sanitária, para evitar a penetração de poluentes.

Parágrafo 2º - As lajes de proteção, de concreto armado, deverão ser fundidas no local, envolver o tubo de revestimento, ter declividade do centro para as bordas, espessura mínima de dez centímetros e área não inferior a três metros quadrados.

Artigo 25 - Serão estabelecidos, em cada caso, além do Perímetro Imediato de Proteção Sanitária, Perímetros de Alerta contra poluição, tomando-se por base uma distância coaxial ao sentido do fluxo, a partir do ponto de captação, equivalente ao tempo de trânsito de cinquenta dias de águas no aquífero, no caso de poluentes não conservativos.

Parágrafo Único: No interior do Perímetro de Alerta, deverá haver disciplina das extrações, controle máximo das fontes poluidoras já implantadas e restrições a novas atividades potencialmente poluidoras.

### 3. Por que usar perímetros de proteção de poços?

A maneira mais direta para entender as vantagens do uso de perímetros de proteção é comparando as conseqüências de não tê-los com os custos que isto pode gerar. Ainsworth & Jehn (2005) dividem os possíveis custos em duas categorias: os facilmente quantificáveis e os de quantificação mais complexa. No primeiro grupo entram os custos de tratamento da água, remediação de áreas contaminadas, incluindo todos os custos secundários gerados, como disposição dos resíduos em aterro sanitário e monitoramento constante da qualidade da água, a procura por novas fontes ou o fornecimento de água potável para população, custos do litígio contra os responsáveis pela contaminação e o custo de campanhas de esclarecimento quando há envolvimento de opinião pública e mídia. Também é incluído neste grupo o impacto negativo causado pela saída de empresas do município, em função da baixa qualidade de água subterrânea, como a redução na arrecadação de impostos, o aumento da taxa de desemprego e a diminuição do valor dos imóveis. Os custos de quantificação mais difícil incluem problemas de saúde pública, confiabilidade da empresa de abastecimento de água e a manutenção do recurso hídrico para as gerações futuras. Na tabela 2 são mencionados exemplos de custos gerados por contaminação de fontes subterrâneas de abastecimento em diversos municípios dos Estados Unidos da América. Não foram contabilizados gastos estaduais, federais ou particulares, nem perdas pelo aumento do desemprego, custos hospitalares, redução do valor de imóveis, aumento das contas de água ou mortes conseqüentes da contaminação.

Tabela 2: Custos gerados por contaminação em sistemas de abastecimento de água municipais (Ainsworth e Jehn 2005)

Município/Estado	Contaminante	Solução	Custo (em US\$)
Perryton, Texas	Tetracloroeto de carbono	Remediação	250.000
Rockford, Illinois	Solventes	Alterar o sistema abastecimento público, conectando a ele poços privados.	11,5 milhões (estimado)
Moses Lake, Washington	Tetracloroetileno	Diluir água contaminada, educar a população	1,8 milhões (estimado)
Mililani, Havaí	Pesticidas e solventes	Construir e manter uma estação de tratamento	2,5 milhões + 154.000 por ano
Tallahassee, Flórida	Tetracloroetileno	Tratamento suplementar	2,5 milhões + 110.000 por ano
Pittsfield, Maine	Chorume	Remediação e troca da fonte de abastecimento	1,5 milhões
Rouseville, Pensilvânia	Petróleo e cloretos	Troca da fonte de abastecimento	mais de 300.000 (estimado)
Atlanta, Maine	Compostos orgânicos voláteis (VOC)	Troca da fonte de abastecimento	500.000 a 600.000
Montgomery, Maryland	Solventes e freon	Instalar rede de abastecimento pública e fornecer água de graça	3 milhões + 45.000 por ano, por 50 anos
Hereford, Texas	Óleo combustível	Troca da fonte de abastecimento	180.000
Coeur d'Alene, Idaho	Tetracloroetileno	Troca da fonte de abastecimento	500.000
Orange, Califórnia	Nitratos, sais, selênio e VOC's	Remediação, tratamento suplementar e troca da fonte de abastecimento	54 milhões

#### 4. Limitações do conceito

Existem diversas situações nas quais o conceito esbarra em sérias limitações (figura 4):

- Quando há bombeamento sazonal, como o que ocorre em poços usados para irrigação, a zona de interferência entre poços com períodos inconstantes de bombeamento será muito complexo e variável, resultando em zonas de proteção com dimensões diversas. A solução para tais casos é se basear na vulnerabilidade do aquífero como um todo para determinar uma zona de proteção.
- Em situações nas quais longos períodos de extração excedam a recarga em longo prazo, é produzido um rebaixamento contínuo do nível d'água, causando uma alteração na área destinada à proteção do poço. A existência de rios intermitentes também causa variações imprevisíveis no perímetro de proteção.

- Cursos d'água que possuem fontes de contaminação a montante da área de contribuição ao aquífero podem afetar a qualidade da água, caso seja um rio influente (fornece água ao aquífero). Incluir a bacia hidrográfica inteira no perímetro de proteção na maioria dos casos é inviável.
- Em aquíferos estratificados, o gradiente vertical pode causar drenança entre as diferentes unidades aquíferas. Neste caso cada unidade terá de ser avaliada separadamente, e uma simplificação geral das características individuais terá de ser feita.
- Nos locais com grande variação da área de recarga, como no caso de aquíferos de baixa capacidade de armazenamento, pode ser mais apropriado usar a área máxima de contribuição para delimitar o perímetro de proteção, ao invés de usar uma área média.

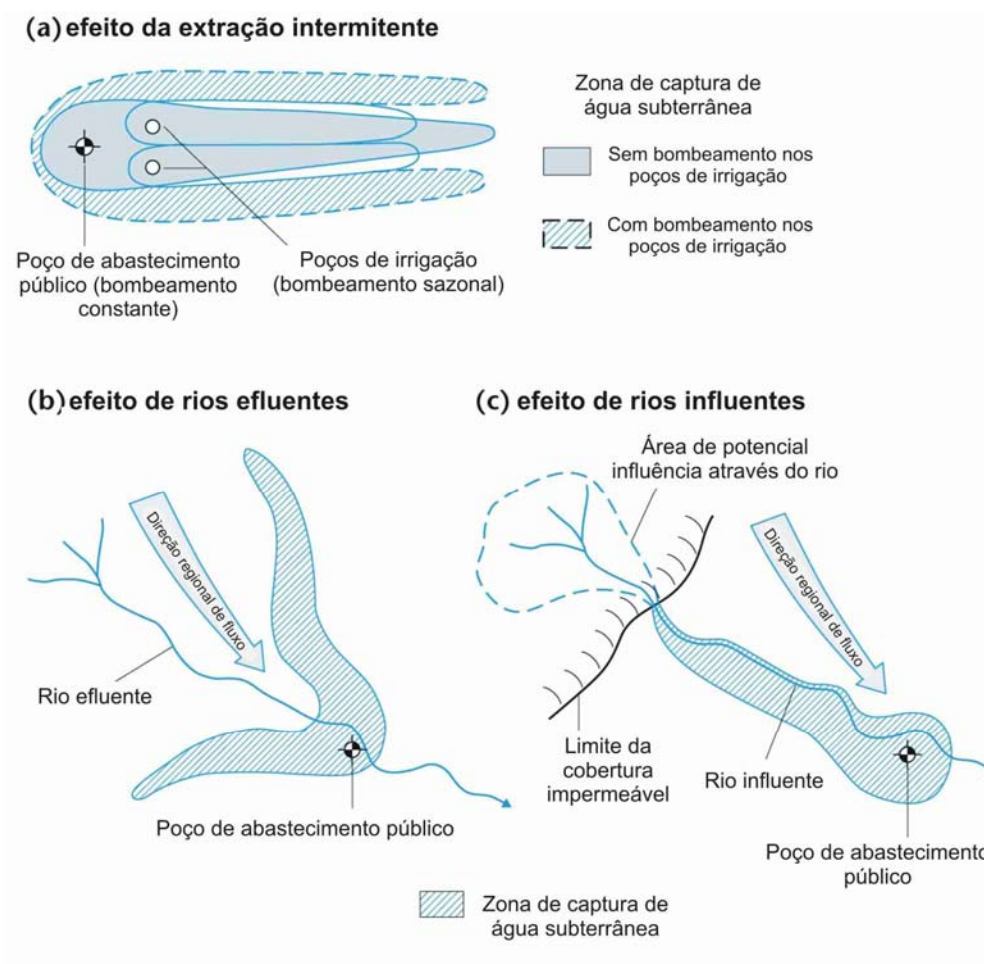


Fig. 4: Efeito de distintos tipos de interferências hidráulicas e de borda na forma e estabilidade das áreas de captura dos poços (Foster *et al.* 2003)

Um tempo de viagem de 50 dias na zona saturada pode ser considerado muito conservador por não levar em conta, por exemplo, a percolação através da zona não saturada. Mas este efeito é balanceado pelos seguintes fatores, entre outros:



- Existência de fraturas que reduzem significativamente o retardo normalmente associado ao transporte na zona não-saturada.
- Certas substâncias, como solventes orgânicos densos de baixa solubilidade, possuem propriedades físicas que diminuem o tempo de passagem pela zona não saturada.
- Evidências científicas significativas indicam que alguns patógenos ambientalmente mais resistentes, como o *Cryptosporidium oocysts*, podem sobreviver muito mais do que 50 dias em subsuperfície (Morris e Foster 2000).

Outras situações específicas que merecem atenção e abordagem diferenciadas são:

*Aqüíferos cársticos* - possuem padrões de fluxo extremamente irregulares devido à presença de canais preferenciais originados por dissolução, como cavernas e sumidouros. Isto permite que os contaminantes viagem a velocidades muito superiores àquelas calculadas usando as características médias do aquífero, quando é usada a técnica do equivalente poroso. A abordagem para delimitar áreas de proteção nestes aquíferos deve ser multidisciplinar, incluindo técnicas como o levantamento geológico de campo, interpretação de fotografias aéreas, estudos geofísicos, investigações hidrogeológicas com emprego, por exemplo, de traçadores, e o mapeamento espeleológico. Normalmente há grandes diferenças entre a geometria de um aquífero cárstico e um de porosidade primária. Também deverão ser incluídas na área de proteção as drenagens que comprovadamente contribuem para um sumidouro que tem conexão com a fonte de abastecimento (figura 5).

*Fontes naturais ou pontos de descarga natural do aquífero em superfície* - sua área de contribuição depende não da vazão aproveitada, mas sim da sua vazão total. Esta pode variar fortemente por causa da sazonalidade climática. Frequentemente a própria existência da fonte depende de descontinuidades geológicas, tais como variações litológicas, falhas ou barreiras hidráulicas. O conhecimento sobre a natureza e extensão destas seria de grande importância na delimitação da zona de proteção, mas na melhor das hipóteses só parte das características será obtida.

*Áreas urbanas* - a alteração e complexidade dos processos de recarga em áreas urbanizadas, assim como a existência prévia de grande quantidade de poços de extração, dificulta muito uma análise hidrogeológica e, conseqüentemente, a delimitação de zonas de proteção. Mesmo quando é possível defini-las, podem já estar ocupadas por atividades potencialmente poluidoras. Podem ser úteis, no entanto, para implantar áreas com controle da qualidade da água, inspeção das instalações industriais e implementação de medidas para mitigação da contaminação ou mesmo monitoramento em poços já instalados.

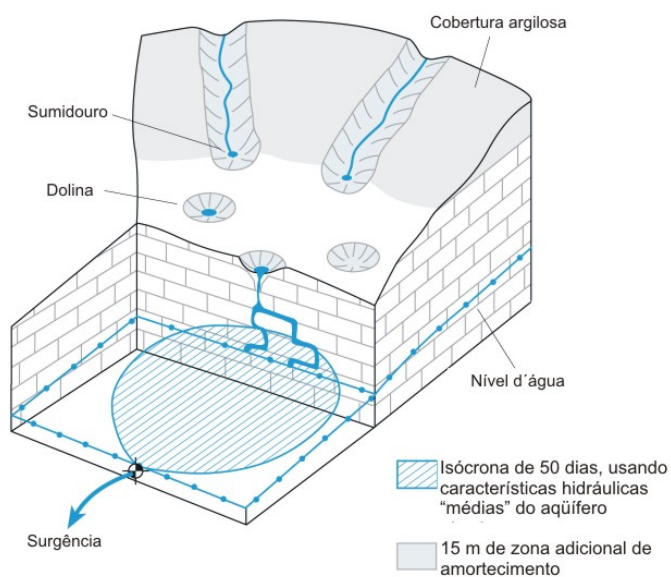


Fig. 5: Adaptação de perímetros de proteção a aquífero cárstico (Foster *et al.* 2003)

## 5. Métodos para definição dos perímetros de zonas de proteção

Historicamente têm sido usadas tanto zonas circulares de raio fixo, arbitrário, como formas elípticas simplificadas. Mas por causa da grande carência de uma sólida base científica, sua implementação foi, na prática, muitas vezes difícil, pela confiabilidade questionável e falta de fundamentação. Atualmente existem muitos métodos para a definição de zonas de proteção, desde os mais simples aos mais complexos e caros (Tabela 3):

Tabela 3: Métodos de delimitação de perímetros de proteção (adaptado de Ainsworth e Jehn 2005 e Foster et al. 2003)

Método de delimitação	Custo	Confiabilidade	Descrição
Raio arbitrário fixo/calculado	baixo ↓  ↓  ↓  ↓  alto	mínima ↓  ↓  ↓  ↓  máxima	Usa valor de raio fixo, ou calculado usando dados de taxa de bombeamento, porosidade total e espessura saturada. A área criada é circular. Não considera anisotropias do aquífero.
Formas simples variadas			Combina equações analíticas de fluxo uniforme com tempo de trânsito e contorno de fluxo, para gerar formatos- padrão ao redor do poço. O formato deve ser definido por um hidrogeólogo experiente.
Modelos hidrogeológicos analíticos			Utiliza a lei de Darcy para definir a velocidade real média, com base nos gradientes e tipos de aquíferos existentes. A área é calculada usando-se uma equação analítica.
Mapeamento hidrogeológico			Usa a identificação de feições geológicas que controlam o fluxo d'água (variações e contatos litológicos, divisores de água entre outros). Com as feições plotadas em um mapa é delimitado o PPP. O fluxo é definido através de um mapa potenciométrico.
Modelos numéricos de fluxo de água subterrânea (com definição de transporte de partículas)			Baseia-se em um modelo numérico, que usa equações de fluxo e transporte para definir o tempo de trânsito de partículas no aquífero.

## 6. Conclusões

Apesar da implementação de perímetros de proteção de poços estar prevista em lei em alguns estados, e de seu custo, mesmo considerando os métodos mais caros, nunca alcançar os gastos gerados para solucionar a contaminação de fontes de abastecimento, sua aplicação está longe de ser uma realidade no país. Um trabalho conjunto de órgãos públicos com a iniciativa privada evitaria os altos custos gerados pela remediação ou, em casos extremos, pela troca por uma fonte alternativa. A implantação de perímetros de proteção na maioria dos casos não requer pessoas altamente especializadas ou técnicas muito onerosas, tornando-se assim uma abordagem inteligente tanto em termos econômicos quanto ambientais. Métodos sofisticados e caros poderiam ser reservados ou para áreas reconhecidamente complexas ou para uma segunda fase, quando métodos mais simples, como os analíticos, já tenham sido implementados.

## 7. Referências

- [1] Adams B e Foster SSD (1992) Land Surface Zoning for Groundwater Protection, *Journal of Institution of Water and Environmental Management*, 6:312-320
- [4] Ainsworth S e Jehn P (2005) Source Water Protection: What's in It for You? *Groundwater Monitoring & Remediation*, 25(2):44-51
- [6] Foster SSD, Hirata R, Gomes D, D'Elia M, Paris M (2003) Protección de la Calidad del Agua Subterránea, Guía para empresas de água, autoridades municipales y agencias ambientales, Banco Internacional e Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial, 115p.
- [2] Foster SSD e Skinner AC (1995) Groundwater Protection: the Science and Practice of Land Surface Zoning, *International Association of Hydrological Sciences Publication* 225:471-482
- [3] Hirata R (1994) Fundamentos e Estratégias de Proteção e Controle da Qualidade das Águas Subterráneas - Estudo de Casos no Estado de São Paulo, Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, USP, 195p.
- [5] Morris BL e Foster S (2000) *Cryptosporidium* Contamination Hazard Assessment and Risk Management for British Groundwater Sources, *Water Science and Technology* 41(7):67-77