

# MAPA HIDROGEOLÓGICO, FERRAMENTA DE GESTÃO E PLANEJAMENTO

Zoltan Romero Cavalcante Rodrigues<sup>1</sup> & Paulo Henrique Prates Maia<sup>2</sup>

**Resumo** - A Superintendência de Recursos Hídricos (SRH), órgão gestor de recursos hídricos do Estado da Bahia, está elaborando ferramenta para a gestão integrada dos recursos hídricos utilizando uma metodologia para construção de um mapa hidrogeológico com foco no planejamento e na gestão. Este trabalho apresenta esta metodologia, que envolve diversas atividades, tais como: articulação interinstitucional; levantamento dos dados existentes; cadastro das estruturas hidráulicas; tratamento estatístico e; mapeamento, entre outras. De acordo com a literatura internacional, estas ações deverão proporcionar a gestão coordenada, a médio e longo prazo, da água superficial e subterrânea, incluindo a outorga de água e a permissão para construção de obras hidráulicas.

**Abstract** - The Superintendence of Hydric Resources (SRH), water management agency for the State of Bahia, is elaborating a tool for the integrated management of the water resources using a methodology for the construction of a hydrogeologic map focussing on the planning and management. This work presents this methodology, which involves many activities, like: inter-institutional coordination; survey of the existing data; register of the hydraulic structures; statistic treatment and; mapping, among others. According to the international literature, these actions should provide coordinate management, in the medium and long run, of the superficial and underground water, including the concession of water rights and the permission to build hydraulic structures.

**Palavras-Chave** - Mapa hidrogeológico; Gestão integrada dos recursos hídricos.

## INTRODUÇÃO

A água subterrânea é um recurso crítico para saúde pública, economia e meio ambiente e sua gestão, integrada com a das águas superficiais, é necessária para garantir o desenvolvimento

---

<sup>1</sup> Geólogo – Especialista em gestão de recursos hídricos. E-mail: [zoltan@srh.ba.gov.br](mailto:zoltan@srh.ba.gov.br)

<sup>2</sup> Especialista em gestão de recursos hídricos. E-mail: [phmaia@srh.ba.gov.br](mailto:phmaia@srh.ba.gov.br)  
Superintendência de Recursos Hídricos, Av. ACM, 357, Itaipara, Salvador- BA

sustentável do Estado da Bahia. Entretanto, nas condições atuais, a gestão da água subterrânea se apóia em bases frágeis.

Além de carecer de um planejamento para o uso atual e futuro falta uma ferramenta fundamental que agregue as informações e que facilite a tomada de decisões, tanto no planejamento de longo prazo, como no uso integrado dos recursos hídricos, o Mapa Hidrogeológico. Isto ocorre porque, de maneira geral, os estudos atuais e mapas então desenvolvidos não atendem a esta finalidade, nem estabelecem o foco na gestão integrada das águas.

## **DEFINIÇÃO**

Um Mapa Hidrogeológico pode responder a diversas questões, sendo muito importante determinar o enfoque desejado por seus usuários. Se este for direcionado para a exploração da água subterrânea, os dados dos poços (testes de bombeamento, testes de aquífero, perfis litológicos, etc), são interessantes para realizar um tratamento estatístico para serem, em correlação com outros dados, utilizados na confecção de um mapa de prospectividade, indicando as potencialidades dos aquíferos e a situação atual da exploração de água subterrânea por aquífero, por bacia hidrográfica, por município ou qualquer recorte que se queira dar ao espaço geográfico.

Um mapa cujo enfoque é a gestão integrada dos recursos hídricos exige, além dos dados supracitados, informações sobre as relações entre águas superficiais e subterrâneas, o acompanhamento do nível e do fluxo de água nos aquíferos ao longo do tempo, a determinação de áreas críticas e da recarga anual. Estas informações deverão subsidiar as decisões do órgão gestor, principalmente para estabelecer critérios e normas para extração da água subterrânea no Estado.

A escala deve possibilitar a gestão tanto a nível regional, contemplando as grandes unidades aquíferas, como a nível local, sempre que for possível e existirem estudos detalhados. A única base cartográfica, disponível em meio digital na Bahia, hoje, está na escala 1:100.000. Está sendo avaliada a possibilidade de dar “zoon” em unidades hidrogeológicas nas quais os trabalhos disponíveis tenham sido elaborados em escala de detalhe e também, o uso de diferentes escalas de apresentação bem como, um layer com a superposição de imagens de satélite, sempre que estas possam acrescentar informações de interesse.

## **LIMITAÇÕES**

Apesar de existirem diversos estudos sobre aquíferos e exploração de água subterrânea no Estado estes se restringiram, basicamente, a problemas localizados e com um horizonte temporal

restrito, em virtude principalmente dos curtos prazos de duração dos mesmos e das taxas relativamente lentas de movimentação e recarga dos aquíferos.

Os ensaios de bombeamento, por exemplo, foram direcionados principalmente para questões de cone de interferência entre poços, sem observar problemas resultantes do bombeamento no longo prazo, tais como os rebaixamentos regionais, que podem reduzir a vazão de base dos rios, causar problemas de subsidência no terreno, acarretando danos permanentes à capacidade de armazenamento do aquífero, provocar a contaminação com intrusões de água salgada, entre outros.

Observa-se que em alguns aquíferos a água está sendo extraída a taxas mais elevadas do que pode ser reposta pela recarga anual, isto é evidenciado pela constatação de que nos grandes aquíferos os poços recentes são bem mais profundos do que os da primeira geração, perfurados no início da exploração do aquífero, ou seja, o nível potenciométrico do aquífero está baixando.

A administração desses problemas exige um conhecimento detalhado dos aquíferos que permita disciplinar os usos da água subterrânea, remediar os danos existentes e estabelecer programas de proteção para o seu uso sustentável.

Estudos adequados irão permitir determinar as diferenças em potencialidade, qualidade, vulnerabilidade e usos dos diversos aquíferos. Estas informações serão inseridas no Mapa Hidrogeológico, propiciando a identificação de áreas críticas, tais como, áreas passíveis de contaminação, áreas de recarga ou com possibilidade de intrusão de água salgada, etc. Estas, devidamente mapeadas, irão ajudar na manutenção e remediação da qualidade da água, visando o uso sustentável, a regulamentação das atividades de extração e a implantação de projetos de desenvolvimento.

Também será possível um processo eficiente de controle do uso através de outorga indicando os volumes a serem retirados, a localização de atividades impactantes, o potencial de água subterrânea, as áreas a serem protegidas e/ou recuperadas. Estas informações serão indicadas em mapa, vinculado a um banco de dados georreferenciado, para permitir o cruzamento de informações e a realização de pesquisas sistemáticas.

## **METODOLOGIA**

### **Articulação Interinstitucional**

Visto que a água subterrânea sempre foi objeto de trabalho de diversas instituições, com diferentes finalidades, uma das lições aprendidas pelos órgãos gestores de outros países é a necessidade de coordenação com as demais instituições federais, estaduais e municipais, além de entidades privadas envolvidas (Fenstermaker, 2002).

O objetivo principal é trabalhar cooperativamente com todas estas instituições atualizando permanentemente o banco de dados (Fenstermaker, 2002). No caso da SRH, o Sistema de Informações de Recursos Hídricos (SIRH).

Também é de fundamental importância oferecer sugestões para elaboração de leis e regulamentos que disciplinem as ações relacionadas à gestão da água subterrânea (Berardinucci, 2002) e estabelecer um mecanismo formal, de coordenação interna, que mantenha os diversos setores do órgão gestor trabalhando em sinergia, na busca de objetivos comuns. Este procedimento irá permitir a utilização dos recursos financeiros e de pessoal disponíveis com máxima eficiência, reforçando a prática da gestão integrada.

### **Levantamento dos Dados Existentes**

O levantamento de todas as bases de dados existentes em empresas perfuradoras públicas e privadas, seguido de levantamento bibliográfico e a avaliação das publicações sobre os aquíferos do Estado dispersos em diversas instituições. De posse desse material, coletado de forma sistematizada, este será compatibilizado e inserido no SIRH.

Esta atividade é básica para a construção do mapa, considerando que apenas a partir de sua conclusão será possível definir os estudos subsequentes, incluindo a avaliação dos aquíferos, definindo sua real capacidade de exploração e suas relações com a água superficial, um passo importante para determinação de critérios para outorga e para a proteção efetiva deste recurso.

### **Cadastro das Estruturas Hidráulicas**

A segunda atividade é cadastrar, inclusive com visitas a campo, todas as obras e instalações para exploração de água subterrânea, considerando a necessidade de controle da exploração da água, função inerente da administração estadual (Fenstermaker, 2002). Um cadastro detalhado de todas as captações de água subterrânea é uma atividade essencial para o órgão gestor.

A coleta dos dados em campo será padronizada para que não ocorram problemas de compatibilidade, nem a coleta de informações fragmentadas que impossibilitem sua utilização (Varma, 2002). Para tanto, utilizar-se-á as fichas cadastrais em anexo, compatíveis com o banco de dados da SRH, evitando-se problemas com informações e dados de confiabilidade duvidosa. Os cadastros de outras instituições públicas e privadas serão ajustados seguindo o mesmo padrão.

Entre os diversos aspectos que serão levantados no cadastro, destacamos:

- ✓ **Revestimento de Superfície:** Sua extensão está relacionada à espessura do solo e do material decomposto e reflete nos custos de perfuração em rochas carbonáticas, cristalinas e metassedimentares.

- ✓ **Completação dos Poços perfurados em rochas sedimentares:** Sua análise poderá fornecer indicações para a construção de um “poço padrão” em termos de economia, produtividade e sustentabilidade, além de indicar os custos relacionados à perfuração e completação dos mesmos.
- ✓ **Profundidade dos Poços:** Informação importante para a sustentabilidade na exploração do aquífero, determinação dos custos envolvidos na perfuração e a definição de zonas potencialmente conflituosas.
- ✓ **Vazão dos Poços:** Está relacionada com a disponibilidade hídrica, é reflexo da pluviosidade, de aspectos construtivos, geotectônicos, estruturais, geológicos e geomorfológicos.
- ✓ **Litologias Atravessadas:** Os tipos litológicos presentes influenciam a qualidade química da água juntamente com o clima.
- ✓ **Nível Estático:** Relacionado ao relevo e níveis potenciométricos.
- ✓ **Data da Perfuração:** É um indicativo da evolução do processo de extração da água subterrânea, refletindo o processo de ocupação da bacia e os impactos ambientais decorrentes.
- ✓ **Usos da Água:** Relaciona-se com a qualidade e a quantidade de água, bem como as atividades econômicas desenvolvidas na bacia.

### **Tratamento Estatístico**

Os dados cadastrados, após sua inserção no SIRH, serão utilizados em um tratamento estatístico inicial que irá fornecer as bases para o mapa preliminar. Este trabalho possibilitará a elaboração de um diagnóstico sobre as principais unidades aquíferas do Estado.

### **Mapeamento e Diagnóstico Preliminar**

Deve ser elaborado um mapa preliminar, definido pelo cruzamento das informações dos poços, utilizando o SIG, com bacias hidrográficas, unidades geológicas e geotectônicas e climatologia.

Para confeccionar este mapa se utilizam “layers”, contendo os contornos das bacias hidrográficas, a alguns aspectos climatológicos (pluviometria e evaporação), mapa geológico e geotectônico, individualizando rochas sedimentares, metassedimentares e cristalinas, os poços e demais estruturas hidráulicas cadastradas em um banco de dados. O cruzamento desses “layers” deverá fornecer a primeira individualização dos sistemas aquíferos e do resultado da análise estatística dos dados dos poços, de cada um deles, será elaborado o diagnóstico preliminar dos aquíferos.

Definidos os principais problemas das unidades aquíferas individualizadas, serão propostos os estudos específicos para os diversos recortes apresentados, com o objetivo de individualizar as unidades hidrogeológicas e seus problemas, formando a base para as etapas seguintes.

### **Determinação dos Parâmetros Hidrodinâmicos e do Fluxo da Água Subterrânea**

Com o apoio do mapa preliminar, da geoestatística, da localização e a cota dos poços, bem como suas cargas hidráulicas e dos diversos estudos pesquisados, serão determinadas áreas de recarga e descarga dos aquíferos, seus parâmetros hidrodinâmicos e indicadas possíveis conexões hidráulicas entre aquíferos e mananciais superficiais.

Também deverá ser elaborado um mapa, em escala adequada, dos aquíferos, indicando as equipotenciais e direções do fluxo das águas, sua geometria, cotas da base e topo, as possíveis fronteiras hidráulicas e uma classificação prévia das águas subterrâneas.

### **Novos Testes**

Nesta etapa serão propostos novos testes de bombeamento e de aquífero, realização de perfurações de poços para monitoramento, definindo suas reais dimensões, verificando a geologia e propondo campanhas de sondagens geofísicas, visando complementar as informações disponíveis.

Também deverão ser selecionados poços para a instalação de medidores de nível, automáticos ou manuais, estações pluviométricas e fluviométricas, para que se possa acompanhar as oscilações de nível nos aquíferos em relação aos rios e às precipitações. Por fim, será feita uma avaliação da recarga anual e do potencial de produção de cada unidade aquífera.

Estes estudos deverão ser realizados, preferencialmente, por meio de convênio de cooperação com a universidade, contando com a participação de técnicos da SRH com vistas à criação de uma cultura setorial no órgão gestor.

### **Monitoramento e Controle do Uso**

A gestão das águas subterrâneas, só será possível se tiver como base um programa de monitoramento permanente dos aquíferos. É importante contar com dados sobre o comportamento da água subterrânea ao longo do tempo, que devem ser levantados com o objetivo de garantir a sustentabilidade da extração da água subterrânea, principalmente no médio e longo prazo.

O monitoramento da água subterrânea exige a observação dos níveis dos poços e sua relação com a descarga fluvial para análise da vazão básica. Nesta atividade os poços cadastrados, podem ser utilizados para o monitoramento, sempre que estiverem estrategicamente localizados. Isto irá reduzir os custos com a perfuração de poços de observação e monitoramento, ampliando as redes e fornecendo informações consistentes para apoiar as decisões de gestão.

Um programa de monitoramento adequado, em paralelo com o cadastramento das estruturas hidráulicas, permitirá determinar os volumes máximos explotáveis que não causem impactos sobre o ciclo hidrológico, sendo capaz de identificar os aquíferos com eventuais problemas para a proposição de medidas corretivas e mitigadoras.

Os principais objetivos a serem alcançados com o monitoramento são os seguintes:

- ✓ Proporcionar uma descrição detalhada da oscilação do nível da água subterrânea.
- ✓ Observação contínua da água subterrânea, quantitativa e/ou qualitativamente.
- ✓ Prevenção do bombeamento excessivo, espacial e temporalmente.
- ✓ Avaliar a interação entre diferentes unidades aquíferas.
- ✓ Calibração de modelos do comportamento do aquífero ao longo do tempo, possibilitando a simulação de múltiplos cenários de aproveitamento da água.
- ✓ Gerenciamento integrado das águas superficiais e subterrâneas, quantitativa e qualitativamente.
- ✓ Adequação do aproveitamento da água subterrânea por região.

### **Modelagem Matemática dos Aquíferos**

Outra atividade essencial para a gestão nesses aquíferos é o seu modelamento matemático, que vai possibilitar a simulação da exploração em diversas condições, das mais adversas às mais favoráveis (Varma, 2002).

Os modelos matemáticos gerenciados por softwares apropriados, operando com o Sistema de Informações de Recursos Hídricos da SRH, irão fornecer consultas para um mapa hidrogeológico dinâmico, com informações sobre os fluxos subterrâneos, hidrodinâmica dos aquíferos e simulações sob diferentes estresses hidráulicos. O cruzamento de informações será realizado utilizando o geoprocessamento. Sua organização será objeto da modelagem do Banco de Dados Espaciais, que deverá facilitar consultas pelos técnicos do órgão gestor.

Isto irá facilitar a concessão de outorgas de água subterrânea, sem provocar impactos negativos nos mananciais superficiais e sem comprometer as reservas subterrâneas no longo prazo. Também será possível detalhar os investimentos mais adequados para cada área, favorecendo algumas atividades econômicas em detrimento de outras que não garantam a sustentabilidade de longo prazo.

### **PRINCIPAIS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS**

Sugerimos inicialmente abrigar as diversas unidades definidas pelo mapeamento em cinco sistemas hidrogeológicos, contendo um ou mais aquíferos em um mesmo contexto geológico:

- ✓ Sistema do São Francisco, representado pelo aquífero Urucuia e pelo aquífero Bambuí.

- ✓ Sistema Recôncavo/Tucano.
- ✓ Sistema Cárstico (Grupo Bambuí).
- ✓ Sistema Fissural (Rochas metamórficas e ígneas).
- ✓ Sistema de Coberturas Tércio-quadernárias (Sedimentos inconsolidados recentes).

Naturalmente cada unidade poderá ser subdividida em diversos subsistemas e estes em aquíferos, sempre que os estudos recomendarem.

Para os sistemas São Francisco, Recôncavo/Tucano e de Coberturas Tércio-quadernárias, sugere-se, inicialmente, pois somente com o diagnóstico é que podemos identificar a totalidade dos estudos necessários, que se obedeça a metodologia citada anteriormente

No caso dos sistemas cárstico e fissural, sugere-se um procedimento alternativo em virtude de suas características particulares, tais como:

- ✓ Armazenamento de água em descontinuidades das rochas,
- ✓ Grande vulnerabilidade à ação antrópica, podendo ser contaminados com relativa facilidade ou exauridos rapidamente, caso o bombeamento seja acentuado,
- ✓ Teor de sais dissolvidos muito elevado o que dificulta sua utilização econômica.e,
- ✓ Particularmente no caso do aquífero fissural, seu reduzido potencial hidrogeológico.

Como exemplo da heterogeneidade dos sistemas, podemos citar as vazões dos poços, que podem variar de 0 m<sup>3</sup>/h a mais de 40 m<sup>3</sup>/h (sistema fissural) ou mais de 100 m<sup>3</sup>/h (sistema cárstico), para distâncias inferiores a 20 metros entre as perfurações.

Além disso, estes sistemas aquíferos, são muito utilizados pelas comunidades do interior do Estado, na maioria das vezes se constituem na única fonte de água disponível para abastecimento humano e animal. Em alguns casos, como na micro-região de Irecê, o sistema cárstico é um importante fator de desenvolvimento econômico.

Dada esta complexidade dos sistemas, o trabalho de gestão deverá ser focado nas características e necessidades locais, visando determinar o uso racional das águas subterrâneas, pelas comunidades que delas dependem.

Neste caso a gestão implica em estudos geológicos e hidrogeológicos locais em escala de detalhe, que irão determinar os padrões de uso e outorga nos locais de exploração, considerando que os resultados dificilmente poderão ser regionalizados.

## **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Como a concepção básica deste trabalho é atender à gestão dos recursos hídricos, subsidiando o gerenciamento integrado das águas superficiais e subterrâneas, um mapa tradicional, vai refletir sempre o estágio de exploração e conhecimento da época de sua confecção. Logo, um mapeamento,

para atender esta função precípua, vai requerer uma atualização permanente, à medida que o volume de dados de monitoramento for aumentando, novos estudos sejam desenvolvidos e novas estruturas hidráulicas sejam construídas.

A princípio poderão ser utilizados mapas seqüenciais, com uma nova carta impressa a cada semestre, mas o ideal é um sistema de atualização mais fluida baseada em uma estruturação de dados progressivos, elaborado a partir do BDRH, com uma atualização permanente para dar suporte a um gerenciamento eficaz dos RH.

Em paralelo a esta atividade, deve ser sugerida a criação de normas de desenvolvimento e proposição de uma legislação que garanta a atualização dos dados pelos usuários e empresas perfuradoras. A legislação deve tornar obrigatória a comunicação sobre qualquer obra para captação, ao órgão gestor, com objetivo de manter o cadastro permanentemente atualizado. As alterações que venham a ser feitas em poços já cadastrados, tais como seu aprofundamento aumento da capacidade de bombeamento, devem igualmente, serem notificadas ao órgão gestor. Este controle é particularmente importante em áreas críticas ou potencialmente conflituosas.

A partir dos diversos resultados obtidos será feita a primeira versão do mapa para gestão das águas subterrâneas, agregando além dos dados e informações já levantados, o estabelecimento de coordenação entre a extração da água subterrânea com as práticas de gestão da água superficial, a prática de monitoramento permanentemente da água subterrânea e o controle sobre a construção de obras hidráulicas para exploração da água.

É importante ressaltar que projetos como este possibilitam a criação de uma cultura no órgão gestor, com um aporte de conhecimento ao corpo técnico para que dar retorno à tomada de decisões em situações críticas.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] BERARDINUCCI, J. and RONNESETH, K. **Guide To Using The BC Aquifer Classification Maps For The Protection And Management Of Groundwater**, National Library Of Canada Cataloguing In Publication Data Berardinucci, June 2002
- [2] FENSTERMAKER, C. H. **Statewide Water Management Plan Part I - Identification and Use Assessment of Louisiana Water Resources**, Louisiana Ground Water Management Commission Prepared, Inc. LBG-Guyton Associates Hydro-Environmental Technology, June 2002
- [3] VARMA, S., 2002, **Hydrogeology and Groundwater Resources of the Collie Basin**, Western Australia, Water and Rivers Commission, Hydrogeological Record Series, Report HG 5, 80 p.