

ELEVAÇÕES INDUZIDAS NO LENÇOL FREÁTICO DEVIDO A FORMAÇÃO DE RESERVATÓRIOS E O SIGNIFICADO DAS MODIFICAÇÕES RESULTANTES¹

INDUCED WATER TABLE ELEVATION MECHANISMS IN UNCONFINED AQUIFERS SURROUNDING HYDROPOWER PLANTS RESERVOIRS AND THE MEANING OF RESULTING MODIFICATIONS¹

José Luiz ALBUQUERQUE FILHO²
Claudio Benedito Baptista LEITE²

Resumo: Este trabalho apresenta subsídios para uma avaliação previsional criteriosa da elevação do lençol freático que poderá ser induzida em aquíferos livres adjacentes a futuros reservatórios hidrelétricos, com destaque aos mecanismos e consequência das modificações induzidas no lençol freático. Apresentam-se ainda, os principais condicionantes da realidade atual destes estudos no Brasil.

Palavras-chave: Hidrogeologia; Hidráulica Subterrânea; Reservatórios; Lençol Freático; Elevação Induzida.

Abstract: This study presents elements that guide to previous evaluation of water table elevation that can be induced in unconfined aquifers surrounding hydropower plants reservoirs. It also presents the mechanisms and consequences of the induced modifications in the water table, and the current reality of these studies in Brazil.

Keywords: Hydrogeology; Groundwater Hydraulic; Reservoirs; Water Table; Induced Elevation.

INTRODUÇÃO

É muito comum constatar, em publicações técnico-científicas que tratam de hidrologia de superfície ou de hidrogeologia, a separação dos corpos d'água superficiais dos subterrâneos, tratando-os, na maioria das vezes, como se fossem unidades não conectadas.

A análise não tanto acurada de um ciclo hidrológico, focado entre um aquífero livre e um curso d'água superficial, demonstrará facilmente que eles são interligados e funcionam como vasos comunicantes.

Assim sendo, caso seja provocado um "stress" hídrico em um, o outro sofrerá consequências que guardarão proporcionalidade direta com a amplitude da ação.

Esse processo de alteração das condições naturais de um vale que atua como área de descarga regional e as suas conseqüentes modificações em aquíferos livres pode se traduzir em impactos relevantes no uso e ocupação do solo no entorno de reservatórios de usinas hidrelétricas ou de outras finalidades.

O mecanismo de ocorrência do processo e as suas conseqüências podem ser quantificados e devem ser estudados em situação prévia à implantação do reservatório.

Esses aspectos são discutidos no presente trabalho, buscando-se caracterizar o quadro geral de causas e conseqüências das modificações no lençol freático, assim como o estágio atual da abordagem sobre esse processo no Brasil, quando da instalação de empreendimentos com reservatórios superficiais de água.

1- Parte da Tese de Doutorado em Geociências do primeiro autor.

2- Pesquisador do IPT – Divisão de Geologia. Caixa Postal 0141, CEP 01064-970 São Paulo (SP).

MECANISMO DAS MODIFICAÇÕES INDUZIDAS

As modificações que ocorrem no regime hidrológico subterrâneo após a construção de uma barragem serão tanto mais significativas, quanto maior se constituir a obra, sua área de inundação e a espessura média da lâmina d'água resultante da formação do reservatório.

Como consequência, em um vale que se constitui como área de descarga regional subterrânea, ocorrerá alteração no equilíbrio dinâmico estabelecido no âmbito do aquífero contribuinte.

A superfície da água nos aquíferos livres adjacentes aos grandes reservatórios formados sofre, inicialmente, reajustes transitórios (Figura 1). Em longo prazo, tais efeitos evoluem para mudanças permanentes nesse sistema hidrogeológico.

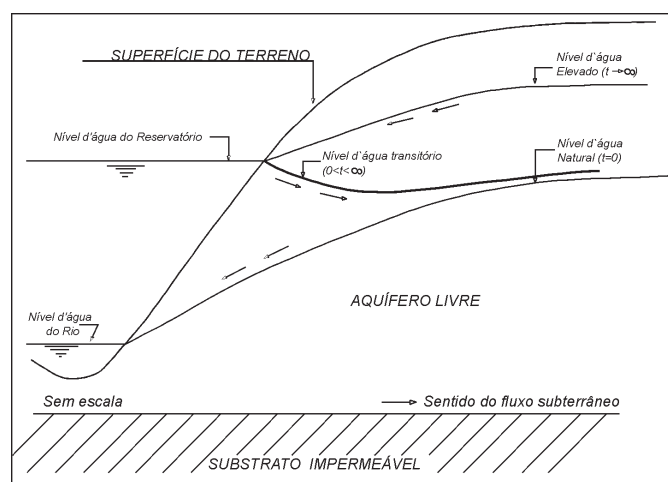


FIGURA 1: Modelo esquemático da evolução do processo de elevações induzidas no lençol freático nas bordas de reservatórios.

FIGURE 1: Schematic model of the water table elevation evolution induced in unconfined aquifers surrounding hydropower plants reservoir.

Como se depreende da figura 1, a modificação no comportamento natural das águas subterrâneas constitui um processo que evolui a partir do início do enchimento do reservatório, quando um sistema de fluxo transitório é imediatamente induzido nas suas áreas marginais.

Isso decorre do fato de que, ao se provocar o represamento do rio que funciona como receptor das descargas subterrâneas, automaticamente o nível d'água nas bordas desse rio torna-se mais elevado do que no aquífero, resultando na inversão nos fluxos subterrâneos que, transitoriamente, passam a se estabelecer do reservatório para o sistema aquífero, realimentando-o.

Naqueles casos de reservatórios com dezenas ou centenas de quilômetros de comprimento e com dezenas de metros de diferença entre a posição do nível d'água original e aquele ocupado após o represamento, o significado quantitativo deste sistema de fluxo transitório pode ser considerável.

O resultado final do reajuste transitório inicial é uma alteração do regime hidrogeológico regional que tende a se estabelecer em longo prazo e de forma permanente. A posição topográfica do nível de descarga de base regional eleva-se e as cargas hidráulicas do aquífero são aumentadas, com tendência geral de decréscimo da ação do processo a partir do local da barragem para montante e das bordas rumo ao interior da área de entorno. Por outro lado, porém, os gradientes hidráulicos são suavizados, diminuindo a descarga de base do aquífero para os exutórios naturais (Albuquerque filho & Bottura 1994).

O SIGNIFICADO DOS IMPACTOS INDUZIDOS NO LENÇOL FREÁTICO

O novo quadro hidrogeológico onde se insere o reservatório poderá representar maior ou menor relevância em relação à situação anterior existente. Isso dependerá de qual enfoque será dado ao elemento água, seja como recurso hídrico, seja como agente ativo nos processos naturais do meio físico, ocasionando reflexos nos usos e ocupação do solo nas bordas do reservatório. No quadro 1 efetua-se a caracterização dos impactos no processo de elevação do lençol freático induzido pelo enchimento de reservatórios, a partir de formulação de análise proposta por Rohde (1992; *apud* Silva 1996).

Como discutido em Freeze; Cherry (1979), se a presença do reservatório influencia o ambiente hidrogeológico, então o ambiente hidrogeológico influencia o reservatório. Para eles, aos olhos do projetista da barragem, a questão dessa interação é considerada na ótica do segundo caso, e advertem que, para o equacionamento da interação reservatório ambiente hidrogeológico, os projetistas devem considerar três potenciais problemas geotécnicos em conexão com o projeto da barragem: 1) percolação da água em locais além daquele onde está situada a barragem; 2) estabilidade das encostas do reservatório; e 3) indução de sismos. Cada um desses fenômenos é influenciado direta ou indiretamente pelas condições da água subterrânea.

Considerando-se que os níveis d'água subterrânea, anteriores à formação do reservatório, são profundos, a elevação regional pode ser benéfica, possibilitando sua mais fácil captação a custos menores. Da mesma forma, podem ocorrer melhorias nas condições de umidade dos solos superficiais e, conseqüentemente, nas suas condições de cultivo (Albuquerque Filho & Bottura 1994).

Carvalho (2000), informando sobre discussões sobre o papel das barragens no desenvolvimento e gerenciamento de bacias hidrográficas, cita que a construção de barragens altera os níveis dos lençóis freáticos com impactos na vegetação, algumas vezes com reflexo na subsistência das famílias que vivem nas áreas de rios e reservatórios. Caso os níveis d'água do aquífero adjacente sejam originalmente rasos, pode-se observar situações que se constituam em dificuldades ao uso e ocupação do solo, ou seja, ocorrendo elevações induzidas pelo enchimento do reservatório, independentemente da amplitude que elas representam, as condições naqueles locais podem se agravar ainda mais, em termos de influência da água subterrânea, destacando-se:

PROPOSTA DE ROHDE		PROCESSO DE ELEVAÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO
ELEMENTOS DOS IMPACTOS	POSSIBILIDADES	
Desencadeamento	Imediato Diferenciado Escalonado	É imediato, pois tão logo é represado o rio, mesmo nas etapas intermediárias de desvio do rio para a construção da barragem, inicia-se o processo de fluxo de água para o aquífero.
Frequência ou Temporalidade	Contínua Descontínua Época do ano	A frequência é contínua, desde que sejam mantidas constantes as condições impostas pelo enchimento do reservatório. O processo de elevação persistirá até estabilização final.
Extensão	Pontual Areal-extensivo Linear Espacial	Classifica-se a extensão como areal-extensiva, pois o processo de elevação do lençol freático ocorre ao longo de toda a borda do reservatório, propagando-se, também, para as suas margens ou entorno.
Reversibilidade	Reversível/temporário Irreversível/permanente	O processo é reversível, desde que ocorram oscilações no nível d'água do reservatório, após o enchimento que alcança a cota topográfica máxima ou senão, que o reservatório venha a ser completamente esvaziado.
Duração	1 ano ou menos 1 a 10 anos 10 a 50 anos	Não se dispõe, ainda, de dados relativos a reservatórios no Brasil que tenham sido monitorados até estabilização final. Acredita-se que se situe no intervalo entre 10 e 50 anos. Medovar; Akhmeteyeva (1984) informam sobre caso no rio Volga (ex-URSS), no qual a estabilização ocorreu 20 anos após a instalação do reservatório.
Magnitude (Escala)	Grande Média Pequena	A magnitude é variada, apresentando grandes valores nas proximidades do eixo da barragem, diminuindo rumo montante e no sentido do interior da área de entorno, onde as magnitudes podem ser médias a pequenas, dependendo de condicionantes locais. Albuquerque filho <i>et al.</i> (1994) cita amplitude de 20,00 m observada na cidade de Pereira Barreto, a cerca de 50 km a montante da barragem de Três Irmãos, rio Tietê, noroeste do Estado de São Paulo.
Importância	Importante Moderada Frac Desprezível Outros (significado local)	A importância é variável, dependendo das suscetibilidades naturais do meio físico à modificações no processo de fluxos subterrâneos, assim como das possíveis repercussões no uso e ocupação do solo no entorno do lago. Portanto, o impacto pode ser muito importante em locais onde existem solos colapsíveis que sofrem adensamento no seu volume devido ao aumento da umidade e resultam em recalques de fundações nele assentes, e, por outro lado, podem ser absolutamente desprezíveis em locais de nível d'água profundos, que sofrem elevações milimétricas em sua posição original.
Sentido	Positivo Negativo	São positivos e negativos, cujo balanço dependerá das disponibilidades e demanda regional pela água subterrânea, assim como das características e condicionantes naturais do meio físico e usos e ocupação do solo ali estabelecidos ou previstos.
Origem	Direta: efeitos primários Indireta: efeitos secundários; terciários; etc.	Classifica-se a origem como direta e indireta. No primeiro caso está associada à reversão no sentido de fluxos subterrâneos, diminuição de gradientes hidráulicos subterrâneos e aumento da espessura saturada do aquífero. De origem indireta pode-se constatar o comportamento do meio físico ante às novas condições de umidade estabelecidas no sub-solo (colapsividade, recalques, erosão, evapotranspiração, salinização, mineralização, dentre outros) e repercussões no uso e ocupação do solo.
Acumulação	Linear, Quadrática Exponencial etc.	As formulações matemáticas utilizadas para o cálculo das elevações induzidas no lençol freático indicam comportamento exponencial.
Sinergia	Presente Ausente	É estabelecida sinergia com outros impactos de forma intensa, posto que a água é um elemento que permeia e interage com todos os demais componentes envolvidos no processo de alteração ambiental.
Distribuição Ônus/-Benefícios	Socializados Privatizados	Os prejuízos mais proeminentes e tradicionalmente já inseridos no rol dos impactos previsíveis, constatados no EIA/Rima, tendem a ser privatizados. Em termos dos benefícios, parte deles é socializada e parte, privatizada.

QUADRO 1: Impactos e análises comparativas para o caso de elevação no lençol freático induzida pela instalação de reservatórios. Interpretado a partir de Rohde, 1992, apud Silva 1996.

TABLE 1: Impacts and comparative analyses for the case of water table elevation induced by hydropower plants reservoir installation. Interpreted from Rohde, 1992, apud Silva 1996.

a) saturação dos solos superficiais, ocasionando o afogamento de raízes, acarretando prejuízos à flora local, possibilitando a salinização - particularmente em regiões de clima quente - diminuindo, assim, a capacidade de produção agrícola da área, ou ainda a formação de nascentes e lagoas em zonas topograficamente mais deprimidas (Albuquerque Filho & Bottura 1994);

b) adensamento volumétrico de solos anteriormente com baixos teores de umidade e com estruturação interna instável, com conseqüente diminuição na sua capacidade de suporte de carga e modificação na estabilidade geotécnica, podendo resultar em movimentações nas fundações ou outras cargas neles assentes e, por conseguinte, potencializar danificações estruturais nas edificações existentes. Assim sendo, os equipamentos urbanos públicos e particulares, ou mesmo instalações isoladas, construídos às margens e época anterior ao enchimento do reservatório, poderão sofrer as conseqüências do alteamento induzido no lençol freático;

c) surgências de água. Quando isso ocorre em determinadas condições de substrato geológico, pedológico e de relevo, poderá ser deflagrada a formação de entalhes erosivos lineares. Isso pode ocorrer, ainda, no interior de erosões já estabilizadas e, como conseqüência, resultar na retomada do processo nesses locais;

d) aumento na vulnerabilidade natural do aquífero. A medida que ocorre a ascensão no lençol freático, é diminuída a espessura do horizonte não-saturado, que funciona como um filtro natural;

e) níveis d'água mais rasos poderão ocasionar, ainda, afogamento de estruturas anteriormente edificadas no subsolo, proporcionando novo ambiente químico, muitas vezes com reações adversas para os diferentes materiais presentes.

CONSEQÜÊNCIAS DAS MODIFICAÇÕES INDUZIDAS NO LENÇOL FREÁTICO

Como síntese, a implantação de um reservatório em um vale, que atua como área de descarga regional, produz tanto um reajuste transitório, como mudanças permanentes no sistema hidrogeológico adjacente ao reservatório. Como resultado de estudos sistemáticos, o IPT (1989) aponta vários impactos sobre os terrenos que margeiam o reservatório, em decorrência da elevação do lençol freático.

Em termos do comportamento geotécnico do solo, a elevação do lençol freático induz aumento da umidade ou mesmo saturação do solo, que poderá implicar na alteração das suas características de estabilidade estrutural natural e, como conseqüência, afetar fundações ou estruturas enterradas, recalques diferenciais em subleitos de rodovias, corrosão de estruturas enterradas tais como fundações, canalizações, reservatórios, dentre outros.

Considerando o potencial agrícola, a elevação do lençol freático aumentará a evapotranspiração e, por conseguinte, o aumento do conteúdo salino nos solos superficiais e subsuperficiais ou mesmo afogamento de raízes de plantas, aparecimento de surgências perenes em encostas e vales que, a

depender da vocação do solo e de outros condicionantes locais (uso e ocupação, proteção vegetal, dentre outros) poderão se transformar em agentes deflagradores de processos erosivos lineares, induzir reativação (boçorocas estabilizadas) ou aceleração do processo (naquelas ativas), por meio do carregamento de material nos pontos de surgência (*piping*).

Relativamente à qualidade natural das águas subterrâneas, a elevação do lençol freático poderá afogar fossas, o que poderá se consubstanciar em focos de contaminação do aquífero livre, e aumentar a vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas pela diminuição da espessura não saturada do aquífero.

Ainda, da elevação do lençol freático resultará em aumento da vazão de poços, como decorrência do aumento da espessura da lâmina d'água; desabamento das paredes de poços escavados (cacimbas) não-revestidos, provocado pela saturação e instabilização de tais trechos em virtude da elevação do nível d'água em seu interior; formação de áreas permanentemente alagadas ou mesmo de lagoas perenes, em zonas topograficamente deprimidas, ou ainda, aumento das dimensões das lagoas ou zonas úmidas já existentes; diminuição da descarga de base do sistema aquífero livre, em caráter regional, como conseqüência da diminuição dos gradientes hidráulicos subterrâneos resultantes da elevação do lençol freático.

O significado do impacto positivo da instalação de reservatórios, enquanto fonte de recarga de aquíferos livres adjacentes, tem grau de importância diferenciado entre os diversos países, pois ele será tanto mais relevante quanto maior for a escassez ou disputa estabelecida pelo uso de recursos hídricos na área ou região de influência da represa.

No Brasil, esse fato pouco tem sido considerado como importante, constatando-se a partir daí, uma realidade duplamente curiosa, qual seja, nas regiões sul e sudeste, onde existem inúmeros grandes reservatórios, o recurso hídrico (superficial e subterrâneo) já é abundante e os estudos hidrogeológicos relacionados à instalação das represas hidrelétricas enfocam outros aspectos e preocupações. Na região nordeste, por sua vez, onde também existem várias grandes instalações desse tipo, o recurso água é escasso, mas, ainda assim, desconhecem-se estudos que dimensionem eventuais recargas subterrâneas oriundas de tais lagos ou os novos aquíferos criados na periferia das represas, concentrando-se as atenções para o corpo de água superficial, que é visível e aparentemente considerado como se constituindo no manancial relevante e exclusivo.

Em outras partes do mundo, constata-se que a percolação e acréscimos nos armazenamentos de água subterrânea, propiciados pelo enchimento de reservatórios têm despertado a atenção, nesse momento em que a escassez dos recursos hídricos é propalada pelas várias mídias como possível fator motivador de guerras entre povos em futuro próximo.

No mais recente congresso internacional de grandes barragens, realizado no ano de 2000 em Pequim, China, uma das questões discutidas foram os benefícios e preocupações em relação à construção de barragens, a qual inclui o sugestivo

tema “... novas idéias acerca do papel das barragens no abastecimento de água e na irrigação: recarregando aquíferos e assegurando vazões durante estações secas...” (Icold 2000).

Medovar & Akhmetieva (1984) constataram que a instalação de reservatórios em rios da antiga URSS proporcionou significativas modificações nas condições naturais das áreas adjacentes, alimentando aquíferos existentes e criando outros. Segundo esses autores, o processo assume tamanhas proporções no seu país que em alguns reservatórios, o volume de água acrescentado ao aquífero livre adjacente supera a própria quantidade acumulada em superfície, na bacia formada à montante da barragem.

Lozinska-Stepien & Pozniak (1979) em estudos efetuados ao longo de 15 anos em um grande reservatório na Polônia, constataram que o volume de contribuição de águas superficiais que alimentam os aquíferos alcançaram valores da ordem de 40% do total de água armazenada em superfície. Segundo esses autores, tais volumes podem ser recuperados em período de tempo relativamente curto, pois em apenas três meses eles observaram que o aquífero descarrega o equivalente a 70% desse total para o reservatório.

Os referidos autores acreditam que “...um dos importantes problemas da engenharia geológica da inter-relação das construções hidrotécnicas e o ambiente geológico é o incremento de recursos extras em água subterrânea que ocorre nas áreas das margens dos reservatórios”.

A REALIDADE ATUAL DOS ESTUDOS DE IMPACTOS HIDROGEOLÓGICOS DE RESERVATÓRIOS NO BRASIL

Em relação ao Brasil, várias razões podem ser cogitadas para justificar a limitada abordagem em relação a impactos hidrogeológicos de reservatórios, ainda hoje constatada em relação à maioria dos grandes empreendimentos instalados no país:

- a) uma vez que a água subterrânea está fora do alcance da nossa vista, ela se torna imperceptível ou é tratada como misteriosa pela maioria das pessoas (Keller 1996). No imaginário popular, ainda persiste a idéia de que os aquíferos se constituem em verdadeiros rios subterrâneos;
- b) a década de 1960 representa, também, o início da formação de geólogos no País. Como consequência, a própria Geologia de Engenharia, ciência que abriga os conhecimentos e as técnicas necessárias para consubstanciar estudos sobre o assunto, também somente tomou impulso de desenvolvimento nesse período, como decorrência das próprias demandas que surgiram com essas obras;
- c) o incremento da construção de barragens hidrelétricas ocorreu nas décadas de 1960 e 1970 e, uma vez que a manifestação dos impactos tende a ocorrer de forma retardada ou tardia, os alteamentos do lençol freático não necessariamente foram constatados de imediato, salvo nas áreas mais próximas aos reservatórios;
- d) o entendimento holístico das modificações ocorridas na dinâmica das águas subterrâneas e os efeitos no

meio físico que as encerra requer nível de especialização de conhecimento muito específico, competência intrínseca de profissionais que atuam em hidrogeologia e não suficientemente encontrada em outros profissionais, sejam da área de engenharia civil ou mesmo das geociências. Assim sendo, equipes executoras de estudos de impacto ambiental que não possuam profissional com esse conhecimento, poderão incorrer em erros por dificuldades de percepção do problema;

- e) as equipes técnicas de elaboração de projeto e de acompanhamento da execução da obra, embora comumente contemplem conhecimento multidisciplinar e possuam profissionais que tratam da hidráulica subterrânea, preocupam-se com as questões associadas sobremaneira ao sítio da barragem, resultando que as possíveis elevações no lençol freático no âmbito da bacia de contribuição tendem a não ser consideradas como preocupação relevante;
- f) entre o início dos anos 60 e meados dos 80, as possibilidades para a manifestação da sociedade organizada ou dos cidadãos, em geral, eram muito limitadas, como resultado do sistema político vigente no país, resultando que muitas grandes represas foram instaladas sem nenhuma consideração de posicionamentos dos setores sociais da bacia hidrográfica envolvida. Por isso, era muito difícil contrapor-se a situações de impactos da instalação da obra, notadamente em relação àqueles mais intangíveis ou de difícil percepção direta de seus efeitos, como é o caso da elevação do nível d'água subterrânea;
- g) nas décadas de 1960 e 1970 o nível de aglomeração populacional nas áreas urbanas dos municípios ainda não era tão elevado como nos dias atuais, que passou de cerca de 45% para o patamar de 56%, atingindo hoje níveis em torno de 90%. Dessa maneira, a população rural era proporcionalmente elevada, porém, obviamente, ocupava o espaço territorial de forma esparsa. Assim, os tipos de estruturas presentes (edificações, por exemplo) tendiam a ser em menores portes, o que minimizava ou dispersava as manifestações dos efeitos, dificultando a observação de eventuais decorrências da elevação do lençol freático sobre os equipamentos públicos ou privados;
- h) a legislação ambiental que passou a exigir estudos de avaliação prévia de impactos ambientais das diversas intervenções antrópicas começou a surgir no início da década de 1980, mostrando-se consolidada a partir de 1986 (Brasil 1986a e 1986b);
- i) a percepção de qualquer manifestação de alteração na dinâmica ou na posição dos níveis d'água subterrânea muitas vezes é difícil, sobretudo por pessoas não-especialistas de hidrogeologia ou de áreas correlatas, ainda mais, se não existirem feições, estruturas construídas ou instrumentos que possibilitem a constatação do processo de modificação. De acordo

com a bibliografia especializada (George 1992), os problemas associados às águas subterrâneas são incluídos no grupo de riscos silenciosos (*quiet hazards*).

CONCLUSÕES

Os trabalhos desenvolvidos, nesta pesquisa, permitiram concluir que é necessário e possível obter informações e sistematizar os procedimentos para prever e analisar a amplitude, distribuição espacial e velocidade de propagação da elevação induzida no lençol freático, assim como as prováveis repercussões decorrentes dessas modificações no aquífero livre e em outras porções adjacentes do meio ambiente afetado.

A introdução de atividades modificadoras, que resulte em elevação do nível d'água subterrânea, caracteriza-se, do ponto de vista hidrogeológico, como um impacto ambiental, e a partir daí, inúmeras repercussões podem ser deflagradas afetando o solo e usos e ocupações.

As evidências apontam que esse impacto, que se inicia com a construção ou instalação do reservatório, pode perdurar por longo tempo, até atingir uma nova situação de equilíbrio, retomando comportamento similar ao ciclo natural anterior, fluindo rumo ao reservatório e oscilando sazonalmente, de acordo com as estações climáticas.

Da mesma forma, entende-se que a elevação induzida no lençol freático pelo enchimento de reservatórios, por se tratar de um processo que ocorre no subsolo, constitui-se em uma barreira para a sua fácil visualização ou para a correta compreensão do que poderá ocorrer e quais os efeitos poderão dele resultar. Portanto, justamente por essa razão, é que se deve inserir, o quanto antes possível, a avaliação quantitativa e espacializada dos impactos hidrogeológicos de um reservatório, considerando-se os instrumentos de avaliação de impacto ambiental atualmente praticados.

Constatam-se lacunas de conhecimento, relacionadas a vários aspectos em termos de quantificação dos impactos hidrogeológico-ambientais decorrentes da instalação de reservatórios, tais como monitoramento e avaliação global de pós-enchimento; avaliação dos impactos positivos na ótica do aumento das reservas de águas subterrâneas decorrentes da elevação do lençol freático no entorno de um reservatório; avaliação das inter-relações que possam ocorrer entre o processo de elevação induzida no nível do lençol freático e a deflagração de sismos no entorno do reservatório; continuidade na aplicação de modelagem matemática de simulação hidráulica computacional para aperfeiçoamento do uso da ferramenta em nível de bacia de contribuição de um reservatório; avaliação das alterações nas características físico-químicas das águas subterrâneas induzidas pelo enchimento do reservatório;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE FILHO, J.L. & BOTTURA, J.A. 1994. O meio físico nos estudos ambientais de projetos hidroelétricos.

- Elevações induzidas no lençol freático. In: ENCONTRO TÉCNICO CESP/IPT. São Paulo: Paraibana. p. 62-73.
- BRASIL. Congresso. Senado. Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986 (a). Estabelece as definições, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da avaliação de impacto ambiental, e dá outras providências. **Direito administrativo:** tema: água. In: CABRAL, B.1.ed. Brasília: Senado Federal, 1997. 670 p. (Caderno Legislativo nº 001/97).
- BRASIL. Congresso. Senado. Resolução CONAMA nº 11, de 18 de março de 1986 (b). Altera o inciso XVI e acrescenta o inciso XVII ao artigo 2º da Resolução/CONAMA/ nº 1, de 23-1-86. **Direito administrativo:** tema: água. In: CABRAL, B.1.ed. Brasília: Senado Federal, 1997. 670 p. (Caderno Legislativo nº 001/97).
- CARVALHO, E. 2000. Relatórios de participação na reunião anual e congresso de Beijing – setembro de 2000. In: Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB. *Boletim Informativo*. Rio de Janeiro, ano 7, p. 6.
- FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. 1979. *Groundwater*. New Jersey: Prentice – Hall. 280 p.
- GEORGE, D.J. 1992. Rising groundwater: a problem of development in some urban areas of the Middle East. In: MCCALL, G.J.H.; LAMING, D.J.C.; SCOTT, S.C. (eds). *Geohazards*. Singapore: Chapman; Hall p. 171-182.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. 1989. Avaliação do efeito do enchimento do reservatório da barragem de Três Irmãos sobre o nível freático na área da cidade de Pereira Barreto - segunda fase. São Paulo, 2 v. (IPT. Relatório nº 27.789).
- INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGES DAMS - ICOLD. 2000. Questions and general reports. In: CONGRESS-THEMES FOR DISCUSSION. Disponível em: <<http://genepi.Louis-jean.com/cigb/Theme.htm>>. Acesso em : 8 jul. 2000.
- KELLER, E.A. 1996. *Environmental Geology*. 7.ed. New Jersey: PVP USA: Prentice-Hall, 178 p.
- LOZINSKA-STEPIEN, H. & POZNIAK, R. 1979. Engineering geological evaluation of increase in groundwater resources close to reservoirs. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, **20**: 273-274.
- MEDOVAR, Y.A. & AKHMETYEVA, N.P. 1984. The reservoir effect on hydrological conditions of share areas of the Ivankovo reservoir. *Environmental Geology*, New York, **5** (4): 219-224.
- SILVA, H.V.O. 1996. *Auditoria de estudo de impacto ambiental*. Rio de Janeiro, 250 p. Tese (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.