

CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DA IMPLANTAÇÃO DE RESERVATÓRIOS HIDRELÉTRICOS COM ÊNFASE NOS EFEITOS OCORRENTES EM AQUÍFEROS LIVRES E SUAS CONSEQÜÊNCIAS

José Luiz ALBUQUERQUE FILHO ¹, Antonio Roberto SAAD ²,
Marissa Chiareli de ALVARENGA ¹

(1) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT. Avenida Prof. Almeida Prado, 532, Cidade Universitária – Butantã. CEP 05508-901. São Paulo, SP. Endereços eletrônicos: albuzeu@ipt.br; marissa@ipt.br
(2) Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, UNESP. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: asaad@prof.ung.br

Introdução
Procedimentos de Avaliação de Impacto de Hidrelétricas no Brasil
Impactos Ambientais Causados pela Instalação de Reservatórios
Processo de Modificação e o Significado dos Impactos Induzidos
em Aquíferos Livres Pelo Enchimento de Reservatórios
Conclusões
Referências Bibliográficas

RESUMO – Neste trabalho discute-se o processo da elevação induzida na posição do lençol freático adjacente a reservatórios hidrelétricos após o seu enchimento, tão logo é concluída a obra e inicia-se o represamento do rio. É apresentada a discussão sobre os principais impactos ocasionados pela instalação desse tipo de empreendimento, detalhando-se o caso da elevação induzida, considerando-se como evolui o processo de modificação nas águas subterrâneas e apresentando-se síntese de estudos anteriores desenvolvidos acerca do assunto. **Palavras-chaves:** hidrogeologia; hidráulica subterrânea; reservatórios; lençol freático; elevação induzida.

ABSTRACT – *J.L. Albuquerque Filho, A.R. Saad, M.C. de Alvarenga - Discussion about environmental impacts due to hydropower reservoirs filling, focusing in the induced elevation on unconfined aquifer watertable.* This paper discusses the process of induced elevation in the watertable adjacent to the hydroelectric reservoir after its filling, once the dam is completed and the impoundment of the river begins. It is presented a discussion on the main impacts caused by the installation of such enterprise, focusing on induced elevation, considering how the process of change in groundwater evolves and presenting synthesis of previous studies developed on this.

Keywords: hydrogeology; groundwater hydraulics; reservoirs; watertable; induced elevation.

INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta parte dos resultados da pesquisa de doutorado desenvolvida na Universidade Estadual Paulista, campus de Rio Claro – SP, acerca de elevações induzidas no lençol freático de aquíferos adjacentes a reservatórios hidrelétricos, pelo fechamento de barragem e represamento do rio (Albuquerque Filho, 2002).

A pesquisa de Albuquerque Filho (2002) buscou como objetivo principal a proposição de um roteiro metodológico para aplicação em estudos de previsão e análise da elevação induzida no lençol freático ou nível d'água subterrânea de aquíferos livres, em decorrência do enchimento de reservatórios hidrelétricos.

A modificação ambiental estudada decorre do fato de que, antes da instalação do reservatório, o rio

comumente possui nível d'água mais baixo que as vizinhanças e funciona como coletor da descarga de base regional dos aquíferos. Quando se dá o barramento, as águas do rio são represadas e ocupam nível mais elevado e, desse modo, a situação original sofre inversão, passando a ocorrer temporariamente a alimentação para o aquífero livre adjacente.

Essa nova condição impõe um processo de elevação continuada no lençol freático, até que seja estabelecido um novo equilíbrio dinâmico e os fluxos d'água subterrânea voltem a se desenvolver no sentido do reservatório, constituído pelo rio represado.

A magnitude e a distribuição espaço-temporal da elevação induzida no lençol freático são condicionadas por uma série de aspectos hidrogeológicos, hidrológicos,

climatológicos, geológicos, geomorfológicos e pedológicos, aliados às características construtivas e operacionais do reservatório hidrelétrico.

A amplitude das elevações tende a diminuir no sentido jusante-montante, ou seja, da barragem rumo a extremidade do remanso, e da borda do reservatório rumo ao interior das áreas do entorno. A elevação do lençol freático tende, por sua vez, a ser mais rápida nas bordas do reservatório, alcançando as porções mais distantes após tempo mais longo, dependendo dos parâmetros hidráulicos de cada camada e locais através dos quais se processa a transmissão dos efeitos.

A nova situação estabelecida poderá se traduzir em um resultado positivo ou negativo, em relação àquela anteriormente existente. Isso dependerá de qual enfoque considerar-se-á para o elemento água, seja ele como recurso hídrico, seja como agente ativo nos processos naturais do meio físico, ou ocasionando reflexos nos usos e ocupações do solo (tanto os existentes como aqueles que venham, porventura, a se estabelecer nas bordas do reservatório).

Considerando-se o aspecto da água como recurso hídrico, caso os níveis d'água subterrânea anteriores à formação do reservatório sejam profundos, a elevação regional pode ser benéfica, possibilitando a captação mais fácil e a menores custos.

Da mesma forma, podem ocorrer melhorias nas condições de umidade dos solos superficiais e, conseqüentemente, favorecer, por exemplo, as condições de cultivo.

Por outro lado, caso os níveis d'água do aquífero adjacente sejam originalmente rasos, existe a tendência de se observar situações induzidas que constituir-se-ão em dificuldades considerando-se o uso e ocupação do solo nos terrenos vizinhos ao reservatório.

Nesse caso, ocorrendo elevações induzidas pelo enchimento do reservatório, independentemente da amplitude que elas representam, as novas condições podem agravar ainda mais o quadro, em termos de influência da água subterrânea.

Neste contexto, constata-se que é necessário 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 ambiente afetado.

Constata-se, ainda, que é de suma importância discutir o significado ambiental do processo de elevação induzida no lençol freático, sob a ótica de conceituações hidrogeológicas. Nesse sentido, buscou-se disponibilizar subsídios para a melhor contextualização do problema por parte dos profissionais que atuam na área ambiental, tanto sob o enfoque técnico-científico como do ponto de vista da formulação de leis ou normas.

Da mesma forma, procurou-se consubstanciar contextualização dos vários impactos ambientais decorrentes da implantação de empreendimentos hidrelétricos, analisando-os sob uma perspectiva histórica e voltada ao caso do Brasil.

PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL DE HIDRELÉTRICAS NO BRASIL

Segundo a Comissão Interministerial para Preparação da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – CIMA (1991), a participação da energia hidrelétrica foi a que mais cresceu proporcionalmente na matriz energética brasileira, entre a segunda metade da década de 1970 e o final da década de 1980 (7,8% ao ano), notadamente na década de 1970, quando os índices alcançaram os valores mais elevados de crescimento (12,3% ao ano). Nessa época, a eletricidade respondia por 36% do consumo total do País, quando contabilizada a partir de calorías (kcal) necessárias para produzir o equivalente em Watt.hora (KWh).

Atualmente, constata-se que a matriz de produção de energia elétrica do Brasil ainda depende preponderantemente da hidreletricidade, a qual responde por 77,4% da oferta de energia elétrica no país (EPE, 2008).

Porém, ainda no início da década de 1990, CIMA (1991) afirmou que, até o final da década de 80, as

questões sócio-ambientais não eram consideradas com prioridade adequada no processo de planejamento do setor elétrico; como resultado, usinas hidrelétricas projetadas entre as décadas de 70 até o início da década de 80 foram, posteriormente, alvo de muitas críticas em virtude dos impactos ambientais por elas causados.

Ainda segundo CIMA (1991), o significado e os respectivos desdobramentos das modificações nos componentes ambientais, decorrentes da instalação desses empreendimentos, provocaram fortes reações e pressões sobre o setor hidroenergético que, por sua vez, passou a assumir procedimentos mínimos de prevenção de impactos ambientais. Foi nesse contexto que o conjunto das empresas concessionárias de energia elétrica, sob a coordenação da Eletrobrás (ELETROBRÁS, 1986), publicou em junho de 1986 o “Manual de estudos de efeitos ambientais dos sistemas elétricos”.

É importante registrar, entretanto, que o Comitê Brasileiro de Grandes Barragens (CBGB), atualmente

denominado de Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), de acordo com CBGB (1979), ainda na década de 1970, já reconhecia a “...importância crescente da inter-relação das barragens construídas no País com o meio ambiente, no qual são implantadas”. Por conseguinte, no início de 1977, o Comitê (CBGB, 1979) resolveu criar a “Comissão Técnica de Barragens e Meio Ambiente”, que, logo no seu primeiro triênio de gestão (1977-1979), decidiu efetuar levantamento em âmbito nacional entre as empresas concessionárias de energia hidrelétrica e consultorias de projeto de barragens, compreendendo os seguintes aspectos nos campos da Ecologia e Engenharia Ambiental: capacidade técnica; acervo de conhecimentos específicos disponível; e atividades desenvolvidas referentes a planejamento, projeto e operação de barragens e reservatórios. Como resultado desse trabalho, foi publicado relatório (CBGB, 1979) que abrangeu 204 barragens, das quais, 176 classificam-se como grandes. Dessa amostra, ainda, 140 barragens já estavam em operação, 22 em construção e 42 obras, ainda em projeto.

No referido Relatório destaca-se que a sua divulgação pretendia “... chamar a atenção das concessionárias e firmas consultoras e, sobretudo, das entidades governamentais, sobre a necessidade de serem considerados, cada vez mais, os aspectos ecológicos e ambientais, no sentido de incentivar e coordenar o uso múltiplo das represas de forma mais bem equilibrada e de utilizar-se os recursos naturais – dos quais a água é um dos mais importantes – com a máxima cautela no que se refere à preservação da sua qualidade e disponibilidade, e com o melhor aproveitamento possível”.

Silva (1996) afirmou que a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) no setor hidrelétrico “...começou a ser adotada no Brasil, ainda que de forma setORIZADA, envolvendo geração e transmissão de energia, atividades que, tradicionalmente, causam grandes modificações nos parâmetros ecológicos e sociais em suas áreas de influência”.

Segundo o mesmo autor, esse fato foi decorrência de exigências de organismos financiadores interna-

cionais que, por sua vez, buscavam atender as questões levantadas pela comunidade dos países desenvolvidos que se sentiam responsáveis pelos impactos negativos deflagrados no meio ambiente dos países do terceiro mundo, a partir de empreendimentos multinacionais ou financiados por esses próprios países. Nesse sentido, o primeiro grande projeto governamental que foi submetido à Avaliação de Impacto Ambiental foi a Usina Hidrelétrica (UHE) de Sobradinho (BA), financiado pelo Banco Mundial.

Dias (2001) citou, também, a UHE de Tucuruí (PA) como projeto de aproveitamento hidroenergético, desenvolvido nas décadas de 1970/1980, que foi objeto de estudo de impacto ambiental a partir de exigências do órgão financiador (Banco Mundial). Segundo Monowski (1989, segundo Dias, 2001) esse tipo de exigência teria, inclusive, levado a Eletrobrás a condicionar, desde 1974, a instalação de usinas hidrelétricas a estudos prévios desse tipo.

Magrini (1992) citou que, embora o setor hidrelétrico já tivesse incorporando as preocupações ambientais, somente a partir da Resolução CONAMA nº 01/86 é que o mesmo passou a adotar medidas mais concretas.

A Resolução CONAMA nº 01 (BRASIL, 1986a), já descreve explicitamente que (artigo 20, item VII) a “barragem para fins hidrelétricos, acima de 10 MW” como atividade modificadora do meio ambiente e, como tal, necessariamente subordinada à elaboração de EIA/RIMA e submissão a processo de AIA para obtenção de licenciamento nos órgãos ambientais competentes. Logo no ano seguinte, em 16 de setembro, foi publicada a Resolução CONAMA nº 06 (BRASIL, 1987), que regulamentou o licenciamento ambiental no setor elétrico, estabelecendo a exigência de três licenças (Prévia, de Instalação e de Operação).

Magrini (1992) propôs o fluxograma de atividades para elaboração da Avaliação de Impacto Ambiental de projetos hidrelétricos, “...independentemente das características de um projeto específico e das especificidades de um determinado contexto ambiental...” (Figura 1).

IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA INSTALAÇÃO DE RESERVATÓRIOS

Os cursos d’água, ou drenagens naturais, podem ser considerados elementos-meio do ciclo hidrológico, haja vista que a água oriunda de chuvas em sua bacia de contribuição ou aflorante ao longo do nível de descarga dos lençóis subterrâneos neles permanecem tempo relativamente curto, quando comparado com aquele observado em outros componentes desse mesmo ciclo.

É nesse contexto que os rios historicamente se constituíram vetores de maior interesse da ocupação humana, propiciando a água para os mais diferentes usos e atraindo, também, outras espécies de vida, além de desempenhar seu papel como agente geológico, pedológico, agrônômico, dentre muitas outras funções ambientais.

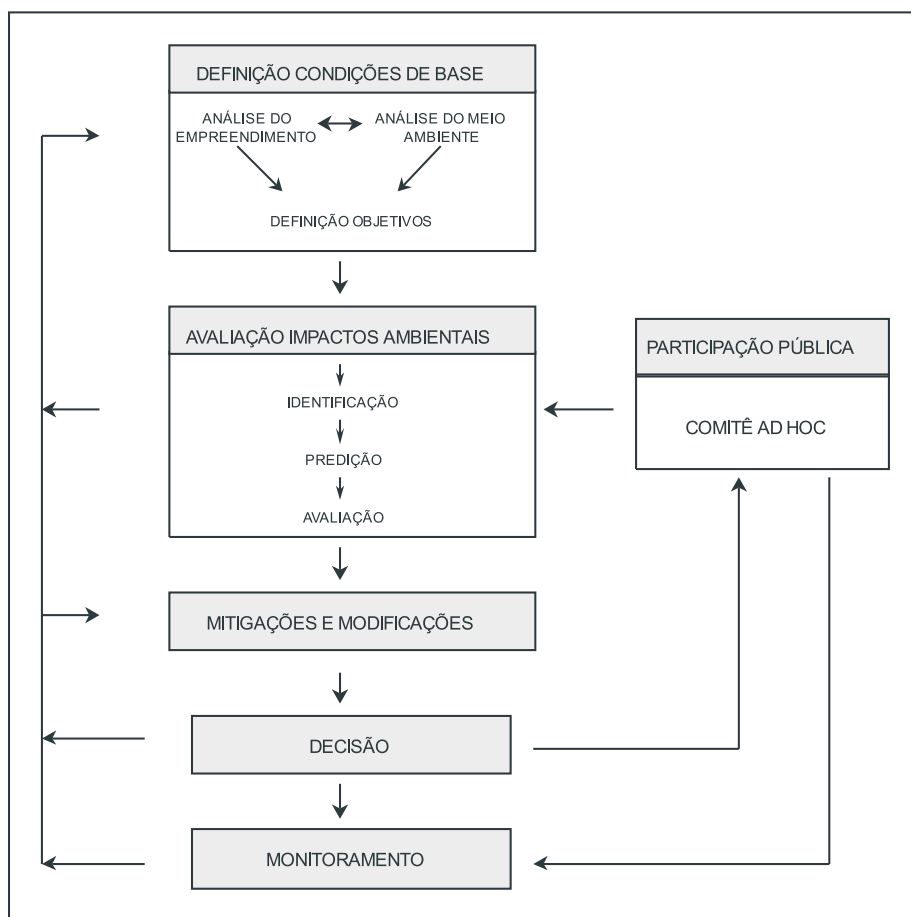


FIGURA 1. Esquema indicativo para elaboração da Avaliação de Impacto Ambiental de projetos hidrelétricos.

Assim sendo, o barramento e instalação de uma represa em um curso d'água, por menor que seja um ou o outro, resultará em introdução de *stress* no ciclo hidrológico e, como decorrência, alterará o equilíbrio estabelecido, induzindo rearranjos na busca da retomada da estabilização, ainda que em situação distinta da original.

Segundo De Jorge (1984) “...a implantação de um reservatório causa mais interferências com as condições naturais do meio físico do que qualquer outro tipo de obra civil de grande porte. Essas interferências são responsáveis por reações do próprio meio físico procurando se adaptar às novas condições existentes. As reações podem variar, ao longo do tempo, em intensidade e forma, impondo uma série de mudanças, convencionalmente chamadas de impactos”.

Se for considerado que essa intervenção ou obra refere-se a uma grande barragem, tal como definida pela International Commission on Large Dams - ICOLD (WCD, 2000) segundo a qual “grandes barragens são aquelas que possuem altura igual ou superior a 15 m (contados do alicerce) ou de 5

a 15 m de altura, desde que seu reservatório tenha capacidade superior a 3 milhões de metros cúbicos (m^3) de água”, as alterações no ciclo hidrológico e nos demais aspectos ambientais da região tenderão sempre a ser expressivas.

Segundo Mello (1999), a Comissão Mundial de Barragens (World Commission on Dams) constatou que existem mais de 800.000 reservatórios ao redor do mundo, sendo que 45.000 podem ser classificados como de grande porte. No Brasil, foram registradas 2.200 usinas hidrelétricas e o Governo Federal prevê a construção de mais 434 outras barragens, até o ano de 2015.

De acordo com o mesmo estudo, no período entre 1970 e 1979 houve expressivo incremento no número de barragens implantadas em todo o mundo, com a instalação de 5.415 novas unidades, correspondendo ao dobro da quantidade construída na década de 1950. Em contrapartida, houve declínio no número de novas barragens após o ano de 1979. A principal razão atribuída por Mello (1999) é o maior rigor nas exigências ambientais para aprovação de projetos por parte dos agentes financiadores internacionais.

A geração de energia a partir do aproveitamento do potencial hidrelétrico, por meio da instalação de grandes barragens, tornou-se bastante corrente no Brasil a partir da década de 60, época em que se atingiu plena capacitação tecnológica, inclusive em nível de exportação, notadamente da técnica de construção.

Se por um lado a construção dessas obras civis grandes ou, muitas vezes, gigantescas, com seus expressivos reservatórios, propicia ao homem a estratégica energia elétrica renovável, não poluente e mais barata, ao mesmo tempo em que regulariza rios, elimina danos causados por enchentes e inundações e possibilita a implantação de corredores hidroviários e de projetos de irrigação, além de propiciar outras formas de uso dos recursos hídricos (turismo, lazer, esporte, dentre outros), por outro lado implicam intervenções que alteram o equilíbrio de todos os componentes ambientais, mesmo que adotadas medidas preventivas, corretivas ou mitigadoras para o conjunto de impactos negativos.

Com efeito, a socioeconomia de uma região onde se instala um grande reservatório sofre profundas mudanças, pois é introduzido um novo fator que tende movimentar a dinâmica ali estabelecida.

As taxas de comportamento populacional tendem a sofrer grandes modificações, temporárias e permanentes, pela atração de mão de obra de outras regiões em busca de trabalho. Ao mesmo tempo, propicia o aparecimento ou incremento súbito de aglomerações urbanas sem que haja correspondente planejamento adequado do uso e ocupação do solo.

As populações das áreas de inundação comumente são transferidas para as margens ou para outros locais mais distantes da borda do futuro lago, exigindo sensíveis re-adequações no seu modo de vida. A WCD (2000) constatou que, muitas vezes, os efeitos negativos sobre as populações ribeirinhas não são adequadamente avaliados ou sequer considerados, estimando que entre 40 e 80 milhões de pessoas foram fisicamente deslocadas por barragens em todo o mundo e muitas delas não foram reconhecidas como tal e, portanto, não foram reassentadas ou indenizadas.

A fase imediatamente pós-conclusão da obra tende a caracterizar-se pelo grande crescimento na taxa de desemprego, provocando uma retomada na movimentação migratória da população, para fora da região de influência da obra. Também podem ocorrer prejuízos do ponto de vista cultural, pois patrimônios históricos e arqueológicos são perdidos e parcelas de terras indígenas podem ser inundadas.

No que se refere às modificações nos meios físico e biótico, várias situações podem ser citadas: a bacia de contribuição hídrica para o reservatório tem o regime hidrológico de superfície afetado de maneira mais direta,

pois o padrão de escoamento superficial é influenciado tanto a montante como a jusante do reservatório; a vazão dos rios é alterada no tempo e no espaço; e o espelho d'água resultante propicia incrementos importantes nas taxas de evaporação regionais. O microclima da área do entorno do projeto poderá, também, sofrer sensíveis mudanças em relação ao seu comportamento médio e histórico.

O corpo d'água formado com o represamento constituir-se-á em um ambiente com nova e totalmente diferente dinâmica nos processos naturais (físicos, químicos e biológicos), em relação àquela preteritamente existente, sob condições de água corrente. É estabelecida estratificação térmica na coluna de água do lago totalmente diferente daquela antes observada no rio.

As espécies de seres aquáticos sofrem expressivas modificações, haja vista que o hábito de vida e de reprodução de espécies de águas correntes (lóticas) são significativamente distintos daqueles que vivem em águas represadas (lênticas), ainda que sejam construídas estruturas ou adotadas medidas destinadas a minimizar o efeito da barreira física constituída pelo corpo da barragem. Tenderão a sofrer grandes impactos aquelas espécies de hábito migratório.

A eliminação das inundações ricas em cardumes, que sazonalmente ocorriam nos trechos dos rios que foram seccionados e ficaram situados a jusante após a construção da barragem, podem reduzir drasticamente o suprimento de alimentos protéicos para os habitantes dessas áreas, notadamente para os casos das famílias mais pobres (Canter, 1990).

De acordo com Canter (1990), a instalação da barragem poderá reter quantidades expressivas dos nutrientes que alimentam a vida aquática, resultando, também, em reduções significativas na quantidade de peixes e outros seres vivos que outrora habitavam os trechos do rio que ficaram a jusante da barragem.

As espécies da fauna terrestre sofrerão, também, sensíveis impactos como decorrência da instalação do reservatório, uma vez que serão inundados locais que propiciavam constituição de habitat, fontes de alimentação e de reprodução.

Cita como exemplos, os impactos sociais e econômicos observados em represas da América do Sul, manifestados por meio da impossibilidade de pesca pela contaminação e morte de peixes, resultando em fome, desnutrição e falta de trabalho para as populações que disso dependiam antes do empreendimento e, também, a proliferação pós-enchimento de pragas tropicais como malária, esquistossomose, cólera e dengue.

Além disso, de acordo com Mello (1999), poderão ocorrer liberações de substâncias tóxicas que podem corroer turbinas e gerar condições para remobilizações de componentes químicos presentes no reservatório,

como por exemplo, a metalização de mercúrio metálico em áreas de contribuição de reservatórios que possuam garimpos ou outras fontes dessa contaminação. Esse elemento químico se insere na cadeia alimentar humana através do peixe, é bioacumulativo e pode ocasionar inúmeros distúrbios físicos e mentais no ser humano.

Expressivas áreas de cobertura vegetal podem ser eliminadas ou afogadas a partir da inundação, condicionando também o deslocamento da fauna anteriormente ali habitante. Por outro lado, podem ocorrer proliferações de ervas aquáticas daninhas, tanto para o novo ecossistema estabelecido quanto para equipamentos da usina implantada.

A decomposição da vegetação afogada pode resultar na formação de gases (metano e gás carbônico) contribuindo assim para o aumento do processo denominado de efeito estufa.

O corpo d'água formado e a sua superfície superior livre, sendo maiores do que a do antigo curso d'água, estarão submetidos mais ainda à ação dos ventos, resultando em ondas que muitas vezes impactam significativamente as bordas do reservatório, por meio de erosões nas suas encostas. Efeitos similares poderão ocorrer a partir de oscilações no nível d'água do reservatório, como decorrência do uso ou manejo adotado, ou senão, a partir situações climáticas adversas ou naturalmente cíclicas na bacia do reservatório.

Esse corpo d'água impõe, também, uma nova situação para as suas adjacências, provocando uma das mais importantes modificações decorrentes do enchimento de reservatórios que se processa inevitavelmente no subsolo, posto que volumes significativos de água oriundos da represa percolam para o interior dessas zonas, constituindo novos aquíferos ou realimentando aquíferos livres já existentes e induzindo alteamentos no lençol freático, que se propagam para o interior da área do entorno e podem resultar em quadro totalmente diferente daquele natural, em termos de umidade subsuperficial.

Essas modificações ocorrem pelo fato de que os cursos d'água onde são instaladas as barragens são componentes do ciclo hidrológico da região e mantém conexão hidráulica com o aquífero livre adjacente, sendo por ele alimentado na maior parte do tempo, excetuando-se o período chuvoso, quando a precipitação pluviométrica afluí diretamente à bacia por meio do escoamento superficial, consubstanciando volumes significativamente superiores aos recebidos das descargas subterrâneas.

Essa nova realidade pode significar impacto de sentido positivo e negativo, de acordo com definição de Rohde (1992, segundo Silva, 1996), em diferentes usos e ocupação das terras estabelecidos no entorno do reservatório, assim como para novas formas de

ocupação que se pretenda ali implementar no futuro.

Entretanto, constata-se ainda que, de uma maneira geral, poucos trabalhos no Brasil têm se preocupado no seu escopo em caracterizar e detalhar o conhecimento desses efeitos ao nível de quantificação previsional e de forma a sistematizar técnicas que possam ser aplicadas nos estudos de reservatórios, com vistas a subsidiar o processo de avaliação do impacto ambiental do empreendimento, desde o início até etapas posteriores à conclusão do mesmo.

PROCESSO DE MODIFICAÇÃO E O SIGNIFICADO DOS IMPACTOS INDUZIDOS EM AQUÍFEROS LIVRES PELO ENCHIMENTO DE RESERVATÓRIOS

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

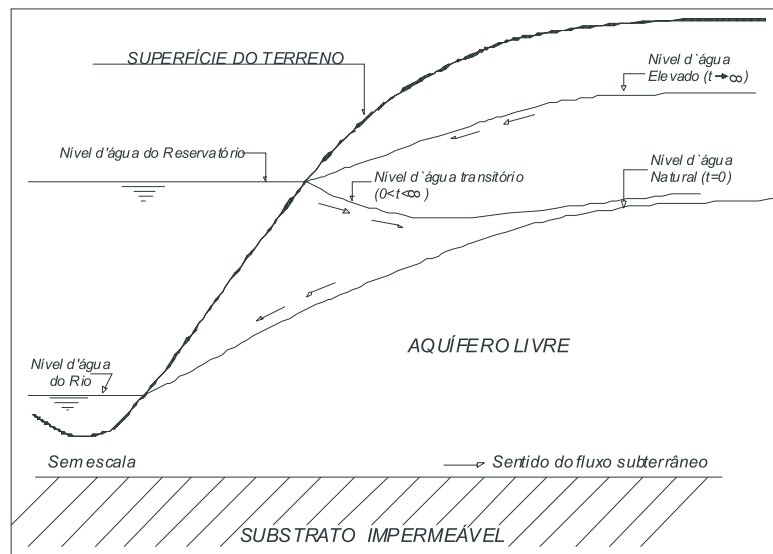
A superfície da água nos aquíferos livres adjacentes aos reservatórios formados sofre, inicialmente, reajustes transitórios (Figura 2). Em longo prazo, tais efeitos evoluem para mudanças permanentes nesse sistema hidrogeológico (Albuquerque Filho & Bottura, 1994; Albuquerque Filho et al., 1996).

Como se depreende da Figura 2, 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 o do aquífero, resultando na inversão nos sentidos dos fluxos subterrâneos que, temporariamente, 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



Fonte: Albuquerque Filho & Bottura (1994); Albuquerque Filho et al. (1996).

FIGURA 2. Modelo esquemático da evolução do processo de elevações induzidas no lençol freático nas bordas de reservatórios.

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 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 se considerará o elemento água, seja ele como recurso hídrico, seja como agente ativo nos processos naturais do meio físico e, também, ocasionando reflexos nos usos e ocupação do solo existentes ou que venham a se estabelecer nas bordas do reservatório.

Albuquerque Filho & Leite (2002) propuseram matriz para 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, segundo Silva, 1996) (Quadro 1).

Freeze & Cherry (1979) advertem que “...em adição à questão primeira do suprimento hidrológico e da questão segunda da sedimentação no reservatório, 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) estabi-

lidade das encostas do reservatório; 3) indução de sismos”. Cada um desses fenômenos é influenciado direta ou indiretamente pelas condições da água subterrânea.

A nova situação estabelecida poderá se traduzir em um resultado positivo ou negativo, em relação àquela anteriormente existente. Isso dependerá de qual enfoque considerar-se-á para o elemento água, seja ele como recurso hídrico, seja como agente ativo nos processos naturais do meio físico, ou ocasionando reflexos nos usos e ocupações do solo (tanto os existentes como aqueles que venham, porventura, a se estabelecer nas bordas do reservatório).

Considerando-se o aspecto da água como recurso hídrico, caso os níveis d'água subterrânea anteriores à formação do reservatório sejam profundos, a elevação regional pode ser benéfica, possibilitando a captação mais fácil e a menores custos. Da mesma forma, podem ocorrer melhorias nas condições de umidade dos solos superficiais e, conseqüentemente, favorecendo, por exemplo, as condições de cultivo. Por outro lado, caso os níveis d'água do aquífero adjacente sejam originalmente rasos, existe a tendência de se observar situações induzidas que constituir-se-ão em dificuldades considerando-se o uso e ocupação do solo nos terrenos vizinhos ao reservatório. Nesse caso, ocorrendo elevações induzidas pelo enchimento do reservatório, independentemente da amplitude que elas representam, as novas condições podem agravar ainda mais o quadro, em termos de influência da água subterrânea.

QUADRO 1. Características dos impactos ambientais e análise comparativa para o caso de elevação no lençol freático induzida pela instalação de reservatórios.

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.
Freqüência ou Temporalidade	Contínua Descontínua Época do ano	A freqüência 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 et al. (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.

Fonte: Interpretado e modificado por Albuquerque Filho & Leite (2002) a partir de Rohde, 1992, segundo Silva, 1996.

Da mesma forma, quando os níveis d'água se encontram naturalmente próximos à superfície podem ocorrer saturação dos solos superficiais, ocasionando o afogamento de raízes, acarretando prejuízos à flora local, e 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).

Além disso, o posicionamento do lençol freático em níveis muito rasos poderá resultar no 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 conseqüente, 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.

Essa nova situação poderá resultar, também, em 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.

Outro problema que poderá se manifestar está associado ao fato de que, à medida que ocorrem ascensões no lençol freático, é diminuída a espessura do horizonte não-saturado e, como resultado, incrementa-se a vulnerabilidade do aquífero a contaminações oriundas da superfície do terreno, posto que o horizonte não-saturado funciona como um filtro natural. 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.

Yost Jr. & Naney (1975), a partir de observações de campo nas circunvizinhanças de barragens de terra instaladas na bacia do rio Washita (Oklahoma, EUA), constataram que a percolação de água subterrânea pode causar ou agravar uma ou mais das seguintes condições limitantes para o uso do solo ou dos recursos hídricos:

- a) perda de água no armazenamento do reservatório;
- b) elevação do lençol freático e saturação do solo;
- c) mineralização da água subterrânea e das águas de superfície;

- d) perda de recursos hídricos;
- e) salinização de solos;
- f) proliferação, no solo, de plantas freatófitas indesejáveis; e
- g) diminuição da capacidade de drenagem superficial devido a colmatção e obstrução de canais de escoamento de águas superficiais, como decorrência de proliferação de plantas freatófitas.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT (1989) considerou que poderão ocorrer os seguintes efeitos nos terrenos que margeiam o reservatório, em decorrência da elevação do lençol freático:

- a) aumento da umidade do solo, que poderá implicar alteração das suas características de estabilidade estrutural natural e, como conseqüência, afetar fundações ou estruturas nele assentes;
- b) saturação do subleito de vias, que poderão sofrer recalques diferenciais, devido às cargas aplicadas;
- c) corrosão de estruturas enterradas tais como fundações, canalizações, reservatórios, dentre outros, podendo causar danos mútuos (estrutura/ meio-aquífero) pela troca de líquido estranho/pernicioso a cada um;
- d) condições de profundidades finais rasas, o que propicia o aumento da evapotranspiração e, por conseqüente, o aumento do conteúdo salino nos solos superficiais e sub-superficiais o que poderá se tornar pernicioso às culturas ali desenvolvidas;
- e) condições de profundidades finais rasas que poderão afogar raízes de plantas;
- f) 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 consubstanciar em agentes deflagradores de processos erosivos lineares;
- g) afloramento do lençol freático ao longo de boçorocas eventualmente já existentes, o que poderá induzir reativação (naquelas estabilizadas) ou aceleração do processo (naquelas ativas), por meio do carreamento de material nos pontos de surgência (*piping*);
- h) afogamento de fossas, o que poderá se consubstanciar em focos de contaminação do aquífero livre. A depender de cada caso (quantidade de fossas, principalmente), essa contaminação poderá ser apenas de caráter local ou mais abrangente;
- i) aumento da vazão de poços, como decorrência do aumento da espessura da lâmina d'água;
- j) 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;

- k) 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; e
- l) diminuição da descarga de base do sistema aquífero livre, em caráter regional, como consequência da diminuição dos gradientes hidráulicos subterrâneos resultantes da elevação do lençol freático.

O significado do impacto positivo da instalação de reservatórios, enquanto fontes 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.

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.

Segundo esses autores, “...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 ocorrentes nas áreas próximas a reservatórios”.

Assim sendo, a preocupação principal da citada pesquisa foi estimar os volumes extras de água armazenada no aquífero adjacente ao reservatório, assim como sua variação com o tempo.

Lozinska-Stepien & Pozniak (*op. cit.*) acreditavam que, conhecendo-se os volumes extras de água subter-

rânea e o período que eles afluem ao reservatório, torna-se prático viabilizar um plano de operação do reservatório e calcular o balanço hídrico da área.

A partir da pesquisa efetuada, Yost Jr. & Naney (1975) propuseram a utilização de uma ou mais das alternativas apresentadas a seguir, como ações básicas para solucionar a infiltração e percolação de águas subterrâneas e os problemas a elas relacionados:

- a) construção de barragens de forma esparsa ou devidamente espaçada, em áreas potencialmente problemáticas;
- b) prevenção do problema a partir da adoção de métodos construtivos especiais;
- c) remediação do problema pela drenagem de águas subterrâneas ou outra ação que o resolva (estruturas que reduzam os fluxos oriundos da represa; mudanças no projeto que resultem na diminuição da carga hidráulica no reservatório); e
- d) adaptação do uso da água e das terras às condições existentes.

Outras preocupações a respeito de impactos sobre as águas subterrâneas, a partir da instalação de reservatórios, foram levantadas por Andrews & Anderson (1978) que afirmam que “...nos anos recentes existe um crescente interesse na relação entre água subterrânea e o desenvolvimento de energia...” e citam vários pesquisadores que estudaram a possibilidade de armazenamento temporário de energia na forma de água quente nos aquíferos ou de uso da própria água subterrânea como fonte de energia. Entretanto, os referidos autores ressaltam que “...aparentemente não existem ainda trabalhos anteriores publicados na literatura disponível documentando os efeitos de usinas elétricas sobre o regime de águas subterrâneas...”.

A década de 1970 e parte da década de 1980, vivenciaram a continuidade de construção de numerosas barragens hidrelétricas. Entretanto, a partir de 1982, aproximadamente, e até a primeira metade da década de 1990 houve uma tendência geral de desaceleração nas obras de barragens já iniciadas, assim como na implantação de novos empreendimentos. A partir da segunda metade da década de 1990, e persistindo até os dias atuais, ocorreu a retomada de instalação de aproveitamentos hidrelétricos, destacando-se as regiões sul e centro-oeste do Brasil.

Foi, também, a partir da segunda metade da década de 1990 que ocorreu a retomada de utilização de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) motivada pela escassez de recursos para megaprojetos, flexibilização em legislações estaduais de meio ambiente, facilidades de créditos financeiros para os pequenos potenciais hidrelétricos, sendo estes estimados, para o

Brasil, de um total de 17.000 MWatts (potencial de 4.000 aproveitamentos de rios para PCHs), de acordo com Retrato do Brasil (2009).

No Brasil, não obstante a tradição antiga na construção da obra e do grande número de represas hidrelétricas já existentes, somente houve execução de algum tipo de avaliação de impacto ambiental de reservatórios a partir das UHEs Sobradinho (BA) e de Tucuruí (PA), mas para atender exigências do Banco Mundial, que era o órgão financiador (Silva, 1996 e Dias, 2001). De acordo com Monosowski (1989, segundo Dias, 2001) esse tipo de exigência teria, inclusive, levado a Eletrobrás, desde 1974, a condicionar a instalação de usinas hidrelétricas a estudos prévios desse tipo.

O trabalho que constitui a avaliação do impacto ambiental da UHE de Sobradinho foi desenvolvido por Goodland (1973) e constitui, indubitavelmente, um dos marcos históricos sobre estudos de impacto ambiental de reservatórios hidrelétricos no Brasil, sobretudo considerando-se o conteúdo e os propósitos da abordagem, os dados disponíveis à época da sua realização, assim como os resultados nele apresentados.

A alimentação de água que se estabelece do reservatório para o aquífero freático, ou através de camadas geológicas permeáveis adjacentes, pode significar volumes intoleráveis e persistir indefinidamente enquanto regime de fluxo transitório. Essa situação caracteriza baixa estanqueidade do reservatório e pode, muitas vezes, se transformar em empecilho preponderante para a construção e instalação de uma barragem hidrelétrica resultando até mesmo, a depender

da situação, na inviabilização do empreendimento.

O começo da década de 1980 representa, também, o início da execução no Brasil, de estudos específicos relacionados às modificações induzidas por reservatórios sobre os aquíferos livres adjacentes.

De acordo com os registros obtidos, a percepção, valorização e preocupação com o problema, surgiram no Estado de São Paulo, a partir de solicitações ou depoimentos isolados, porém freqüentes, tais como a subida de nível d'água em cacimbas, encharcamento de terrenos, afogamento de fossas sépticas ou negras, dentre outros, dirigidos à Companhia Energética de São Paulo (CESP) por moradores de bacias de reservatórios antigos, implantados nas décadas de 1960/1970 (Albuquerque Filho et al., 1997).

Segundo Studart & Mota (1996), no rol dos principais impactos a ser avaliados em estudos de impactos ambientais em regiões semi-áridas, se incluem "...*elevação do lençol freático nas áreas adjacentes a reservatórios; riscos de salinização do solo; redução do lençol freático à jusante...*" Constata-se que esses autores chamam atenção para o aspecto do rebaixamento à jusante da barragem, processo esse pouco ou nada mencionado na ampla pesquisa efetuada por Albuquerque Filho (2002).

Rains et al. (2004) desenvolveram pesquisa para estabelecimento de modelo para simular o comportamento da água subterrânea e a distribuição da vegetação em margem de reservatório e concluíram que as mudanças na operação do reservatório podem resultar em efeitos pronunciados no lençol freático raso e na distribuição da vegetação ribeirinha associada.

CONCLUSÕES

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, podendo-se resumir nas seguintes alternativas:

- 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 desenvol-

- vimento 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 possuem 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, se preocupam 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 em 2006 níveis em torno de 80% (IBGE, 2009). 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*).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE FILHO, J.L. **Previsão e análise da elevação do nível do lençol freático na Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) de reservatórios hidrelétricos**. Rio Claro, 2002. 222 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- ALBUQUERQUE FILHO, J.L. & BOTTURA, J.A. Elevações induzidas no lençol freático. In: ENCONTRO TÉCNICO CESP/IPT, 1994, Paraibuna, São Paulo. **O meio físico nos estudos ambientais de projetos hidroelétricos**. Paraibuna, São Paulo: CESP/IPT, 1994, p. 62-73.
- ALBUQUERQUE FILHO, J.L. & LEITE, C.B.B. Elevações induzidas no lençol freático devido a formação de reservatórios e o significado das modificações resultantes. **Revista Universidade Guarulhos**, v. 7, p. 69-74, 2002.
- ALBUQUERQUE FILHO, J.L.; BOTTURA, J.A.; JUNIOR, T.B.; CORRÊA, W.A.G. Avaliação de impactos hidrogeológicos como subsídio à instalação de reservatórios hidrelétricos no estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 8, 1996, Recife. **Anais...** Recife: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 1996, p. 169-179.
- ALBUQUERQUE FILHO, J.L.; SILVA, A.L.B.; BORIN JÚNIOR, T.; CORRÊA, W.A.G. Alterações do nível freático induzidas pelo enchimento do reservatório de Três Irmãos, em Pereira Barreto, SP. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 5, 1997, Penedo/Itatiaia. **Atas...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia/ABGE, 1997, p. 190-192.
- ANDREWS, C.B. & ANDERSON, M.P. Impact of a power plant on the ground-water system of a wetland. **Ground Water Resources Research**, v. 16, n. 2, p. 105-111, 1978.
- AZEVEDO, C. Faroeste de especulação. **Retrato do Brasil**. Barueri: Editora Manifesto S.A., n. 19, p. 8-12, 2009.
- BRASIL – Congresso. Senado. Resolução CONAMA n° 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., 1ª ed. Brasília: Senado Federal, 1997, 670 p. (Caderno Legislativo n° 001/97).
- BRASIL – Congresso. Senado. Resolução CONAMA n° 11, de 18 de março de 1986 (b). Altera o inciso XVI e acrescenta o inciso XVII ao artigo 2° da Resolução/CONAMA/ n° 1, de 23-1-86. **Direito administrativo**: tema: água. In: CABRAL, B., 1ª ed. Brasília: Senado Federal, 1997, 670 p. (Caderno Legislativo n° 001/97).
- BRASIL – Congresso. Senado. Resolução CONAMA n° 6, de 16 de setembro de 1987. Edita as regras gerais para o licenciamento ambiental de obras de grande porte, especialmente aquelas nas quais a União tenha interesse relevante, como a geração de energia elétrica. **Direito administrativo**: tema: água. In: CABRAL, B., 1ª ed. Brasília: Senado Federal, 1997, 670 p. (Caderno Legislativo n° 001/97).
- CANTER, L.W. Environmental impact assessments for water resources projects. In: **ADVANCED COURSE ON WATER**

- RESOURCES MANAGEMENT, 7, 1990, Perugia, Italy. **Trabalho Completo...** Perugia: Stranieri University, 1990, 38 p.
12. COMITÊ BRASILEIRO DE GRANDES BARRAGENS/ COMISSÃO DE REGISTRO DE BARRAGENS. Barragens, reservatórios e o meio ambiente – a prática brasileira. **Relatório**. São Paulo, 92 p. 1979.
 13. CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. - Eletrobrás. Diretoria de Planejamento e Engenharia. Departamento de Recursos Energéticos. **Manual de estudos de efeitos ambientais dos sistemas elétricos**. São Paulo, 91 p., 1986.
 14. COMISSÃO INTERMINISTERIAL PARA PREPARAÇÃO DA CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO – CIMA. **O desafio do desenvolvimento sustentável**. Brasília: Imprensa Nacional, 204 p., 1991.
 15. DE JORGE, F.N. **Mecanismos dos escorregamentos em encostas marginais de reservatórios**. São Carlos, 1984. 146 p. Tese (Dissertação de Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
 16. DIAS, E.G.C.S. **Avaliação de impacto ambiental de projetos de mineração no Estado de São Paulo: a etapa de acompanhamento**. São Paulo, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. CD-ROM.
 17. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balço energético nacional 2008: ano base 2007**. Sumário Executivo. Rio de Janeiro: EPE, 52 p., 180 il., 2008.
 18. FREEZE, R.A.; CHERRY, J.A. **Groundwater**. New Jersey: Prentice Hall, 1979. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE – FEEMA. **Vocabulário básico de meio ambiente**. 2. ed. Rio de Janeiro: Imprinta Gráfica e Editora, 211 p., 1990.
 19. GEORGE, D.J. 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, 1992.
 20. GOODLAND, R. **Sobradinho hydroelectric project: environmental impact reconnaissance**. New York: Central Press – Millbrook, 105 p., 1973.
 21. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Dados estatísticos**. Disponível em: <www.portalbrasil.net>. Acesso em: jul2009.
 22. IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **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, 1989. 2 v. (IPT, Relatório nº 27.789).
 23. KELLER, E.A. **Environmental Geology**. 7th ed. New Jersey, USA: Prentice-Hall, 560 p., 1996.
 24. LOZINSKA-STEPIEN, H. & POZNIAK, R. Engineering geological evaluation of increase in groundwater resources close to reservoirs. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**, n. 20, p. 273-274, 1979.
 25. MAGRINI, A. **Metodologia de avaliação de impacto ambiental. O caso das usinas hidrelétricas**. Rio de Janeiro, 1992. 195 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração (COPPEAD), Universidade Federal do Rio de Janeiro.
 26. MELLO, S. Hidrelétricas: o sofisma da energia limpa. **Saneamento Ambiental**, ano 10, n. 59, 1999.
 27. RAINS, M.C.; MOUNT, J.F.; LARSEN, E.W. Simulated changes in shallow groundwater and vegetation distributions under different reservoir operations scenarios. **Department of Geology**, University of South Florida, Tampa, Florida – USA, v. 14, issue 1, 2004.
 28. SILVA, H.V.O. **Auditoria de estudo de impacto ambiental**. Rio de Janeiro, 1996. 250 p. Tese (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
 29. STUDART, T. & MOTA, S. O estudo de impacto Ambiental como instrumento para o desenvolvimento sustentável de bacias hidrográficas no semi-árido. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 3, 1996, Salvador. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1996, p. 259.
 30. WORLD COMMISSION ON DAMS – WCD. **Barragens e desenvolvimento: um novo modelo para a tomada de decisões – um sumário**. 2000. Relatório da Comissão Mundial de Barragens. 48 p. Disponível em: <http://www.dams.org>. Acesso em: nov2000.
 31. YOST, JR., C.B. & NANEY, J.W. Earth-dam seepage and related land and water problems. **Journal of Soil and Water Conservation**, p. 87-91, 1975.

*Manuscrito Recebido em: 19 de setembro de 2009
Revisado e Aceito em: 1 de julho de 2010*