

Utilização dos SIGs no estudo da qualidade do aquífero impactado de Pereira Barreto / SP

GOMES, Rodrigo Dutra

Geógrafo, Doutorando em Geografia pela Universidade Estadual de Campinas.
(IG/UNICAMP), dutra@ige.unicamp.br

ESPINDOLA, Carlos Roberto

Prof. Dr. Titular da UNICAMP e professor do programa de Pós-graduação do Centro Paula Souza/São Paulo (IG/UNICAMP), cresp21@hotmail.com

Introdução

Com a atual crise ambiental é necessário que se obtenha informações que representem não apenas a disposição espacial dos elementos que compõe uma área, mas também de suas características dinâmicas de inter-relação, com vista prevenir degradações pelas formas de uso e ocupação. Assim, é usual a correlação e integração de informações geográficas com vista considerar essa dinâmica, representadas espacialmente em mapas temáticos. Nesta perspectiva, os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) constituem tanto um arcabouço tecnológico de tratamento de informações (ambientais) espaciais, como também supre com o déficit de informações, comum em regiões interioranas de países em desenvolvimento, por meio de generalizações que oferecem panorama de características possíveis de uma região, eficiente material que serve de base para complementos específicos de campo. Neste contexto, os estudos Hidrogeológicos, por ser uma das áreas que bem carecerem de informações contínuas e disponíveis, já se utilizam de alguns dos aparatos tecnológicos dos software e SIGs como ferramenta de prevenção e remediação (AL-ADAMAT et al., 2004, LAKE, et al., 2003, PARALTA et al., 2001, THAPINTA & HUDAK, 2003).

O Aquífero investigado neste trabalho insere-se num contexto regional histórico de alteração ligado a construção e funcionamento do Complexo Hidroelétrico (UHE) de Urubupungá (UHEs Jupιά, Ilha Solteira, Três Irmãos) e do Canal Artificial em Pereira Barreto, localizados na região noroeste do Estado de São Paulo, e que acarretou, com o enchimento de suas represas a elevação generalizada do Aquífero regional, elevando-o para patamares mais próximos da superfície. A região especificamente estudada pertence ao entorno do município de Pereira Barreto/SP (Figura 1). Este

município após o enchimento do reservatório da Usina Hidrelétrica de Três Irmãos ficou com suas porções L, O e S totalmente encobertos pela água da represa, transformando-o numa verdadeira península. Isso, a exemplo regional, elevou o aquífero para próximo a superfície, com mais susceptibilidade a receber alguma carga contaminante imposta em superfície ou subsuperfície.

Observa-se na região de entorno do município formas de ocupação (agricultura, lagoa de efluentes, aterro sanitário) que são conhecidas fontes que oferecem risco a contaminação do aquífero pela presença de fontes potenciais (ex. fertilizantes, pesticidas, chorume). Por isso convencionou realizar um mapeamento de vulnerabilidade e risco a contaminação deste município, aplicando a metodologia GOD (Groundwater occurrence, Overall unsaturated zone, Depth groundwater table) de Foster e Hirata (1993).

Muitas das informações referentes às características físicas hidrogeológicas necessárias para aplicação da metodologia foram obtidas nos trabalhos realizados pelo IPT (1988, 1989) e Suguiu (1982). Obteve-se informações pertinentes que permitiram definir a tipologia do aquífero (Groundwater occurrence) e as características da zona não-saturada (entre Overall unsaturated zone). Porém, a profundidade do aquífero (Depth groundwater table) é comumente um dos maiores empecilhos para a boa aplicação desse tipo de metodologia, isso devido a pouca e insuficiente informações na maioria das áreas estudadas. Assim, com a necessidade de generalizar os dados confiáveis disponíveis acerca da profundidade do aquífero, os SIG ofereceram o arcabouço técnico adequado para sua realização.

Características da área de estudo

O Município de Pereira Barreto está localizado na região Noroeste do Estado de São Paulo, na Lat. 20°38'43" e Long. 51°06'35", a 650 Km da Capital, pertencendo à região administrativa do município de Andradina, com uma área de 982,7 Km² (dados IBGE) . A área considerada neste trabalho corresponde a área de entorno, ou de expansão urbana com cerca de 270 Km² .

A construção do Complexo Hidrelétrico de Urubupungá iniciou-se em 1945 com a construção da Usina Hidroelétrica de Jupιά, em território de Mato Grosso do Sul, às margens do rio Paraná na cidade de Três Lagoas/MS. Em 1969 iniciou-se a segunda etapa com a Usina Hidroelétrica de Ilha Solteira, 4 vezes maior do que a de Jupιά, causando problemas no acolhimento das 35000 pessoas previstas para a obra. Em

1976 iniciou-se a construção da Hidrelétrica de Três Irmãos, em conjunto com o Canal Artificial, que liga as represas desta UHE com a de Ilha Solteira (VELASCO, 1988)(FIGURA 1).

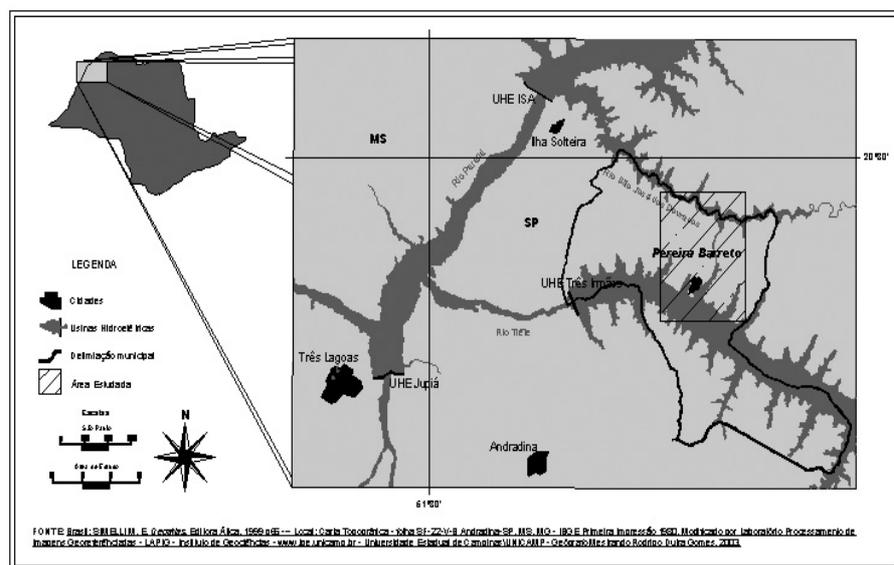


FIGURA1 – Localização da área estudada.

A implantação da Represa de Três Irmãos, a 2 km no rio Tiête deixou Pereira Barreto circundada pelas águas (porções Leste, Oeste e Sul), com parte do seu perímetro urbano inundado. Esta tornou-se a cidade mais impactada pelo complexo Hidrelétrico construído, tanto no âmbito econômico (submersão de solos férteis e produtíveis), quanto ambiental (alteração da dinâmica do ambiente da região).

Das características físicas temos a geologia regional representada por pacote sedimentar do Grupo Bauru, majoritariamente com a formação Santo Anastácio associada, localmente, às formações Caiuá e Adamantina (SUGUIO, 1984) sobrepostos aos basaltos juro-cretácicos da formação Serra Geral e sotopostos por colúvios, alúvios e cascalheiras (IPT, 1989). Apresentam predominantemente Latossolos Vermelhos e Eutroféricos (afloramento do Basalto), Solos Hidromórficos nos brejos e várzeas.

Localizada na Província Geomorfológica do Planalto Ocidental apresenta relevo com vales e colinas amplas de média expressão com baixas declividades, do conjunto dos Morros e Espigões, com cerca de 400 metros de altitude (CESP, 1990, IPT, 1988). O clima da área é tropical úmido, com pluviosidade média anual de 1.321,3mm, com período chuvoso com médias de 122,0 a 230,2mm e o de estiagem de 27,6 a 76,1mm. A temperatura média anual é de 24,3°C, com média mensal máxima de 26,5°C, em fevereiro, e a mínima de 20,9°C, em junho

Sistema Hidrogeológico da Área.

O preenchimento dos reservatórios das UHEs acarretaram impactos nas bacias hidrográficas envolvidas, modificando o funcionamento dos regimes superficiais e subterrâneos com a implantação da represa e a elevação induzida generalizada da superfície potenciométrica (IPT, 1989). Neste tipo de intervenção, a dinâmica do sistema hidrogeológico passa por adaptações do nível piezométrico com conversões de fluxo do sentido represa-aquífero para aquífero-represa.

O pacote subterrâneo é composto, do topo para a base, de aluviões, coluviões, solo de alteração de arenito, arenitos (sobretudo da Formação Santo Anastácio) e solos de alteração de basalto, compreendendo estes o sistema aquífero livre da área. O topo rochoso da Formação Serra Geral constitui o substrato semipermeável a impermeável (base) deste aquífero (IPT, 1989). A espessura do pacote é regido pela morfologia da superfície do topo rochoso da formação Serra Geral.

Definição da vulnerabilidade do aquífero livre da área.

De acordo com Foster & Hirata (1993, p.67), as variáveis em interação revelariam o grau de atenuação de um determinado ambiente subterrâneo à contaminação: o Tipo de Aquífero (**G**roundwater occurrence), Características da zona vadosa (**O**verall lithology) e camada confinante e a profundidade do aquífero (**D**epht to groundwater table). O método empírico engloba sucessivamente três fatores. A primeira fase consiste na identificação do tipo de ocorrência da água subterrânea, num intervalo de 0 – 1,0. A segunda fase trata dos tipos litológicos acima da zona saturada do aquífero, com a discriminação do grau de consolidação (presença e ausência de permeabilidades secundárias) e das características da granulometria e litologia. Este fator é representado numa escala de 0,3 – 1,0, além de sufixos para os casos de tipos litológicos que apresentam fissuras ou baixa capacidade de atenuação de contaminantes. A terceira fase é a estimativa da profundidade do nível da água (ou teto do aquífero confinado) numa escala de 0,4 – 1,0. O produto destes três é o índice de vulnerabilidade, expresso em classes de 0 – 1, em termos relativos.

Aplicação da metodologia GOD

A utilização da metodologia GOD pressupõe o emprego de informações existentes disponíveis. A delimitação da área mapeada levou em conta dados dos

trabalhos realizados pelo IPT (1988, 124p., 1989, 251p.) e Suguio et al. (1984, p.25-37), no Município, elaborados em diferentes escalas, criando dados utilizados no conhecimento da hidrodinâmica do aquífero local (IPT, 1988, p.13).

Tipo de Aquífero – Groundwater occurrence

Análises sedimentológicas mostraram diferenciações granulométricas nas características do perfil litológico, compreendendo uma área de transição entre os arenitos Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina, não tendo sido possível a delimitação dos contatos entre tais unidades devido ao caráter não abrupto de variação em suas características (Suguio et al. 1984, p.27). Em inúmeras perfurações realizadas pelo IPT (1989, p.5) na área foram encontrados materiais que revelaram características granulométrica bastante regulares, tanto na distribuição, como na espacial quanto vertical (perfis de solo) em toda a área, tanto nos coluvionares como nos solos ditos residuais, assemelham-se aos materiais caracterizados por Suguio et al. (1984, p.28) nas margens do Canal Artificial. Também não foram encontradas nenhuma diferenciações abruptas nos perfis lito-pedológicos. Nestes termos, pode se considerar, em termos relativos, o aquífero como sendo livre, devido ao tipo e características do material encontrado entre a superfície e o nível freático.

Característica da zona vadosa - *Overall lithology of the unsaturated zone*

Os materiais do Santo Anastácio aparecem de forma generalizada, com sedimentos em sua maioria finos, pouco argilosos a argilosos, coloração predominantemente bruno-avermelhado, mas também arroxeados, amarelo esbranquiçados ou mosqueados, com manchas esbranquiçadas ou acinzentadas (IPT, 1989, p.18).

Os depósitos coluvionares ocorrem extensivamente, cobrindo os arenitos da formação Santo Anastácio e os basaltos da formação Serra Geral. Apresentam compostos de areia fina, localmente fina a média, pouco argilosa, ocasionalmente argilosa, de coloração bruno-avermelhada, apresentando-se desde solta a compactada, podendo ocorrer concreções.

A granulometria dos colúvios e dos solos reforçam as regularidades e semelhanças nos diferentes locais, transparecendo a homogeneidade espacial destes aspectos. A carta pedológica da área confirma esta perspectiva, apresentando grande

predominância do Latossolo Vermelho distrófico caracterizado por sua relativa homogeneidade morfológica. As descrições morfológicas condizem com as características dos solos que estas litologias dão origem: Latossolo Vermelho distrófico, Argissolo, Latossolo Vermelho eutrófico e Gleissolo (IPT, 1989, p.7).

Profundidade do nível freático – *Depth to the groundwater table*

Considerando que a área apresenta grande homogeneidade em relação a aspectos físicos relevantes ao método, decidiu-se pela realização de uma extrapolação de dados, ou seja, procedimentos que gerassem um mapa de profundidade com base em uma generalização dos dados existentes, a partir de uma determinada porção da área para o restante. Como foi dito, os únicos dados confiáveis disponíveis dizem respeito ao monitoramento do nível d'água na área urbana, ou seja, correspondendo a uma parcela da área estudada. É nesta etapa que os SIGs (Sistemas de Informação Geográficas) se tornam o arcabouço necessário para esse tipo tratamento de informações espaciais. Para a realização desta extrapolação de dados, necessitou-se primeiramente estabelecer um grau de correlação entre dois fatores do meio físico que estejam diretamente ligados entre si. Optou-se pela correlação entre configuração do relevo com a profundidade do aquífero, ambos da área urbana. Estes fatores foram escolhidos pela grande relação que há entre as duas superfícies, levando-se em consideração que, em geral, a superfície do *water table* varia em congruência com a configuração do relevo da superfície (FETTER, 2001, IPT, 1989). Sendo assim, utilizou-se como forma de análise dos fatores a *regressão simples*.

Isso quer dizer que haverá um cálculo (geoestatístico) de correspondência entre a profundidade do lençol da área urbana e a configuração do relevo da área, uma regressão que estabeleça uma lógica de relação entre as variáveis que, pela configuração e altitude do relevo, permita-se predizer a profundidade do aquífero. Assim, com nas bases cartográficas do relevo e da profundidade do aquífero da área urbana, ambas pré-georeferenciadas, foram-se exportadas para o programa AutoCAD 2000, no qual foi feita a vetorização das isolinhas de profundidade e curvas de nível do terreno. Esta vetorização é feita pela localização de pontos com informações referentes aos eixos X,Y e Z, (latitude, longitude e altura); estes pontos são ligados por linhas que fornecem as isolinhas de profundidade do nível freático e altitude das

curvas de nível. Após a vetorização e o estabelecimento dos valores de X , Y e Z , salvam-se estas informações no modo DXF. No programa IDRISI 3.2 importam-se estes dados (DXF) em formato vetorial; dentro deste software, estas imagens são convertidas para o formato raster e feita a operação de regressão. O resultado é apresentado em forma de equação matemática, estabelecendo uma linguagem numérica para o grau de correlação da variável dependente (Y) em relação a variável independente (X).

Posteriormente, no programa SURF 8, são inseridos e abertos os dados em formato DXF das isolinhas da curva de nível de toda a área, cujas informações apresentam-se em formato de planilha com colunas contendo informações sobre latitude, longitude e altitude dos pontos. Dentro desta planilha é feita a operação de extrapolação, pela aplicação da equação gerada na operação de regressão, onde se inserem os valores das cotas altimétricas do relevo, obtendo como resultado as cotas de profundidade. Segue-se, então, a plotagem destes pontos, ou ainda, a espacialização destes pontos neste mesmo programa, obtendo-se o resultado no SURF 8, que é exportado em formato DXF, para novamente ser importado no AutoCAD 2000 para os reajustes finais.

Foram feitas saídas de campo para a obtenção da profundidade do nível d'água em sítios e fazendas da área estudada; essas medições foram fundamentais para a confirmação ou correção dos valores obtidos durante o processo de confecção.

O Mapa de Profundidade

Confirma-se a correspondência entre a morfologia do terreno e a da superfície do nível d'água, porém, assim como também observado por Nishiyama & Zuquete (1997) ocorreram profundidades baixas nas proximidades dos cursos d'água contribuintes, com isolinhas de menor profundidade paralelas às redes de drenagem, tanto na represa quanto nos cursos d'água de menor expressão, constituindo estas áreas de descarga local. As maiores profundidades são, portanto, encontradas onde há menor presença de canais da rede de drenagem. Esta informação está em conformidade com o estabelecido por Espindola & Garcia (1979), a respeito da espessura dos solos e dos mantos de alteração em relação à evolução das redes de drenagem.

Classe de vulnerabilidade do aquífero livre

As classes de vulnerabilidade foram obtidas a partir do método GOD, fixando valores conforme as características dos parâmetros considerados. Estes foram multiplicados e, como produto, resultaram os valores que demonstram as classes de vulnerabilidade do aquífero, assim estabelecidos:

Tipo do Aquífero (Groundwater Occurrence): Conforme se estabeleceu anteriormente, o aquífero estudado foi considerado livre, em toda a área, adotando-se o valor 0.9.

Característica da zona vadosa ou zona insaturada (Overall Lithology of Aquifer or Aquitard): Como os valores deste parâmetro são definidos de acordo com as características da litologia, fixaram-se dois valores, considerando a variação geológica Arenito/Basalto e os diferentes solos que estes dão origem, estipulando-se o valor de 0.75 para as áreas de arenito e 0.8 para as de basalto.

Profundidade de nível d'água (Depth to Groundwater table): A classificação dos valores para as profundidades do nível d'água foi estabelecida de acordo com as escalas de valores adotados, conforme estipulado na Tabela 1.

TABELA 1- Correlação dos valores dos parâmetros e classes de vulnerabilidade.

1		2	3	4	5	6	7	
1a	1b						classes	
Profundidade		0.75 (Arenito)	0.8 (Basalto)	Tipo de Aquífero	Arenito (FINAL)	Basalto (FINAL)	Arenito	Basalto
Classes(m)	Valor							
< 2	1	0.75	0.8	0.9	0.675	0.720	ALTO	EXTREMO
2 - 5	0.9	0.675	0.72	0.9	0.607	0.648		ALTO
5 - 10	0.8	0.6	0.64	0.9	0.540	0.576		ALTO
10 - 20	0.7	0.525	0.56	0.9	0.472	0.504	MODERADO	MODERADO
20 - 50	0.6	0.45	0.48	0.9	0.405	0.432		MODERADO

Na coluna 1b estão os valores das classes de profundidade, que são multiplicados por 0.75 ou 0.8 (dependendo das características do material litológico), cujos resultados são apresentados nas colunas 2 e 3. Estes, por sua vez, são multiplicados pelo valor do tipo do aquífero (0.9). O produto final (coluna 5 e 6) é transformado em classes de vulnerabilidade, conforme a escala adotada no método **GOD** (coluna 7). Estas classes foram cartografadas para representação de sua distribuição espacial.

O Mapa de Vulnerabilidade.

O mapa de vulnerabilidade natural reflete preponderância do parâmetro 'profundidade do aquífero' na configuração das classes para a classificação das classes de vulnerabilidade, estando as áreas de maiores vulnerabilidades em

congruência com as isolinhas de profundidade. Isso se deve à relativa homogeneidade dos outros parâmetros considerados, uma vez que a estrutura litológica e o tipo de aquífero não variam significativamente.

O aquífero livre apresenta-se majoritariamente com vulnerabilidade moderada, transparecendo uma maior susceptibilidade a contaminantes moderadamente móveis e persistentes, como hidrocarbonetos halogenados ou não, sais menos solúveis e alguns metais pesados (além das substâncias móveis e persistentes). Em locais restritos, onde se encontram solos de origem basáltica, observa-se a presença de classes extremas.

Os dados apresentados refletem a influência do represamento do rio Tiête com suas repercussões nos sistemas hidrogeológicos da bacia. A elevação generalizada no nível freático induziu o aquífero livre a patamares mais elevados, aproximando-o da superfície, aumentando, assim, a susceptibilidade deste ambiente a influências negativas das práticas da superfície.

Considerações finais

A falta de informações hidrogeológicas nas áreas interioranas do país constitui uma das grandes dificuldades para se avaliar a disponibilidade e situação de uso e preservação dos aquíferos. Para remediar isso, o desenvolvimento de instrumentos teórico-conceituais e de novas técnicas de geoprocessamento pelo manuseio de SIGs oferecem um importante ajuda para cobrir esse déficit de informações. O entendimento das características dos sistemas ambientais aliado a essas técnicas permite que generalizações sirvam de ferramenta preventiva que, aliado as verificações em campo possam oferecer consistentes informações para a sua exploração e gerenciamento ambiental.

Devido a relativa homogeneidade da maioria das variáveis considerados pelo método aplicado, ressalta-se que o mapa de profundidade do aquífero, elaborado com auxílio dos SIGs, foi a variável preponderante na delimitação da vulnerabilidade natural do aquífero. Porém os procedimentos descritos são específicos às características ambientais apresentadas na área, uma vez que os diversos ambientes hidrogeológicos (ex. cristalinos) podem oferecer variadas dinâmicas hídricas não descritas e entendíveis pelos mesmos termos e moldes do ambiente estudado. Isso ressalta a importância no entendimento dos processos envolvidos para que novas ferramentas de gestão sejam elaboradas com o auxílio deste tipo de aparato tecnológico.

8 – Bibliografia

AL-ADAMAT, R. A. N., FOSTER, I. D. L., BABAN, S. M. J. Groundwater vulnerability and risk mapping for the basaltic aquifer, of the Azraq basin of Jordan using GIS, Remote sensing and DRASTIC. **Applied Geography** 23, p.303-324, 2003, disponível: www.sciencedirect.com.br, acessado em 05/03/ 2004.

CESP – Companhia Energética de São Paulo. **Estudos de Impacto Ambiental / EIA, UHE Três Irmãos**. São Paulo, 1990.

FETTER, C. W. **Applied hydrogeology**. Macmillan Publishing Company, New York, 1993.

FOSTER, S. & HIRATA R. C. A. **Determinação de risco de contaminação das águas subterrâneas. Uma metodologia embasada em dados existentes**. Instituto Geológico, São Paulo, 1993.

GARCIA JUNIOR, W. **Plano de Desenvolvimento Municipal**. Prefeitura Municipal de Pereira Barreto, Casa da Lavoura, Pereira Barreto, 2001.

IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo. Modelagem numérica tridimensional do fluxo subterrâneo na cidade de Pereira Barreto – Primeira Versão. **Relatório nº 29995**, 1988.

IPT - Instituto Pesquisa Tecnológica 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 – 2ª Fase. **Relatório nº27789**, Volume I, 1989.

LAKE, I. R., LOVETT, A. A. HISCOCK, K. M., BETSON, M. FOLEY A. Evaluating factors influencing groundwater vulnerability to nitrate pollution: developing the potential of GIS. **Journal of Environmental Management** 68 pp. 315-328, London, 2003.

NISHIYAMA, L, ZUQUETTE, L. V. Águas Subsuperficiais: Procedimentos para levantamento e estimativa de informações para elaboração e apresentação do mapa de profundidade da zona saturada. **Revista de Geociências**, 16(2): p. 581-607, São Paulo, 1997.

PARALTA, E. A., OLIVEIRA, M. M., BATISTA, S. B., FRANCÉS, A. P., RIBEIRO, L. F., CEREJEIRA, M. J. Aplicação de SIG na Avaliação da vulnerabilidade Aquífera e Cartografia da Contaminação Agrícola por Pesticidas e Nitratos na Região do Ribatejo. **A Hidroinformática em Portugal**. Lisboa, 2001.

SUGUIO, K., BARCELOS, J. H., GUEDES M. G., VERDIANI, A. C. Canal de Pereira Barreto: Local de Transição entre os Arenitos Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina. **Revista do Instituto de Geociências**, São Paulo, v.5, n.1/2, p.25-37, 1984.

THAPINTA, A. HUDAK, P. F. Use of geographic information systems for assessing groundwater pollution potential by pesticides in Central Thailand. **Environment International** 29, pp. 87-93, Texas, 2003.