

# ABORDAGEM SISTÊMICA NO MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO DE PEREIRA BARRETO/SP

*Rodrigo Dutra GOMES<sup>1</sup>*  
*Carlos Roberto ESPINDOLA<sup>2</sup>*

## Resumo

O conceito de sistemas foi sendo construído em diversas áreas do conhecimento científico, sem ter sido assim caracterizado. Foram surgindo idéias e formas de interpretação da realidade que consideravam os mesmos preceitos, porém, de forma independente. Foi a partir do biólogo Ludwig Von Bertalanffy pela publicação da obra "Teoria Geral dos Sistemas", que foi equacionado o conceito sistema. Este conceito foi aplicado em diversas áreas; sua influência na Geografia é notada no conceito de Geossistema e nos preceitos teórico-metodológicos nos estudos integrados do meio ambiente. No entanto, outras áreas do conhecimento continuaram a desenvolver técnicas e métodos de interpretação da realidade física, utilizando os mesmos preceitos da teoria sistêmica, apesar de não considera-la. Este é caso dos métodos de vulnerabilidade natural de aquíferos, que, consideram a integralidade dos fatores pertinentes que compõe o sistema hidrogeológico para estabelecer as classes de vulnerabilidade. Este artigo vem demonstrar a influência da abordagem sistêmica no estudo da vulnerabilidade natural do aquífero livre do município de Pereira Barreto/SP, que sofreu elevação do nível freático devido a instalação da UHE de Três Irmãos. Foi aplicada a metodologia GOD de Foster & Hirata (1993), obtendo majoritariamente classes moderadas de vulnerabilidade e classes altas associadas às redes de drenagem.

**Palavras-chave:** Sistemas; vulnerabilidade; aquíferos.

## Abstract

### Systemic approach in mapping the groundwater vulnerability of Pereira Barreto/SP

The concept of systems has been building in different areas of scientific knowledge without thus characterized. Reality ideas and shape interpretations were appearing which considered the same rules, however, in independent ways. Due to the publication of "General theory of systems" by Ludwig Von Bertalanffy, the concept of system was determined. This concept was applied in several areas; its influence in geography is noticed by geosystem concept and theoretical-methodologies in the integrated studies of the environment. However, other areas of knowledge moved on to develop techniques and interpretation methods of physical reality, using the same rules of the systemic theory, despite of ignore it. This is about methods of natural vulnerability of groundwater, which consider completely the pertinent facts that form the hydrogeologic system to establish the vulnerability classes. This article aims to demonstrate the influence of the systemic approach in natural vulnerability of groundwater study in the Pereira Barreto/SP city; that suffered an elevation in table water due to installation of Três Irmãos hydroelectric power plant. This work used the methodology GOD proposed by Foster & Hirata(1993), getting mainly moderate classes of vulnerability and high classes related to drainage nets.

**Key words:** systemic approach; groundwater; vulnerability.

<sup>1</sup> Geógrafo, Doutorando em Geografia pela Universidade Estadual de Campinas. (IG/UNICAMP), dutra@ige.unicamp.br

<sup>2</sup> Prof. Dr. Titular da UNICAMP e professor do programa de Pós-graduação do Centro Paula Souza/ São Paulo. - (IG/UNICAMP), cresp21@hotmail.com - Endereço para correspondência: Instituto de Geociências – Secretaria de Pós-Graduação - Rua João Pandiá Calógeras, 51. - Universidade Estadual de Campinas - Cidade Universitária "Zeferino Vaz" – Distrito de Barão Geraldo - Caixa Postal 6152 - CEP 13083-870 - Campinas – SP

## INTRODUÇÃO

O ambiente é resultado de uma relação imbricada de diversos fatores, interferindo uns sobre os outros e variando no tempo e espaço (LIMA; QUEIROZ NETO, 1997, s/p.), ou ainda, de acordo com Brailovsky (1978) *apud* Penteado Orellana (1985 p.125), um sistema de interação dos fatores físicos, químicos, biológicos e sociais susceptíveis a um efeito direto ou indireto, imediato ou a longo prazo, sobre os seres vivos e as atividades humanas. Com este último, incorpora-se a idéia de compatibilização entre desenvolvimento econômico humano e as restrições impostas pela natureza.

Esta consideração remete ao problema enfrentado pela Humanidade, ou ainda ao modelo de civilização adotado por esta, baseado, via de regra, num desenvolvimento tecnológico e econômico perdulário e inseqüente, mostrando-se incompatível com sua própria continuidade, caso não se encontrem formas de desenvolvimento que amenizem a atual relação sociedade/natureza, tomada essa última como recurso, no sentido de atribuir valor de uso para o homem. Para isso, uma das alternativas buscadas pelo homem tem sido a realização de planejamentos que visem a um plano de utilização (incluindo ocupação) do meio biofísico, de maneira racional, procurando maximizar a relação de produção, processamento e consumo, além de diminuir, concomitantemente, os desperdícios e sobras desta utilização (AUGUSTIN, 1985, p.143).

Por ser o meio ambiente um resultado da inter-relação dos elementos sociais e naturais em forma de sistemas, a realização de um planejamento que considera a integralidade dos elementos e processos que o compõem, a melhor forma de abordagem, de acordo com Penteado Orellana, (1985 p.126), é a sistêmica, tendência essa discutida e utilizada por diversos autores, dentre os quais: Christofolletti (1979, 106p.), Augustin (1985, p.141), Monteiro (2001, p.12), utilizando-se dos procedimentos indicados por Chorley; Kennedy (1974, p.viii). Nessa perspectiva, a análise e a avaliação do complexo ambiental requerem um estudo interdisciplinar, que, conforme Japiassu (1976, p.26), "impõe a cada especialidade transcender sua própria especialidade, tomando consciência de seus próprios limites para acolher contribuições das outras disciplinas".

Dessa forma, apesar de tratar-se de um estudo geográfico, no presente trabalho utilizou-se uma metodologia elaborada por cientistas de áreas afins à Geografia (Geologia) para alcançar os objetivos propostos. Assim, demonstrar-se-á que, apesar de estar localizada num campo científico em que a aplicabilidade dos métodos é de caráter técnico, a influência da abordagem sistêmica procura estar presente de forma perceptível, por considerar a integralidade, o funcionamento e a dinâmica dos fatores que compõem os ambientes, na tentativa de atingir os objetivos propostos pela pesquisa, procurando oferecer um panorama das trocas de matérias e energia dentro de um sistema.

## A ABORDAGEM SISTÊMICA NA APLICAÇÃO DA RELAÇÃO HOMEM/NATUREZA

Quando surgiu o conceito de sistema, como toda nova idéia científica, embora não tivesse sido apropriadamente empregada, este já vinha sendo gradativamente sendo delineado em estudos em que a abordagem considerava os mesmos preceitos. Assim, para se resgatar os primeiros indícios da teoria sistêmica, tem-se a "filosofia natural" de Leibniz, a medicina mística de Paracelso no século XVI e a visão da histó-

ria de Vico e ibn-Kaldun, consideradas como uma série de entidades ou 'sistemas' culturais. No entanto, foi a obra de Lotka a que mais se aproximou primeiramente do conceito geral de sistemas (BERTALLANFY, 1973, p.28). A noção de um 'todo complexo' deflagra, até em Marx, a sua perspectiva sistêmica, resgatando a visão orgânica da relação Homem/Meio, estabelecendo que "O homem vive na natureza significa que a natureza é seu corpo, com o qual ele deve permanecer contínuo intercuro se não quiser morrer" (CAPRA, 1982 *apud* VICENTE; PEREZ FILHO, 2003, p.328).

Desse modo, o conceito sistêmico foi construído em diversas áreas científicas, sem, obrigatoriamente, ter sido desta forma caracterizado. Apareceram simultaneamente idéias semelhantes, porém de maneira independente umas das outras e em diferentes continentes, dando indícios de uma nova tendência, mas que necessitaria de mais tempo para chegar a ser aceita.

No entanto, foi a partir do biólogo Ludwig Von Bertalanffy, pela publicação da obra "Teoria Geral dos Sistemas" que foi equacionado o conceito de sistemas.

A proposta deste autor pressupunha uma episteme complexa e que, na essência, buscava uma linguagem científica única que englobasse todos os campos do conhecimento [...] a partir da definição e análise de componentes e estruturas funcionais inerentes a todos os campos da realidade, os quais colocam-se como suporte para a sua compreensão, os sistemas (VICENTE; PEREZ FILHO, 2003, p.329).

Percebe-se que, desde o seu princípio, a teoria dos sistemas é de grande amplitude, quase universal, posto que qualquer realidade conhecida (desde o átomo à galáxia, passando pela molécula, célula, organismo e sociedade), pode ser concebida como um sistema, ou seja, associação combinatória de elementos diferentes. A virtude sistêmica, segundo Morin (1990, p.29), é ter colocado no centro desta teoria não apenas a existência de uma unidade complexa, mais sim um 'todo' que não se reduz à 'soma' das suas partes constituintes, além de situar-se em um nível transdisciplinar que permite simultaneamente conceber a unicidade da ciência e a diferenciação das ciências, não apenas segundo a natureza material do seu objeto, mas também segundo os tipos e as complexidades dos fenômenos de associação/organização.

Essa transdisciplinaridade está presente, mas não explicitamente destacada em certas teorias, particularmente em Freud, onde o Eu é um sistema aberto simultaneamente sobre o isso e o superego, apenas podendo constituir-se a partir de um e de outro, mantendo relações ambíguas, mas fundamentais com um e com outro; a idéia de personalidade, na antropologia cultural, implica igualmente que esta seja um sistema aberto sobre a cultura [...] (MORIN, 1990, p.34).

Esse caráter não explícito da teoria sistêmica constitui uma constância nos diversos ramos da ciência, como, por exemplo, a demonstração conceitual do ciclo hidrológico, representando um modelo conceitual do complexo sistema global de armazenamento e circulação da água. Este é conduzido por diversos fatores influentes e componentes, destacando a incidência da energia solar, tornando um dos fatores controladores dos diversos estados físicos do trânsito da água pelo Planeta, incluindo a interligação da atmosfera, litosfera e atmosfera. Apesar de constituir-se em um sistema fechado (no sentido que a água não é criada nem destruída), outras variáveis podem ser inseridas dentro deste sistema, podendo alterar sua forma de circulação e transformação, mormente as de caráter antrópico. Essas alterações podem ser provenientes, por exemplo, da construção de barragens, da regularização de

rios ou da exploração da água subterrânea, podendo ser citadas as inserções de compostos advindo de lixos, produtos químicos domésticos ou industriais etc.

Das virtuais alterações que ocorrem pela intervenção antrópica, podem ser citadas as implantações de projetos hidroelétricos, a exemplo do “Complexo Hidroelétrico Urubupungá”, que utilizou o potencial hídrico da bacia do rio Paraná. Essas construções resolveram parte dos problemas energéticos encontrados naquela época, porém causaram significativas alterações no regime hidrológico local, pelo represamento dos rios e córregos pertencentes a este sistema, com a invasão, pela água, de terras agricultadas e elevação do freático regional.

Quando ocorre um evento que venha a influir na entrada (*input*), de forma a ultrapassar o limiar compatível com a organização de um sistema, ocorrem profundas alterações neste, tendendo a reajustar-se à nova situação imposta. Nesse reajustamento, o sistema pode voltar a um estado semelhante ao precedente, ou atingir um estado estacionário, em novo posicionamento, podendo contrair outra dinâmica. O tempo de readaptação varia conforme a existência de elementos de maior resistência à mudança no seu interior. Christofolletti (1979, p.23) ressalta que a habilidade em enfrentar as influências externas é maior e mais típica nas comunidades vegetais e animais e menos pronunciada nos componentes inorgânicos. Essa readaptação ocorre pela ação de relações retroalimentadoras inerente ao próprio sistema, resultando que este todo atinja o equilíbrio após passar por estados transitórios. Esses processos podem ser reversíveis ou irreversíveis. No primeiro caso, o equilíbrio restaurado será semelhante ao estado precedente; como exemplo, cita-se a morte de plantas artificialmente, sendo que, pela associação destas, pode ocorrer uma restauração que conduz a uma forma semelhante à original. No segundo caso, o novo equilíbrio atingido será diferente do precedente, como é o caso dos desequilíbrios ocorrentes em sistemas pedológicos por processos erosivos, que, ao cessarem as fases mais intensas do desajuste, a dinâmica precedente será totalmente destruída, surgindo outra em sua substituição.

Nessa perspectiva, a teoria sistêmica adquiriu um papel considerável nas formas de interpretação e abordagem dos temas ambientais, servindo como base para os denominados estudos integrados do meio ambiente, discutidos por Penteado Orellana (1985, p.125), Christofolletti (1999, p.157), Gregory (1985, p.217), Lima; Queiroz Neto (1997, s/p.). Assim, sendo a Geografia a ciência das relações espaciais, constituindo seu objeto o estudo do espaço sob a ótica antropocêntrica, englobando o Social e Natural, e que neste espaço incluem-se elementos naturais e culturais que se integram e interagem (PENTEADO ORELLANA, 1985, p.125), torna-se, então, significativa a abordagem sistêmica dentro desta ciência, para melhor compreender tais inter-relações elementares.

Historicamente, a utilização desta abordagem fixou-se neste ramo científico com a introdução do conceito geossistêmico, por Sotchava (1977, 52p.), inicialmente na União Soviética, definido como uma classe de sistemas dinâmicos, flexíveis, abertos e hierarquicamente organizados, com estágios de evolução temporal, numa mobilidade cada vez maior sob a influência do homem. Ele constituiria uma formação natural que experimenta, sob certa forma, o impacto dos ambientes social, econômico e tecnogênico. Esta proposição analítica tem como suporte lógico a teoria geral dos sistemas formulada por Bertalanffy (1973, 351p.), que, conforme Penteado Orellana (1985, p.126), dentre outras características, considera que o sistema (eleito para estudo) constitui um subsistema dentro de outro maior, ou seja, com subsistemas antecedentes e consequentes.

Posteriormente, o conceito geossistêmico veio granjear grande sucesso, tanto na ex-URSS, onde surgiu, quanto em outros países. No mundo ocidental foi difundida pela escola francesa. No Brasil foi introduzido inicialmente no texto de Bertrand (1972,

p.1), seguindo-se depois a tradução de Sotchava (1977, 52p.), sendo adotada sucessivamente pela Biogeografia, Geografia dos solos, Climatologia e Geomorfologia, procedimento esse muito utilizado no período de 1935 a 1971, até a publicação do livro: *Physical Geography: A systems approach* de Chorley e Kennedy. De acordo com Ken J. Gregory:

ao contrário dos trabalhos anteriores, este livro fez a tentativa incondicional de mostrar como os fenômenos da Geografia Física poderiam ser racionalizados e como se lhes poderiam dar, talvez, novo significado e nova coerência nos termos da teoria geral dos sistemas [...], dedicado à identificação e à análise de algumas das mais importantes relações sistemáticas que preocupam os geógrafos físicos modernos (GREGORY, 1985, p.224).

Uma das primeiras aplicações dessa teoria no Brasil foi conduzida pelo prof. Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, em um trabalho realizado por uma equipe multidisciplinar sob seu comando, culminando com a publicação da "Qualidade Ambiental na Bahia – Recôncavo e Regiões Limítrofes". Além deste, vários trabalhos e autores seguiram e discutiram nesta perspectiva de análise ambiental, como Ross (1995, p.65) e Monteiro (2001, p.80), tendo se mostrado adequado para estudos ligados a impactos ambientais gerados por grandes projetos regionais (GOMES et al., 2004, p.256).

Uma das características desse procedimento é o caráter de subjetividade no delineamento dos limites sistêmicos. Convém ressaltar que esta subjetividade não é de caráter peculiar à ciência geográfica, mas, pelo contrário, adquire caráter genérico para as demais ciências que "utilizam esta perspectiva de abordagem. Bertalanfy (1973, p.83) afirma que distinguir um sistema dentro do universo é um ato mental (abstração) em que se procura abstrair os elementos componentes e as suas interrelações, dependendo da capacidade intelectual e da percepção ambiental apresentada pelo pesquisador [...], não especificando o ramo científico, mas, sim, peculiarizando as características desta forma de análise".

Christofolletti (1979, p.05) e Penteadó Orellana (1978, p.127) chamam atenção para o fato de que, após decidir qual sistema estudar, grande é a dificuldade em tratar, em sua totalidade, os elementos que o compõem, correndo o risco de se cair em generalizações e especificações desnecessárias, não se podendo, assim, medi-lo como um todo. Há, portanto, necessidade de solucionar duas questões, de acordo com Christofolletti (1979, p.07): quantas e quais variáveis escolher? Quais técnicas de mensuração a serem empregadas? A solução, de acordo com o autor, é encontrada a partir do objetivo da pesquisa que está sendo realizada, considerando certas indagações conceituais e teóricas: quais variáveis relevantes para testar a hipótese levantada como solução do problema aventado pela pesquisa? Quais as técnicas mais propícias para mensurar essas variáveis?

Neste mesmo sentido, Francisco Mendonça ressalta que a escolha de um método de medição e determinação das variáveis na abordagem da problemática ambiental:

para ser levada a cabo com profundidade e na dimensão da interação sociedade-natureza, rompe assim com um dos clássicos postulados da ciência moderna, qual seja, aquele que estabelece a escolha de apenas um método para a elaboração do conhecimento científico. Tal abordagem demanda tanto a aplicação de métodos já experimentados no campo de várias ciências particulares como formulação de novo (MENDONÇA 2001, p.152).

Retomando a idéia de que não há apenas um método na ciência, principalmente no que se refere às questões ambientais, diante destes fatores, nas metodologias integradas do ambiente repousam de uma maneira implícita os princípios sistêmicos de abordagem. Assim, apesar de serem fragmentadas em diversos campos, as ciências das questões ambientais encontram na abordagem sistêmica, ou ainda, mais especificamente, nas metodologias que consideram a integralidade dos elementos que compõem o ambiente (pois nem sempre o conceito sistêmico é citado ou considerado, apesar de estar explícito os seus princípios) a unicidade que transdisciplina as metodologias de análise. Observam-se nas ciências mais próximas da geografia, tanto na área humana (sociologia, economia etc), quanto na física (geologia, pedologia, geomorfologia etc) formas de abordagem que consideram as incessantes trocas de matéria e energia ocorrentes em níveis hierárquicos e escalas diferenciadas de forma integradas na natureza (desconsiderando qualquer dissociação entre Homem/Natureza).

Essa tendência é confirmada por Melo (1997, s/p) e por Berry et al., *apud* Bernardes (1977, p.186). A primeira autora, ao discutir e analisar o conceito geossistêmico, encontra no russo Dockuchaev (1866-1903) os fundamentos para a análise integrada das paisagens naturais, pela caracterização da zonalidade dos solos, considerando-os como um 'todo', resultado da interação dos seus fatores de formação – refletindo o complicado sistema de inter-relação do meio natural. Na perspectiva humana, por pertencer a uma corrente renovadora, Berry et. al. *apud* Bernardes (1977, p.186) incorporaram às análises dos sistemas econômicos a interdependência de áreas, os mecanismos de interação dos lugares, seus aspectos locais e seus fundamentos econômicos, políticos, demográficos, ecológicos e, até mesmo, históricos.

## **MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO LIVRE DE PEREIRA BARRETO/SP**

### *Considerações sobre a metodologia utilizada*

Em limiares da década de 80, foi desenvolvida para a OPAS (Organização Pan-Americana de Saúde) a metodologia GOD, por Foster; Hirata (1993), que foi utilizada para o mapeamento de vulnerabilidade e risco da poluição das águas subterrâneas do Estado de São Paulo, num trabalho realizado em conjunto pelo IG, CETESB, DAEE e adaptada para condições litológicas cristalinas no mapeamento realizado, pelo Instituto Geológico, no município de Campinas/SP. Posteriormente, foram desenvolvidos estudos utilizando este método em escalas maiores (1: 50.000), com o objetivo de subsidiar o planejamento de uso e ocupação em escala local: Meaulo (2004, 21p.); Martinez; Silva (2004, 15p.).

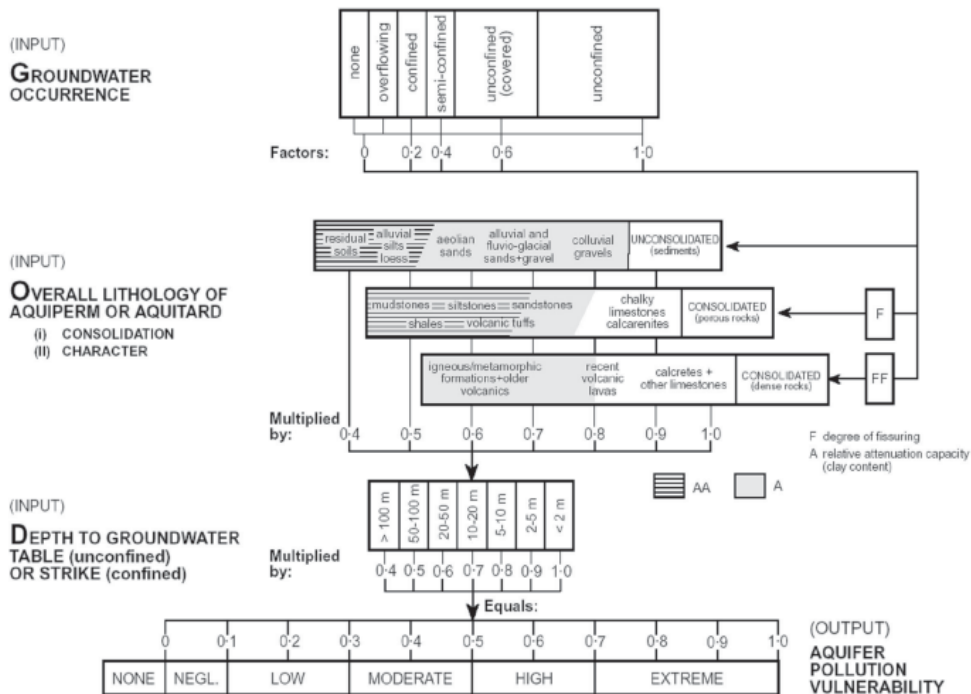
O estabelecimento dos fatores utilizados neste método baseia-se na premissa de acreditar-se que, mesmo com a redução dos dados considerados, este ainda representa, de forma sintética, as principais características idealmente requeridas para o estabelecimento de sua vulnerabilidade natural. Portanto, a vantagem deste método em relação aos outros está na relativa facilidade de obtenção de seus parâmetros, o que foi testado, ainda que de forma superficial por Gomes & Espindola (2004).

Assim, para Foster; Hirata (1993, p.67), as variáveis que, se estudadas em conjunto, considerando suas interações, demonstraria o grau de atenuação de um determinado ambiente subterrâneo à contaminação, são: o Tipo de Aquífero

(Groundwater occurrence), Características da zona vadosa (Overall lithology) e camada confinante e a profundidade do aquífero (Depth to groundwater table), respondendo assim, a pergunta formulada acima, por Christofoletti (1979), sobre quais variáveis são necessárias para estudar um determinado sistema (Figura 1).

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 da especificação 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 parâmetros é o índice de vulnerabilidade, expresso em classes numa escala de 0 – 1, em termos relativos (HIRATA 1994, p.81).

**Figura 1 - Sistema para Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aquífero (FOSTER; HIRATA, 1993, p.73)**

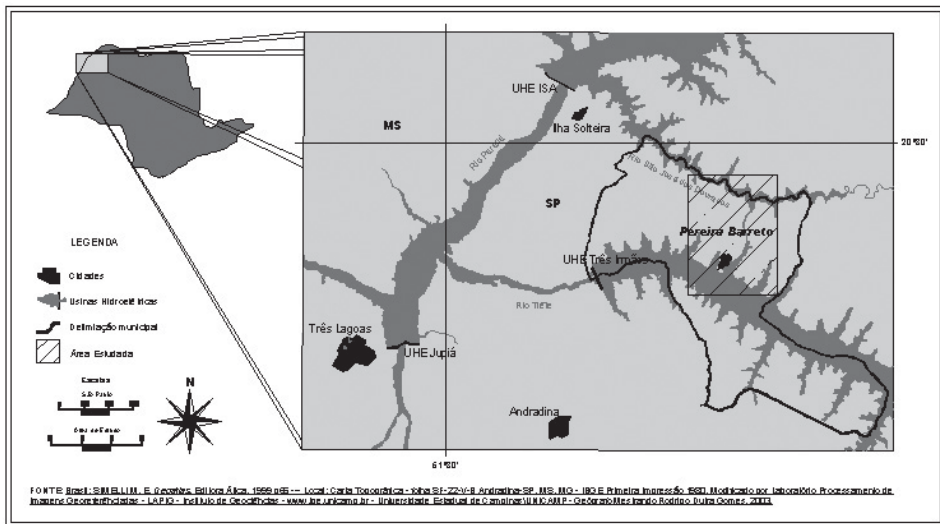


## CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

### *Histórico da Área e do Município*

O Município de Pereira Barreto está localizada na região Noroeste do Estado de São Paulo, cujas coordenadas são 20°38'43"S e 51°06'35"W, a 650 Km da Capital, pertencendo à região administrativa do município de Andradina, com uma área de 982,7 Km<sup>2</sup> (Figura 2).

**Figura 2 - Localização da área de estudo**



A cidade foi constituída principalmente pela imigração nipônica, nos anos 20 do século XX, tendo se expandido com o advento da 2ª Guerra Mundial. Atualmente a região é caracterizada economicamente como agrocomercial, predominando a pecuária como forma de produção, apresentando ainda cana-de-açúcar, milho, soja, laranja, manga etc.

Com a criação, em 1951, da Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Paraguai, houve um grande incremento de idéias desenvolvimentistas, objetivando a expansão do aproveitamento hidrico-energético destas bacias. Assim, em 1954 esta Comissão iniciou os estudos do Conjunto Energético de Urubupungá (gerando o Complexo Hidrelétrico de Urubupungá), concluindo em fins de 1960 os projetos que culminariam com as Usinas Integradas de Jupia, Ilha solteira e Três Irmãos, esta última localizada nos limites do município de Pereira Barreto.

Em novembro de 1993, entrou em operação a primeira unidade geradora de energia da UHE Três Irmãos, que ocasionou ao município de Pereira Barreto a submersão de grande parte de seu território, incluindo parte da área urbana, ficando suas porções L, O, S totalmente encobertas pela água da represa. Este empreendimento causou vários impactos no regime hídrico superficial e subsuperficial da área, causando também a elevação generalizada da superfície potenciométrica do aquífero livre.



### *Características do Meio Físico*

A geologia da área é representada por um pacote compreendido pelos sedimentos cretácicos do Grupo Bauru, representados principalmente pela formação Santo Anastácio, que encobre majoritariamente a área de estudo; localmente, associa-se às formações Caiuá e Adamantina (SUGUIO et. al, 1984, p.26), sobrepostos aos basaltos juro-cretácicos da formação Serra Geral e sotopostos a depósitos terciário-quaternários compreendidos por colúvios, alúvios e cascalheiras, além dos elúvios associados às formações (IPT, 1989, p.26).

Na área, os solos advindos destes materiais são predominantemente da classe LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, apresentando também LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico ao longo das margens dos rios Tiête e São José dos Dourados, condizentes com as áreas de afloramento do basalto da formação Serra Geral e adjacentes aos Solos Hidromórficos dos brejos e várzeas.

A área compreendida pela bacia do Baixo Tiête está localizada na Província Geomorfológica do Planalto Ocidental, apresentando formas características de relevo que vão desde vales amplos sem grandes variações morfológicas, até colinas amplas, com cerca de 400 metros de altitude (CESP, 1990, p.52). O clima da área é tropical úmido (Aw), com verão chuvoso e inverno de relativa seca. A pluviometria média anual é de 1.321,3mm, com período chuvoso de outubro a março – sendo janeiro o mês mais chuvoso – (médias de 122,0 a 230,2mm) e o de estiagem entre abril e setembro – sendo julho o mês mais seco – (médias de 27,6 a 76,1mm). A cobertura vegetal primitiva predominante é a Floresta Latifoliada Tropical Semidecídua, associada aos solos mais férteis, de estrutura média a argilosa; pode ocorrer, em menor escala, o Cerradão, sobre solos arenosos, ácidos e de baixa fertilidade (CESP, 1990, p.88).

### *Sistema Hidrogeológico da Área*

O pacote subterrâneo é composto, do topo para a base, por aluviões, coluviões, solo de alteração de arenito, arenitos (sobretudo da Formação Santo Anastácio, localmente com as Formações Caiuá e Adamantina associadas) e solo de alteração de basalto, compreendendo o sistema de aquífero superficial da área. O topo rochoso da Formação Serra Geral constitui o substrato semipermeável a impermeável deste sistema de aquífero (IPT, 1989, p.34). O sistema hidrogeológico adjacente à bacia de inundação do reservatório implantado e que desenvolve seu fluxo subterrâneo sofre, devido ao enchimento, reajustes transitórios em curto prazo e mudanças permanentes em longo prazo. Estas últimas são resultado dos reajustes transitórios, quando o sistema hidrogeológico subterrâneo é re-estabilizado, assumindo um novo patamar topográfico e modificando a intensidade de troca de energia na bacia, tanto superficial como subsuperficialmente (IPT, 1988, p.13).

## **APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GOD**

A utilização da metodologia GOD é justificada pelos mesmos preceitos ao qual esse método foi elaborado, ou seja, com base em informações existentes e disponíveis. Por isso, a delimitação da área mapeada considerou a existência destes dados, principalmente os disponíveis nos trabalhos realizados pelo IPT (1988, 124p., 1989, 251p.) e Suguió et al. (1984, p.25-37), no Município. Assim, foram utilizados materiais

elaborados em diferentes escalas, citando os dados obtidos e utilizados no conhecimento da hidrodinâmica do aquífero local (IPT, 1988, p.13).

### *Tipo de Aquífero – Groundwater occurrence*

Em estudos geológicos realizados por Suguio et al. (1984, p.27) em Pereira Barreto, análises sedimentológicas mostraram diferenciações (granulométrica e textural) 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. Em inúmeras perfurações já realizadas (IPT 1989, p.5), para a avaliação das conseqüências da elevação induzida do lençol freático pela represa Três Irmãos no município de Pereira Barreto, foram instaladas redes de observação piezométricas. Durante a perfuração (atravessando 21 metros), foram encontradas características bastante regulares nos materiais referidos como coluvionares; nos solos ditos residuais, constatou-se significativa constância composicional, tanto espacial quanto vertical, em toda a área, assemelhando-se aos materiais caracterizados por Suguio et. al. (1984, p.28) nas margens do Canal Artificial, não tendo sido encontrada nenhuma diferenciação abrupta nas camadas horizontais que compõem os 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 (zona vadosa), revelando grande homogeneidade espacial e vertical, sem apresentar alguma camada com características confinantes.

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

A determinação das características da zona vadosa foi feita com base nas descrições e análises realizadas nos materiais encontrados pelo IPT (1989, p.18), nas inúmeras perfurações realizadas em toda a área, revelando a presença de produtos advindos dos arenitos das formações Santo Anastácio e em afloramentos do basalto Serra Geral.

Os materiais da formação Santo Anastácio aparecem de uma forma generalizada na área, apresentando sedimentos em sua maioria finos, pouco argilosos a argilosos, com coloração predominantemente marrom avermelhado, mas também arroxeados, amarelo ou esbranquiçado, ou mosqueado com manchas esbranquiçadas ou acizentadas. A formação Serra Geral ocorre localmente de maneira geral sub-superficialmente, constituindo a base do sistema de aquífero estudado, aflorando de forma relativamente restrita em alguns pontos da área, coberta por seu manto de intemperismo (solos residual).

Os depósitos coluvionares ocorrem extensivamente na área estudada, compreendendo, a sua quase totalidade, cobrindo os arenitos da formação Santo Anastácio e os basaltos da formação Serra Geral. Pelas perfurações e análises realizadas (IPT, 1989, p.26), descrevem-se os colúvios como sendo de areia fina, localmente fina a média, pouco argilosa, ocasionalmente argilosa, de coloração marrom avermelhada, apresentando-se desde solta a compactada, podendo ocorrer a presença de concreções.

Os resultados granulométricos dos colúvios e dos solos que estes dão origem mostram regularidades e semelhanças nos diferentes locais, transparecendo a homogeneidade composicional destes aspectos. A carta pedológica da área confirma esta perspectiva, apresentando grande predominância do LATOSSOLO VERMELHO

Distrófico. As descrições morfológicas condizem com as características dos solos que estas litologias dão origem: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, ARGISSOLOS, LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e GLEISSOLOS.

### *Profundidade do nível freático – Depth to the water table*

Para a obtenção desta variável, houve a necessidade de confeccionar um mapa de profundidade. No entanto, foram encontrados problemas relacionados com a falta de informação referente a este dado, com dados apenas disponíveis em uma porção restrita da área (área urbana). Assim, decidiu-se pela realização de 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. Para isso, optou-se pelo auxílio dos SIGs (Sistemas de Informação Geográficas), já que estes oferecem um arcabouço técnico que possibilita a realização desta operação.

Procurou-se estabelecer um grau de correlação entre dois fatores do meio físico diretamente ligados entre si, utilizando, neste caso, a configuração do relevo e a profundidade do aquífero, ambos da área urbana (dados disponíveis), considerando que, em geral, a superfície do nível d'água varia em congruência com a configuração do relevo da superfície (IPT, 1989, p.47). Como forma de análise dos fatores, utilizou-se a regressão simples, que estabelece uma lógica de relação entre as variáveis, e que, pela configuração e altitude do relevo, permite prever a sua profundidade.

Assim, as bases georeferenciadas das duas informações (relevo-profundidade da área urbana) foram digitalizadas no programa AutoCAD 2000 e correlacionadas (regressão) no IDRISI. O resultado é apresentado em forma de equação matemática, estabelecendo uma linguagem numérica para o grau de correlação destas duas variáveis. Esta equação é aplicada sobre as cotas altimétricas do relevo no programa SURF 8, obtendo, como resultado, as cotas de profundidade. Seguiu-se, então, a plotagem destes pontos neste mesmo programa, cujo resultado final sofreu reajustes no programa AutoCAD 2000, baseado nas verificações de campo feitas em dezembro de 2003, quando foram verificadas as profundidades de poços simples em sítios e fazenda, fornecendo o mapa de profundidade.

## **CLASSE DE VULNERABILIDADE DO AQUIFERO LIVRE**

Para o estabelecimento das classes de vulnerabilidade, seguiu-se o procedimento proposto no método GOD. Assim, de acordo com o modelo, foram fixados valores conforme as características dos parâmetros considerados. Estes foram multiplicados e, como produto, resultaram os valores que demonstram as classes de vulnerabilidade do aquífero, conforme valores fixados, assim estipulados:

- Tipo do Aquífero (Groundwater Occurrence): Conforme se estabeleceu anteriormente, o aquífero estudado foi considerado como livre, em toda a área, adotando 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 essa 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 (GOMES, 2005, 191p.).

- Profundidade de nível d'água (Depth to Groundwater table): A classificação dos valores para as profundidades do nível d'água foram feitos de acordo com as escalas de valores adotados pela metodologia para as respectivas profundidades.

A correlação dos parâmetros pode ser visualizada na tabela 1.

**Tabela 1 - Correlação dos Valores dos Parâmetros  
CLASSES DE VULNERABILIDADE**

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

Na coluna 1b estão os valores das classes de profundidade, que são multiplicados por 0.75 u 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 são cartografadas para representação da distribuição espacial das classes de vulnerabilidade.

## MAPA DE VULNERABILIDADE

### *Descrição e Interpretação do Mapa de Vulnerabilidade Natural do Aquífero*

Na base cartográfica gerada observa-se a preponderância do parâmetro 'profundidade do aquífero' na configuração das classes de vulnerabilidade, encontrando as áreas de maiores vulnerabilidades em congruência com as isolinhas de profundidade, que se deve à relativa homogeneidade dos outros parâmetros considerados, já que a estrutura litológica e o tipo de aquífero não variam significativamente na área (Figura 3).

O aquífero livre apresenta-se majoritariamente com vulnerabilidade moderada. Esta classe faz transparecer 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.

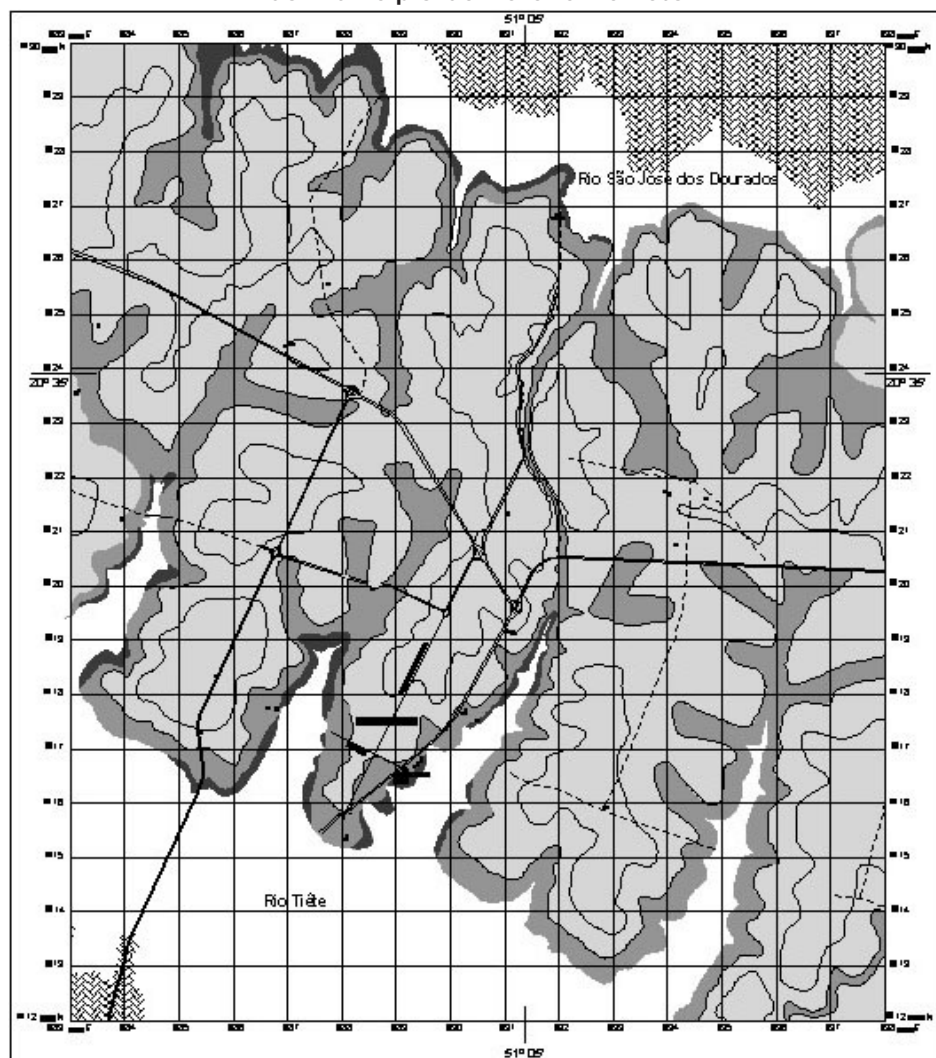
Constata-se, assim, a influência do represamento do rio Tiête e suas repercussões nos sistemas hidrogeológicos da bacia. Como apontado, o fator profundidade do nível d'água é o parâmetro físico que, de acordo com este método (GOD), mais influencia na definição da classe vulnerabilidade na área. A elevação generalizada no nível freático induziu o aquífero livre a patamares mais elevados, aproximando-se-o da superfície e, assim, aumentando a susceptibilidade deste ambiente a receber maiores influências negativas da superfície. Comprova-se, então, que usualmente os

projetos intervencionistas (UHE, Irrigação etc), além de influírem nos regimes hídricos das águas superficiais, também desempenham um papel desregulador dos sistemas hidrogeológicos, alterando os regimes de troca energia e matéria, influenciando o grau de vulnerabilidade do ambiente em relação a determinados eventos de origem naturais ou antrópicas.

Embora se possam considerar satisfatórios os resultados em face dos objetivos propostos, pela visão sistêmica não se pode negligenciar a presença de outros fatores que compõem o meio e que, possivelmente, estariam influenciando (em maior ou menor grau) os resultados apresentados; estes poderiam complementar a metodologia aplicada, com vista a uma representação mais fiel do grau de vulnerabilidade às águas subterrâneas na área. Entretanto, acredita-se que a inserção e consideração de outros parâmetros em estudos dessa natureza (condutividade hidráulica, índice de recarga etc) não pode ser feita pela simples consideração quantitativa aleatória, sem a realização de estudos prévios que confirmariam a importância e relevância destes no método aplicado, ressaltando a dificuldade em discernir outros componentes do meio como sendo relevantes para um determinado objetivo.

Ainda assim, foram aqui levadas em conta as considerações de Christofolletti (op. cit) e de Penteadó Orellana (1985, p.126), sobre os riscos existentes quanto às especificações e generalizações desnecessárias presentes nos estudos sistêmicos, como tentativa de tratar um objeto de estudo em sua totalidade. Portanto, apesar de serem vários os elementos constituintes do meio, para que houvesse o estabelecimento de outras variáveis relevantes, com vista ao aprimoramento do método utilizado, necessitar-se-ia de uma pesquisa mais apurada neste sentido, extrapolando os objetivos traçados. Embora o método tenha possibilitado atingir os objetivos propostos, há que se reconhecer suas limitações, aliás, devidamente consideradas pelos próprios autores, Foster; Hirata (1993, p. 74), como sendo ele de caráter apenas relativo.

**Figura 3 - Mapa da Vulnerabilidade do Aquífero Livre  
do município de Pereira Barreto**



**LEGENDA**



RODOVIAS

- Pavimentadas
- Não Pavimentadas
- Avenidas / ruas
- Casas - Fazendas/Sítios/Coracais

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Algumas idéias parecem ter sido expostas de forma explícita e outras de maneira implícita. Como de caráter explícito, cita-se a impossibilidade de se tratar qualquer questão ambiental pela não integralização da relação homem/natureza, demonstrada pelos resultados apresentados, com os tipos de influência que o primeiro provoca sobre o segundo, mediante sua ocupação e utilização. Apesar de não ter sido discutido, fica implícito que os problemas ambientais encontrados não representam mais do que uma forma sob a qual a problemática econômico-social se expressa, tendo em conta que toda a forma de intervenção associa-se às formas de produção da sociedade, sendo resultado das relações sociais que nesta ocorrem, o que, de certa forma, contempla os preceitos de Monteiro (2001, 127p.)

Essa argumentação comprova a importância de se considerar a relação homem/meio de uma forma integrada, considerando ambos como parte de um mesmo sistema, em que as trocas de matéria e de energia ocorrem de forma contínua e mútua, efetivando a importância da abordagem sistêmica como instrumento teórico-metodológico para estudos que consideram essa integralidade.

A aplicação do método proposto por Foster; Hirata (1993, p.67) conduziu majoritariamente a classes de vulnerabilidade moderadas, sendo o parâmetro "profundidade do nível d'água" o fator preponderante para tal delimitação. Dessa forma, é nítida a influência da intervenção antrópica na vulnerabilidade natural dos ambientes, já que a elevação induzida do nível potenciométrico alterou as condições iniciais deste sistema, que passou a apresentar uma vulnerabilidade aumentada pela sua maior proximidade da superfície.

A aplicação da abordagem sistêmica como fonte teórico-metodológica possibilitou analisar criticamente o método utilizado de forma a compreender suas limitações, como a não consideração de outros fatores constituintes do ambiente, que, de certa forma, estariam influenciando, de alguma forma, nos resultados obtidos, mas que não foram considerados. Os resultados obtidos poderão servir como fonte de referência para a implantação de possíveis medidas conservacionistas por parte de órgãos locais de gerência territorial e ambiental, incluindo monitoramento para estimar outros possíveis contaminantes que não foram aqui considerados.

## REFERÊNCIAS

- AUGUSTIN, C. H. R. R. A Geografia Física: O levantamento integrado e avaliação de recursos naturais. **Boletim de Geografia Teórica**, Rio claro, n.15, p.141-153, 1985.
- BERNARDES, N. Uma Geografia (Sistêmica) dos Sistemas Econômicos. Comentário Bibliográfico, **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, ano 39, n. 2, p.186-191, 1977.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Editora Vozes Ltda, 1973, 311p.
- BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global. Esboço Metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, v. 13, p. 1-27, 1972.
- CESP – Companhia Energética de São Paulo. Estudos de Impacto Ambiental / **EIA, UHE Três Irmãos**. São Paulo, 220p, 1990.

- CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical Geography. A systems approach**. London: Hall International Inc., 1971, 370p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Editora Hucitec, 1979, 106p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1999, 256p.
- FOSTER, S.; HIRATA R. C. A. **Determinação de risco de contaminação das águas subterrâneas**. Uma metodologia embasada em dados existentes. São Paulo: Instituto Geológico, 1993, 92 p.
- GOMES, R. D. **Aspectos da contaminação do aquífero livre do município de Pereira Barreto/SP**. 2005, 191p. Dissertação, Mestrado em Geografia – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 28/02/2005.
- GOMES, R.; ESPINDOLA, C. R.; YOSHINAGA PEREIRA, S. Mapeamento da Vulnerabilidade do Aquífero Livre do Município de Pereira Barreto/SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS, VI, 2004, Goiânia. **Anais...**, Goiânia: UFG, 2004, p.256.
- GREGORY, K. J. **A Natureza da Geografia Física**. São Paulo: Editora Bertrand Brasil S.A., 1985, 367p.
- HIRATA, R. C. A. **Fundamentos e Estratégias de Proteção e Controle da Qualidade das Águas Subterrâneas**. Estudo de Casos no Estado de São Paulo. 1994. 195p. Tese (Doutoramento), USP, São Paulo, 1994.
- IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo. Modelagem numérica tridimensional do fluxo subterrâneo na cidade de Pereira Barreto – Primeira Versão. **Relatório nº29995**, 1988, 124p.
- 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**, v. 1, 1989, 251p.
- JAPIASSU, H. **Interdisciplinaridade e Patologia do Saber**. Rio de Janeiro: IMAGO Editora, 1976. 220p.
- LIMA, O. A. L. Geossistemas e recursos hídricos: águas subterrânea no Estado da Bahia. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 13, p. 391-402, 2003.
- LIMA S. C.; QUEIROZ NETO, J. P. Estudos Ambientais Integrados – Uma Discussão Metodológica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, VII, Curitiba, 1997. **Anais...** 1997, Curitiba: UFPR, Departamento de Geografia, 1997. s/p. 2 CD-ROM.
- MARTINEZ, M. M.; SILVA, J. L. S. Avaliação da Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas no município de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, XIII, 2004, Cuiabá. **A Gestão Integrada e Dinâmica de Aquíferos: Eficiência e Agronegócio**, Cuiabá: UFMT, 2004, 15p. 1 CD-ROM.
- MELO, D. R. Geossistema: sistemas territoriais naturais. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA APLICADA, VII, **Anais...** 1997, Curitiba: UFPR, Departamento de Geografia, UFPR, 1997, 2 CD-ROM.
- MENDONÇA, F. A. Geografia Sócio-Ambiental. **Terra Livre**, São Paulo, n. 16, p.139-158, 2001.
- MEAULO, F. J. O mapeamento da Vulnerabilidade Natural à Poluição dos Recursos Hídricos Subterrâneos: O exemplo de Araraquara. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, XIII, 2004, Cuiabá. **A Gestão Integrada e Dinâmica de Aquíferos: Eficiência e Agronegócio**, Cuiabá: UFMT, 2004, p.21-31. 1 CD ROM.



MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas - a busca de uma procura**. São Paulo: Editora Contexto, 2001, 127p.

MORIN, E. **Introdução ao Pensamento Complexo**. Lisboa: Instituto Piaget, Coleção Epistemologia e Sociedade, 1990, 177p.

PENTEADO ORELLANA, M. M. Metodologia Integrada no Estudo do Meio Ambiente. **Geografia**, Rio Claro, v. 10, n. 20, p.125-147, 1985.

ROSS, J. L. S. Análises e Sínteses na Abordagem Geográfica da Pesquisa para o Planejamento Ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.9, p.35-48, 1995.

SOTCHAVA V. B. O Estudo de Geossistemas. **Método em Questão**, São Paulo, v. 16, p. 1-52, 1977.

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.

VICENTE L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica e Geografia. **Geografia**, Rio Claro, v. 28, n. 3, p. 323-344, 2003.

Recebido em abril de 2005

Revisado em novembro de 2005

Aceito em março de 2006