

# AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE INTRINSECA A POLUIÇÃO DE AQUÍFEROS CÁRSTICOS EM AMBIENTES TROPICAIS ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA SINTACS<sup>1</sup>

Soraya Ayub<sup>2</sup>, Franco Cucchi<sup>3</sup>, Paolo Forti<sup>4</sup>, Luca Zini<sup>3</sup>

2 Via Roma, 11 23827 Lierna (LC) Italia, [akakor@tin.it](mailto:akakor@tin.it)

3 Via E.Weiss, 2 34127 Trieste, Italia, [cucchi@univ.trieste.it](mailto:cucchi@univ.trieste.it), [zini@univ.trieste.it](mailto:zini@univ.trieste.it)

4 Via Zamboni, 6740127 Bologna Italia, [forti@geomin.unibo.it](mailto:forti@geomin.unibo.it)

**ABSTRACT:** *The evaluation of the pollution intrinsic vulnerability of karst aquifers in a tropical environment using the point count system SINTACS*

In the last 15 years the U.O. 4.7 and 4.9 of the National Group for the Defence against the Hydrogeological Catastrophes evaluated the pollution vulnerability of several karst aquifers in the temperate zone by using the SINTACS point count system (CIVITA & DE MAIO 1997, 2000).

The present paper is the first attempt to apply the same method to an important karst spring in a tropical area.

The Pérolas-Santana, Grilo and Zezo karst systems are located in the Iporanga region, São Paulo State, Brazil. Their catchment areas extend more than 24,2 km<sup>2</sup> and are mainly located inside the High Ribeira State Turistical Park (PETAR) which is characterised by the Atlantic forest with a tropical humid climate (GUTJAHR 1993) without arid periods and an average rainfalls of 1500-1850 mm/yr. The karst aquifers consist of limestones and dolostones surrounded and interbedded with metamorphic siltstones and sandstones. The karst systems are well developed, with a flood flow rate of about 3.6 cm/s (April 1997) thus corresponding from medium to high velocity systems (SMART e HODGE 1979).

In order to obtain the vulnerability map for the aquifer feeding the karst spring it has been

necessary to prepare several digital thematic maps (geological, geomorphological, hydrogeological, speleological, ecc) which represent the base layers for the SINTACS evaluation of a specific GIS for the intrinsic and integrated vulnerability of the whole studied area.

In the present paper the used criteria for defining the values of the different parameters to be used in the SINTACS model are shortly discussed. In fact it was necessary to adapt them to the hydrogeological specificity of the tropical karst environment.

The final map, obtained by overlapping the potential pollution sources to the intrinsic vulnerability map can be a powerful tool for a safe use of the environment in the management and development of the natural park which hosts most of the aquifer feeding the studied karst aquifer.

## RESUMO

Nos últimos 15 anos as unidades operativas 4.7 e 4.9 do Grupo Nacional pela Defesa das Catástrofes Hidrogeológicas do CNR (Conselho Nacional de Pesquisa), Itália, avaliou a vulnerabilidade em que se encontram os aquíferos cársticos em regiões de clima temperado usando o programa SINTACS (CIVITA e DE MAIO 1997, 2000).

<sup>1</sup> Publicação n. 2238 do Grupo Nacional pela Defesa das Catástrofes Hidrogeológicas, do CNR, U.O. 4.9 (Departamento de Ciências da Terra e Geológico Ambientais, Universidade de Bologna), Responsável Prof. Paolo Forti

<sup>2</sup> Doutoranda, Ciclo XIV, Departamento de Ciências da Terra e Geologia Ambiental, Universidade de Bologna

<sup>3</sup> Departamento de Ciências Geológicas, Ambientais e Marinhas, Universidade de Trieste, U.O. 4.7 GNDCI

<sup>4</sup> Instituto Italiano de Espeleologia, Universidade de Bologna, U.O. 4.9 GNDCI

Este artigo tem como objetivo mostrar a aplicação do método em uma importante ressurgência numa zona de clima tropical.

Os sistemas cársticos Pérolas-Santana, Grilo e Zezo localizados em Iporanga, Estado de São Paulo, apresentam uma superfície de 24,2 km<sup>2</sup> que em parte está inserida em terras pertencentes ao PETAR – Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira. A área de estudo apresenta clima tropical úmido (GUTJAHR 1993), vegetação de mata Atlântica e pluviosidade que vai de 1500 a 1850 mm ao ano. Os aquíferos cársticos apresentam metacalcários e metadolomitos alternados com filitos e metarenitos. Os sistemas cársticos são bem desenvolvidos com velocidade média em torno de 3,6 cm/s (abril 1997) que corresponde a média dos sistemas classificados por SMART and HODGE (1979) como de alta velocidade.

Para se obter o mapa de vulnerabilidade intrínseca de um aquífero devem ser preparados antes outros mapas temáticos como geológico, geomorfológico, hidrogeológico, espeleológico, etc) que representam os layers básicos para o programa SINTACS ou mesmo um GIS onde tem-se como resultado final a carta de vulnerabilidade intrínseca ou integrada da área como um todo.

No presente artigo o critério utilizado para definir os valores de diferentes parâmetros para serem usados pelo modelo SINTACS são discutidos brevemente. De fato, foi necessário a adaptação do modelo às especificações hidrogeológicas de uma área de clima tropical.

O mapa final, obtido através da sobreposição de possíveis fontes de contaminação com o mapa de vulnerabilidade intrínseca pode ser um grande instrumento para proteger o ambiente através do manejo e desenvolvimento do PETAR que apresenta tantos aquíferos que podem e devem ser incluídos num estudo cárstico sistemático.

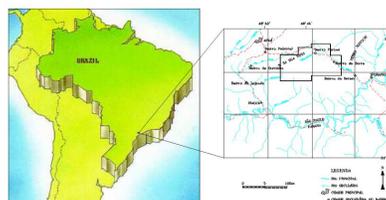
## INTRODUÇÃO

A área de estudo compreende os sistemas cársticos Pérolas-Santana, Grilo e Zezo, localizados no município de Iporanga, a su-sudoeste do Estado de São Paulo, na região do alto curso do rio Ribeira, no distrito espeleológico do Vale do Ribeira (KARMANN e SANCHEZ 1986 e KARMANN 1994, figura 1)

Geomorfologicamente, a área a ser estudada encontra-se sobre o flanco sudoeste da Serra de Paranapiacaba, de relevo montanhoso, com

amplitudes topográficas de até 700 metros. Esta região constitui uma zona de transição entre o Planalto Atlântico e a Baixada Costeira chamada de Serrania do Ribeira, da Zona da Serrania Costeira da Província Geomorfológica Costeira, segundo a Classificação Geomorfológica de ALMEIDA (1964), adotada e adaptada pelo mapa geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT 1981a).

Na Serrania do Ribeira existem os altiplanos interiores (IPT *op. cit.*) e as áreas carbonáticas estudadas são situadas em um destes altiplanos, chamado Planalto do Lajeado, cortado transversalmente pelo rio Betari, que representa o nível de base. No Planalto do Lajeado encontra-se uma superfície cárstica delimitada por sumidouros, dolinas, ressurgências, cavernas e outras feições cársticas. Nesta área predomina um padrão geral de serras alongadas e retilíneas (Serra do Gurutuba, da Onça Parda, da Biquinha e a Serra da Boa Vista - que atinge os 1000 metros de altitude - constituídas de metassedimentos terrígenos) que se alternam com um relevo menos elevado de rochas carbonáticas.



**Figura 1 – Localização da área de estudo**

O clima do Vale do Ribeira, de um modo geral é classificado como tropical úmido (GUTJAHR 1993), onde não são observados períodos de seca total. O índice de pluviosidade médio varia entre 1500 e 1850 mm, sendo que a média de 1974 a 1993 foi de 1604 mm (KARMANN *op. cit.*). A cobertura vegetal densa é típica de mata Atlântica.

## DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS CÁRSTICOS ESTUDADOS

Os rios Roncador, Furnas e Córrego Grande, que apresentam águas que correspondem àquelas das ressurgências dos sistemas cársticos estudados (Pérolas-Santana, Grilo e Zezo respectivamente) representam tributários da margem direita do Rio Betari, que por sua vez é afluente da margem

esquerda do Rio Ribeira. Tais sistemas apresentam seus sumidouros localizados em altitudes que variam de 550 a 750 metros acima do nível do mar enquanto suas ressurgências estão próximas do nível do rio Betari, a 250-300 m aproximadamente.

Os sistemas cársticos Pérolas-Santana, Grilo e Zezo são do tipo misto onde devido ao rebaixamento topográfico da superfície carbonática em relação as rochas não carbonáticas ao redor, ocorre importante injeção d'água alogênica em relação a recarga autogênica dos aquíferos cársticos (KARMANN *op. cit.*). Os sistemas estudados apresentam mais de 10 km de condutos mapeados que concentram nas proximidades dos sumidouros e das ressurgências dos mesmos.

Os sistemas estudados (figura 2) apresentam as seguintes características:

**Pérolas-Santana:** apresenta o sumidouro principal no Córrego Mendes, a 150 metros da entrada principal da Caverna de Pérolas e a ressurgência principal se encontra na entrada da caverna de Santana. Além de Santana e Pérolas é constituído das cavernas Tobias e Lage Branca.

**Grilo:** apresenta sumidouro principal no córrego Sumido e é constituído da caverna Grilo, importante ressurgência subterrânea e principal afluente do rio Furnas. A área de captação e o seu principal sumidouro foram comprovados por AYUB (1998).

**Zezo:** o seu principal sumidouro localiza-se no Córrego Consteca e apresenta a sua ressurgência principal na caverna Zezo. O sistema apresenta também um sumidouro secundário próximo da nascente do rio Furnas.

### **GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL DA ÁREA DE ESTUDO**

A área estudada é inserida em um complexo de rochas supracrustais vulcano-sedimentares, de grau metamórfico baixo a médio, denominado genericamente de Grupo Açungui, cuja parte basal é formada de gnaisses e migmatitos, localmente charnockitos e com intercalações metassedimentares de grau metamórfico médio a

alto. No sudoeste de São Paulo predominam as rochas supracrustais (CAMPANHA 1991).

Os terrenos cársticos que foram estudados pertencem às Formações Bairro da Serra e Betari, que fazem parte do Subgrupo Lajeado, definidos por CAMPANHA (*op. cit.*). O Subgrupo Lajeado é constituído de uma seqüência metassedimentar de grau metamórfico baixo (zona da clorita), nas proximidades do Gabro de Apiaí. A Formação Betari é a unidade basal do Subgrupo Lajeado e é formada por dois membros: membro basal e membro superior. O membro basal é formado de metarenitos, metarenitos arcossianos e arenitos heterogêneos. O membro superior é formado de estratificações e o contato entre os dois membros é gradacional. A Formação Bairro da Serra apresenta unidades de natureza carbonática, com ampla distribuição na área, formadas de metacalcários, sendo em geral calcíticos e localmente dolomíticos, com intercalações de filitos sericíticos e siltes carbonáticos.

### **ELABORAÇÃO DO MAPA DE VULNERABILIDADE INTEGRADA ATRAVÉS DO PROGRAMA SINTACS**

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade integrada foi usado um programa de cálculo específico para avaliação da vulnerabilidade intrínseca realizado pelo Grupo Nacional pela Defesa das Catástrofes Hidrológicas do CNR, Itália.

O programa (CIVITA 1990, 1994; CIVITA e DE MAIO 1997, 2000) é baseado num sistema paramétrico de pontuação e pesos, que foi especialmente adaptado ao ambiente cárstico e experimentado com sucesso em algumas das principais áreas cársticas italianas (CIVITA *et al.* 1991; CIVITA 1995).



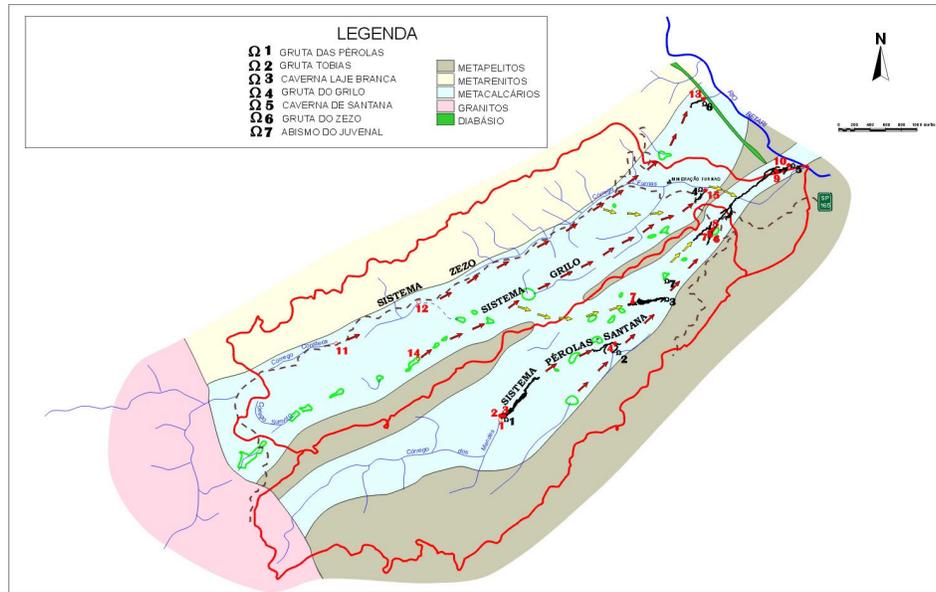


Figura 2 – Mapa hidrogeológico simplificado da área com os sistemas cársticos (AYUB 1998)

Pela primeira vez foi utilizado em um país caracterizado como clima tropical.

O acrônimo do programa deriva das iniciais dos sete parâmetros principais (escritos em italiano) que são considerados para a avaliação da vulnerabilidade intrínseca de uma área de estudo:

- Soggiacenza: distância vertical do nível do freático até a superfície externa do sistema em questão;
- Infiltrazione efficace: infiltração que realmente penetra no solo;
- Non saturo: compreende a zona entre a superfície do freático e a base da camada de solo antes da superfície externa. Esta zona insaturada é a segunda linha de defesa do aquífero em questão pois a primeira é o solo;
- Copertura: tipo de solo que cobre a área cárstica;
- Acquifero: constitui-se das características hidrogeológicas do aquífero;
- Conducibilità idraulica: condutibilidade hidráulica do aquífero;
- Superficie (acclività): declividade do terreno.

O programa requer que a área de estudo seja dividida em uma malha de quadrados elementares cujas dimensões devam ser as menores possíveis

permitindo assim a caracterização da heterogeneidade do aquífero cárstico. É claro que a dimensão destes quadrados dependerá do grau de conhecimento do território, ou seja, do conhecimento efetivo dos valores dos sete parâmetros necessários para cada um destes quadrados. Para a área estudada (24,2 km<sup>2</sup>), foi realizado uma base cartográfica na escala de 1:25.000. A malha foi elaborada em quadrados com lados que correspondem a 200 metros. Para cada quadrado é definida uma série de características geológicas, hidrogeológicas, pedológicas, hidrodinâmicas, etc, que são combinadas entre si para a obtenção dos parâmetros utilizados no programa SINTACS. O programa após haver calculado para cada um dos parâmetros um peso correspondente segundo uma avaliação da específica da situação hidrologia ou de impacto para cada quadrado calcula a vulnerabilidade intrínseca da região como um todo. O valor numérico, assim obtido para cada quadrado, é transformado em porcentagem e subdividido em 6 classes de vulnerabilidade (extremamente elevada, muito elevada, alta, média, baixa, muito baixa ou nula) que vêm representadas num mapa com diferentes cores. O mapa de vulnerabilidade integrada é deste modo, obtido através do mapa de vulnerabilidade

intrínseca onde foram calculados todos os produtores ou redutores em potencial de contaminação de um aquífero cárstico.

Este mapa é fundamental porque fornece uma base indispensável para um correto planejamento do território e também porque diferentemente dos mapas normais de Hidrogeologia. Este é facilmente compreensível por aqueles que não são da área, sendo fácil o serviço das autoridades locais, que na realidade devem transformar em regras as indicações do mapa a fim de garantir a manutenção da qualidade, através do tempo, das águas que são contidas em um determinado aquífero cárstico.

## PARÂMETROS SINTACS

### 1. ZONA VADOSA

O termo italiano *soggiacenza* corresponde a espessura da zona vadosa.

Na área de estudo foi atribuído peso 1 para a região dos filitos, granitos e a do dique de diabásio. Para a zona do córrego Mendes peso 10 significando que a distância da zona vadosa é muito baixa. Os sistemas Grilo e Zezo recebem peso 8, os metarenitos, a área da caverna de Pérolas peso 2 e a área que compreende as cavernas de Tobias e Santana recebem o peso de 1 por apresentarem maior zona vadosa. Atribui-se um peso de 3 para as áreas que compreendem as cavernas Grilo e Zezo.

Tabela 1 – Classes de espessuras da zona vadosa determinadas na área dos sistemas cársticos de Pérolas-Santana, Grilo e Zezo e relativas pontuações

Espessuras da zona vadosa	Pontuação SINTACS
Córrego Mendes	10
Sistemas Grilo e Zezo	8
Metarenitos	7
Cavernas Grilo e Zezo	3
Caverna Pérolas	2
Cavernas Tobias e Santana	1
Filitos, granitos e dique de diabásio	1

### 2. INFILTRAÇÃO

A região estudada apresenta uma notável quantidade de precipitação anual cuja média é de 1604 mm (última série histórica). Considerando-

se uma evapotranspiração elevada (acima de 70%), aos litotipos presentes e ao índice de fraturamento e carstismo considera-se uma infiltração média para a área onde encontram-se os sumidouros e uma infiltração baixa para as outras áreas. As pontuações SNTACS para o parâmetro infiltração podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2 – Classes de tipologia de infiltração eficaz determinadas na área dos sistemas cársticos de Pérolas-Santana, Grilo e Zezo e relativas pontuações

Infiltração	Pontuação SINTACS
Sumidouros	5
Metarenitos, granitos, filitos	2
Dique de diabásio	2
Ressurgências e cavernas	2

### 3. EFEITO DE AUTODEPURAÇÃO DA ZONA INSATURADA

A zona insaturada é a parte do subsolo que se encontra entre a base do solo e a zona saturada (zona de oscilação) do aquífero. Esta zona é sujeita a oscilações verticais da água subterrânea, e limitada na sua parte inferior pela superfície piezométrica.

Para o cálculo do efeito de autodepuração da zona insaturada da área de cárstica de Pérolas-Santana, Grilo e Zezo foram utilizados dados da coluna estratigráfica segundo CAMPANHA (1991). Foram efetuados trabalhos de campo onde realizou-se interpretações da média dos dados observados em cada quadrado da malha construída. Deste modo, foi atribuído peso 10 aos sistemas cársticos e drenagens, ou seja, não existe nenhuma depuração por parte das rochas ali presentes. Verifica-se ainda que o efeito de depuração aumenta gradativamente conforme se afasta dos sistemas cársticos e drenagens estabelecendo peso 9 e 8 para estas zonas. As áreas cobertas por filitos ganham peso 1 (o mesmo ocorrendo com os granitos) pois são quase impermeáveis e o pouco de água que penetra o faz de modo muito lento. Já para as áreas cobertas com metarenitos o peso atribuído é 4 devido a uma razoável permeabilidade das mesmas.

Tabela 3 – Classes do efeito de autodepuração da zona insaturada dos sistemas cársticos de Pérolas-Santana, Grilo e Zezo e relativas pontuações

Efeito de autodepuração da zona insaturada	Pontuação SINTACS
Sistemas cársticos e drenagens superficiais	10
Área laterais aos sistemas cársticos e drenagens superficiais	9-8
Metarenitos	4
Filitos, granitos e dique de diabásio	1

#### 4. TIPOLOGIA DE COBERTURA DE SOLOS

Os solos presentes na área de estudo apresentam geralmente espessura elevada, ou seja, acima de 1 metro, com exceção das áreas onde se localizam os sistemas cársticos e a zona do dique de diabásio. Nestes locais se podem observar afloramentos de rocha onde quase não existe solo. A permeabilidade é baixa nas áreas onde encontramos filito mas é elevada nas áreas onde se apresentam outras rochas atingindo valores máximos na zona dos sistemas cársticos. Para o cálculo do tipo de cobertura vegetal foram coletados dados observados em campo segundo a tabela.

As classes de solo são representadas pelos solos franco argiloso e franco limoso desenvolvidos a partir das rochas carbonáticas e fíliticas respectivamente. O solo franco arenoso corresponde as rochas metareníticas da Serra da Boa Vista que se encontram a noroeste da área. Onde encontramos os sistemas cársticos com suas respectivas drenagens verificamos que existe pouco ou quase nenhuma cobertura de solo e sim rochas aflorantes.

Tabela 4 – Classes de tipologia de cobertura vegetal determinadas na área dos sistemas cársticos de Pérolas-Santana, Grilo e Zezo e relativas pontuações

Tipologia de cobertura	Pontuação SINTACS
Sutil o ausente	10
Franco arenoso	6
Franco limoso	4
Franco argiloso	3

#### 5. AQÜÍFERO

O aquífero é a zona saturada ou seja, é a zona freática que se encontra no interior de um complexo hidrogeológico.

O aquífero caracterizado pelos sistemas cársticos Pérolas-Santana, Grilo e Zezo é caracterizado de uma permeabilidade muito alta devido ao alto carsticismo e fraturamento das rochas carbonáticas. Os sistemas apresentam velocidade alta para os fluxos d'água sobretudo porque se tratam de sistemas de condutos o que se pode concluir que são muito vulneráveis a altas concentrações de contaminantes hidroveciculáveis, determinadas somente da diluição.

Tabela 5 – Classes de tipologia de aquífero determinadas na área dos sistemas cársticos de Pérolas-Santana, Grilo e Zezo e relativas pontuações

Tipo de aquífero	Pontuação SINTACS
Sistemas cársticos e drenagens superficiais	10
Áreas laterais aos sistemas cársticos	8-9
Metarenitos	4
Filitos, granitos e dique de diabásio	1

#### 6. CONDUTIBILIDADE HIDRÁULICA

Nos sistemas cársticos estudados foram efetuados testes com traçadores fluorescentes (rhodamina-WT) por AYUB (1998) com o objetivo de determinar as rotas de fluxo de tais sistemas como também a velocidade e a vazão dos mesmos. Foram detectados neste trabalho perdas de água dos Sistema Zezo para o Sistema Grilo e também deste último para o Sistema Pérolas-Santana o que se pode concluir que se trata de um sistema cárstico único. Para o sistema Pérolas-Santana os testes com traçador deram resultados em torno de 3,6 cm/s. Portanto, atribuiu-se pesos de elevada condutibilidade para a áreas dos sistemas cársticos e áreas laterais a estes e pesos baixos para outros litotipos.

Tabela 6 – Classes de condutibilidade hidráulica na área dos sistemas cársticos de Pérolas-Santana, Grilo e Zezo e relativas pontuações

<b>Condutibilidade hidráulica</b>	<b>Pontuação SINTACS</b>
Sistemas cársticos e drenagens superficiais	10
Áreas laterais aos sistemas ticos	8-9
Metarenitos e granitos	2
Filitos e dique de diabásio	1

#### 7. DECLIVIDADE DA SUPERFÍCIE TOPOGRÁFICA

A declividade da área de estudo é muito variada havendo desde trechos de planície até trechos de declividade muito elevada. Para o cálculo da pontuação para o parâmetro declividade foi utilizada uma base topográfica 1:25.000, que permitiu de determinar 5 classes de pendência, expressas em percentual: uma primeira faixa entre 1 e 15 %, uma entre 15 e 19%, uma entre 20 e 24%, uma entre 25 e 29% e finalmente superior a 30%.

Tabela 7 – Classes de declividade determinadas na área dos sistemas cársticos de Pérolas-Santana, Grilo e Zezo e relativas pontuações

<b>Declividade da superfície topográfica (%)</b>	<b>Pontuação SINTACS</b>
<15	5
15-19	4
20-24	3
25-29	2
> 30	1

#### MAPA DE VULNERABILIDADE INTRÍNSECA E INTEGRATA

O mapa de vulnerabilidade intrínseca é obtido através da sobreposição das 7 cartas dos parâmetros SINTACS brevemente descritos. A este foi aplicado o peso correspondente a área de rocha fraturada, visto que prevalece este tipo de permeabilidade nas rochas carbonáticas presentes no aquífero.

O mapa de vulnerabilidade intrínseca assim obtido evidencia, na maior parte da área de recarga do aquífero cárstico, a baixa e a baixíssima vulnerabilidade (acumulativamente além de 50%). Isto ocorre devido ao fato que a área de estudo apresenta rochas praticamente impermeáveis (não carbonáticas) e os metacalcários aflorantes consentem apenas uma

pequena infiltração por causa dos espessos solos quase impermeáveis.

As áreas de elevada e elevadíssima vulnerabilidade, respectivamente 5% e menos de 3% do total, correspondem a sumidouros e zonas de percolação direta nos rios subterrâneos principais. Portanto, mais da metade da área cárstica é caracterizada por haver uma vulnerabilidade média (11%) e uma vulnerabilidade alta (21%).

O mapa de vulnerabilidade integrada, que se obtém através da sobreposição dos pontos de perigo real e potencial de contaminação ao mapa de vulnerabilidade intrínseca, evidencia os poucos centros de perigo a montante das ressurgentes, que não podem influenciar praticamente na qualidade das águas. Portanto, no momento, pode-se considerar que o risco de contaminação do Sistema cárstico Pérolas-Santana é muito baixo.

#### CONCLUSÕES

O programa SINTACS tem-se demonstrado valido para a caracterização da vulnerabilidade intrínseca também em países de ambiente tropical, apenas necessitando de algumas adaptações a regra de pontuação e também as peculiaridades da área de estudo.

Naquilo que concerne a qualidade das águas armazenadas no sistema cárstico Pérolas-Santana o risco de contaminação resulta ser atualmente mínimo mesmo porque a existência de um parque natural, que abrange boa parte do sistema (o restante esta contido em área de APA – Área de Proteção Ambiental) deve ser uma garantia suficiente para a proteção de suas águas.

Entretanto, o notável crescimento da atividade turística nos últimos anos e o provável crescimento futuro, poderá criar condições de perigo a saúde das águas. Esta situação deve ser bem conhecida das autoridades do PETAR. Estas devem, de qualquer modo, evitar uma excessiva frequência e/ou comportamentos não eco-compatíveis na região, cuja vulnerabilidade pode ser controlada através da utilização de programas como o SINTACS, ferramenta importante para a preservação do meio ambiente.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a toda a equipe do PETAR - Parque Estadual e Turístico do Alto Ribeira pela colaboração à pesquisa realizada, ao Instituto Florestal por possibilitar a realização deste trabalho, ao CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico Brasileiro pela bolsa de estudos a doutoranda Soraya Ayub. Um agradecimento especial a Jurandir Aguiar dos Santos, Valdecir e José A. B. Scaleante pela colaboração nos trabalhos de campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. de 1964. Fundamentos geológicos do relevo paulista. In: Instituto Geológico e Geográfico. Geologia do Estado de São Paulo. São Paulo. p.167-262 (IGG Boletim, 41).
- AYUB, S. 1998. Aplicação do corante traçador fluorescente rhodamina-wt no estudo hidrológico e hidrogeológico dos sistemas cársticos Pérolas-Santana, Grilo e Zezo, Município de Iporanga, Estado de São Paulo, São Paulo, 106p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências USP).
- CAMPANHA, G. A. C. (1991). Tectônica proterozóica na alto e médio vale do Ribeira, Estados de São Paulo e Paraná. São Paulo, 296p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/Universidade São Paulo).
- CIVITA M. 1990. Legenda unificata per le carte della vulnerabilità all'inquinamento dei corpi idrici sotterranei. Pitagora, Bologna, 13 p.
- CIVITA M. 1994. Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: Teoria & Pratica. Pitagora, Bologna, 325 p.
- CIVITA M. 1995. Valutazione parametrica della vulnerabilità intrínseca e preparazione della carta della vulnerabilità integrata dell'acquifero alimentante le sorgenti del Peschiera (Rieti). Progres Report n.5 ACEA, Roma.
- CIVITA M., DE MAIO M., 1997. SINTACS: un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Pitagora Editrice, Bologna,, 200 pp.
- CIVITA M., DE MAIO M., 2000. Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con il sistema parametrico SINTACS R5. Pitagora Editrice, Bologna, 228 pp.
- CIVITA M., FORTI P., MARINI P., MECCHERI M., MICHELI L., PICCINI L., PRANZINI G. 1991. Carta della vulnerabilità all'inquinamento delle Alpi Apuane 1:25.000, Selca, Firenze.
- GUTJAHR, M. R. 1993 Critérios relacionados a compartimentação climática de bacias hidrográficas: a bacia do Rio Ribeira de Iguape. São Paulo, 90p. (Dissertação de mestrado - Departamento de Geografia/FFLCH/Universidade de São Paulo).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO 1981a. Mapa geológico do Estado da São Paulo, escala 1:500.000. São Paulo: IPT/PRÓ-MINÉRIO.
- KARMANN, I. 1994. Evolução e Dinâmica atual do Sistema Cárstico do Alto Vale do Rio Ribeira de Iguape, Sudeste do Estado de São Paulo. São Paulo, 228p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/USP).
- KARMANN, I. e SANCHEZ, L. E. 1986. Speleological Provinces in Brazil. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ESPELEOLOGIA, 9, Barcelona, 1986. Barcelona, IUS. v.1, p.151-153.
- SMART, P. L. and HODGE, P. G. 1979 A pulse wave test at chartreuse, Journal Wessex Cave Club, n.15, v.176, p.132-136.

<p>S</p>	<p>I</p>
<p>Figura 3 – Mapa do parâmetro “Soggiacenza”</p>	<p>Figura 4 – Mapa do parâmetro Infiltração eficaz</p>
<p>N</p>	<p>T</p>
<p>Figura 5 – Mapa do parâmetro “Non Saturo”</p>	<p>Figura 6 – Mapa do parâmetro Tipologia de cobertura de solos</p>
<p>A</p>	<p>C</p>
<p>Figura 7 – Mapa do parâmetro Aqüífero</p>	<p>Figura 8 – Mapa do parâmetro Condutibilidade Hidraulica</p>
<p>X</p>	
<p>Figura 9 – Mapa do parâmetro Declividade</p>	<p>Figura 10 – Mapa da Vulnerabilidade Intrínseca dos sistemas cársticos Pérolas-Santana, Grilo e Zezo</p>