



---

---

## GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO PLANEJAMENTO E GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DE MANANCIAIS

Sandro J. Briski<sup>1</sup>, Eduardo Salamuni<sup>2</sup>, Leonardo J. C. Santos<sup>3</sup>, Luiz E. Mantovani<sup>4</sup>  
Universidade Tuiuti do Paraná – Departamento de Geografia  
LabGeo – Laboratório de Geoprocessamento  
NPGA – Núcleo de Pesquisa em Geografia Aplicada  
Rua Sydnei Antonio Rangel Santos – Ctba – PR  
Telefone: (041) 331-7712 e-mail: [sandro.briskil@utp.br](mailto:sandro.briskil@utp.br)  
Programa de Pós Graduação em Geologia Ambiental – Geologia - UFPR

**Palavras Chave:** Planejamento Ambiental, Bacia Hidrográfica, Geotecnologias.

**Eixo Temático:** Gestão de Bacia Hidrográfica

### 1. INTRODUÇÃO

A proposta para o desenvolvimento deste trabalho tomando como estudo de caso o alto curso superior da bacia hidrográfica do rio Iguaçu, tem suas concepções subsidiadas a partir do desenvolvimento do Relatório Técnico solicitado pelo Ministério Público do Estado do Paraná – Centro de Apoio Operacional às Promotorias de Proteção ao Meio Ambiente no ano de 2001, visando atestar a qualidade da água captada nesta porção da bacia hidrográfica do rio Iguaçu, denominado também de Mananciais da Serra. Situada no setor leste da Região Metropolitana de Curitiba no Estado do Paraná, o tratamento e distribuição da água captada nesta área de mananciais atende, em grande parte, demanda do Município de Curitiba e uma porção de sua região metropolitana.

A elaboração e considerações conclusivas do relatório teve a participação de uma equipe multidisciplinar de técnicos e cientistas vinculados à Universidade Federal do Paraná (UFPR), à Universidade Tuiuti do Paraná (UTP) e ao Ministério Público do Estado do Paraná, além da participação da sociedade representada por políticos e entidades não governamentais (ONGs). Considerando os estudos preliminares constatou-se significativamente a baixa qualidade da água e suas conseqüências relacionadas à integridade da saúde dos indivíduos que fazem uso deste recurso, elemento essencial à qualidade de vida das pessoas.

Observa-se que, a este problema, estão associados outros, que se estabelecem em razão de questões operacionais, e fundamentalmente pelo forte adensamento demográfico que vem sofrendo a região.

---

<sup>1</sup> Professor do Departamento de Geografia - UTP

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Geologia - UFPR

<sup>3</sup> Professor do Departamento de Geografia - UFPR

<sup>4</sup>



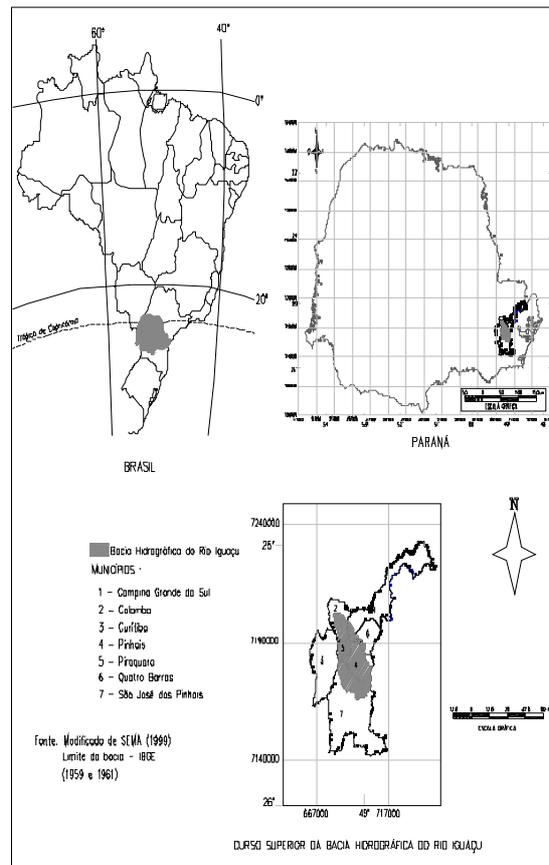
Estas características revelam a importância emergencial da elaboração de trabalhos voltados às questões ambientais que procuram estabelecer conhecimentos concretos do meio abiótico, biótico e antrópico e visam gerar subsídios técnico-científicos que auxiliem o planejamento e a gestão territorial. Desta forma é possível, estabelecer relações mais equilibradas entre a sociedade e o ambiente natural no uso do solo, particularmente em bacias hidrográficas que são definidas como mananciais.

Para tanto, neste trabalho são utilizados os conhecimentos e princípios de Geologia Ambiental e de Geografia associados a avaliações geotécnicas, com o intuito de atender objetivos básicos que visam compreender processos históricos do adensamento demográfico e suas consequências ambientais. Foram, portanto elaborados produtos cartográficos entre eles as cartas de fragilidade Potencial e Emergente fornecendo um conjunto de informações sobre o meio físico e antrópico para subsidiar propostas e diretrizes que auxiliem a formulação de modelos adequados ao planejamento e gestão territorial da região enfocada.

Na bacia hidrográfica do Alto Iguaçu em seu curso superior encontram-se os tributários formadores do rio Iguaçu no Estado do Paraná, responsáveis por uma parcela significativa do abastecimento público de água tratada de Curitiba e parte de sua região metropolitana. Este recorte espacial constituído pelos divisores de água, formadores da bacia hidrográfica, apresenta área de 568 Km<sup>2</sup>, localizada no Primeiro Planalto Paranaense e nos contrafortes ocidentais da Serra do Mar, entre as coordenadas geográficas: Oeste 48° 57' 22" e 49° 11' 13", e Sul 25° 16' 45" e 25° 36' 57", a leste do Município de Curitiba. Engloba parte dos Municípios de Campina Grande do Sul, Colombo, Piraquara, Pinhais, Quatro Barras e São José dos Pinhais (Figura 01).



FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IGUAÇU (PR)



Justifica-se a determinação desta área como objeto de estudo em razão de alguns fatores relacionados a seguir:

- A região apresenta uma diversidade significativa de estruturas do meio físico, e, portanto, as formas de ocupação e utilização deste espaço territorial deveriam levar em consideração estas diferenças, estabelecendo-se formas adequadas e menos agressivas ao meio natural, através de planejamentos e modelos gestores eficientes para a região;
- Em função do forte potencial de recursos naturais que apresenta a região, atendendo algumas das várias necessidades humanas, e essencialmente os recursos hídricos utilizados atualmente para tratamento e abastecimento público, os quais vem perdendo significativamente sua qualidade em função de questões operacionais e administrativas que se contrapõe às formas mais adequadas de uso e ocupação do espaço territorial;
- Pelo forte adensamento populacional que vem sofrendo a região, sobre áreas com aspectos diferenciados de fragilidade ambiental potencial e emergente, as quais estão ocupadas de forma desordenada ocasionando perda do equilíbrio natural, e favorecendo o aumento do risco de acidentes geológicos-ambientais.



## 2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O desenvolvimento do trabalho utiliza, como apoio, além da pesquisa bibliográfica, ferramentas geotecnológicas tais como a cartografia digital como base para o Geoprocessamento com a utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG), que associadas ao Sensoriamento Remoto, servem como subsídios para análises e tomadas de decisões relacionadas às fragilidades potenciais e emergentes do meio físico “natural” e antropizado.

Para o desenvolvimento do trabalho foi necessário a construção de um banco de dados teóricos e cartográficos, tanto em meio gráfico quanto alfanumérico georreferenciados e inter-relacionados, utilizando-se geotecnologias através do geoprocessamento com a confecção de SIG, o uso de técnicas de Sensoriamento Remoto, por sua vez estabelece mecanismos eficazes para a discussão de conceitos já estabelecidos e produzir produtos cartográficos temáticos, como base para análise e formulação de conceitos direcionados ao planejamento e gestão territorial de bacias hidrográficas com competências para abastecimento público de água.

Optou-se em trabalhar com as metodologias a partir do conceito de Ecodinâmica (Tricart, 1977), dos conceitos estabelecidos no Programa de Informações para Gestão Ambiental (Theodorovicz, 1994) e a metodologia da compartimentação empírica integrada à dinâmica das unidades de paisagens (Ross, 1997), procurando-se estabelecer as adaptações pertinentes a área de estudo e aos resultados pretendidos.

Assim sendo o trabalho foi realizado através de pesquisas bibliográficas teóricas e conceituais, pesquisas de campo e trabalhos de laboratório.

As pesquisas bibliográficas foram direcionadas à busca dos conceitos e teorias já estabelecidas, possibilitando discussões direcionadas à formulação de novas propostas e estratégias eficazes ao planejamento e gestão ambiental com vistas à ocupação territorial.

As pesquisas de campo serviram para a constatação de informações já existentes da área, além da constatação de novas informações observadas *in loco*. Estas foram fundamentais para a elaboração supervisionada de cartas temáticas com georreferenciamento de dados pontuais, importantes para o apoio técnico na confecção das cartas com informações especializadas.

Na fase laboratorial ocorreu a formulação e manipulação de dados quantitativos e qualitativos, usando-se como base a integração das informações obtidas nas fases anteriores. A construção da base digital cartografada auxiliou nas análises, onde foram



elaboradas cartas temáticas para a avaliação do meio natural para apontar possíveis conseqüências atribuídas ao modo de uso e ocupação atuais do solo, estabelecendo-se informações pretéritas e contemporâneas relacionadas à área de estudo. Os produtos cartográficos, juntamente com os produtos de Sensoriamento Remoto foram indispensáveis para alcançar os objetivos propostos no trabalho. Os principais são relacionados a seguir:

- Carta Planialtimétrica, com informações de altimetria, rede viária e rede de drenagem superficial. Esta auxiliou nas análises das edificações já estabelecidas, nos modelos de drenagem e nas questões relativas ao relevo local possibilitando gerar novos produtos, ressaltando tais como a hipsometria e o grau de inclinação do terreno, a adequabilidade locacional das estruturas já estabelecidas e a delimitação das áreas mais favoráveis a novas implantações em função das potencialidades geológicas, geomorfológicas e hídricas da região;
- Carta Geológica, com determinação do embasamento litotípico e estrutural da região, correlacionando-se informações pertinentes aos compartimentos geomorfológicos, morfoestruturais e modelos encaixantes da drenagem da região. Estas associadas a outras informações, como a existência de formações superficiais, auxiliou para setorizar, com graus diferenciados, áreas com maior ou menor fragilidade potencial da bacia hidrográfica;
- Carta de Solos, que apresenta as diversificadas classes pedológicas e seu grau de evolução, possibilitou relacionar a evolução pedogenética ao modelo do terreno, além de outras características, que também fundamentaram informações importantes para setorizar áreas de risco ambiental, quanto ao grau de fragilidade potencial;
- Carta Imagem, elaborada a partir da composição colorida das bandas brutas de imageamento de satélite (3, 4 e 5), útil na verificação dos fenômenos e elementos distribuídos na área de estudo, que ao contemplar produtos do meio natural ou já artificializado pela ação do homem, serviram também para a classificação dos elementos semelhantes e possibilitaram gerar a carta de uso e cobertura do solo, fundamental para elaboração da carta de fragilidade emergente da bacia hidrográfica;
- Carta de Uso e Cobertura do Solo do ano de 2002, através deste produto foi possível espacializar, quantificar e qualificar atributos com resposta espectral semelhante, da cobertura do solo e respectivas modalidades de ocupação e modificação do meio, estabelecidas através das ações antrópicas. Tal produto foi gerado a partir de imagens de satélite brutas e composições de bandeamento, que quando, cruzadas com



informações da fragilidade potencial, gerou através da estipulação de classes pré-definidas a carta de fragilidade emergente;

- Fotointerpretação Multitemporal, possibilitou o acompanhamento pretérito e contemporâneo da evolução dos modelos de ocupação que se estabeleceram na região, bem como a quantificação visual do atual adensamento demográfico, bem como as áreas que estão sofrendo maiores pressões em função da desordenada ocupação e uso do solo. Foram utilizadas um conjunto de fotografias aéreas e imageamentos de satélite, ambos obtidos em datas distintas.

Através da interpretação e manipulação das informações contidas de forma qualitativa e quantitativa, espacializadas e cartografadas nos produtos acima mencionados, foi possível realizar o cruzamento das mesmas utilizando-se para tanto a programação LEGAL (linguagem espacial para Geoprocessamento algébrico) em ambiente SIG, ferramenta disponível na operação de simultaneidade booleana no *software* SPRING 4.0, que apresenta o operador do tipo  $A \text{ AND } B$  ou lógica intersecção.

Destes cruzamentos possibilitou-se gerar informações, indicando as áreas com diferentes respostas à fragilidade ambiental natural, denominada de potencial, e à fragilidade frente ao modo de uso e ocupação do solo denominada de emergente, imprescindíveis na determinação do zoneamento ambiental e avaliação de conflitos de uso do solo atuais no recorte espacial estabelecido pela bacia hidrográfica.

### 3. DISCUSSÕES E RESULTADOS

A identificação das diferentes classes de fragilidade ambiental, naturais e induzidas por atividades antrópicas, ocorreu através de análises e avaliações agrupadas de elementos e fenômenos com características de comportamento semelhantes, em estado sistêmico natural ou frente a diferenciados modelos de uso e ocupação do solo que formam sistemas artificializados.

A indicação das áreas com fragilidade potencial ocorreu relacionando-se o comportamento mecânico das rochas, em relação às inclinações do relevo, à situação de potencialidade de percolação e saturação hídrica e à movimentação de massa. Este conjunto de dados gerou uma série de informações denominadas de fragilidade litoestrutural que foram adaptadas segundo a metodologia sugerida por Ross (1997) e Theodorovicz (1994) observadas no Quadro 1.

QUADRO 1: Fragilidade Litoestrutural da Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Iguaçu



GEOLOGIA Litoestrutural	CLINOGRÁFIA - Graus de inclinação determinados através da altimetria do terreno.							
	0 A 5°	5° A 10°	10° A 20°	20° A 30°	30° A 40°	40° A 50°	50° A 60°	60° A 86°
01	Muito Fraca	Fraca	Fraca	Média	Média	Forte	Forte	Muito Forte
02	Muito Fraca	Fraca	Fraca	Média	Média	Forte	Forte	Muito Forte
03	Muito Fraca	Muito Fraca	Fraca	Fraca	Média	Média	Forte	Forte
04	Muito Fraca	Muito Fraca	Muito Fraca	Fraca	Fraca	Média	Média	Forte
05	Muito Fraca	Fraca	Média	Média	Forte	Forte	Muito Forte	Muito Forte
06	Muito Fraca	Fraca	Média	Média	Forte	Forte	Muito Forte	Muito Forte
07	Muito Fraca	Muito Fraca	Muito Fraca	Fraca	Fraca	Média	Média	Forte
08	Muito Fraca	Fraca	Fraca	Média	Média	Forte	Forte	Muito Forte

Legenda da distribuição e agrupamento geológico litoestrutural:

01 – Terrenos Aluvionares, Colúvios; 02 – Depósito de Talude, Formação Guabirotuba; 03 – Diques; 04 – Granito Suíte Serra do Mar, Granito Intrusivo Sub-alcálico, Microgranitos Intrusivos; 05 – Grupo Açungui; 06 – Formação Guaratubinha; 07 – Anfíbolitos, Gnaisses Granodioritos, Gnaisses Granitos, Migmatitos Indiferenciados; 08 – Falhas, Diáclases.

Da mesma maneira trabalhou-se com as características da cobertura pedológica da bacia hidrográfica agrupando classes de solos com características semelhantes quanto ao comportamento mecânico. Relacionou-se a classificação aos índices de inclinação do terreno e suas pré-disposições aos efeitos de erosividade e erodibilidade, denominado de fragilidade da cobertura superficial, podendo ser observado no Quadro 2.

QUADRO 2: Fragilidade da Cobertura Superficial da Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Iguaçu

COBERTURA SUPERFICIAL	CLINOGRÁFIA - Graus de inclinação determinados através da altimetria do terreno.							
	0 A 5°	5° A 10°	10° A 20°	20° A 30°	30° A 40°	40° A 50°	50° A 60°	60° A 86°
01	Média	Média	Forte	Muito Forte	Muito Forte	Muito Forte	Muito Forte	Muito Forte
02	Fraca	Fraca	Média	Forte	Forte	Forte	Muito Forte	Muito Forte
03	Muito Fraca	Muito Fraca	Fraca	Média	Forte	Forte	Forte	Forte
04	Muito Fraca	Muito Fraca	Fraca	Média	Forte	Forte	Forte	Forte
05	Muito Fraca	Muito Fraca	Muito Fraca	Fraca	Média	Média	Forte	Forte
06	Fraca	Fraca	Média	Forte	Forte	Forte	Muito Forte	Muito Forte
07	Muito Fraca	Muito Fraca	Muito Fraca	Fraca	Média	Média	Forte	Forte

Legenda da distribuição e agrupamento das classes da cobertura superficial:

01 – Solos Litólicos associados a Afloramento de Rocha; 02 – Cambissolos; 03 – Hidromórficos Gleyzados; 04 – Orgânicos; 05 – Latossolos; 06 – Podzólicos; 07 – Rubrozem.



Para a qualificação e quantificação das diferentes áreas de fragilidade potencial do recorte espacial, estabelecido pela bacia hidrográfica, realizou-se o cruzamento dos resultados obtidos entre as informações da fragilidade litoestrutural e da fragilidade da cobertura superficial, obtendo-se como resultado as seguintes classes da dinâmica da fragilidade potencial ambiental da região, observadas no Quadro 3.

QUADRO 3: Fragilidade Potencial da Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Iguaçu

FRAGILIDADE LITOESTRUTURAL	FRAGILIDADE DA COBERTURA SUPERFICIAL				
	MUITO FRACA	FRACA	MÉDIA	FORTE	MUITO FORTE
MUITO FRACA	Muito Fraca	Fraca	Fraca	Média	Forte
FRACA	Fraca	Fraca	Média	Forte	Forte
MÉDIA	Fraca	Média	Média	Forte	Muito Forte
FORTE	Média	Forte	Forte	Muito Forte	Muito Forte
MUITO FORTE	Forte	Forte	Muito Forte	Muito Forte	Muito Forte

Os resultados da classificação diferenciada de áreas com potencialidades de fragilidade do meio natural, puderam então ser espacializadas e representadas cartograficamente, como observado na Figura 2.

Esta primeira fase de integração dos elementos formadores do meio físico, representados pela geologia, pedologia e rugosidade do relevo, responsáveis pela indicação da fragilidade potencial, fundamentaram a designação da fragilidade emergente da bacia hidrográfica representada espacialmente na Figura 3.

Classificando-se e subdividindo-se os diferenciados modelos de uso e cobertura do solo em sete classes distintas, posteriormente realizou-se o cruzamento com as cinco classes pré-definidas atribuídas ao grau de quantificação da fragilidade potencial (Quadro 3), resultando por sua vez em cinco classes que apontaram diferenciados níveis de fragilidade emergente, as quais podem ser observadas no Quadro 4, resultantes das combinações entre uso e cobertura do solo com as características naturais sistêmicas da região.

QUADRO 4: Fragilidade Emergente da Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Iguaçu

FRAGILIDADE POTENCIAL	USO E COBERTURA DO SOLO (2002)						
	01	02	03	04	05	06	07
MUITO FRACA	Muito Forte	Forte	Muito Fraca	Muito Forte	Forte	Muito Fraca	Muito Forte
FRACA	Fraca	Fraca	Muito Fraca	Fraca	Forte	Muito Fraca	Fraca

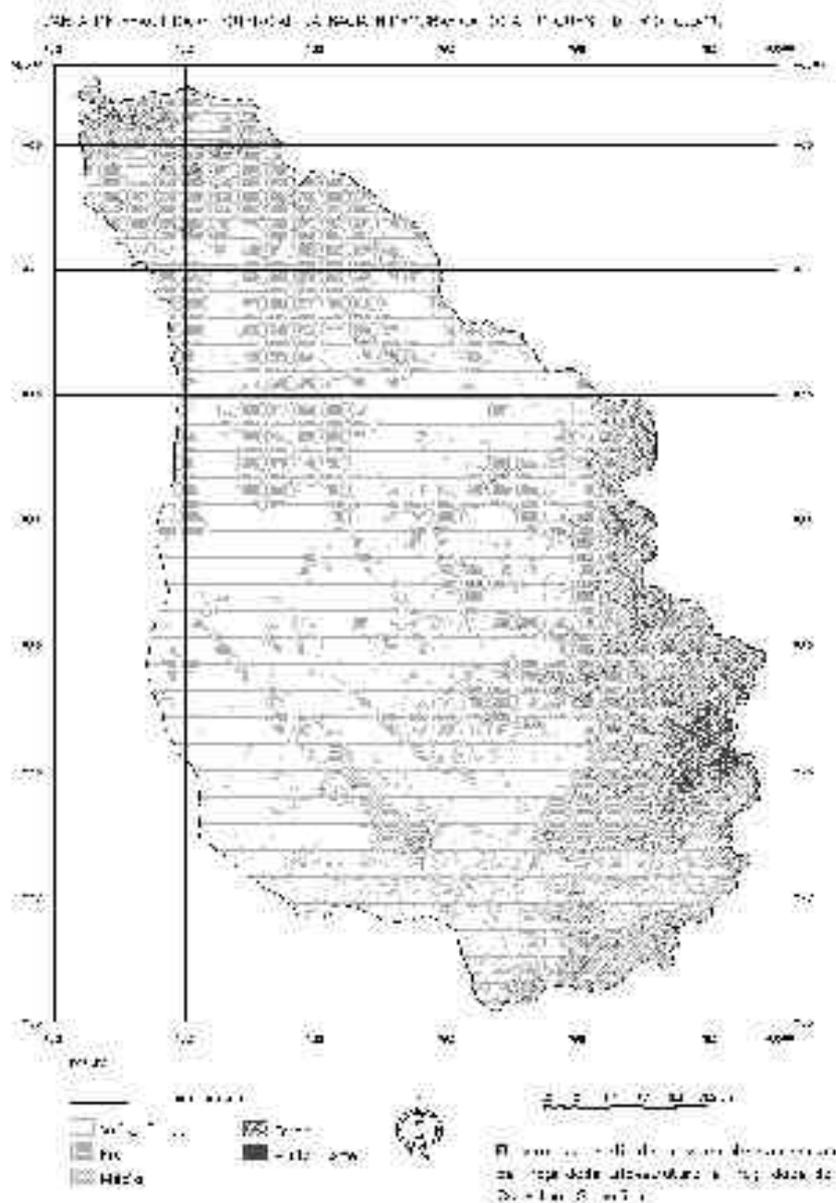


MÉDIA	Forte	Média	Muito Fraca	Muito Forte	Muito Forte	Muito Fraca	Média
FORTE	Muito Forte	Muito Forte	Muito Fraca	Muito Forte	Muito Forte	Muito Fraca	Forte
MUITO FORTE	Muito Forte	Muito Forte	Muito Fraca	Muito Forte	Muito Forte	Muito Fraca	Muito Forte

Legenda da distribuição e agrupamento das classes da cobertura superficial:

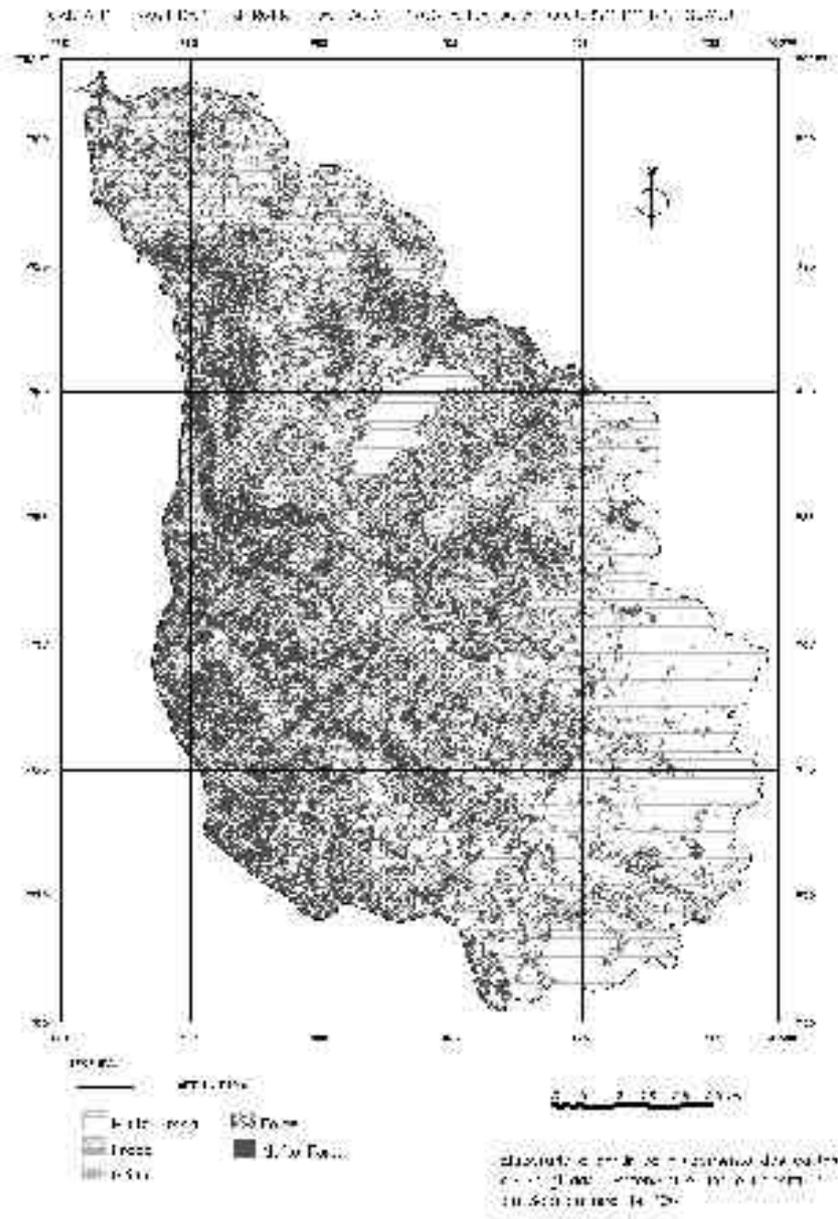
01 – Agricultura; 02 – Campo/Pastagem; 03 – Corpos d' Água; 04 – Ocupação; 05 – Solo Exposto; 06 – Vegetação; 07 – Vias de Acesso.

Figura 2 – Carta de Fragilidade Potencial da Bacia Hidrográfica do Alto Curso Superior do Rio



Iguaçu

Figura 3 – Carta de Fragilidade Emergente da Bacia Hidrográfica do Alto Curso Superior do Rio Iguaçu



Através da atribuição indicativa das potencialidade de fragilidade potencial e emergente considerando as características naturais do ambiente e os modelos de uso e ocupação do solo, é possível classificar a adequação da utilização de zonas respeitando suas potencialidades e capacidades de carga para uso e exploração de recursos, bem como definir espaços que, necessariamente, devem ser mantidos inalterados, ou seja com preservação de suas características naturais.

É, também, possível estabelecer prováveis inadequações de utilização de espaços geográficos, contrapondo-se ao melhor aproveitamento do sistema ambiental, gerando desta forma, invariavelmente, conseqüências desestabilizadoras do ambiente geossistêmico e ecossistêmico em escalas multivariadas.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS



No contexto da atualidade ambiental, onde cada vez é mais claro o contra-senso das disponibilidades em relação às necessidades por recursos e espaços a serem ocupados, evidencia-se a importância em se aprimorar e desenvolver novas técnicas voltadas à definição das capacidades dos sistemas ambientais.

Nesta missão de concatenar as características dos fenômenos e elementos formadores dos sistemas ambientais com as necessidades de recursos e espaços, as geotecnologias cumprem o papel de representar de maneira realista o comportamento e possíveis modificações dos sistemas que possam ser desencadeadas em função da apropriação e construção dos espaços geográficos.

Cabe também ressaltar a importância da avaliação e compreensão dos aspectos geológicos, pedológicos e geomorfológicos, ao se estabelecer relações com os sistemas hidrogeológicos com competências para o abastecimento público, como é o caso específico da área enfocada neste trabalho, a qual vem ao longo dos anos sofrendo fortes pressões de adensamento demográfico contrapondo-se às características naturais da região.

Avaliando os resultados a partir da classificação de áreas com diferentes respostas aos aspectos determinantes da fragilidade potencial, observa-se que de um modo geral a região não é susceptível a processos desestabilizadores de seus aspectos ambientais relativos à movimentação de massa e processos erosivos. As áreas com maiores pré disposições aos efeitos modificadores da estabilidade de seus componentes físicos e biológicos concentram-se em uma porção do extremo norte e extremo leste-sudeste, onde encontram-se as inclinações mais acentuadas da área. Porém, cabe a ressalva de que a este baixo grau de fragilidade ambiental relaciona-se ao modo de uso e cobertura do solo, que, neste caso desconsidera qualquer tipo de atividade antrópica preservando os aspectos naturais deste sistema ambiental.

Quanto ao grau da fragilidade emergente, associada ao modo de uso e ocupação estabelecidos na bacia hidrográfica, os resultados apresentam-se com índice elevado de fragilidade classificada em muito forte e forte em grande parte da região, principalmente, em todo extremo oeste e parte central da bacia. Sendo a área ocupada por densa rede de drenagem, e encontrar-se em uma bacia de sedimentação por rebaixamento, seu nível freático é praticamente aflorante no seu exutório, e em suas amplas planícies de inundação, e por este motivo, passível à contaminações generalizadas através da descarga de efluentes líquidos e descarte de sólidos comprometendo a qualidade dos recursos hídricos utilizados para o abastecimento público. Chama-se atenção para estas áreas que são as mais



rebaixadas da região sujeitas a freqüentes inundações com aumento do índice pluviométrico, e por este motivo insalubres e inadequadas efetivamente à urbanização e outras modalidades de uso rural ou implementação de pólos industriais. Estas áreas apresentam-se também sobre terrenos pouco consolidados inviabilizando diversas modalidades de instalações de obras de engenharia de estruturas urbanas e rurais.

Os produtos e resultados aqui apresentados são mecanismos de fundamentação para a indicação do zoneamento ambiental e das áreas de conflitos de uso, subsidiando propostas e diretrizes que possam auxiliar modelos adequados de planejamento e gestão territorial deste recorte espacial, representado pela bacia hidrográfica do alto curso superior de rio Iguaçu no Estado do Paraná.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Christofoletti, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979.
- Morais, J. O. **Geologia no Planejamento Ambiental. Introdução, definições básicas e conceitos fundamentais**. In: Ceará: Revista de Geologia, 1991, vol. 4. 127 a 154.
- Ross, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 4.ed. – São Paulo: Contexto, 1997.
- Salamuni, Eduardo. **Tectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba (PR)**. Tese (Doutorado em Geologia Regional). – Rio Claro: IBGE – Cp de Rio Claro – UNESP, 1998.
- Theodorovicz, A. **Projeto Curitiba. Informações básicas sobre o meio físico: Subsídios para o planejamento territorial: Folha Curitiba – 1: 100.000**. Curitiba: CPRM, Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba, 1994.
- Tricart, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.