

## **Análise da vulnerabilidade natural à erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas através de técnicas de geoprocessamento: um subsídio à governança territorial**

Allan Saddi Arnesen<sup>1,2</sup>  
Janaina Sant'Ana Maia<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
allansa@dsr.inpe.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC  
Caixa Postal 476 - 88040-970 - Florianópolis - SC, Brasil  
jan\_maia76@yahoo.com.br

**Abstract.** This study analyzed the natural erosion vulnerability of a watershed, using geoprocessing techniques aiming to subsidize planning and the territorial governance. The study area was the Tijucas River Basin (SC), region that suffered damages with the intense rainfall and erosive processes, such as landslides, in the end of 2008. The methodology applied to generate the natural erosion vulnerability chart was developed by the Crepani et al. (2001) and serves as a subsidy to the Ecological and Economical Zoning, which is an instrument of the National Environment Policy (6.938/97 Law) and the criteria for its elaboration in Brazil are disposed on the 4.297/02 Decree. It was used the Thematic Charts of RADAMBRASIL Project as cartographic bases and the hydrological data of the rainfall stations of ANA (National Water Agency). The results obtained in this research are the natural erosion vulnerability maps for the subjects of Geology, Geomorphology, Vegetation, Pedology and Climate and the Natural Erosion Vulnerability Map for the studied area. The Tijucas River Watershed presented moderately stable areas (11%), middling stable/vulnerable areas (79%) and moderately vulnerable areas (10%). A municipal analysis of the results was performed, which indicated Canelinha, Itapema and Rancho Queimado as the cities with the largest moderately vulnerable areas. The results were presented in a meeting to representatives of the Tijucas River Watershed committee representatives, and can subsidize future plans, programs and public political programs aimed to the minimize environmental impacts of erosive processes.

**Palavras-chave:** territorial governance, natural erosion vulnerability, geoprocessing, Tijucas River Basin, governança do território, vulnerabilidade natural à erosão, geoprocessamento, Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas.

### **1. Introdução**

As chuvas intensas que atingiram o Estado de Santa Catarina no final do ano de 2008 ocasionaram enchentes, inundações e intensificaram os processos erosivos na região. Com o solo saturado de água, a erosão aumentou, resultando em movimentos de massa que atingiram diversas comunidades do Estado.

Os processos erosivos são fenômenos naturais que obedecem à dinâmica de denudação geológica dos ambientes. Eles são influenciados pelas características naturais do meio, entre elas: geologia (histórico e tipo de rochas), geomorfologia (formas do relevo), cobertura e uso do solo (nível e tipo de cobertura vegetal), pedologia (tipos de solo) e clima (intensidade e distribuição pluviométrica). A ocupação desordenada de áreas naturalmente vulneráveis à ocorrência da erosão tem causado danos nesta região, seja pelos deslizamentos de terra ou pelas enchentes agravadas em função do assoreamento dos rios.

O Zoneamento Ecológico-Econômico busca conciliar o desenvolvimento econômico e a conservação dos recursos naturais por meio da identificação dos locais vulneráveis à erosão, que apresentam incompatibilidade legal de uso e que têm maior aptidão agrícola. O ZEE, ou zoneamento ambiental, é um instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981) e as diretrizes metodológicas para a sua elaboração no Brasil estão dispostas no Decreto 4.297/02 (BRASIL, 2002). Um dos produtos da metodologia de Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) de Crepani et al. (2001) consiste em um mapa de vulnerabilidade à perda

de solo (erosão) com base em informações das características naturais locais. A partir das informações de geologia, geomorfologia, vegetação, da pedologia e clima, extraídas por meio de imagens de satélite, cartas temáticas e dados hidrológicos de estações pluviométricas, determinam-se as unidades territoriais básicas mais vulneráveis à perda de solo.

O objetivo do presente trabalho consistiu na elaboração de um mapa de vulnerabilidade natural da Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas (SC), por meio de técnicas de geoprocessamento, e na apresentação e discussão dos resultados da pesquisa junto aos membros do Comitê desta Bacia. Para tanto, foram utilizadas como bases cartográficas as Cartas Temáticas do Projeto RADAMBRASIL em escala 1:250.000, realizadas em 2004 por meio de imagens de radar pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), as Cartas Topográficas Digitais em escala 1:50.000, digitalizadas em 2004 pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI/CIRAM-IBGE), e as Séries Históricas das Estações Pluviométricas da Agência Nacional das Águas (ANA).

## 2. Metodologia de Trabalho

A Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas (BHRT) localiza-se na Região Hidrográfica RH8 – Litoral Centro de Santa Catarina, apresenta área e perímetro aproximados de 3.027 Km<sup>2</sup> e 447 Km, respectivamente. A BHRT foi uma das regiões afetadas pelos desastres naturais de 2008, a qual abrange treze municípios (Angelina, Biguaçu, Bombinhas, Canelinha, Governador Celso Ramos, Itapema, Leoberto Leal, Major Gercino, Nova Trento, Porto Belo, Rancho Queimado, São João Batista e Tijucas) com diferentes realidades sócio-econômicas e que, conseqüentemente, apresenta variados usos do solo. A Figura 1 apresenta a localização da bacia do Rio Tijucas e sua hidrografia principal.

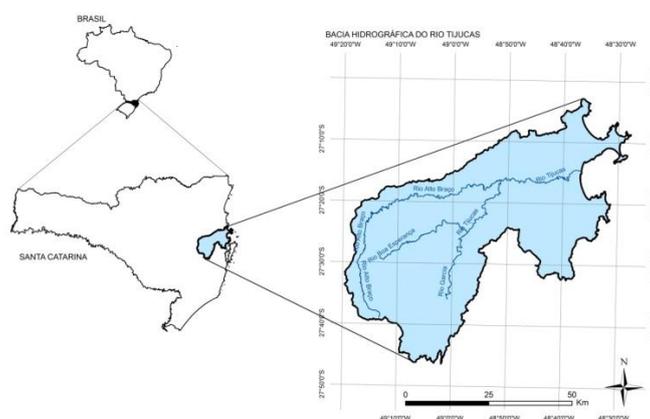


Figura 1. Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas.

As etapas de aquisição dos dados foram realizadas por meio dos endereços eletrônicos do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)), para obtenção das Cartas Temáticas do Projeto RADAMBRASIL em escala 1:250.000 Folha Florianópolis SG.22-z-d; da EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – [www.epagri.rct-sc.br](http://www.epagri.rct-sc.br)), para aquisição das Cartas Topográficas Digitais em escala 1:50.000 do municípios da Bacia; e da ANA (Agência Nacional das Águas – <http://hidroweb.ana.gov.br>), para baixar os dados das séries históricas das estações pluviométricas. Para o processamento dos dados foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas (SIG) ArcGIS, versão 9.2. Vale ressaltar que a utilização das Cartas Temáticas do RADAMBRASIL em escala 1:250.000 são aplicáveis neste trabalho, considerando a escala regional da área de estudo.

Para o mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solo, Crepani et al. (2001) fundamentam-se no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977). Este conceito compreende a

dinâmica dos ambientes como o balanço entre os processos formadores de solo (pedogênese) e os processos erosivos (morfogênese). Crepani et al. (2001) apresentam critérios para a atribuição de valores de vulnerabilidade para as unidades territoriais básicas dos temas Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Clima, juntamente com a fundamentação teórica da relação destes temas com os processos de morfogênese e pedogênese.

Os autores buscaram a avaliação de forma relativa e empírica, do estágio de evolução morfodinâmica das unidades de paisagem, denominadas unidades territoriais básicas. Assim, valores de vulnerabilidade foram atribuídos às categorias morfodinâmicas, variando de 1,0 (para unidades de paisagem mais estáveis) a 3,0 (para unidades de paisagem mais vulneráveis).

A metodologia deste trabalho foi estruturada da seguinte forma: Estruturação do banco de dados; Vetorização das cartas Temáticas; Elaboração do mapa de clima; Atribuição de Pesos de Vulnerabilidade à Erosão; Álgebra dos Mapas de vulnerabilidade à erosão; e Reunião para a discussão da erosão e apresentação dos resultados da pesquisa. A Figura 2 apresenta o fluxograma da metodologia do trabalho.

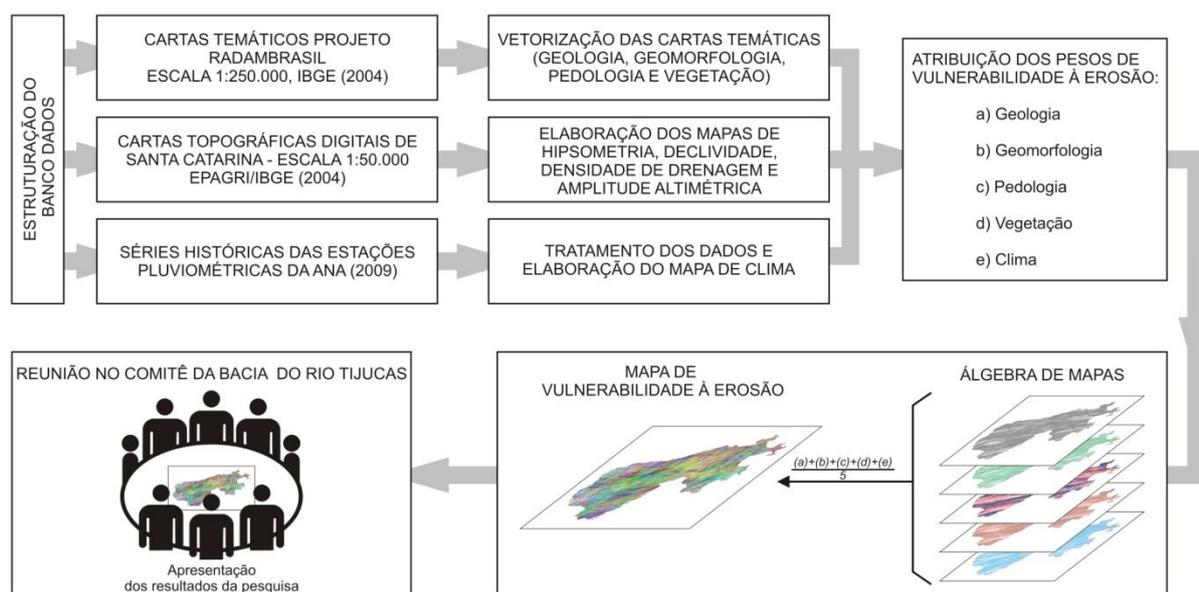


Figura 2. Fluxograma do trabalho.

Os dados foram organizados pelos formatos de arquivo no Banco de Dados Geográficos, ou seja, tendo duas pastas principais de dados: vetoriais (na qual estão todas as informações em formato *shapefile*) e matriciais (na qual estão todos os arquivos em formato *TIFF*). Todos os dados estão no sistema de projeção cartográfica UTM, fuso 22 S, com DATUM SAD 69.

As Cartas Temáticas do Projeto RADAMBRASIL de 2004 foram convertidas do formato *pdf* para o formato *TIFF* e depois georreferenciadas com base nas grades de coordenadas das cartas. As quatro cartas foram digitalizadas por meio de ferramenta de editoração vetorial. No próximo passo as informações presentes nas Cartas e em suas legendas na tabela de atributos das feições foram vetorizadas. Os Mapas temáticos de Geologia, Geomorfologia, Vegetação e Pedologia estão apresentados na Figura 3.

A identificação das estações a serem estudadas foi realizada através do Mapa das Estações Pluviométricas de Santa Catarina e da sua respectiva tabela de informações das estações, ambos disponíveis no site da ANA (ANA, 2009). A etapa de tratamento de dados consistiu basicamente no preenchimento de falhas dos dados de pluviosidade e análise de consistência dos mesmos. O preenchimento de falhas dos dados ausentes foi realizado por

meio do Método da Ponderação Regional. Para o preenchimento do dado ausente de certo posto são selecionados outros três postos vizinhos, estando eles numa região climatológica semelhante ao posto a ser preenchido (TUCCI, 2007).

Montou-se um histograma com as estações que apresentavam períodos em comum de dados medidos. As estações escolhidas, localizadas em onze Municípios distintos, foram: Antônio Carlos, Garcia de Blumenau, Governador Celso Ramos, Leoberto Leal, Major Gercino, Nova Trento, Poço Fundo, Rancho Queimado, São Bonifácio, Fazenda Boa Esperança, Anitápolis e Lomba Alta.

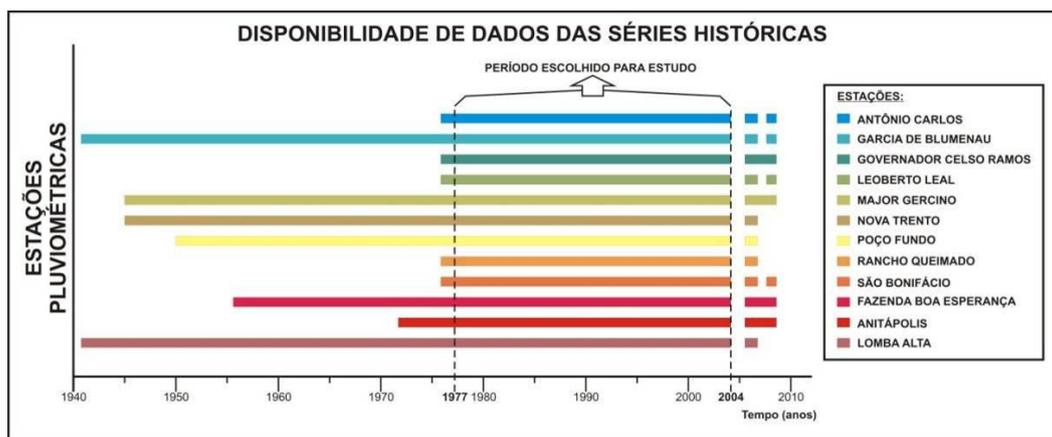


Figura 3. Histograma da disponibilidade de dados das estações pluviométricas.

Posteriormente ao preenchimento das falhas, foi realizada uma análise de consistência dos dados das séries dentro de uma visão regional, ou seja, verificando o grau de homogeneidade dos dados de cada posto com relação aos dados do mesmo período dos postos vizinhos. Uma vez que as falhas das 12 estações pluviométricas estavam preenchidas calculou-se a precipitação média anual (ou intensidade pluviométrica anual). Para a criação do mapa de isoietas, o qual foi considerado neste estudo como Mapa de Clima, interpolaram-se os valores de intensidade pluviométrica mensal (mm) das 12 Estações analisadas por meio do método da krigagem. A Figura 4 apresenta o Mapa de Clima da Bacia estudada.

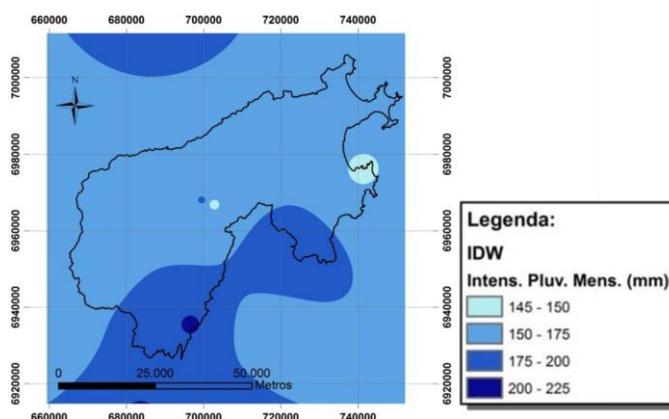


Figura 4. Mapa de Clima da Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas.

A atribuição de pesos de vulnerabilidade à erosão foi realizada através das tabelas propostas por Crepani et al. (2001) com pesos variando de 1,0 a 3,0 para as diversas unidades territoriais básicas. As ponderações do temas Geologia, Vegetação e Pedologia por meio da manipulação da tabela de atributos de cada tema.

O mapa de vulnerabilidade à Geomorfologia foi obtido através da média simples das grades de vulnerabilidade à erosão de índices morfométricos: vulnerabilidade à Amplitude Altimétrica, Densidade de Drenagem e Declividade. Nos mapas de amplitude altimétrica e densidade de drenagem a ponderação foi realizada com base nas unidades territoriais básicas do Mapa de Geomorfologia vetorizado anteriormente, enquanto que o mapa de declividade foi gerado em *pixels* de dimensões 30m x 30m. Depois disso, foi realizada uma álgebra de mapas com as grades com o objetivo de obter o mapa de vulnerabilidade à erosão para o tema Geomorfologia.

Por fim, o mapa de vulnerabilidade à erosão da Bacia do Rio Tijucas foi obtido após a álgebra de mapas das grades de vulnerabilidade à erosão para os temas: Geologia, Geomorfologia, Vegetação, Pedologia e Clima. Esta álgebra consistiu na média simples dos cinco mapas citados, conforme apresenta a equação abaixo.

$$V = \frac{G + R + S + Vg + C}{5} \quad (1)$$

Onde:

*V* – vulnerabilidade da unidade de paisagem;

*G* – vulnerabilidade para o tema Geologia;

*R* – vulnerabilidade para o tema Geomorfologia;

*S* – vulnerabilidade para o tema Pedologia;

*Vg* – vulnerabilidade para o tema Vegetação;

*C* – vulnerabilidade para o tema Clima.

### 3. Resultados e Discussão

Os mapas de vulnerabilidade natural à erosão para os temas Geologia, Geomorfologia, Vegetação, Pedologia e Clima foram elaborados com base na escala de vulnerabilidade de CREPANI et al. (2001), e seguiram as cores sugeridas pelo autor que variam de mais frias (para locais mais estáveis) a mais quentes (para locais mais vulneráveis).

O Mapa de vulnerabilidade natural à erosão da Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas (BHRT), produto da álgebra dos mapas de vulnerabilidade quanto aos cinco temas citados anteriormente, apresentou valores de vulnerabilidade que variam de 1,5 a 2,5. Sendo assim, este resultado principal da pesquisa não atingiu o valor mínimo (1,0) e nem o valor máximo (3,0) da escala utilizada. A BHRT apresentou áreas moderadamente estáveis (valores de 1,5 a 1,7), medianamente estáveis (valores de 1,8 a 2,2) e moderadamente vulneráveis (valores de 2,3 a 2,5). A estimativa das áreas (em km<sup>2</sup>) de cada classe foi realizada através de um fatiamento dos valores de vulnerabilidade nestes três grupos para os treze municípios. Os resultados estão apresentados na Figura 5.

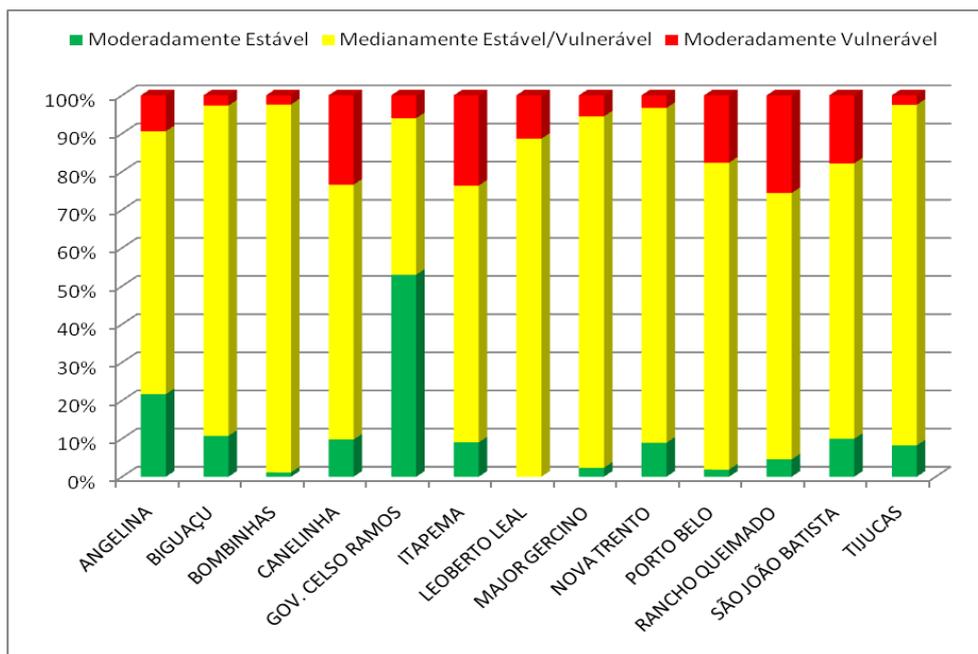


Figura 5. Gráfico de resultados (%) de áreas moderadamente estáveis, medianamente estáveis/vulneráveis e moderadamente vulneráveis para os municípios da BHRT.

O único município que apresentou predomínio de áreas moderadamente estáveis (53 %) foi Governador Celso Ramos, enquanto que os municípios de Biguaçu (86%), Nova Trento (88%), Tijucas (89%), Major Gercino (92%), Bombinhas (97%), apresentaram predomínio de áreas medianamente estáveis/vulneráveis. As maiores áreas moderadamente vulneráveis ocorreram nos municípios de Leoberto Leal (11%), Porto Belo (18%), São João Batista (18%), Canelinha (23%), Itapema (24%) e Rancho Queimado (26%).

Sendo o município de Rancho Queimado aquele que apresentou a maior área moderadamente vulnerável, destaca-se que isto provavelmente ocorreu principalmente devido às características geológicas, pedológicas e de cobertura vegetação local. Além disso, as elevadas declividades das encostas de morros também interferiram na vulnerabilidade dos processos erosivos no Município.

Os municípios localizados às margens de rios tais como Major Gercino, Nova Trento, Canelinha e Tijucas apresentaram áreas moderadamente vulneráveis devido às suas características geológicas, uma vez que ocorrem sedimentos holocênicos com elevada vulnerabilidade à erosão. Além destes, Itapema também apresentou alta vulnerabilidade devido aos sedimentos holocênicos presentes na estrutura geológica do município.

Observou-se que o tema clima (intensidade pluviométrica) pouco afetou os resultados do mapa final de vulnerabilidade à erosão, pois valores encontrados das estações pluviométricas resultaram em pesos intermediários de vulnerabilidade. Entretanto, sabe-se que intensidades pluviométricas de eventos extremos influenciam significativamente nos processos erosivos.

Vale ressaltar que os resultados observados no mapa de vulnerabilidade natural à erosão da BHRT, apresentado na Figura 6, apenas consideram as características naturais. A ocupação desordenada do território pode intensificar a erosão e provocar deslizamentos de terra, perda de solo nas margens dos rios e assoreamento dos rios que intensificam as enchentes.

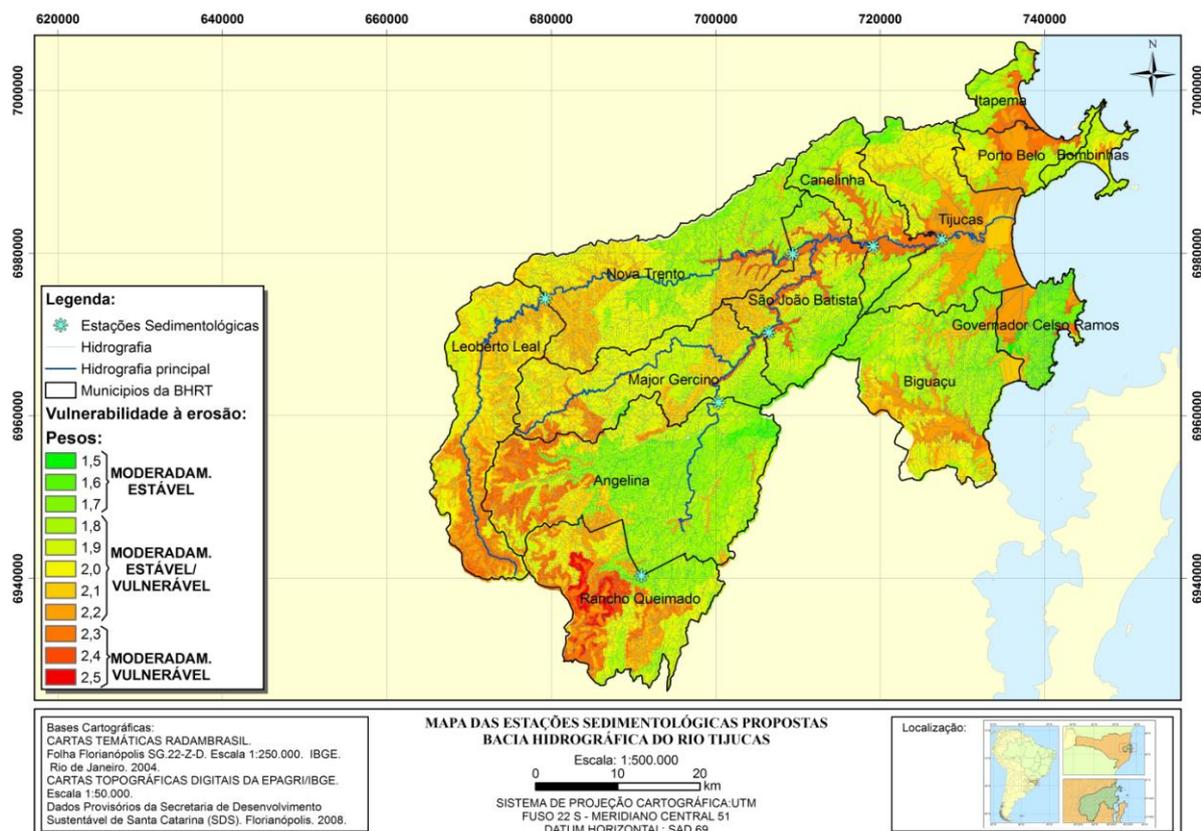


Figura 6. Mapa de vulnerabilidade natural à erosão da Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas.

Para auxiliar a estimativa de perda de solo periódica nos municípios desta Bacia Hidrográfica, este trabalho propõe uma rede de estações sedimentológicas. Esta rede seria composta por sete estações localizadas em locais estratégicos, como divisas municipais e rios principais da Bacia (identificados no mapa da Figura 6). Desta forma, futuros trabalhos poderão utilizar estes dados de erosão pluvial em análises que subsidiem a governança territorial.

Todos os resultados obtidos na pesquisa foram apresentados e discutidos junto aos membros do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas em uma reunião. Neste encontro, foram entregues dois materiais aos membros do Comitê: Memorial Descritivo da Pesquisa e Mapa de vulnerabilidade à perda de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas, em Folha A0 em papel e meio digital.

#### 4. Conclusões

Embora os pesos do mapa final não tenham atingido os valores extremos de vulnerabilidade e estabilidade (valores 3 e 1, respectivamente), a indicação dos locais mais susceptíveis aos processos erosivos é relevante à comunidade e ao Comitê de Gerenciamento da Bacia. A análise municipal dos resultados foi válida, uma vez que possibilita aos gestores municipais viabilizarem estudos e projetos mais detalhados, principalmente nos municípios mais vulneráveis. Estes estudos deveriam, portanto, ser realizados em maior escala.

As técnicas de geoprocessamento são úteis para o mapeamento das unidades territoriais mais vulneráveis à erosão, sendo uma ótima ferramenta para a gestão do uso do solo de uma bacia hidrográfica. No entanto, além da utilização destas técnicas que identificam pontos críticos de erosão, a participação da comunidade na formulação de estratégias de preservação do solo é fundamental.

## Agradecimentos

Ao Grupo Transdisciplinar de Governança da Água e do Território (GTHIDRO) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC coordenado pelo Professor Dr. Daniel José da Silva.

## Referências Bibliográficas

Agência Nacional das Águas (ANA). Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 16.ago. 2009.

Brasil. Decreto 4.297, de 10 de julho de 2002. Regulamenta o art. 9º, inc. II, da lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil – ZEE, e dá outras providências. 7 p. Disponível em: <<http://www.presidencia.gov.br/legislacao>> Acesso em: 14 ago. 2009.

Brasil. Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre apolítica nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. 35 p. Disponível em: <<http://www.presidencia.gov.br/legislacao>> Acesso em: 14 ago. 2009.

Crepani, E.; Medeiros, J. S.; Hernandez Filho, P. H.; Florenzano, T. G.; Duarte, V.; Barbosa, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais, 2001. 124 p. (INPE-8454-RPQ/722).

Santos, J. S. M. **Construção de cenários ambientais para a governança da água em bacias hidrográficas com tecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento**: estudo de caso na Bacia do Rio Tijucas, Santa Catarina, Brasil. 2009. 237 p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2009.

Silva, D. J. Desafios sociais da gestão integrada de bacias hidrográficas: uma introdução ao conceito de governança da água. In: Congrêss de L'ACFAS, 74., 2006, Montreal. **Proceedings...** Montreal: Université MacGill, 2006. p. 1-12.

Tricart, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE; SUPREN, 1977. 91 p.

Tucci, E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2007. 943 p.