

## **ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À EROSÃO ATRAVÉS DE SIG: um subsídio ao zoneamento ecológico-econômico de Santo Amaro da Imperatriz/SC.**

Autores: Allan Saddi Arnesen<sup>1</sup>; Frederico Thompson Genofre<sup>2</sup>; Marcelo Pedroso Curtarelli<sup>3</sup>.

**RESUMO:** Enchentes e movimentos de massa causaram mortes e prejuízos econômicos em grande parte da região leste de Santa Catarina no final do ano de 2008. Entre os desastres naturais mais devastadores estão os movimentos de massa, que dependem das condições locais, entre elas: a estrutura geológica, o relevo, os tipos de solos, a cobertura vegetal e a intensidade e distribuição das precipitações. Neste contexto, este trabalho irá avaliar a vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem do Município de Santo Amaro da Imperatriz (SC) através de um SIG com bases cartográficas digitais disponibilizadas na Internet pelos sítios eletrônicos do IBGE, da EPAGRI, e de dados pluviométricos obtidos através da ANA. Este estudo será feito segundo a metodologia de CREPANI *et al.* (2001) de Zoneamento Ecológico-Econômico, fundamentada no conceito de Ecodinâmica de TRICART (1977). Este conceito é estudo da dinâmica do ambiente de um ecossistema, e utiliza como critério de análise o balanço entre os fatores indutores dos processos morfogenéticos e pedogenéticos.

**ABSTRACT:** Floods and mass movements caused dies and economic losses in a great part of the east zone of Santa Catarina on the end of 2008. Among the more devastating natural disasters are the mass movements, which depends on the local conditions like: the geological structure, the relief, the soil types, the plant cover and the intensity and distribution of the rainfall. In this context, this research will asses the vulnerability of erosion on the landscape units in the city of Santo Amaro da Imperatriz (SC) using a SIG and cartographic digital bases available in the Internet, on the sites of IBGE, EPAGRI, and the rainfall data obtained through ANA. These study will follow CREPANI *et al.* (2001) methodology of Ecological-Economic Zoning, reasoned on the TRICART (1997) Ecodynamic concept. These concept is the study of environment ecosystems dynamic, and analyzes the balance between the inducers factors of morphogenetic and pedogenetic processes.

**Palavras chave: Vulnerabilidade à erosão, SIG, Zoneamento Ecológico-Econômico.**

1) Graduando do Curso de Eng. Sanitária e Amb. UFSC Rua das Araras 380 Lagoa da Conceição 88062075 Fpolis/SC email:allanarnesen@yahoo.com.br

2) Graduando do Curso de Eng. Sanitária e Amb. UFSC Rua Europa, 228 Trindade 88036135 Fpolis/SC email:fredericogenofre@gmail.com

3) Graduando do Curso de Eng. Sanitária e Amb. UFSC Rua Padova, 44 Córrego Grande 88037640 Fpolis/SC email:mpedroso@grad.ufsc.br

## **1. INTRODUÇÃO**

No final do ano de 2008, diversas populações foram afetadas pelas chuvas intensas que atingiram o Brasil. O Estado de Santa Catarina, especialmente, sofreu com os desastres naturais ocasionados pelas precipitações ocorridas no final de Novembro deste ano.

Enchentes, inundações e movimentos de massa causaram mortes e prejuízos econômicos em grande parte da região leste de Santa Catarina. Diversos municípios desta região sofreram o impacto destes desastres, ficando alguns isolados devidos aos estragos nas rodovias e outros submersos pelas enchentes.

Entre os desastres naturais mais devastadores estão os movimentos de massa, classificados no Brasil em: quedas de blocos, subsidências, escorregamentos e escoamentos (IPT, 1991; GUIMARÃES *et al.*, 1984). Todos estes eventos são caracterizados como processos erosivos diretamente influenciados pelo clima.

Os diversos tipos de movimentos de massa dependem das condições locais, entre elas: a estrutura geológica, o relevo, os tipos de solos, a cobertura vegetal e a intensidade e distribuição das precipitações.

Deve-se destacar que a intensificação da ocorrência dos processos erosivos é um reflexo da ocupação desorganizada do território. Alterações na cobertura vegetal como: o uso excessivo de pastagens, retirada de madeira por derrubada ou queima, práticas inadequadas de cultivo, impermeabilização do solo, etc., aceleram a erosão (FENDRICH, 1997).

Neste contexto, este trabalho irá avaliar a vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem do Município de Santo Amaro da Imperatriz (SC) através da metodologia de CREPANI *et al.* (2001), fundamentada no conceito de Ecodinâmica de TRICART (1977). Este conceito é estudo da dinâmica do ambiente de um ecossistema e utiliza como critério de análise o balanço entre os fatores indutores dos processos morfogenéticos e pedogenéticos.

O mapeamento de vulnerabilidade à erosão é um subsídio ao Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente, Lei 6.938/81 (Art. 9º, par. II). O ZEE foi regulamentado pelo Decreto 4.297/02, no qual foram estabelecidos critérios para sua elaboração no Brasil.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral:**

Avaliar a Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo no município de Santo Amaro da Imperatriz/SC a partir de um Sistema de Informações Geográficas.

## 2.2. Objetivo específico:

1. Vetorizar os mapas temáticos de Geologia, Geomorfologia, Vegetação e Pedologia fornecidas pelo Projeto RADAMBRASIL, em escala 1:250000, dentro do limite municipal de Santo Amaro da Imperatriz;
2. Elaborar a carta de Clima a partir dos dados das estações pluviométricas que abrangem a área de estudo;
3. Elaborar o Mapa de Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo para o município de Santo Amaro da Imperatriz;
4. Construir uma base de dados georreferenciadas com as informações obtidas sobre a área de estudo.

## 3. ÁREA DE ESTUDO

O município de Santo Amaro da Imperatriz ( $27^{\circ}40'$  e  $48^{\circ}40'$ ) está localizado próximo do litoral catarinense, a apenas 35 km da capital Florianópolis, com uma população de 18.266 habitantes (IBGE 2008). O município faz parte da bacia hidrográfica do rio Cubatão Sul, com 738 km<sup>2</sup>, com seus principais afluentes rio Matias e rio Vargem do Braço, principal manancial da região. Deste total, 342 km<sup>2</sup> pertencem ao Parque Estadual da Serra do Tabuleiro (CHRISTOFIDIS, 2006). A economia de região é baseada em agricultura, pequenas indústrias e turismo com suas águas termais.

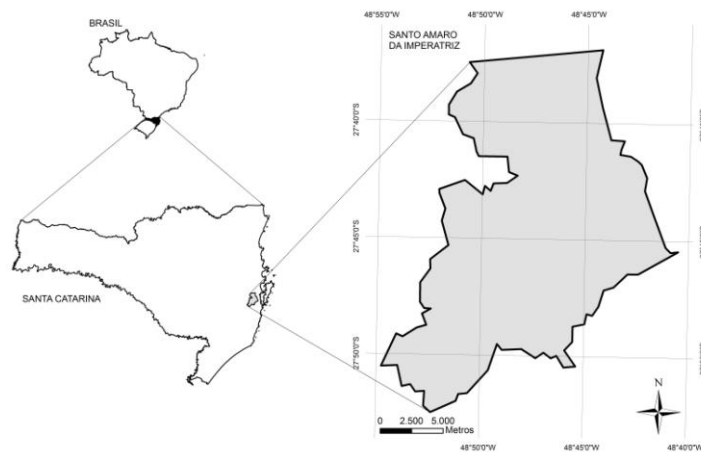


Figura 1 – Localização do município de Santo Amaro da Imperatriz

## **4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A importância do estudo ecológico econômico de uma região justifica-se pelo fato de que a ocupação do homem sobre o meio ambiente, sem respeitar o equilíbrio natural, promove situações perigosas e desastrosas. O conhecimento de componentes físicos e bióticos como a geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e clima é de extrema importância, já que este conjunto levou à formação daquela paisagem natural. Desta forma, as atividades a serem desenvolvidas nestas áreas serão bem orientadas.

No sentido de analisar as condições naturais do ambiente de estudo, serão analisados os seguintes temas, seguindo a metodologia de CREPANI *et al.*(2001): Geologia, Geomorfologia, Vegetação, Pedologia e Clima.

### **4.1. Geologia**

A característica das rochas a ser analisada é a resistência das rochas à denudação. Este fenômeno natural inclui a erosão e o intemperismo que as rochas sofrem ao longo do tempo, devido a agentes erosivos físicos e químicos, principalmente.

Outro aspecto relevante quanto à vulnerabilidade à erosão das rochas é a sua coesão. Pelo grau de coesão da rocha entende-se a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas constituintes (CREPANI *et al.*, 2008). Rochas mais coesas, como as ígneas, apresentam menor capacidade de erosão do que rochas com menos coesão, como as sedimentares.

### **4.2. Geomorfologia**

A Geomorfologia é o estudo das formas de relevo e os processos que ocorrem nelas. LOCH (2008) destaca a importância dos mapas geomorfológicos para o planejamento do uso do solo, uma vez que as condições do relevo orientam a estrutura urbana, a rede viária e o uso da terra no meio rural.

Os mapas geomorfológicos são elaborados com base em índices morfométricos do terreno como: amplitude altimétrica, dissecação do relevo pela drenagem e declividade das vertentes (CREPANI *et al.*, 2008). A determinação destes índices foi realizada para os polígonos de unidades geomorfológicas apresentados na Carta Geomorfológica, em escala 1:250.000, do Projeto RADAM-BRASIL (2004).

#### *4.2.1. Amplitude altimétrica*

A amplitude altimétrica é um índice morfométrico relacionado à energia potencial disponível para as gotas da água. Quanto maior este índice, maior será a energia potencial das águas das precipitações pluviais que caem sobre os pontos mais altos do relevo, e a transformação em energia cinética ao longo da descida será elevada. Portanto, a água atingirá os pontos mais baixos dos morros com alta velocidade, e a o relevo apresentará maior capacidade de erosão (CREPANI *et al.*, 2001).

#### 4.2.2. Densidade de drenagem

Segundo CREPANI *et al.*(2001), a intensidade de dissecação pela drenagem pode ser obtida através de medidas nas cartas topográficas da amplitude dos interflúvios (distância entre os canais de drenagem) ou da densidade de drenagem (comprimento de rios/unidade de área), sendo este parâmetro inverso ao primeiro.

#### 4.2.3. Declividade das vertentes

A declividade é o ângulo de inclinação formado entre a superfície da vertente e o plano horizontal (VALERIANO, 2008). Este autor destaca a dificuldade de obtenção deste parâmetro manualmente através das curvas de nível, e, por isso a utilização de programas que geram o plano de informação declividade automaticamente deve se considerado. A declividade das vertentes pode ser representada em graus ou em porcentagem.

### 4.3. Pedologia

A principal causa da erosão hídrica é a ação da chuva sobre o solo (CREPANI *et al.*, 2008). A capacidade de um determinado solo em resistir à erosão, ou erodibilidade, depende de condições intrínsecas (granulometria, composição mineralógica, características físicas e químicas) e de características externas, como o manejo do solo, que pode ser dividido em manejo de terra e manejo de cultura. O manejo de cultura refere-se especificamente ao tipo de cultura trabalhada no solo, enquanto que o manejo da terra refere-se ao tipo de uso dado ao solo.

Para analisar a vulnerabilidade do solo é considerado o grau de maturidade. Segundo CREPANI *et al.*(2008), é possível estabelecer 21 classes de vulnerabilidade conforme a pedologia baseada na maturidade do solo. A maturidade é produto direto do balanço morfogênese/pedogênese, indicando se prevalecem processos da morfogênese, gerando solos jovens, ou processos de pedogênese, que por sua vez geram solos maduros e bem desenvolvidos. Os valores de vulnerabilidade para esta relação é apresentada por CREPANI *et al.*(2001) conforme a Tabela 1 abaixo:

CATEGORIA MORFODINÂMICA	RELAÇÃO PEDOGÊNESE / MORFOGÊNESE	VALOR
Estável	Prevalece a pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio pedogênese / morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a morfogênese	3,0

Tabela 1 – Valores de vulnerabilidade

Portanto, estável é aquela paisagem natural onde favorecem processos de pedogênese, enquanto que paisagens que favorecem processos de morfogênese são vulneráveis.

#### 4.4. Vegetação

A cobertura vegetal do terreno é um fator que influencia contra os processos morfogenéticos, isto é, erosão. Desta forma CREPANI *et al.*(2008) apresenta 21 classes de vulnerabilidade conforme a densidade de cobertura vegetal, ou cobertura do terreno. Altas densidades de cobertura vegetal são traduzidas com valores que se aproximam da estabilidade, enquanto que baixas densidades de cobertura vegetal traduzem valores próximos da vulnerabilidade.

#### 4.5. Clima

Segundo CREPANI *et al.*(2008), as principais características da chuva envolvida nos processos erosivos são: pluviosidade, intensidade pluviométrica e distribuição sazonal da precipitação, sendo que a intensidade pluviométrica representa uma relação entre as outras duas características (quanto chove/quando chove). Esta informação determina a quantidade de energia potencial disponível para ser transformada em energia cinética.

### 5. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi baseado na metodologia apresentada por CREPANI *et al.*(2001), utilizando-se de bases cartográficas e dados históricos da pluviometria da área de estudo. As bases cartográficas do estudo são as Cartas Temáticas do PROJETO RADAM-BRASIL (2004), em escala 1:250.000, disponíveis no *site* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, além das Cartas de Santo Amaro da Imperatriz, São Bonifácio, Florianópolis e Paulo Lopes em escala 1:50.000, disponíveis na Mapoteca Topográfica Digital de Santa Catarina da EPAGRI/IBGE.

A metodologia utilizada está apresentada na figura 2 e será detalhada a seguir.

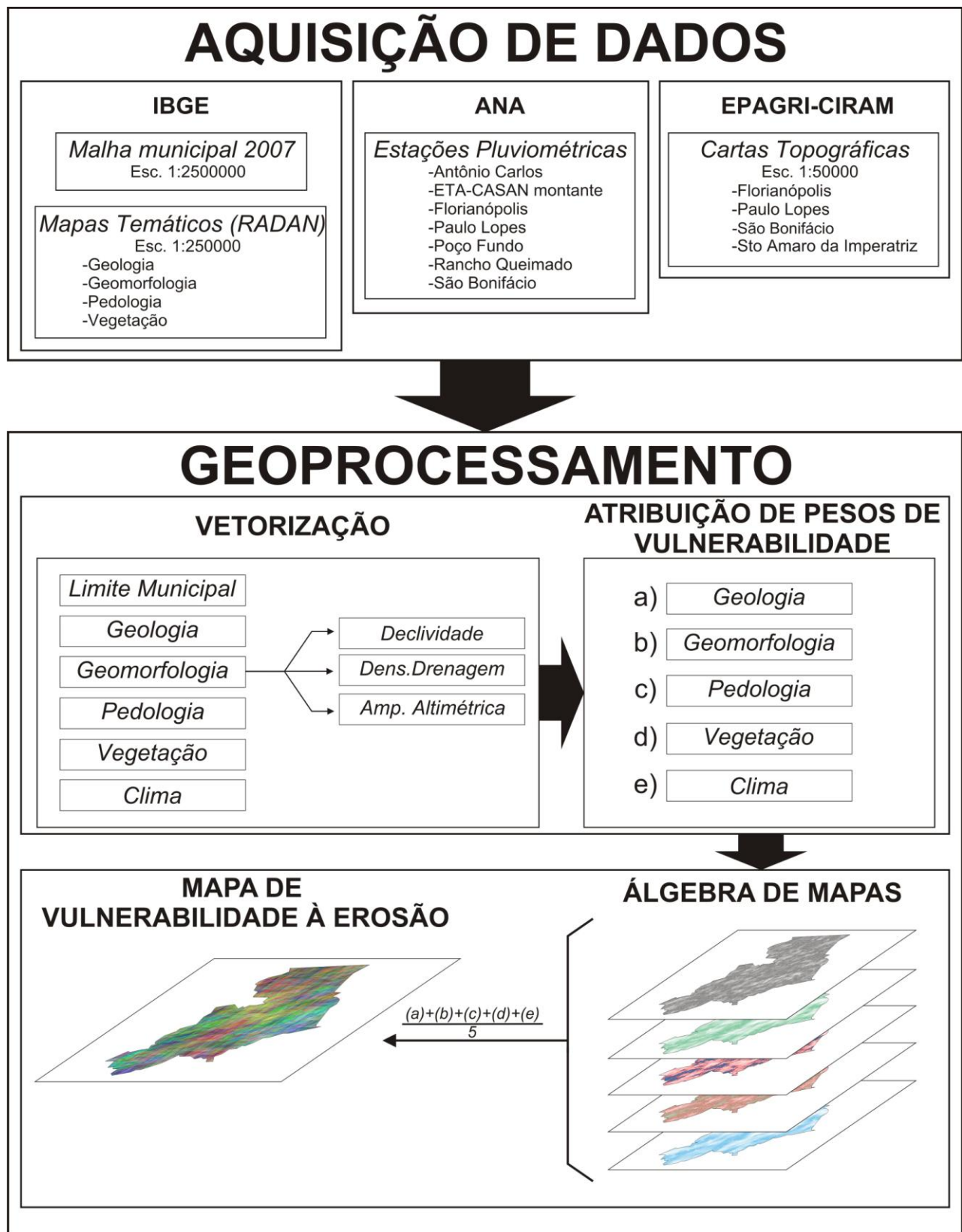


Figura 2 - Fluxograma

## 5.1. AQUISIÇÃO DOS DADOS

Todo o conjunto de informações foi obtido gratuitamente através de órgãos governamentais brasileiros, já citados anteriormente. Esta base cartográfica que antecedeu ao estudo foi composta pelas seguintes cartas apresentadas nas Tabelas 2 e 3 seguir, de acordo com a fonte, escala e formato disponibilizado:

Carta Digital	Fonte	Escala	Formato
Geologia	IBGE -RADAN	1:250000	TIFF
Geomorfologia	IBGE-RADAN	1:250000	TIFF
Pedologia	IBGE-RADAN	1:250000	TIFF
Vegetação	IBGE-RADAN	1:250000	TIFF
Malha Municipal de 2007 de SC	IBGE	1:2500000	Shapefile

Tabela 2 - Cartas digitais fornecidas pelo IBGE.

Carta Topográfica Digital	Fonte	Escala	Formato
Florianópolis	EPAGRI-CIRAM	1:50000	Shapefile
Paulo Lopes	EPAGRI-CIRAM	1:50000	Shapefile
Santo Amaro Imperatriz	EPAGRI-CIRAM	1:50000	Shapefile
São Bonifácio	EPAGRI-CIRAM	1:50000	Shapefile

Tabela 3 – Cartas topográficas fornecidas pela EPAGRI.

As cartas digitais em formato TIFF foram vetorizadas para o formato *shapefile*, dentro dos limites do município. Com as cartas topográficas foi possível gerar o MDE de Santo Amaro da Imperatriz, através duma grade triangular apresentado abaixo:

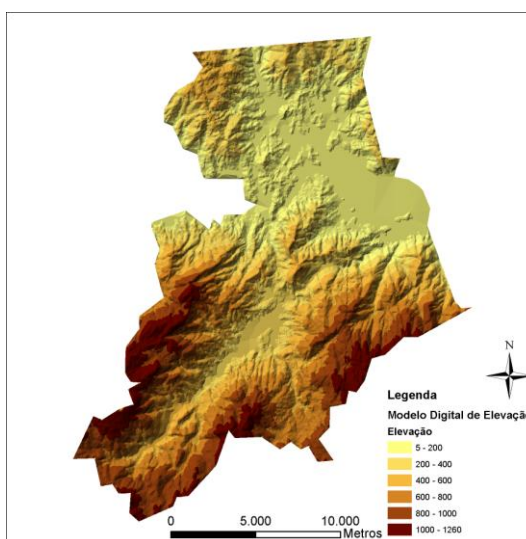


Figura 3 – Modelo Digital de Elevação

Os dados pluviométricos utilizados foram obtidos através do site da Agencia Nacional de Águas - ANA. Para identificar quais estações pluviométricas que seriam utilizadas no presente



estudo, foi utilizado o mapa da rede de monitoramento de dados pluviométricos de Santa Catarina e a respectiva listagem das estações. Sendo assim foi possível identificar o nome e o código das estações, necessários para obter as séries históricas de cada estação disponíveis no site do Sistema de Informações Hidrológicas da ANA.

A Tabela 4 a seguir mostra o resumo das estações escolhidas para realizar o estudo da precipitação em Santo Amaro da Imperatriz.

<b>Estação</b>	<b>Número Inv.</b>	<b>Código</b>	<b>Responsável</b>	<b>Município</b>	<b>Operadora</b>	<b>Altitude (m)</b>
Rancho Queimado	182	2749020	ANA	Rancho Queimado	EPAGRI	820
São Bonifácio	196	2748018	ANA	São Bonifácio	EPAGRI	410
Poço Fundo	208	2748005	ANA	Santo Amaro da Imperatriz	EPAGRI	55
Antônio Carlos	210	2748016	ANA	Antônio Carlos	EPAGRI	34
ETA CASAN - montante	215	2748004	ANA	Santo Amaro da Imperatriz	EPAGRI	20
Paulo Lopes	218	2748017	ANA	Paulo Lopes	EPAGRI	2
Florianópolis (Hercílio Luz)	224	2748013	DEPV	Florianópolis	DEPV	5

Tabela 4 - Resumo das estações pluviométricas utilizadas

A aquisição das séries históricas de cada estação foi feita através do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas, disponíveis no site.

Para cada estação foi adquirida a série histórica de dados pluviométricos, disponíveis em banco de dados ACCESS. Os dados de interesse de cada estação (data, precipitação média mensal e média anual) foram salvos em planilha EXCEL para análise dos dados brutos obtidos e posterior tratamento destes dados.

Através da análise do histograma de distribuição dos dados foi possível definir um período comum para as sete estações, onde as falhas de preenchimento de dados fossem pequenas. A Tabela 5 a seguir mostra o período de dados disponível em cada estação e o período que foi considerado no presente estudo.

<b>Estação</b>	<b>Código</b>	<b>Serie disponível</b>	<b>Série Utilizada</b>
Rancho Queimado	2749020	1976 - 2006	1977 - 2004
São Bonifacio	2748018	1976 - 2008	1977 - 2004
Poço Fundo	2748005	1951 - 2006	1977 - 2004
Antonio Carlos	2748016	1976 - 2008	1977 - 2004
ETA CASAN montante	2748004	1945 - 2008	1977 - 2004
Paulo Lopes	2748017	1979 - 2008	1977 - 2004
Florianópolis (Hercílio Luz)	2748013	1971 - 1982	1977 - 2004

Tabela 5 - Série disponível e utilizada

## 5.2. Geoprocessamento

As cartas temáticas do Projeto RADAM-BRASIL (2004) foram georreferenciadas e vetorizadas para o formato *shapefile*. Uma vez vetorizada foi possível atribuir os pesos, ou valores de vulnerabilidades à erosão para cada polígono, para posterior rasterização e elaboração do mapa de vulnerabilidade natural à erosão.

### 5.2.1. Geologia

A produção do mapa de vulnerabilidade da geologia à erosão ocorreu através da vetorização das da Carta Geológica do Projeto RADAM-BRASIL (2004) e da posterior ponderação dos polígonos das unidades geológicas quanto à vulnerabilidade, seguindo a metodologia de CREPANI *et al.* (2001). A Tabela 6 apresenta as Unidades Geológicas da Carta Temática do Projeto RADAM-BRASIL (2004) encontradas no município e os valores de vulnerabilidade, variando de 1,0 a 3,0, propostos por CREPANI *et al.* (2001), para diversos tipos de rochas.

Unidade Geológica	Sigla	Vulnerab. (CREPANI, 2001)
Suíte Intrusiva Tabuleiro	NPt	1,1
Complexo Canguçu	NPc	1,23
Complexo Canguçu	NPc	1,23
Sedimentos Holocênicos	QHa	3
Formação Queçaba	NPq	2,15
Sedimentos Holocênicos	QHa	3
Formação Queçaba	NPq	2,15
Formação Queçaba	NPq	2,15
Formação Queçaba	NPq	2,15
Formação Queçaba	NPq	2,15
Sedimentos Holocênicos	QHa	3
Suíte Intrusiva São Pedro de Alcântara	NPsp	1,15
Complexo Canguçu	NPc	1,23
Complexo Canguçu	NPc	1,23

Tabela 6. Tabela das rochas e pesos (CREPANI *et al.*, 2001).

Foi realizada uma análise dos tipos de rochas presentes nos polígonos propostos pelo Projeto RADAM-BRASIL (2004), buscando as informações presentes na legenda desta Carta, e atribuíram-se pesos considerando todas as rochas presentes nos polígonos das unidades geológicas.

### 5.2.2. Geomorfologia

Os mapas geomorfológicos foram elaborados com base em índices morfométricos do terreno como: amplitude altimétrica, dissecação do relevo pela drenagem e declividade das vertentes

(CREPANI *et al.*, 2008). A determinação destes índices foi realizada para os polígonos das unidades geomorfológicas apresentadas na Carta Geomorfológica, em escala 1:250.000, do Projeto RADAM-BRASIL (2004).

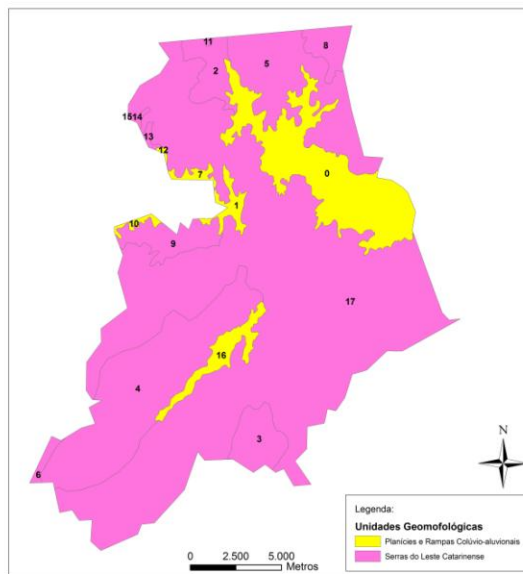


Figura 4 – Representação das Unidades Geomorfológicas

Este mapa foi obtido através da média simples destes três parâmetros morfométricos: amplitude altimétrica, dissecação pela drenagem e declividade.

- Amplitude Altimétrica

A construção do mapa com os valores de vulnerabilidade quanto à amplitude altimétrica foi realizada com base nas unidades geomorfológicas apresentadas na Carta Temática de Geomorfologia do Projeto RADAM-BRASIL. Para cada polígono apresentado na Figura 4 encontrou-se um valor médio para a amplitude altimétrica, através da diferença de cota entre o topo e a base dos morros nele presentes, e utilizando como base cartográfica as curvas de nível das Cartas Topográficas Digitais da EPAGRI/IBGE em escala 1:50.000. Os valores encontrados para cada polígono de unidade geomorfológica, juntamente com o valor do peso atribuído segundo a metodologia de CREPANI *et al.* (2001) estão na Tabela 7, e podem ser identificados na Figura 4.

Número	Domínios Morfológicos	Unidades Geomorfológicas RADAMBRASIL (2004)	Modelado	Amplitude Altimétrica	Pesos (CREPANI, 2001)
0	Depósitos Sedimentares Quaternários	Planícies e Rampas Colúvio-aluvionais	Af	27	1,1
1	Depósitos Sedimentares Quaternários	Planícies e Rampas Colúvio-aluvionais	Atf	40	1,3
2	Rochas Granitóides	Serras do Leste Catarinense	Dc43	157	2,5
3	Rochas Granitóides	Serras do Leste Catarinense	Da52	183	2,8
4	Rochas Granitóides	Serras do Leste Catarinense	Da44	296	3

5	Rochas Granitóides	Serras do Leste Catarinense	Da34	162	2,6
6	Rochas Granitóides	Serras do Leste Catarinense	Da52	140	2,3
7	Depósitos Sedimentares Quaternários	Planícies e Rampas Colúvio-aluvionais	Atf	20	1,1
8	Rochas Granitóides	Serras do Leste Catarinense	Da33	70	1,6
9	Rochas Granitóides	Serras do Leste Catarinense	Dc43	130	2,2
10	Depósitos Sedimentares Quaternários	Planícies e Rampas Colúvio-aluvionais	Atf	40	1,3
11	Rochas Granitóides	Serras do Leste Catarinense	Da34	100	1,9
12	Depósitos Sedimentares Quaternários	Planícies e Rampas Colúvio-aluvionais	Atf	0	1
13	Rochas Granitóides	Serras do Leste Catarinense	Dc43	60	1,5
14	Rochas Granitóides	Serras do Leste Catarinense	Dc43	60	1,5
15	Rochas Granitóides	Serras do Leste Catarinense	Da43	40	1,3
16	Depósitos Sedimentares Quaternários	Planícies e Rampas Colúvio-aluvionais	Atf	100	1,9
17	Rochas Granitóides	Serras do Leste Catarinense	Da52	354	3

Tabela 7 – Valores de Amplitude Altimétrica e Pesos atribuídos para cada unidade geomorfológica.

- Densidade de Drenagem

Devido à maior agilidade da obtenção da densidade de drenagem, este foi o parâmetro analisado. Para tanto, utilizou-se a rede hidrográfica da EPAGRI/IBGE em escala 1:50.000 e a área dos polígonos apresentados na Figura 4. Recortou-se a hidrografia dentro de cada polígono e obteve-se a soma dos comprimentos dos rios. Através da divisão do comprimento total obtido pela área de cada polígono obtiveram-se os valores de densidade de drenagem. A ponderação dos valores foi realizada seguindo a classificação de FLORENZANO (2008), e atribuiu-se assim, valores de 1,0 (para menos vulnerável) a 3,0 (mais vulnerável). A Tabela 8 apresenta a classificação proposta por FLORENZANO (2008) e os pesos atribuídos para a vulnerabilidade a dissecação interfluvial. Foram atribuídos valores intermediários à escala de densidade de drenagem devido à baixa variabilidade de valores no mapa.

INTERVALO	PESO	INTERVALO	PESO
0 a 0,50	1	5,7 a 6,6	1,9
0,5 a 1,00	1,1	6,6 a 7,5	2
1 a 1,50	1,2	7,5 a 10	2,1
1,5 a 2,00	1,3	10 a 12,5	2,2
2 a 2,50	1,4	12,5 a 15	2,3
2,5 a 3,00	1,5	15 a 17,5	2,4
3 a 3,90	1,6	17,5 a 20	2,5
3,9 a 4,80	1,7	20 a 100	3
4,8 a 5,70	1,8		

Tabela 8 – Faixas de densidade de drenagem e pesos atribuídos. Adaptado de FLORENZANO (2008).

- Declividade

O mapa de declividade foi elaborado através do MDE gerado a partir das curvas de nível das cartas topográficas digitais da EPAGRI/IBGE em escala 1:50.000.

A atribuição de pesos de vulnerabilidade às diversas faixas de declividade da área, seguindo os valores propostos por CREPANI *et al.* (2001). A Tabela 9 apresenta os valores de declividade e os pesos de vulnerabilidade à erosão para este parâmetro.

DECLIVIDADE		PESOS	DECLIVIDADE		PESOS
Graus	Porcentagem		Graus	Porcentagem	
<2	<2,5	1,0	15,2 - 16,5	27,2 - 29,6	2,1
2 - 3,3	3,5 - 5,8	1,1	16,5 - 17,8	29,6 - 32,1	2,2
3,3 - 4,6	5,8 - 8,2	1,2	17,8 - 19,1	32,1 - 34,6	2,3
4,6 - 5,9	8,2 - 10,3	1,3	19,1 - 20,4	34,6 - 37,2	2,4
5,9 - 7,3	10,3 - 12,9	1,4	20,4 - 21,7	37,2 - 39,8	2,5
7,3 - 8,6	12,9 - 15,1	1,5	21,7 - 23,0	39,8 - 42,4	2,6
8,6 - 9,9	15,1 - 17,4	1,6	23,0 - 24,4	42,4 - 45,3	2,7
9,9 - 11,2	17,4 - 19,8	1,7	24,4 - 25,7	45,3 - 48,1	2,8
11,2 - 12,5	19,8 - 22,2	1,8	25,7 - 27	48,1 - 50	2,9
12,5 - 13,8	22,2 - 24,5	1,9	>27	>50	3,0
13,8 - 15,2	24,5 - 27,2	2,0			

Tabela 9 – Faixas de Declividade e pesos de vulnerabilidade a erosão.

Por fim, a grade triangular foi rasterizada, a partir dos valores dos pesos de vulnerabilidade atribuídos. Após uma álgebra de mapas através da média simples dos valores atribuídos, obteve-se o mapa de vulnerabilidade à perda de solo conforme a geomorfologia, apresentado na Figura 5.

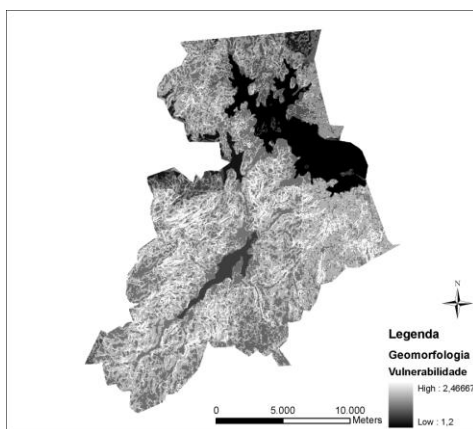


Figura 5 – Vulnerabilidade à Erosão segundo a Geomorfologia

### 5.2.3. Pedologia

A construção do mapa de vulnerabilidade referente à pedologia foi realizada com base na Carta Temática de Pedologia do Projeto RADAM-BRASIL (2004). A carta foi vetorizada, convertida para o

formato *shapefile*, formando os polígonos dos respectivos tipos de solo existentes na área de estudo. A atribuição dos valores de vulnerabilidade foi realizada conforme a associação de solos existente, ponderando-se os valores em 60%, 30% e 10% respectivamente para os solos que ocorrem em primeiro, segundo e terceiro lugar. A Tabela 10 a seguir apresenta as principais classes de solo encontradas na área de estudo, e os respectivos valores de vulnerabilidade adotados conforme CREPANI *et al.* (2001):

Classe	SubClasse 1	SubClasse 2	Inclusão	Vulnerab.
Cambissolo Flúvico	-	-	-	1,5
Argissolo Vermelho-Amarelo	Cambissolo Háptico	-	-	1,95
Cambissolo Flúvico	Argissolo Vermelho-Amarelo	-	-	2,1
Argissolo Vermelho-Amarelo	Cambissolo Háptico	-	Argissolo Vermelho-Amarelo	2,15
Cambissolo Háptico	Argissolo Vermelho-Amarelo	Argissolo Vermelho-Amarelo	-	2,3
Cambissolo Flúvico	Gleissolo Háptico	-	-	2,4
Neossolo Litólico	Cambissolo Háptico	-	-	2,55
Neossolo Litólico	Cambissolo Háptico	-	-	2,55
Cambissolo Háptico	Neossolo Litólico	-	Argissolo Vermelho-Amarelo	2,6
Neossolo Litólico	Cambissolo Háptico	-	Afloramento de Rochas	2,85

Tabela 10 – Classes e subclasses de solos no município e valores de vulnerabilidade.

#### 5.2.4. Vegetação

A produção do mapa de vulnerabilidade da erosão com relação ao tema vegetação ocorreu através da vetorização dos polígonos da Carta Fitoecológica do Projeto RADAM-BRASIL (2004) e da posterior ponderação das classes de vegetação quanto à vulnerabilidade, seguindo CREPANI *et al.*(2001). A Tabela 11 apresenta as diferentes classes de vegetação presente na área de estudo e os pesos, variando de 1,0 a 3,0, propostos por CREPANI *et al.*(2001), para os diferentes tipos de cobertura vegetal.

TIPO de VEGETAÇÃO	CLASSE	SUB CLASSE	PESOS
Floresta Ombrófila Densa	Montana	Vegetação Secundária	1,5
Floresta Ombrófila Densa	Montana	Culturas Cíclicas, Pastagens	2,3
Floresta Ombrófila Densa	Montana	Pastagem, Cult. Cíclicas, Veg. Secundária	2,3
Floresta Ombrófila Densa	Alto-Montana	Vegetação Secundária, Reflorestamento	2,0

Tabela 11 – Classes de cobertura vegetal no município de Santo Amaro da Imperatriz

### 5.2.5. Clima

Com a definição do período a ser considerado no estudo dos dados pluviométricos de cada estação, apresentado acima na Tabela 4, foi realizado o preenchimento das falhas. As estações que possuíam falhas em registros mensais de pluviometria tiveram estes dados preenchidos através do método da média simples, com os dados das outras estações analisadas (que possuíam o dado para o mesmo mês e ano) para preencher as falhas de uma determinada estação.

Após o preenchimento das falhas foi possível calcular a precipitação média de longo período para cada estação, utilizando a média simples entre os valores encontrados para o total precipitado de cada ano. Para o cálculo da precipitação média mensal foi levado em consideração que na região Sul do Brasil chove em média de 9 a 12 meses por ano (CREPANI *et al.*, 2001).

Região	Pluviosidade Média Anual (mm)	Duração do Período Chuvoso (meses)	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	
			Mínima	Máxima
Norte	1400 a 3400	7 a 12	116,6	485,7
Nordeste	300 a 2000	1 a 3	100	2000
Sudeste	900 a 3600	6 a 12	75	222,2
Sul	1200 a 2000	9 a 12	100	222,2
Centro-Oeste	1000 a 3000	7 a 11	90,9	428,5

Tabela 12 – Distribuição chuvas no Brasil (CREPANI *et al.*, 2001)

A precipitação média mensal encontrada para cada estação é apresentada a seguir na Tabela 13:

Nome	Número Inv.	Código	Média Anual (mm/ano)	Média Mensal (mm/mês)
Rancho Queimado	182	2749020	2015,1	201,5
São Bonifácio	196	2748018	1804,6	180,5
Poço Fundo	208	2748005	1616,7	161,7
Antônio Carlos	210	2748016	1998,7	199,9
ETA CASAN - montante	215	2748004	1863,9	186,4
Paulo Lopes	218	2748017	2018,9	201,9
Florianópolis (Hercílio Luz)	224	2748013	1845,5	184,6

Tabela 13 – Precipitações médias mensais para cada estação

Os valores de vulnerabilidade atribuídos para cada faixa de precipitação média mensal estão de acordo com o proposto por CREPANI *et al.*(2001), conforme mostrado na Tabela 14:

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerab.	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerab.	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerab.
------------------------------------	-----------	------------------------------------	-----------	------------------------------------	-----------

< 50	1	200 - 225	1,7	375 - 400	2,4
50 - 75	1,1	225 - 250	1,8	400 - 425	2,5
75 - 100	1,2	250 - 275	1,9	425 - 450	2,6
100 - 125	1,3	275 - 300	2	450 - 475	2,7
125 - 150	1,4	300 - 325	2,1	475 - 500	2,8
150 - 175	1,5	325 - 350	2,2	500 - 525	2,9
175 - 200	1,6	350 - 375	2,3	> 525	3

Tabela 14 – Valores de Vulnerabilidade e Precipitação Média

A espacialização dos dados de vulnerabilidade (devida a precipitação) para todo o município de Santo Amaro da Imperatriz foi feito através do método de interpolação da Inversa Distância (IDW), interpolando os dados em função do valor de vulnerabilidade atribuído para a precipitação média mensal de cada uma das sete estações.

## 6. RESULTADOS

Os resultados desta pesquisa foram, principalmente, obtidos através de produtos cartográficos em escala 1:250.000. Primeiramente foram obtidos os mapas vetorizados do Projeto RADAM-BRASIL (2004), para os temas Geologia, Geomorfologia, Vegetação e Pedologia, dentro do limite de Santo Amaro da Imperatriz do IBGE (2007). A Figura 6 apresenta estes mapas digitalizados.

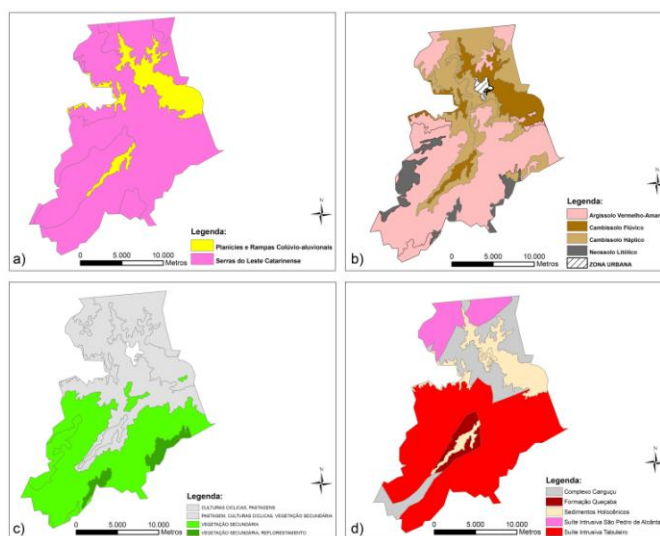


Figura 6 - Mapas temáticos vetorizados a partir do Projeto RADAMBRASIL (2004). a) Geomorfologia; b) Pedologia; c) Vegetação; d) Geologia.

O próximo resultado foi a obtenção do mapa de Clima de Santo Amaro da Imperatriz, através da interpolação dos dados pluviométricos das estações da ANA. A Figura 7 apresenta este mapa.



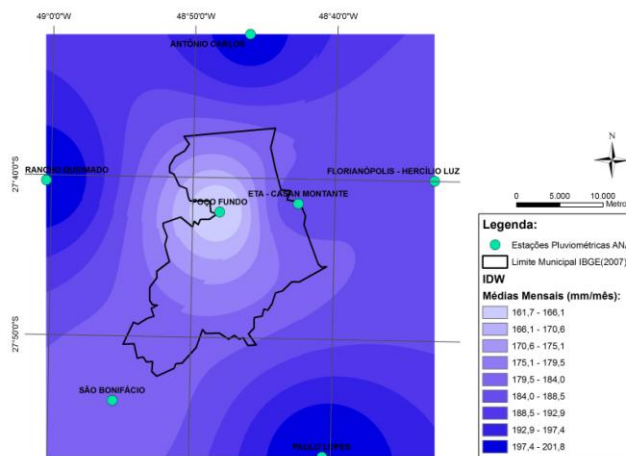


Figura 7 - Mapa de Clima de Santo Amaro da Imperatriz

Posteriormente, obteve-se o Mapa de Vulnerabilidade a Erosão para o Município de Santo Amaro da Imperatriz, através da média simples dos mapas rasterizados de vulnerabilidade a erosão dos temas: Geologia, Geomorfologia, Vegetação, Pedologia e Clima. A Figura 8 apresenta o Mapa de Vulnerabilidade a erosão de Santo Amaro da Imperatriz.

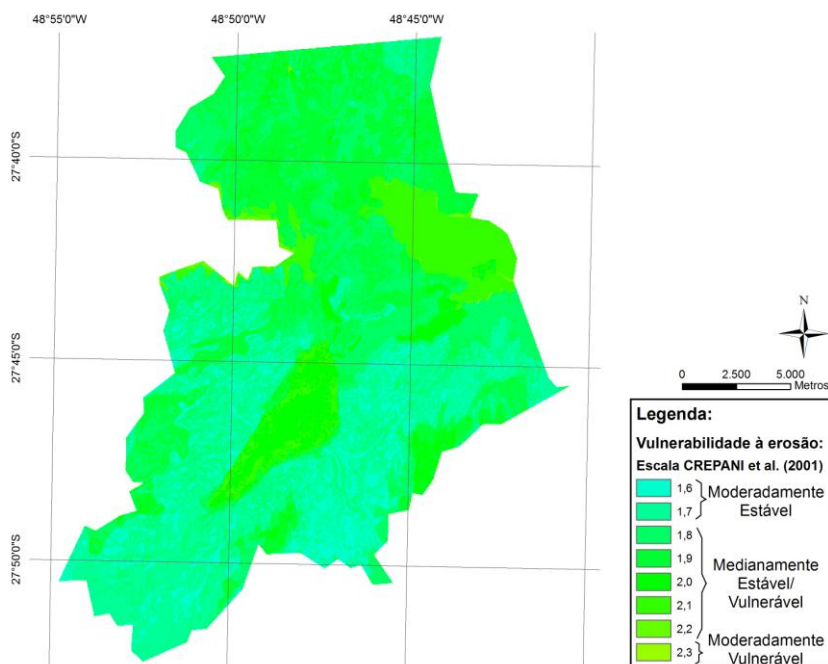


Figura 8 - Mapa de Vulnerabilidade à Erosão de Santo Amaro da Imperatriz

Conforme mostra o mapa, o município de Santo Amaro da Imperatriz apresenta áreas que variam de Moderadamente Estável até Moderadamente Vulnerável, segundo a metodologia proposta por CREPANI *et al.* (2001). Para uma melhor visualização do contraste destas áreas, a Figura 9 apresenta

uma legenda simplificada, expondo a variação entre o mínimo e o máximo valor de vulnerabilidade encontrado.

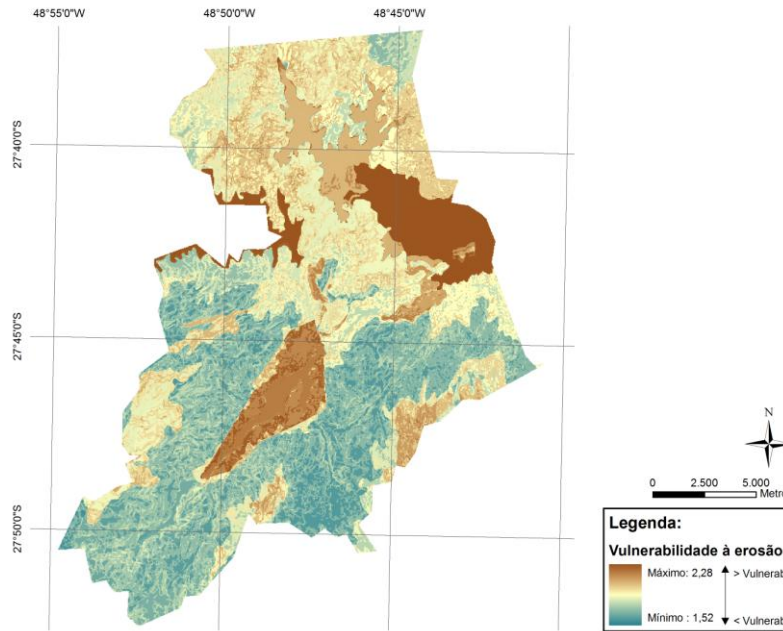


Figura 9 – Variação de Valores de Vulnerabilidades encontrados em Santo Amaro da Imperatriz.

A base de dados para este estudo ficou composta por arquivos no formato *shapefile* e *raster*, conforme apresentado na tabela 15:

Formato SHAPEFILE		Formato Raster
Limite do Município	Temático de Geomorfologia	Modelo de Elevação do Terreno
Curva de nível	Temático de Pedologia	Declividade
Rede Hidrográfica	Temático de Vegetação	Vulnerabilidade à Erosão
Estações Pluviométricas	Clima	
Temático de Geologia	Declividade	

Tabela 15 – Arquivos em formato shapefile e Raster.

## 7. CONCLUSÕES

No âmbito de subsidiar o planejamento e a gestão da ocupação territorial de um município atingido pelas chuvas intensas do final do ano de 2008, utilizou-se uma metodologia de geoprocessamento para a determinação do Mapa de Vulnerabilidade a Erosão de Santo Amaro da Imperatriz – SC. Ao longo do trabalho foram observadas vantagens e limitações da metodologia utilizada para a obtenção do mapa de vulnerabilidade a erosão da área de estudo. Entre as principais vantagens da metodologia de CREPANI *et al.* (2001) estão a sua simples aplicação em áreas distintas

do País e a facilidade de geoprocessamento dos dados. Outra vantagem deste trabalho foi a facilidade de acesso das informações utilizadas, uma vez que todas as bases cartográficas e dados climáticos do mesmo estão disponíveis gratuitamente na Internet.

Entretanto, observou-se no Mapa final de Vulnerabilidade a Erosão que a escala 1:250.000, a mesma das cartas do Projeto RADAM-BRASIL, não foi apropriada para o estudo a nível municipal. Isto devido ao baixo detalhamento das informações desta escala, sendo mais apropriado o uso de imagens de satélite para a obtenção de cartas temáticas com maior nível de detalhamento.

Finalmente, ressalva-se que não deve ser descartado o uso das Cartas Temáticas do Projeto RADAMBRASIL, em escala 1:250.000, para estudos de vulnerabilidade à erosão, mas deve-se atentar para a escala desejada. Estudos em bacias hidrográficas, de nível regional, por exemplo, podem obter bons resultados para as análises de perda de solo.

## 8. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Grupo Transdisciplinar de Governança da Água e do Território – GT-Hidro do Dpto. de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, por ter cedido o espaço e a estrutura necessária, como computadores e o *software* ArcGIS 9.2 para a realização deste trabalho.

## BIBLIOGRAFIA

### a)Livro

FENDRICH, R.; OBLADEN, N.L.; AISSE, M.M.;GARCIAS, C.M. (1997). *Drenagem e controle da erosão urbana*. ed. Champanhat, Curitiba – PR, 486 p.

LOCH, C. (2008). *A Interpretação de imagens aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais*. 5ª Edição rev. Atual. ed. UFSC, Florianópolis – SC,103 p.

TRICART, J. (1977). *Ecodinâmica*. IBGE. Rio de Janeiro. Brasil.

### b)Capítulo de Livro

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S., PALMEIRA, A.F., SILVA, E.F. (2008). “*Zoneamento Ecológico-Econômico*”, in *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. Org. por Florenzano, T.G., ed. Oficina de Textos, São Paulo – SP, pp. 285 – 318.

FLORENZANO, T.G. (2008). “*Cartografia*”, in *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. Org. por Florenzano, T.G., Ed. Oficina de Textos, São Paulo – SP, PP. 105 – 128.

GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; GOMES, R.A.T.; FERNANDES, N.F.(2008) “*Movimentos de Massa*”, in *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. Org. por Florenzano, T.G., ed. Oficina de Textos, São Paulo – SP, pp. 159 – 184.

VALERIANO, M.M.(2008). “*Dados topográficos*”. Org. por Florenzano, T.G., ed. Oficina de Textos, São Paulo – SP, pp. 72 - 104.

c) Artigo de Revista

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1991). *Ocupação de encostas*. São Paulo. Publicação IPT n. 1831.

d) Dissertação de Mestrado

CHRISTOFIDIS, Marina (2006). *O enquadramento participativo de corpos d’água como um instrumento da gestão dos recursos hídricos com aplicação na bacia do rio Cubatão Sul – SC*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC. Florianópolis - SC.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; FILHO, P.H.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. (2001). *Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial*. Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos - SP. 103p.

e) Bases Cartográficas

CARTA TOPOGRÁFICA DE FLORIANPOLIS (2004). Fonte: Mapoteca Topográfica Digital de Santa. Epagri/IBGE

CARTA TOPOGRÁFICA DE SÃO BONIFÁCIO (2004). Fonte: Mapoteca Topográfica Digital de Santa. Epagri/IBGE

CARTA TOPOGRÁFICA DE PAULO LOPES (2004). Fonte: Mapoteca Topográfica Digital de Santa. Epagri/IBGE

CARTA TOPOGRÁFICA DE SANTO AMARO DA IMPERATRIZ (2004). Fonte: Mapoteca Topográfica Digital de Santa. Epagri/IBGE

CARTA TEMÁTICA DE GEOLOGIA (2004). *Geologia*. Escala 1:250.000. Diretoria de Geociências do IBGE. Rio de Janeiro,RJ.

CARTA TEMÁTICA DE GEOMORFOLOGIA (2004). *Geomorfologia*. 1:250.000. Diretoria de Geociências do IBGE. Rio de Janeiro,RJ.

CARTA TEMÁTICA DE PEDOLOGIA (2004). *Pedologia - Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos*. Diretoria de Geociências do IBGE. Rio de Janeiro,RJ.

CARTA TEMÁTICA DE FITOECOLOGIA (2004). *Vegetação*. Diretoria de Geociências do IBGE. Rio de Janeiro,RJ.