

---

# ELABORAÇÃO DA CARTA SÍNTESE DE SUSCETIBILIDADE À EROÇÃO DA APA – PETRÓPOLIS

MAISA DE QUEIROZ DOS SANTOS

Agência Nacional do Petróleo  
Banco de dados de Exploração e Produção  
CPMBraxis Capgemini, prestadora de serviços, Rio de Janeiro, RJ  
maisajs@gmail.com

As análises apresentadas foram elaboradas por mim de forma independente e autônoma, refletindo puramente a minha opinião. O artigo é um estudo, e em nenhuma hipótese constitui a opinião da empresa.

---

**RESUMO** - Este trabalho propôs a elaboração de uma carta de suscetibilidade à erosão da Área de Proteção Ambiental de Petrópolis. Os dados estudados foram de pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, geomorfologia, oriundos do zoneamento ambiental realizado pelo instituto do ECOTEMA; as curvas de nível do IBGE; e os dados de chuva da ANA. Os dados de chuva foram espacializados através da interpolação em função do inverso da distância - IDW, no ambiente SIG. As camadas foram relacionadas pelo Método Analítico Hierárquico. Assim cada camada foi classificada isoladamente, segundo a tabela do INPE de estabilidade e vulnerabilidade somada a experiência de especialistas. Sequencialmente a isso cada nível de informação foram ponderados par a par, indicando a relevância de um em relação ao outro. Como resultado a carta revela que a região em sua maior parte é suscetível à erosão.

**ABSTRACT** - This paper proposed drafting a letter of susceptibility to erosion of the Environmental Protection Area of Petrópolis. The data were studied pedology, lithology, land use and land cover, geomorphology, from the environmental zoning ECOTEMA performed by the Institute, the contour of the IBGE, and the rainfall data of the ANA. The rainfall data were spatialized by interpolation according to the inverse of the distance - IDW in GIS environment. The layers were related by the Analytic Hierarchy. So each layer was rated separately, according to INPE table stability and vulnerability plus the experience of experts. Sequentially to each level of information that have been considered as pairs, indicating the relevance of one over the other. As a result of the letter reveals that the region is mostly susceptible to erosion.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O artigo com objetivo descritivo decorre do curso de graduação em Engenharia Cartográfica na Universidade do Estado do Rio de Janeiro sob o título “Elaboração da Carta de Suscetibilidade à erosão da APA-Petrópolis”.

Cabe destacar que a escolha da APA-Petrópolis é justificada por ser uma região crítica devido ao seu relevo acentuado e escarpado que ocasiona frequentemente desastres em decorrência das chuvas, situação que pode ser agravada pela erosão; além disso, por sua relevância histórica já que foi a primeira APA federal a ser criada no Brasil.

O presente trabalho teve o objetivo de elaboração da carta de suscetibilidade à erosão. Baseado no Método Analítico Hierárquico, o trabalho foi desenvolvido a partir dos dados de pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, geomorfologia, oriundos do zoneamento ambiental realizado pelo instituto do ECOTEMA; as curvas de nível do IBGE; e os dados de chuva da ANA. Os dados de chuva foram espacializados através da interpolação em função do inverso da distância - IDW, no ambiente SIG.

Inicialmente neste artigo foi apresentada a localização e breve caracterização da área. Em seguida, as camadas foram classificadas segundo tabela do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e especialistas devido à suscetibilidade. E por ultimo, foi detalhada a metodologia utilizada para gerar os pesos de todos os PI que resultou na carta de suscetibilidade à erosão da APA - Petrópolis.

Para finalizar este artigo foram desenvolvidas as conclusões do trabalho a partir de todo o processo de geração da carta e da própria carta.

## 2 METODOLOGIA

Para introdução da exposição da metodologia utilizada, visando maior compreensão da realidade da região onde está sendo realizada o estudo, é apresentada inicialmente a localização e breve caracterização da área por sua particularidade ser uma região crítica devido ao seu relevo acentuado e escarpado que ocasiona freqüentemente desastres.

Seguido a isso é apresentada descrição da elaboração da Carta Síntese de suscetibilidade à erosão: o inventário dos dados, a base cartográfica utilizada, a espacialização da chuva, a classificação de cada camada, a reclassificação devido à suscetibilidade de cada camada, a ponderação de cada camada pelo processo analítico hierárquico, a análise dessa ponderação, e por fim o cruzamento das camadas pela álgebra de mapas

### 2.1 Localização e breve caracterização da área

A APA foi criada em 1982, pelo Decreto 87.561, de 13/09/82, sendo oficializada em 1992, que tem relevante importância histórica, visto que foi a primeira APA criada no Brasil. A localização próxima a latitude 22°30', no município de Petrópolis e no Estado do Rio de Janeiro. O clima da região é caracterizado por chuvas intensas no verão, com grande precipitação por unidade de tempo ocasionando deslizamentos em geral com vítimas.

### 2.2 Construção da Carta Síntese de Suscetibilidade à Erosão

Para construção da Carta primeiramente foi feita a aquisição dos dados e edição dos mesmos. Em seguida, foram definidos os critérios a serem utilizados no artigo como planos de informação. As cartas temáticas dos planos de informação utilizadas foram as do ECOTEMA. Além disto, como base cartográfica foi utilizada o MDE do IBGE e partir dele foi feito o relevo sombreado. Outro dado utilizado foram os dados de medições pluviométricas das estações próximas a região. A espacialização das chuvas foi feita a partir dessas medições. Em posse dessas cartas e dados foram feitas as cartas de reclassificação à suscetibilidade de cada camada. Por fim, cada um desses planos de informações foi ponderado pelo processo analítico hierárquico para cruzamento entre eles. A plataforma de trabalho utilizada foi o ArcDesktop 9.2© Environmental Systems Research Institute, Inc. A seguir o inventário dos dados:

Quadro 1 – Inventário dos dados.

Plano de Informação	Fonte	Escala	DATUM de Origem
Base Cartográfica - curvas de nível	MDT IBGE	1:50.000	SAD69
Uso e Cobertura da terra	ECOTEMA	1:50.000	SAD69
Solos	ECOTEMA	1:50.000	SAD69
Litologia	ECOTEMA	1:50.000	SAD69
Geomorfologia	ECOTEMA	1:50.000	SAD69
Estações Pluviométricas	ANA	-----	SAD69/

#### 2.2.1 Base Cartográfica

O processo de produção da carta foi feito a por compilação direta dos dados existente. A Base Cartográfica utilizada foi o Modelo digital do Terreno (MDT) em ASC II para construção de curvas de nível a partir deles, em 1:50.000 do IBGE com curvas de 20 em 20 metros. O Sistema de Coordenada adotado é o SIRGAS2000 e o a projeção foi a UTM – Zona 23 Sul. Os parâmetros de conversão de SAD69 para SIRGAS2000 foram os indicados pelo IBGE pelo método Molodensky.

Dessa maneira, foi rasterizado pela ferramenta *topo to raster*, feito um filtro para preenchimento de depressão espúria, em seguida usando a ferramenta HillShade foi gerado o Relevo sombreado, mostrado na figura 9:

#### 2.2.2 Planos de Informação

Os dados temáticos de solos; litologia; e uso e cobertura da terra utilizados são do Zoneamento Ambiental do Instituto de Ecologia e Tecnologia de Meio Ambiente ECOTEMA (2001), subsidiado nas imagens do sensor LandSat e SPOT.

Enquanto os dados das estações pluviométricas com as medições de curvas em milímetros foram baixados em formato .txt no site da Agência Nacional de Águas (ANA) e também as coordenadas de cada estação. Gerando a planilha para espacializar as chuvas a partir das coordenadas.

#### 2.2.3 Espacialização das Chuvas

A análise da freqüência de ocorrência de chuva foi realizada através de séries históricas representativas de dados diários de precipitação (ASSAD e SANO, 1998).

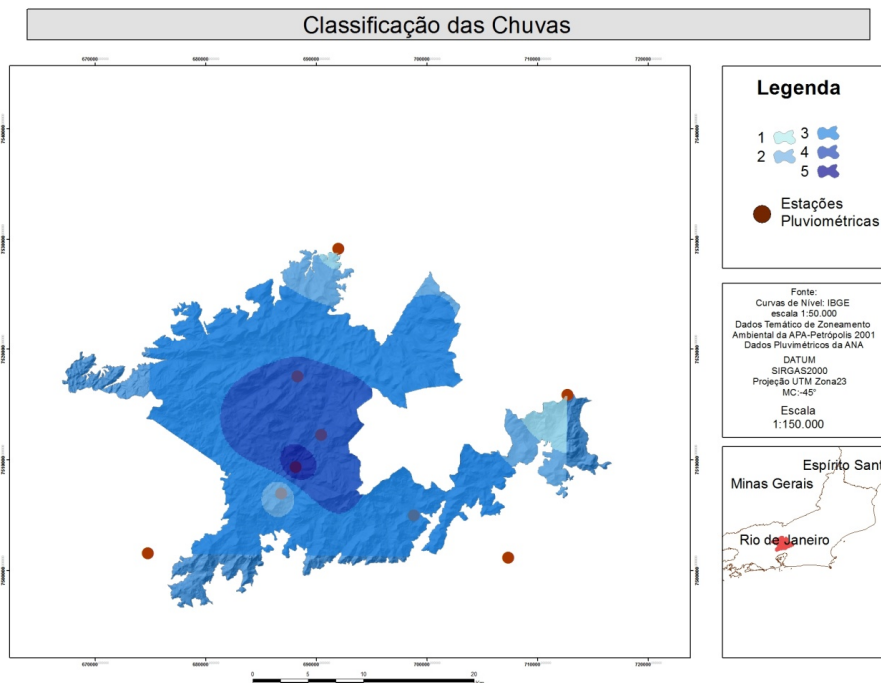
Na área e seu externo existem dezenove estações pluviométricas do Hidroweb no site da ANA. Foram organizadas as planilhas no banco de dados do *Acces* para melhor processamento dos dados.

De acordo com orientação de especialistas, para homogeneizar o dado pluviométrico foi consultado as tabelas com as medições mensais, selecionando as estações e os anos que tivessem dados em maior período possível em comum, que foi do ano de 1950 e de 1955. Para isso considerou-se o mínimo de dez medições anuais, estimando-se as demais para o restante de cada ano. Assim, gerando uma tabela com médias anuais dessas estações com as colunas: latitude, longitude, média, código da estação e nome da estação. E a partir dela os dados foram espacializados associando-as as coordenadas. O arquivo foi convertido para o sistema de coordenada SIRGAS2000. Segue tabela 1 com medias anuais de cada estação e a figura 1 com a localização da Localização das Estações:

Tabela 1 – Médias anuais de Medições de Pluviometria.

Nome	Código	Média Anual (mm)
Itamarati	2243010	3372,60
Parque Nacional	2243188	2372,60
Pedro do Rio	2243012	2199,60
Petrópolis	2243009	3944,20
Rio da Cidade	2243011	3113,00
Santo Aleixo	2243071	2943,60
Soberbo	2242054	3030,80
Teresópolis	2242072	1850,40
Xerém	2243162	2877,60

Figura 1- Localização das estações Pluviométricas



Para espacialização das chuvas foi usada a ferramenta de interpolação IDW. Este interpolado utiliza a média  $n$  pontos vizinhos mais próximos com peso  $W_i$  (ASSAD e SANO apud FELGUEIRAS).

$$W_i = 1/d^N, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Em que:

$D$  = distância euclidiana do  $i$ -ésimo ponto amostrado ao ponto interpolado; e

$N$  = expoente da função distância.

## 2.2.4 Classificação de Chuva

Para classificação da espacialização da chuva foram considerados cinco intervalos. Que estão na tabela a seguir:

Tabela 2 - Classificação da chuva

Classificação	Média Anual
1	1850 - 2268,4
2	2268,5- 2687,24
3	2687,24-3106,08
4	3106,08-3524,92
5	3524,93-3944,2

### 2.2.5 Classificação Temática

A classificação temática adotada foi a mesma que do Zoneamento Ambiental da APA – Petrópolis do ECOTEMA.

### 2.2.6 Classificação à Suscetibilidade à Erosão de cada Camada

Após a organização do banco de dados conforme documentos do Zoneamento Ambiental de Petrópolis do ECOTEMA, cada plano de informação foi reclassificados segundo Tabela do INPE de estabilidade/vulnerabilidade para os temas geologia, geomorfologia, pedologia e uso/cobertura vegetação, juntamente com avaliação de especialistas. Segue tabelas de classificação.

Classificação dos Solos – Pedologia  
Tabela 3 – Suscetibilidade à Erosão de Pedologia

Classificação dos Solos - Pedologia		
Sigla	Nome	Classificação
Ad	Associação Neossolos Flúvicos	5 (Média)
Ar	Associação Afloramento de Rocha	3 (Baixa à Média)
Cd	Associação Cambissolo	10 (Muito Alta)
LVA1	Associação Latossolo Vermelho 1	4 (Baixa à Média)
LVA2	Associação Latossolo Vermelho 2	7 (Média à Alta)
LVA3	Associação Latossolo Vermelho 3	8 (Alta)

Classificação do Uso e Cobertura da Terra  
Tabela 4 – Suscetibilidade à Erosão de Uso e Cobertura da Terra

Classificação de Uso e Cobertura da Terra		
Sigla	Nome	Classificação
Ae	Área em expansão urbana	9 (Alta)
Ag	Área agrícola	7 (Média à Alta)
Ar	Afloramento rochoso	1 (Baixa)
Au	Área urbana	5 (Média)
E1	Estágio inicial de sucessão vegetal secundária	3 (Baixa à Média)
E2	Estágio intermediário de sucessão vegetal secundária	2(Baixa)
Fl	Floresta ombrófila densa	2(Baixa)

Iv	Área de influência das vias de circulação	7 (Média à Alta)
Pt	Pastagem	9 (Alta)
Re	Reflorestamento	4 (Baixa à Média)
Sp	Sítios de pequenos produtores	6 (Média à Alta)
Sr	Sítios de lazer e residências em condomínios de alto padrão construtivo	4 (Média)
Vr	Vegetação rupestre	1 (Baixa)

Classificação dos Litologia – Geologia  
Tabela 5 – Suscetibilidade à Erosão de Litologia

Classificação dos Geologia- Litologia		
Sigla	Nome	Classificação
BGR	Batólito Serra dos Órgãos	5 (Média)
MG-GN	Unidade Rio Negro Migmatítico	7 (Média à Alta)
GRT	Unidade Rio Negro granitóide	6 (Média à Alta)
QA	Depósitos Aluviais	10 (Muito Alta)
GR	Unidade Granito Nova Friburgo	5 (Média)

Classificação da Geomorfologia  
Tabela 6 – Suscetibilidade à Erosão da Geomorfologia

Classificação da Geomorfologia		
Sigla	Nome	Classificação
MA	Montanhas Assimétricas	3 (Baixa à Média)
EA	Escarpas Abruptas	9 (Alta à Muito Alta)
MS	Morros com Serras Restritas	8 (Alta)
EE	Escarpas com Espigões	6 (Média à Alta)
CA	Colinas Altas	4 (Baixa à Média)
VE	Vales Estruturais	8 (Alta)

### 2.2.7 Reclassificação da Chuva e Relevô

As isoietas foram desenhadas a partir do IDW gerado, apoiado nas curvas de nível. Recebendo a seguinte classificação:

Tabela 7 – Suscetibilidade à Erosão de Chuva

Média Anual	Classificação a Suscetibilidade
1850 - 2268,4	5 (Média)
2268,5- 2687,24	6 (Média à Alta)
2687,24-3106,08	7 (Média à Alta)
3106,08-3524,92	8 (Alta)
	9 (Alta)

3524,93-3944,2

Classificação do Relevo:

Tabela 8 – Suscetibilidade à Erosão do Relevo

Declividade	Classificação
0 - 3 %	1 (Baixa)
3 - 8 %	3(Baixa à Média)
8 - 20 %	5 (Média)
20 - 45 %	7(Média à Alta)
45 - 75 %	8 (Alta)
>75 %	9(Alta à Muito Alta)

### 3 MÉTODO ANALÍTICO HIERÁRQUICO

Para cruzamento foram estabelecidos os pesos de cada camada a partir do método analítico hierárquico para esta. Onde através de uma matriz pareada, calculam-se os pesos de cada camada numa comparação par a par. Segundo SENA apud SAATY (2008) apresenta vários exemplos que mostram a importância das escalas relativas são essenciais para representar prioridades ou importância e conhecimento subjetivos.

A comparação de alternativas relativas a um determinado critério resulta em matriz, que se apresentam na forma:

$$A = \begin{matrix} & 1 & a & 12 & & a & 1n \\ & 1/a & & a12 & & 1 & a 2n \\ & & 1/a & 1n & & & 1/a2n 1 \end{matrix}$$

Onde A (nxn) é uma matriz de comparação e  $a_{ij}$  indica o grau de superioridade da alternativa  $i$  sobre a alternativa  $j$ .

$$A_{ij} = w_i/w_j,$$

onde  $W_{ij}$  = peso da alternativa

No presente trabalho a matriz pareada é a seguinte:

Tabela 9 – Matriz Pareada

	Litologia	Pedologia	Uso do solo	Geomorfologia	Declividade	Pluviosidade
Litologia	1	1/2	1	1/2	1/3	1/3
Pedologia	2	1	1	1	1/3	1/3
Uso do solo	1	1	1	1	1/2	1/2
Geomorfologia	2	1	1	1	1/2	1/2
Declividade	3	3	2	2	1	1
Pluviosidade	3	3	2	2	1	1

A chuva é o agente causador da erosão. (JORGE, 1998). E na matriz ponderada ela recebeu o grau mais alto. A declividade tem relevante importância na infiltração e principalmente no escoamento, quanto maior a inclinação do relevo maior a velocidade do escoamento superficial. (MOREIRA, 1998) Portanto, sua influência é igual à pluviosidade.

A pedologia é a caracterização das propriedades do solo interferindo na infiltração e absorção da pluviosidade. (SALOMÃO, 1998). Dessa maneira tem importância menor que a declividade e similar ao uso e cobertura da Terra. Este se relaciona com capacidade do solo se proteger, por isso, tem peso menor que a pedologia. A geomorfologia pode acarretar em acumulação de água. (MOREIRA, 1998). E recebeu, portanto, peso semelhante ao da pedologia.

Outro fator são as propriedades litológicas do substrato rochoso que não são um forte fator de erosão. Como estão abaixo do solo receberam o menor peso na ponderação.

Para o desenvolvimento do cálculo dos pesos é dividido cada elemento pelo somatório dos elementos das colunas, gerando a seguinte matriz:

Tabela 14 – Matriz de calculo dos pesos

	Litologia	Pedologia	Uso do solo	Geomorfologia	Declividade	Pluviosidade
Litologia	0,08	0,05	0,13	0,07	0,09	0,09
Pedologia	0,17	0,11	0,13	0,13	0,09	0,09
Uso do solo	0,08	0,11	0,13	0,13	0,14	0,14
Geomorfologia	0,17	0,11	0,13	0,13	0,14	0,14
Declividade	0,25	0,32	0,25	0,27	0,27	0,27
Pluviosidade	0,25000	0,31579	0,25000	0,26667	0,27273	0,27273

Então, foi feito o somatório de cada linha dividido pelo número de elementos,  $n$ , no caso 5, para obter o valor do peso de cada camada. A seguir a tabela 15 da matriz dos pesos:

Tabela 15 – Matriz dos pesos

Planos de Informação	Pesos
Litologia	0,084908293
Pedologia	0,118680223
Uso do solo	0,11994285
Geomorfologia	0,133831738
Declividade	0,271318448
Pluviosidade	0,271318448

Seqüencialmente a isso, para avaliar a consistência da matriz foi calculado a razão de consistência dada pela razão entre: índice de consistência, dividindo cada elemento pelo somatório dos elementos das colunas, gerando uma matriz; e o índice aleatório. Esses índices são respectivamente, autovetor e o autovalor. (SENA apud HARRIS & SINGER, 2008).

Para calculo do auto vetor, é usada a equação segundo SENA:

$$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n) / (n - 1)$$

$$\lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Aw_i}{W_i}$$

Onde:

$n$  é a ordem da matriz

$Aw$  é a Matriz resultante do produto de comparação pareada pela matriz dos pesos

$W_i$  é a matriz dos pesos.

Segue a tabela 16 da matriz  $Aw$ :

Tabela 16- Matriz  $Aw$ 

Litologia	6,029871
Pedologia	6,093268
Uso do solo	6,07524
Geomorfologia	6,0792
Declividade	6,121779
Pluviosidade	6,121779

Foi encontrado o valor de IC igual a **0,017371**

Quanto mais próximo de 0 o valor de IC, maior é a consistência da matriz de comparação. O índice randômico (IR) é encontrado na tabela 17 a seguir, para matrizes de diferentes ordens (SENA, 2008).

Tabela 17 – Índice Randômico. Fonte: SENA, 2008

ORDEM	2	3	4	5	6
IR	0	0,58	0,9	1,12	1,24

A relação entre o índice de consistência (IC) e o índice aleatório ou randômico (IR) é chamada de razão de consistência (R.C), que deve ser  $< 0,10$ .

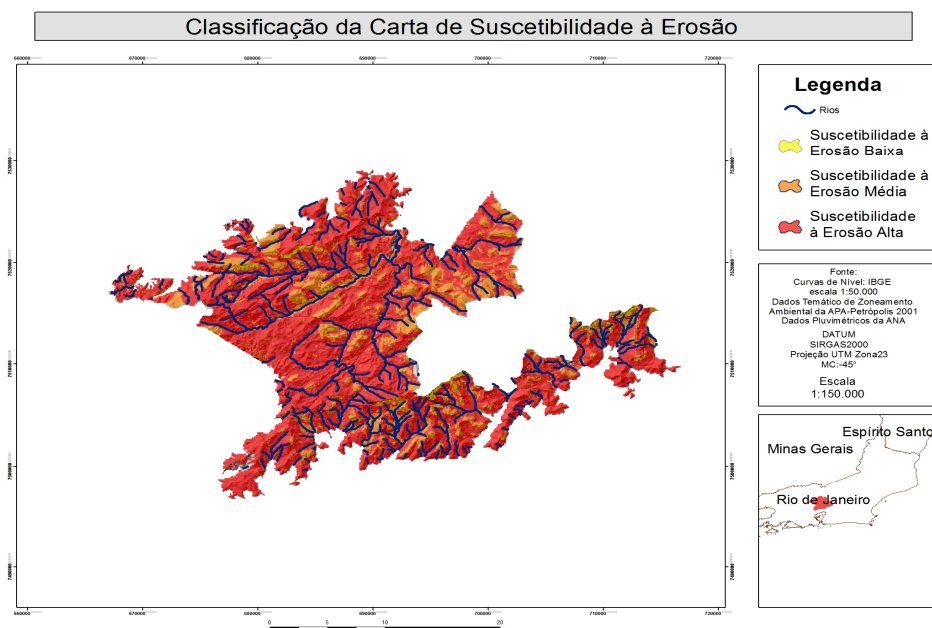
Assim o cálculo de RC foi:

$$\begin{aligned} RC &= IC/IR \\ &= 0,017371/ 1,124 \\ RC &= 0,017371218 \end{aligned}$$

Mostrando um grau de consistência satisfatório, pois ele é menor do que 0,10.

Após geração de *raster* de cada camada é aplicado os valores dos pesos gerando um *raster* com a ferramenta *raster calculator* do software ArcDesktop© Environmental Systems Research Institute, Inc gerando a carta de suscetibilidade.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES



Para melhor visualização dos resultados a carta está reclassificada nos intervalos a seguir na tabela:

Tabela 14 - Reclassificação de Suscetibilidade

Classificação	Área (Km <sup>2</sup> )	Suscetibilidade à Erosão	Percentual de Cada Área
2-3	9,2	Baixa	1,55%
3-5	252,98	Média	42,64%
5-7,21	331,06	Alta	55,9%

A tabela demonstra que apenas menos de 2% da região encontra-se em área de baixa suscetibilidade à erosão; e mais de 98% da área encontra-se em área de média e alta suscetibilidade à erosão. Dessa forma a situação crítica da região é ressaltada, já que por suas condições físicas e pluviométricas propiciam um ambiente quase que totalmente suscetível à erosão. A ação antrópica é um fator decisivo para o processo erosivo, contribuindo para a aceleração da erosão. (Faria et AL, 2003)

#### 5 CONCLUSÃO

O geoprocessamento é uma excelente ferramenta no estudos ambientais (DIAS apud ARONOFF & BONHAM-CARTER, 2005). Dessa maneira o geoprocessamento como ferramenta de estudo de erosão, atende a necessidade de representação atual da realidade, possibilitando a tomada de decisão.

A conclusão deste trabalho demonstra que o método utilizado para a ponderação das cartas de geologia, geomorfologia, uso e cobertura da Terra, pedologia juntamente com a base cartográfica das curvas de nível gerando o relevo da região e com a espacialização da chuva foi eficaz para construção da carta de suscetibilidade à erosão da APA – Petrópolis, pois com base nos autores referenciados o método organiza por hierarquia a combinação par a par de diversas variáveis, que é o caso da suscetibilidade à erosão.



Na espacialização das chuvas, nem todas as estações existentes puderam ser incluídas no cálculo de espacialização devido à falta de medição de dados ininterruptos. Foram procuradas outras fontes além da ANA, como o Instituto Estadual do Meio Ambiente, mas também não existiam dados necessários.

Outra dificuldade do projeto foi à interdisciplinaridade envolvida no tema requerendo avaliação na classificação à suscetibilidade de cada plano de informação, que foi apoiada durante todo o trabalho por especialistas e pela tabela do INPE de estabilidade/vulnerabilidade.

Por fim o produto final do projeto, carta de suscetibilidade à erosão, demonstrou que a maior parte da APA-Petrópolis está classificada de média à alta. Indicando que a região é crítica; e a carta dá suporte à tomada de decisão para aprofundamento do estudo da região, podendo servir para comparação de estudos baseados em dados atuais.

## REFERÊNCIAS

DIAS, J.E.; GOMES, O.V.O.; REZENDE, A.S.; SALLES, R.R.; GÓES, M.H.B.G. **Áreas Críticas De Erosão Do Solo No Município De Volta Redonda - RJ**, Volta Redonda: Caminhos De Geografia - revista on line, 2005

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Disponível em: <<http://www.inpe.br/>>

Acesso em: 07 de maio.2011.

JORGE, F.N.; UEHARA, K. **Geologia de Engenharia Cap.7 Águas de Superfície**, São Paulo: Ed Oficina de Texto, 1998

FARIA, A. L. L.; SILVA, JORGE X.; GOES, M. H. DE B. , **Análise Ambiental Por Geoprocessamento Em Áreas Com Susceptibilidade À Erosão Do Solo Na Bacia Hidrográfica Do Ribeirão Do Espírito Santo, Juiz De Fora (Mg), Juiz De Fora**: Caminhos De Geografia - revista on line, 2005

MOREIRA, C. V. R.; NETO A. G. P. **Geologia de Engenharia Cap. 5 Clima e Relevo**, São Paulo: Ed Oficina de Texto, 1998

SALOMÃO , F.X.T.; ANTUNES, F.S. **Geologia de Engenharia Cap.6 Solos em Pedologia**, São Paulo: Ed Oficina de Texto, 1998

SANTOS, Maisa de Q., **Elaboração da carta de Suscetibilidade à Erosão**, Rio de Janeiro,UERJ, 2011.

SENA, Júlio Nascimento, **O Uso de Sistema de Informação Geográfica na Avaliação de Diferentes Alternativas de Geração de cartas de Suscetibilidade à Erosão**. Ilha Solteira, 2008

VIEIRA, Alice Maria Barreto; SANTOS Carlos Alberto dos; BOSIO, Valmir, **Zoneamento Ambiental da APA Petrópolis 2ª Etapa e Bancos Georreferência**, Petropolis, 2001