

Fernanda Mara Coelho

Geotecnologias aplicadas ao  
mapeamento da vulnerabilidade  
ambiental: estudo de caso do  
município de Rio Acima/MG

XIV Curso de Especialização em  
Geoprocessamento



UFMG  
Instituto de Geociências  
Departamento de Cartografia  
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha  
Belo Horizonte  
cartografia@igc.ufmg.br

FERNANDA MARA COELHO

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE  
AMBIENTAL: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE RIO ACIMA/MG**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Geoprocessamento. Curso de Especialização em Geoprocessamento. Departamento de Cartografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientadora: Profa. Úrsula Ruchkys de Azevedo

BELO HORIZONTE  
2013

C672g Coelho, Fernanda Mara.  
2013 Geotecnologias aplicadas ao mapeamento da vulnerabilidade ambiental [manuscrito] : estudo de caso do município de Rio Acima-MG / Fernanda Mara Coelho. – 2013.  
viii, 33 f. : il. (color.)

Monografia (especialização em Geoprocessamento) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2013.

Orientadora: Úrsula Ruchkys de Azevedo.

Bibliografia: f. 32-33.

1. Geoprocessamento. 2. Meio Ambiente. 3. Rio Acima (MG). I. Azevedo, Úrsula Ruchkys de. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 910.27

Aluna: Fernanda Mara Coelho

Monografia defendida e aprovada em cumprimento ao requisito exigido para a obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento, em 05 de dezembro de 2014, pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

---

Prof. Dra. Úrsula Ruchkys de Azevedo - IGC/UFMG - Orientadora

---

Prof. Dra. Maria Márcia M. Machado - IGC/UFMG

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....	9
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA .....	11
2.1. Vulnerabilidade ambiental .....	11
2.2. Geoprocessamento e vulnerabilidade ambiental .....	12
CAPÍTULO 3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA .....	14
3.1. Localização e acesso .....	14
3.2. Histórico .....	15
3.3. Aspectos sócio-econômicos .....	15
3.4. Geologia e geomorfologia .....	16
CAPÍTULO 4 - MATERIAIS E MÉTODOS .....	18
4.1. Materiais utilizados .....	18
4.2. Métodos .....	18
4.2.1. Organização, tratamento e geração dos dados .....	19
4.2.2. Determinação dos índices de vulnerabilidade .....	24
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS: VULNERABILIDADE DO MUNICÍPIO DE RIO ACIMA / MG .....	29
CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	32

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Localização do município de Rio Acima, no contexto da APA Sul	14
Figura 02 - Fluxograma das etapas metodológicas .....	18
Figura 03 - Mapa Geológico do Município de Rio Acima .....	20
Figura 04 - Mapa de Solo do Município de Rio Acima .....	21
Figura 05 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Município de Rio Acima ...	22
Figura 06 - Mapa de Declividade do Município de Rio Acima .....	23
Figura 07 - Mapa Hipsométrico do Município de Rio Acima .....	24
Figura 08 - Mapa de vulnerabilidade ambiental do Município de Rio Acima ..	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Comparativo da evolução populacional de Rio Acima .....	16
Tabela 02 - Comparativo do Produto Interno Bruto (valor adicionado) de Rio Acima .....	16
Tabela 03 - Critérios qualitativos adotados .....	24
Tabela 04 - Tabela de notas para as diferentes variáveis e seus respectivos elementos .....	25
Tabela 05 - Notas e pesos atribuídos para as variáveis e seus elementos ....	27

## RESUMO

Os mapeamentos de vulnerabilidade vêm sendo desenvolvidos por meio de análise ambiental integrada utilizando técnicas de geoprocessamento que permitem a espacialização dos riscos auxiliando no planejamento urbano e na proposição de medidas de prevenção. O presente trabalho faz um diagnóstico das áreas de vulnerabilidade ambiental no município de Rio Acima utilizando técnicas de geoprocessamento. A metodologia proposta consiste, primeiramente, na geração de mapas temáticos envolvendo as variáveis geologia, solo, uso e cobertura da terra, declividade e altimetria e reclassificação dos mesmos com atribuição de notas para as classes de cada variável em função de sua representatividade na questão de vulnerabilidade ambiental. Posteriormente, por meio de análise multicritérios, as variáveis foram combinadas e receberam pesos resultando no mapa de vulnerabilidade ambiental do município de Rio Acima - MG. Os resultados indicam vastas áreas vulneráveis. Esta ocorrência está associada à presença de rochas suscetíveis ao deslizamento e grandes declividades, principalmente. O resultado obtido pode ser utilizado na elaboração de medidas de prevenção e no auxílio ao planejamento urbano de órgãos públicos e privados.

Palavras chave: Geoprocessamento, Vulnerabilidade Ambiental, Análise Multicritério.



## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

O município de Rio Acima está localizado na Região Metropolitana de Belo Horizonte e tem grande importância para a história do Estado. Seu território possui ricos patrimônios histórico, cultural e ambiental, que constituem atrativos naturais e paisagísticos para atividades ligadas ao turismo.

A proximidade com a capital do Estado, Belo Horizonte, e sua inserção no Quadrilátero Ferrífero trazem uma pressão para o município relacionada a uma conjunção de fatores de ordem econômica, ambiental e social. O município vem apresentando nos últimos anos surgimento de novos empreendimentos imobiliários residenciais e ampliação de obras rodoviárias, como a duplicação da BR 356 (que liga Rio Acima a Belo Horizonte).

A exploração de recursos minerais nessa região e no Quadrilátero Ferrífero como um todo é uma atividade antiga, de grande expressão no contexto estadual. Existe uma proposta aprovada para a instalação de uma mina de minério de ferro (mina de Apolo) da Companhia Vale do Rio Doce na Serra do Gandarela que tem parte do seu território no município. A Serra do Gandarela apresenta importantes atributos naturais ligados à biodiversidade e a geodiversidade sendo uma das poucas serras ainda não afetadas pela mineração no Quadrilátero Ferrífero. Sua importância paisagística, hidrológica, biológica e geológica levou a proposição de uma unidade de conservação – O Parque Nacional do Gandarela - por meio do Instituto Chico Mendes (ICMbio).

Todos estes interesses diferenciados (econômicos, ambientais e sociais) devem ser considerados no planejamento municipal. Uma das análises que pode auxiliar neste planejamento é aquela ligada à vulnerabilidade ambiental que pode ser definida de forma simplificada como a existência espacial de áreas de risco. Crepani (2001) considera que as áreas mais vulneráveis são aquelas caracterizadas pela maior perda de solo decorrente do carregamento de massa que pode aumentar o risco de escorregamentos – muitas vezes provocados por cortes e aterros em áreas de alta declividade, por exemplo. Os mapeamentos de vulnerabilidade vêm

sendo desenvolvidos por meio de análise ambiental integrada utilizando técnicas de geoprocessamento que permitem a espacialização dos riscos auxiliando no planejamento urbano e na proposição de medidas de prevenção.

Neste contexto, o objetivo é diagnosticar áreas de vulnerabilidade ambiental no município de Rio Acima, considerando principalmente as características do meio físico do município utilizando técnicas de geoprocessamento.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO DA LITERATURA

#### 2.1. Vulnerabilidade ambiental

É muito comum encontrar estudos sobre vulnerabilidade no campo ambiental. O conceito tem sido utilizado em diferentes ciências e vem produzindo vários estudos. Hogan (2005) defende a importância da vulnerabilidade ambiental como auxílio na distinção entre impacto e risco e a emprega em estudos populacionais, de vulnerabilidade social e sustentabilidade ambiental.

Figueirêdo *et al* (2010) conceituam a vulnerabilidade ambiental como a sensibilidade de um sistema tendo em vista o desgaste do meio físico e classifica em três os aspectos para a análise da vulnerabilidade ambiental, sendo eles a exposição, a sensibilidade sistema e a capacidade de resposta do meio físico.

De acordo com Crepani (2001), um mapeamento de vulnerabilidade deve levar em consideração dados sobre o meio físico, incluindo: geologia, geomorfologia, solos, MDT, declividade e altimetria. Cada uma dessas unidades tem determinado os índices de vulnerabilidade de acordo com o propósito do projeto. Para o autor, destaca-se na escala de vulnerabilidade ambiental:

*“os parâmetros que se apresentam como indicadores de categoria morfodinâmica (como a espessura e maturidade do solo), ou aqueles capazes de influir decisivamente no desenvolvimento dos processos morfodinâmicos (como o grau de coesão das rochas, a densidade de cobertura vegetal, os índices morfométricos do terreno e a intensidade pluviométrica)”.*

Para este autor as áreas de maior vulnerabilidade são caracterizadas pela maior potencialidade de perda do solo o que pode acarretar movimento de massa levando ao transporte de tudo o que estiver acima do substrato afetado, incluindo residências, estradas, plantações, entre outros.

Movimento de massa é definido por Tominaga *et al* (2008) como o movimento do solo, rocha e/ou vegetação ao longo da vertente sob a ação direta da gravidade. A contribuição de água no processo se dá pela redução da resistência dos materiais. Na região sudeste do Brasil o movimento de massa mais comum é o escorregamento, também conhecido como deslizamento, processo que envolve o transporte de materiais que recobrem as superfícies das vertentes ou encostas, tais como solos, rochas e vegetação.

Os movimentos de massa podem ser facilitados por ações humanas tais como acúmulo de lixo ou entulho; ocupação de áreas com altas declividades; intervenção em cortes e aterros; dentre outros. Neste contexto os estudos de vulnerabilidade ambiental são importantes e Gallopin (2006) destaca que os mapeamentos de vulnerabilidade devem considerar as características da área mapeada buscando compreender quais os elementos que mais influenciam na perda de solo. Em mapeamentos envolvendo técnicas de geoprocessamento, isto é especialmente importante, principalmente ao se trabalhar com análise multicritério, pois a compreensão da importância relativa de cada elemento irá contribuir na definição de notas e pesos.

## **2.2. Geoprocessamento e vulnerabilidade ambiental**

As geotecnologias se apresentam como importante instrumento na identificação de áreas vulneráveis. Utilizando-se da união de variáveis do meio físico, Rodrigues e Pereira (2013) mapearam áreas de fragilidade utilizando recursos de SIG e sensoriamento remoto, por meio da elaboração de um banco de dados georreferenciado, processamento e geração de uma carta final, a fim de orientar a melhor alternativa à gestão integrada de unidades de conservação.

Saito (2011) vem ressaltar a relevância do uso de geotecnologias apontando a facilidade de acesso às ferramentas de geoprocessamento (como a constante difusão do uso do GPS, gratuidade de bons softwares de sistema de informação geográfica – SIG –, disponibilidade livre de imagens de satélite) associada a estudos de mapeamento de monitoramento de desastres naturais. Por meio do uso de SIG's é possível analisar áreas em diferentes datas, simular futuros cenários, avaliar

ambientes por multicritérios, manipular dados, entre outras situações. Para a autora “muitos tomadores de decisão, planejadores e administradores também desconhecem a potencialidade das geotecnologias para a gestão, prevenção e mitigação de desastres naturais e eventos extremos”.

Souto e Amaro (2005) destacam a importância de um mapeamento de vulnerabilidade no diagnóstico de possíveis problemas ambientais e enfatizam que as técnicas de geoprocessamento aplicadas a estes estudos podem ser associadas ao conhecimento à exploração de práticas de controle e proteção de áreas fragilizadas.

Crepani (1996; 2001) propõe uma metodologia de análise de áreas vulneráveis que resulta em mapas de vulnerabilidade ambiental direcionada ao desgaste do solo com o intuito de auxiliar no Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia. Dessa forma, o autor reúne características do meio físico e gera escalas de vulnerabilidade das unidades mapeadas de acordo com os princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977).

Já Nascimento e Dominguez (2009) diagnosticam a vulnerabilidade ambiental a partir de variáveis integradas, entre elas, a geologia, o solo, a declividade, o uso da terra e vegetação. Os autores utilizaram o mapeamento da vulnerabilidade como instrumento para a gestão costeira dos municípios de Belmonte e Canavieiras, situados no litoral sul do estado da Bahia, a fim de auxiliar o desenvolvimento local e regional e evidenciam o uso dos SIG's que se apresenta fundamental tendo em vista a inter-relação do espaço-tempo entre os dados espaciais utilizados.

## CAPÍTULO 3

### CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

#### 3.1 Localização e acesso

O município de Rio Acima, com uma área de 229,812 km<sup>2</sup> se localiza na região metropolitana de Belo Horizonte, sendo limítrofe com os seguintes municípios: à norte com Raposos, à nordeste com Caeté, à leste com Santa Bárbara, à sul com Itabirito e à oeste com o município de Nova Lima. Está inserido na unidade de conservação Área de Proteção Ambiental (APA) Sul (Figura 01).

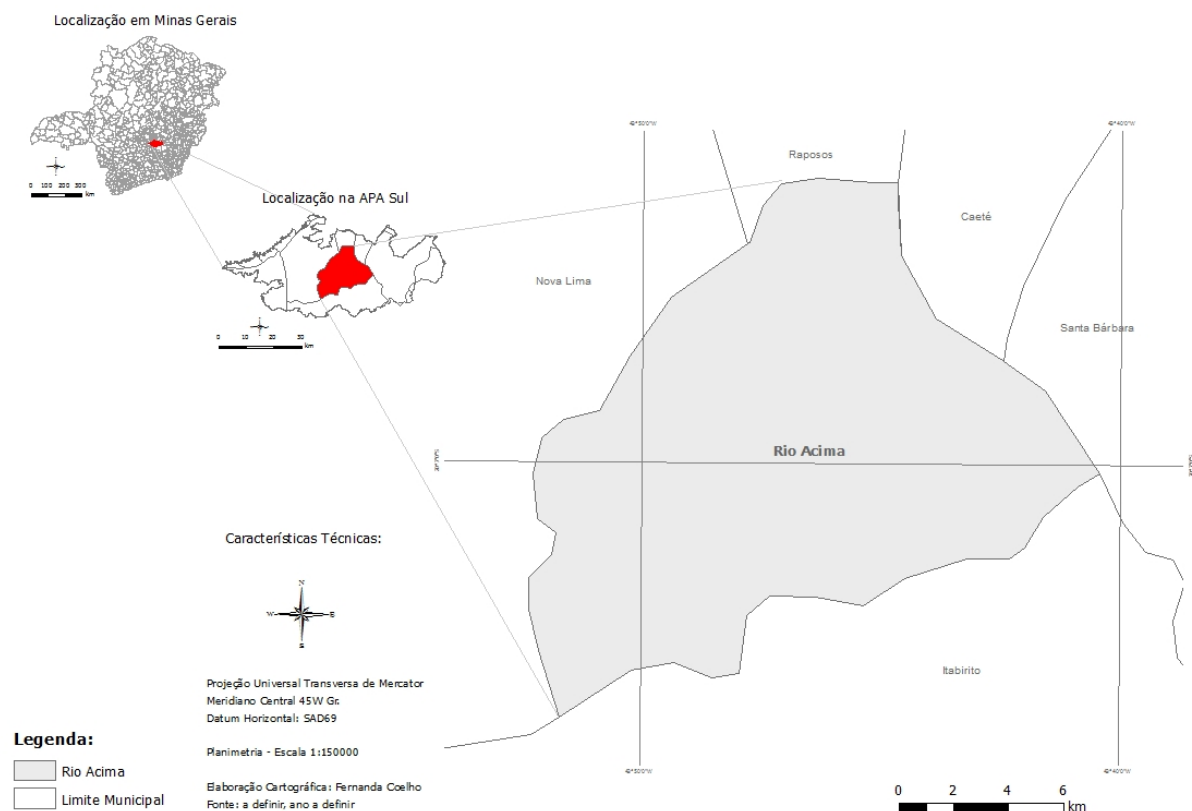


Figura 01: Localização do município de Rio Acima, no contexto da APA Sul.

Distante 38 km da capital Belo Horizonte (sentido Rio de Janeiro), Rio Acima tem a BR-356 como principal acesso. O trecho da BR-356 que contempla o município é o mesmo trecho de passagem da rodovia MG-030. Outras estradas

vicinais são importantes para o município em razão do acesso aos distritos locais, entretanto, a BR-356 se destaca pela importância e ligação interestadual.

### **3.2 Histórico**

Rio Acima surgiu como um povoado no século XVIII (denominado Santo Antônio) situado às margens da Estrada Real. Na época do ciclo do ouro a localização do município era estratégica, pois a estrada que fazia a conexão entre Ouro Preto e Santa Bárbara passando pela Serra do Gandarela cortava o município. Era por este trecho que se dava o caminho do ouro.

Devido ao fenômeno do encontro das águas dos pequenos córregos com o Rio das Velhas, o município foi posteriormente nomeado de Santo Antônio do Rio Acima, uma vez que os bandeirantes se orientavam pela direção dos rios. No ano de 1981, Santo Antônio do Rio Acima se tornou parte do município de Nova Lima sendo mais tarde, no ano de 1923 nomeado Rio Acima e emancipado em dezembro do ano de 1948 (IBGE, 2013).

O município de Rio Acima é hoje parte integrante da Associação do Circuito do Ouro.

### **3.3 Aspectos sócio-econômicos**

Desde a sua emancipação em 1948 o município de Rio Acima tem se desenvolvido e expandido sua população de forma moderada, conforme constam os dados do IBGE de 2010. O município que em 1991 apresentava uma população de 7.066 habitantes, hoje tem um contingente total estimado de 9.704 habitantes e densidade demográfica de 39,55 habitantes por km<sup>2</sup> (IBGE, 2013). Apesar do pequeno porte populacional, Rio Acima é frequentemente procurada por turistas devido à sua beleza natural e às espetaculares cachoeiras encontradas na região.

A tabela a seguir (Tabela 01) apresenta um comparativo do crescimento populacional de Rio Acima em relação à Minas Gerais e ao Brasil. Percebe-se que

no último ano do censo o crescimento do município foi demasiadamente superior ao do Estado e também ao crescimento do País.

Tabela 01: Comparativo da evolução populacional de Rio Acima

Ano	Rio Acima		Minas Gerais		Brasil	
	Total	%	Total	%	Total	%
<b>1991</b>	7.066	-	15.743.152	-	146.825.475	-
<b>1996</b>	7.511	6,3	16.567.989	5,2	156.032.944	6,3
<b>2000</b>	7.658	1,9	17.891.494	7,9	169.799.170	8,8
<b>2007</b>	8.257	7,8	19.273.506	7,7	183.987.291	8,4
<b>2010</b>	9.090	10,1	19.597.330	1,6	190.755.799	3,7

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010)

No que diz respeito à economia pode-se afirmar que o município de Rio Acima tem grande parte de sua receita voltada para atividades de prestação de serviço, onde 74% do total do Produto Interno Bruto (PIB - valor adicionado) é derivado desta ação. Os outros 26% ficam divididos entre indústria, responsável por 25% e a agropecuária, responsável por menos de 1% do valor adicionado.

A tabela a seguir (Tabela 02) apresenta o comparativo do PIB de Rio Acima com relação à Minas Gerais e ao Brasil.

Tabela 02: Comparativo do Produto Interno Bruto (valor adicionado) de Rio Acima

Ano	Rio Acima		Minas Gerais		Brasil	
	Total	%	Total	%	Total	%
<b>Agropecuária</b>	398	0,4	15.568.048	9,3	105.163.000	5,7
<b>Indústria</b>	23.685	25,4	54.306.183	32,5	539.315.998	29,3
<b>Serviços</b>	69.330	74,2	97.398.820	58,2	1.197.774.001	65,0

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010)



### 3.4 Geologia e geomorfologia da região

O município de Rio Acima está inserido no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero que regionalmente é constituído por duas unidades litoestratigráficas arqueanas: complexos metamórficos e Supergrupo Rio das Velhas e por duas unidades Paleoproterozoicas: Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi. Segundo Ruchkys et al (2012) destaca-se ainda a presença de rochas básicas e metabásicas que cortam as unidades litoestratigráficas e o Fanerozoico encontra-se restrito a pequenas bacias intramontanas cenozóicas, como as bacias do Gandarela e do Fonseca.

No município afloram rochas do Supergrupo Rio das Velhas (porção central e leste) e do Supergrupo Minas (porção oeste). As rochas do Grupo Nova Lima (metavulcânicas) são predominantes na porção central e extremo leste do município enquanto as rochas do Grupo Maquiné (metassedimentares) ocorrem preferencialmente na porção leste.

O Supergrupo Minas ocorre na parte oeste do município com afloramentos dos Grupos Caraça, Itabira e Piracicaba. A análise do mapa geológico do município mostra ainda a ocorrência mais restrita de rochas do período Cenozóico, cujas unidades geológicas variam entre depósitos elúvios-colúviais, depósitos aluviais recentes e coberturas detrito-lateríticas. Também de forma restrita, datadas do Arqueano, ocorre exposição de rochas do embasamento cristalino do Complexo Bação.

O município está situado à Bacia do Rio São Francisco e é banhado pelo Rio das Velhas. Outros córregos de menor importância também servem ao local, como é o caso dos córregos do Vilela, da Água Limpa e Santo Antônio que, junto com outros mais, deságuam no São Francisco contra a correnteza gerando o fenômeno de águas correndo acima, o que caracteriza a denominação do local. As maiores altitudes são alcançadas na Serra Gandarela atingindo 1665 m.

## CAPÍTULO 4

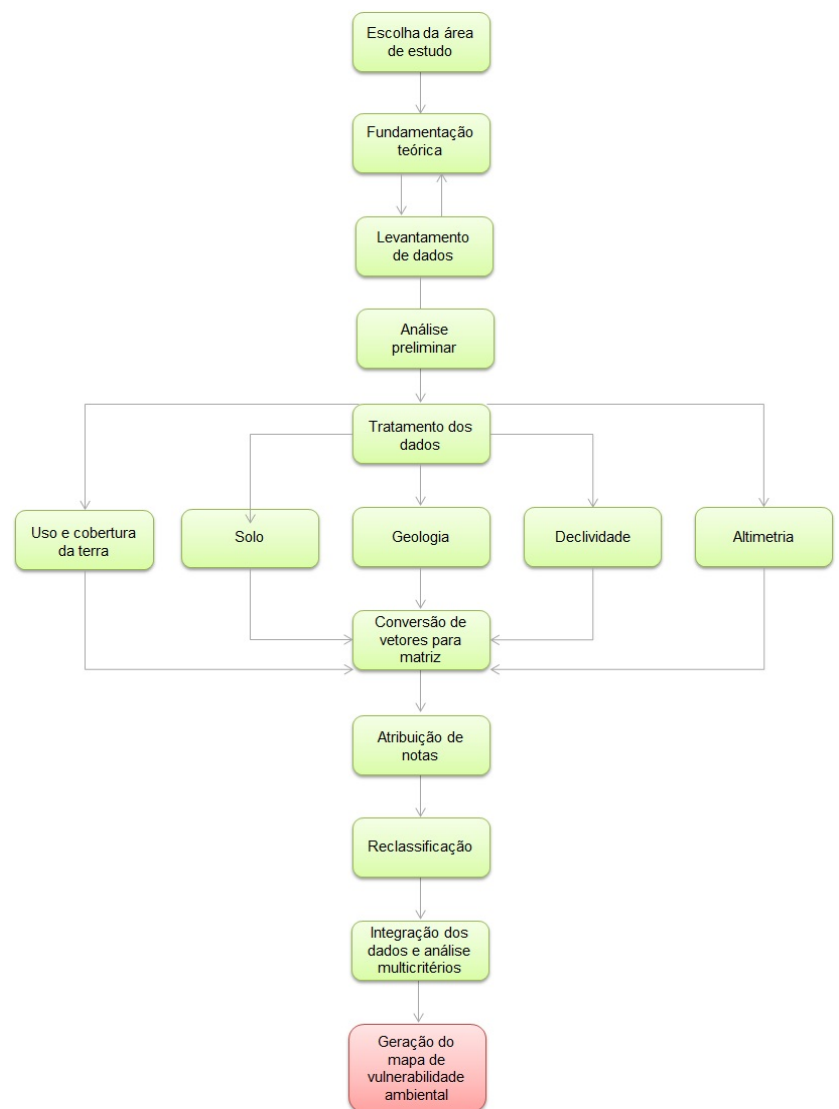
### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 4.1 Materiais utilizados

Para a efetivação deste trabalho, foram utilizados os dados vetoriais de geologia e geomorfologia fornecidos pelo Relatório de Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) da APA Sul, limite de território municipal de Rio Acima fornecido pelo IBGE e imagem digital de elevação de terreno SRTM, para a extração de informações de declividade e altimetria, fornecida pela EMBRAPA.

#### 4.2 Métodos

A Figura 02 exprime a estrutura geral da metodologia utilizada para atingir os objetivos deste trabalho tendo como referência a proposta de Crepani (2001):



i

Figura 02: Fluxograma das etapas metodológicas.

#### 4.2.1. Organização, tratamento e geração das informações

A base cartográfica fornecida pelo ZEE contempla toda a APA Sul e os seguintes temas: cobertura e uso do solo, geologia, geomorfologia, geoquímica, geotecnia, hidrogeologia, pedologia e planimetria. Da mesma forma, a base fornecida pelo IBGE contém todos os municípios do Estado brasileiro. Tendo em vista a escala deste trabalho, apenas os municípios mineiros foram utilizados (a fim de informar a exata localização da área), especialmente o município de Rio Acima. Desta forma, o primeiro passo para a execução do trabalho foi a triagem dos temas relevantes para a pesquisa e a limitação destes considerando a área mapeada.

A base original do ZEE contém todas as unidades geológicas, formações e unidades individualizadas para toda a APA Sul. Para a geologia do município, foram filtradas as unidades geológicas: Supergrupo Minas, Rio das Velhas, Embasamento Cristalino (Complexo Bação) e as unidades Coberturas detrito-lateríticas e depósitos recentes. Originalmente estas unidades estavam individualizadas por Grupos e Formações. Entretanto, optou-se por utilizar somente os Grupos do Supergrupo Rio das Velhas (Maquiné e Nova Lima) e Formações do Supergrupo Minas que foram agrupadas: Moeda M1, Moeda M2 e Moeda M3 tornaram-se apenas Moeda, Cauê H foi agregado à Formação Cauê e Cercadinho QF foi agregado à Formação Cercadinho (Figura 03).

A produção do mapa de geologia, bem como dos mapas de solo e uso e ocupação foi efetivada por meio do software ArcGIS. Dessa forma, utilizou principalmente as ferramentas *Clip*, a fim de recortar a área de interesse, e a ferramenta *Dissolve*, que possibilitou a união das características de acordo com o estabelecido anteriormente.

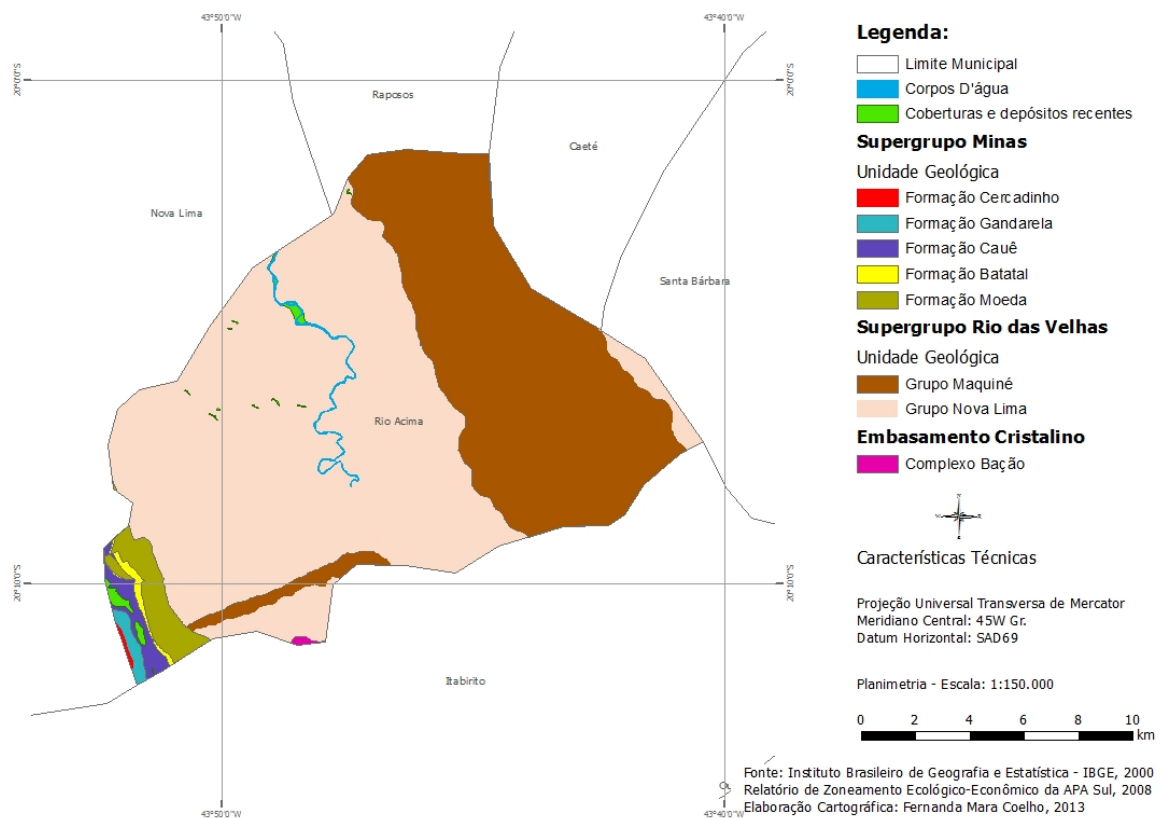


Figura 03: Mapa Geológico do Município de Rio Acima

Para a produção do mapa de solo optou-se por utilizar a classificação da base original: argissolo, afloramento de rocha, área degradada, cambissolo, canga, gleissolo, latossolo, neossolo e área urbana. Este mapa foi produzido utilizando-se a ferramenta *Clip* para atingir o resultado final (Figura 04).

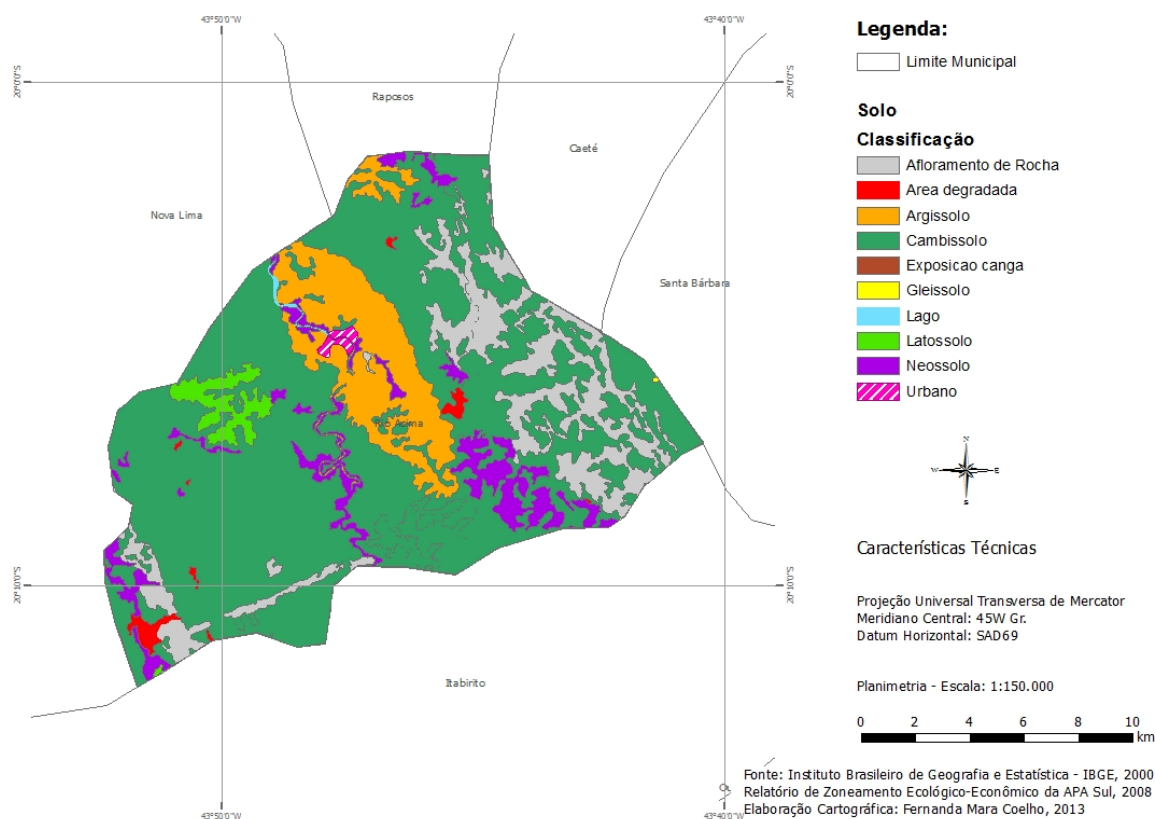


Figura 04: Mapa de Solo do Município de Rio Acima

O mapa de uso e ocupação do solo municipal foi tematizado conforme o tipo de cobertura apresentado nas bases originais: atividade mineral, campo cerrado/graminoso, campo rupestre, mata, pastagem, reflorestamento, solo exposto e solo urbano. Para tanto, utilizou-se a ferramenta *Clip* (Figura 05).

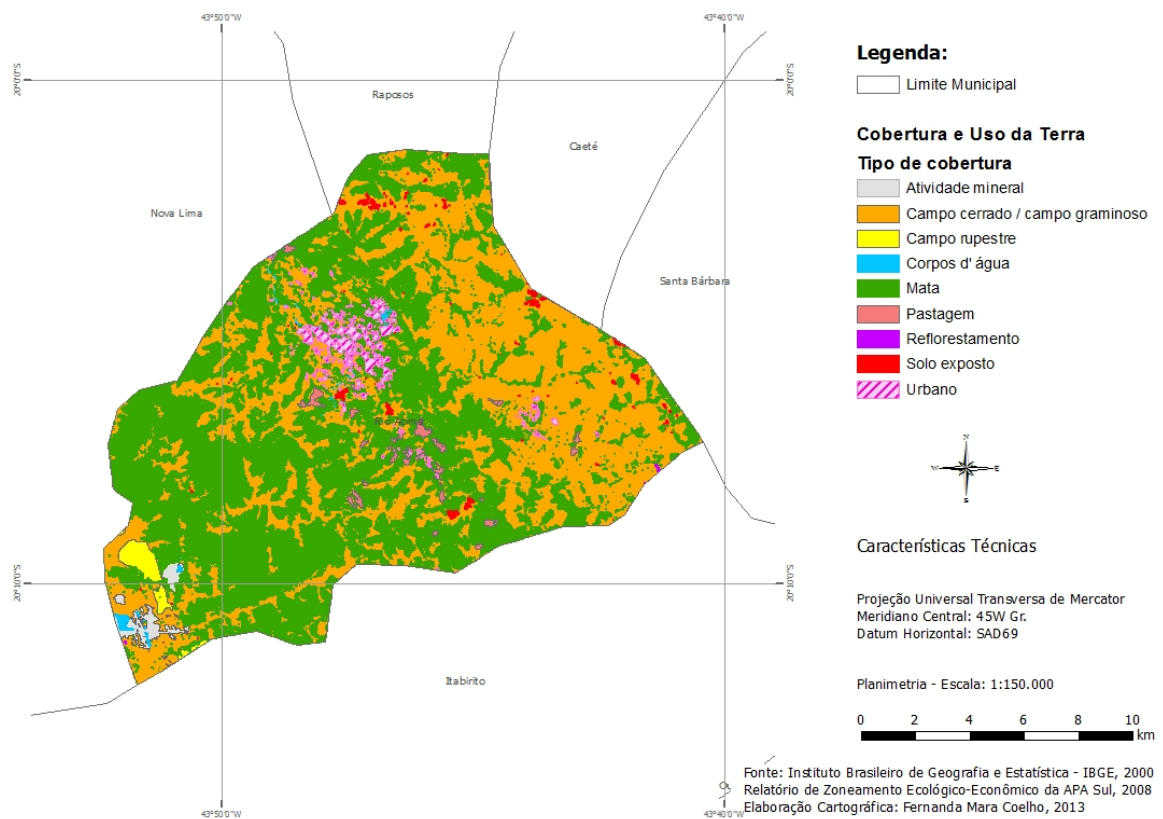


Figura 05: Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Município de Rio Acima

Depois de gerados, os mapas vetoriais foram convertidos em mapas matriciais (por meio da ferramenta *Convert Features to Raster*, parte da extensão espacial *Spatial Analyst*) para que, posteriormente, fosse possível a reclassificação das variáveis.

A fim de determinar a inclinação da área mapeada, foi gerado um mapa de declividade do município. Para tanto, a ferramenta *Surface Analysis* por meio do comando *Slope* (parte da extensão espacial *Spatial Analyst*) foi utilizada.

Para a confecção do mapa de declividade do terreno (Figura 06), as classes de declividade foram definidas e compreende valores entre baixa (menor que 5%), baixa a média (5-10%), média (10-30%), alta (30-47%) e muito alta (maior que 47%).

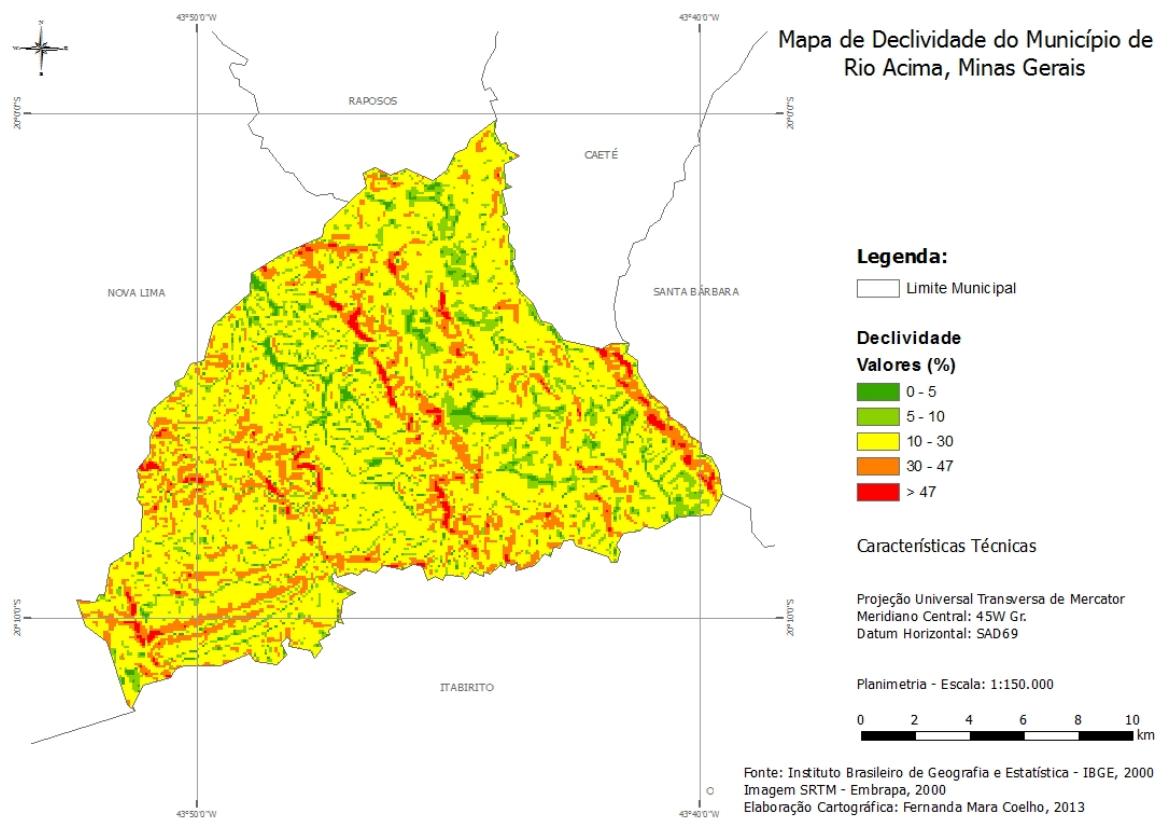


Figura 06: Mapa de Declividade do Município de Rio Acima

Para a produção do mapa hipsométrico (Figura 07), foi utilizada a imagem digital de terreno SRTM. Para tanto, foi necessário, primeiramente, estabelecer as classes de altimetria mais adequadas levando em consideração o município mapeado. Dessa forma, a definição dos intervalos foi determinada de 100 em 100m e 9 foram o número de classes estabelecidas.

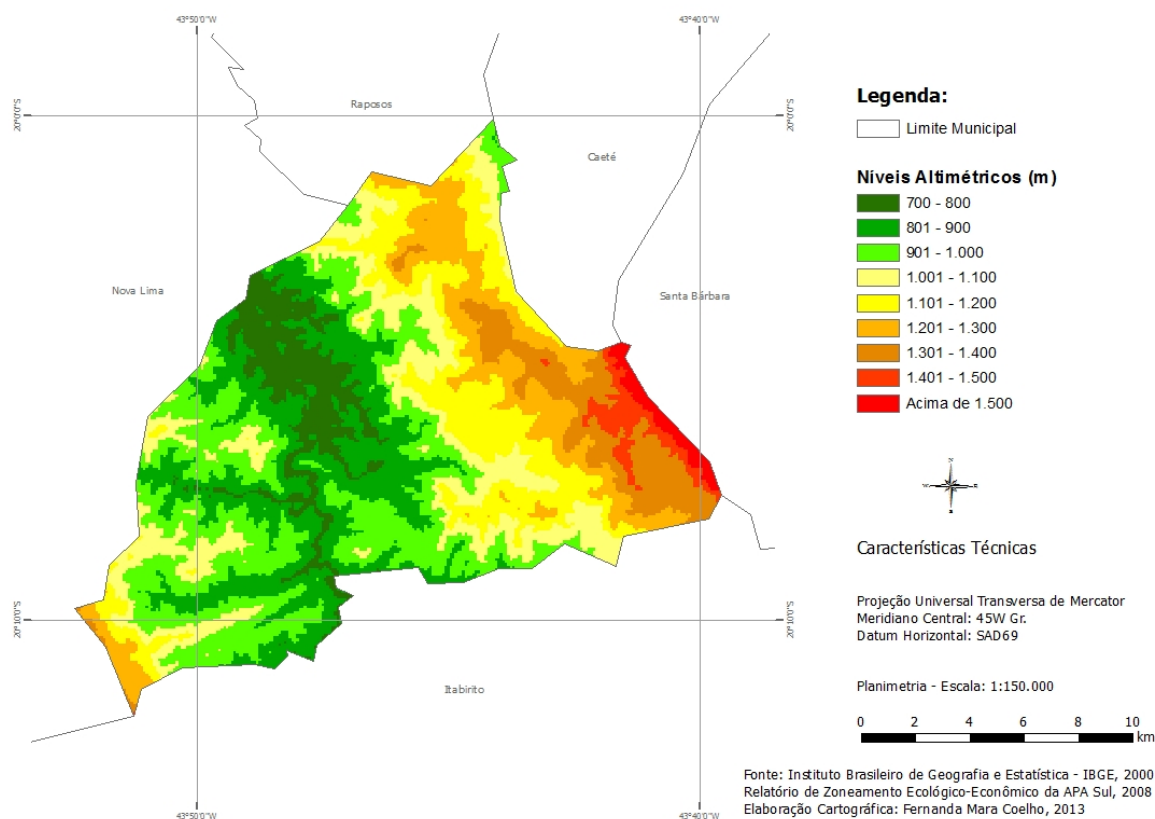


Figura 07: Mapa Hipsométrico do Município de Rio Acima

#### 4.2.2. Determinação dos índices de vulnerabilidade

Para a determinação dos índices de vulnerabilidade, foram consideradas as informações dos indicadores que são capazes de influenciar no desenvolvimento dos processos morfodinâmicos de acordo com o grau de suscetibilidade de cada unidade adotada (CREPANI, 2001).

Para que os índices de vulnerabilidade sejam estabelecidos, é necessário estipular, primeiramente, os critérios utilizados para a atribuição das notas. Tendo como base os estudos e a metodologia de Crepani (2001), os critérios qualitativos adotados para este estudo serão apresentados a seguir de acordo com as suas variáveis (tabela 03).

Tabela 03: Critérios qualitativos adotados

Variável	Critérios
Geologia	Idade geológica e fragilidade



Solo	Maturidade do solo
Declividade	Varição da declividade
Cobertura e uso da terra	Densidade de cobertura vegetal
Altimetria	Varição da altitude

Em seu estudo acerca do Zoneamento Ecológico-Econômico e ordenamento territorial, Crepani (2001) trabalha com a elaboração de cartas de vulnerabilidade natural e atribui valores na escala de vulnerabilidade para cada tema discriminados da forma apresentada na tabela 04.

Tabela 04: Tabela de notas para as diferentes variáveis e seus respectivos elementos

Variável	Elementos	Valores
Geologia	Quartzito ou metaquartzito	1
	Riólito, granito, dacito	1,1
	Granodiorito, quartzo diorito, granulito	1,2
	migmatito, gnaiss	1,3
	Fonólito, nefelina, sienito, traquito,	1,4
	Andesito, diorito, basalto	1,5
	Anortosito, gabro, peridotito	1,6
	Milonitos, quartzo muscovita, biotita, clorita xisto	1,7
	Piroxenito, Anfibolito, Kimberlito, dunito	1,8
	Hornblenda, Tremolita, actinolita xisto	1,9
	Estaurolita xisto, xisto granatífero	2
	Filito, metassiltito	2,1
	Ardósia, metargilito	2,2
	Mármore	2,3
	Arenitos quartzonoso ou ortoquartzitos	2,4
	Caonglomerados, subgrauvacas	2,5
	Grauvacas, arcózios	2,6
	Siltitos, argilitos	2,7
	Folhelhos	2,8
	Calcários, dolomitos, margas, evaporitos	2,9
Sedimentos inconsolidados: aluviões, colúvios, etc.	3	
Declividade	<2	1
	2-6	1,5
	6-20	2
	20-50	2,5
	>50	3
Altimetria	<20	1

	20-29,5	1,1
	29,5-39	1,2
	39-48,5	1,3
	48,5-58	1,4
	58-67,5	1,5
	67,5-77	1,6
	77-84,5	1,7
	84,5-94	1,8
	94-103,5	1,9
	103,5-113	2
	113-122,5	2,1
	122,5-132	2,2
	132-141,5	2,3
	141,5-151	2,4
	151-160,5	2,5
	160,5-170	2,6
	170-179,5	2,7
	179,5-189	2,8
	189-200	2,9
Solo	Latossolos (...)	1
	Podzólico (...), terra roxa estruturada, bruno não-cálcico, brunizém (...), planossolo	2
	Cambissolo	2,5
	Solos litólicos, aluviais, regossolo, areia quartzosa, vertissolo, orgânico, hidramórfico, glei (...), plintossolo, laterita hidromórfica, concrecionário laterítico, rendzinas, afloramentos rochosos	3
Cobertura vegetal	Floresta ombrófila	1
	Floresta estacional semidecidual, formação campirana, fisionomia florestada e específica, savana estépica florestada e florestada, estepe arbórea densa	1,4 - 1,7
	Savana arborizada e estépica arborizada, floresta estacional decidual, campirana arborizada, estepe arborizada, buritizal	2
	Campirana arborizada, savana parque e estepe parque, restinga, dunas, com influência fluvial, refúgio montano e alto-montano	2,3 - 2,6
	Savana gramíneo-lenhosa, estepe gramíneo-lenhosa, campirana gramíneo-lenhosa, das praias, porte herbáceo de refúgio montano e alto-montano	3

Fonte: Crepani (2001)

Cabe ressaltar que o autor em questão trabalha com valores fracionados de vulnerabilidade entre 1 e 3 e critérios para clima (erosividade de chuva) que não se aplicam a este estudo.

Sendo assim, foram adotados valores de acordo com a sua importância e influência na avaliação da vulnerabilidade ambiental. Estes valores estão compreendidos entre 1 e 5 para a reclassificação das variáveis, sendo estes valores taxados, respectivamente, como:

- 1: vulnerabilidade baixa
- 2: vulnerabilidade baixa a média
- 3: vulnerabilidade média
- 4: vulnerabilidade média a alta
- 5: vulnerabilidade alta.

Para elaboração do mapa de vulnerabilidade, após a atribuição das notas para os elementos de cada variável, foi feita a ponderação das variáveis considerando sua importância relativa na área de estudo e foi realizada a análise multicritérios. A tabela 05 apresenta as variáveis com seus respectivos elementos e notas (valor de vulnerabilidade) e os pesos considerados para a vulnerabilidade ambiental do município de Rio Acima.

Tabela 05: Notas e pesos atribuídos para as variáveis e seus elementos

Variável	Elemento	Valor de Vulnerabilidade	Pesos
Geologia	Cobertura Detrito-laterítica	2	35%
	Depósito Aluvial recente	2	
	Depósito Elúvio-coluvial	2	
	Formação Cercadinho	5	
	Formação Cauê	3	
	Formação Gandarela	4	
	Formação Moeda	2	
	Formação Batatal	5	
	Grupo Maquiné	2	
	Grupo Nova Lima	3	
Complexo Bação	1		
Solo	Afloramento de Rocha	5	20%
	Área degradada	5	
	Argissolo	2	
	Cambissolo	4	
	Exposicao canga	1	
	Gleissolo	5	
	Latossolo	1	

	Neossolo	4	
	Urbano	1	
	Atividade mineral	5	
	Campo cerrado / campo gramíneo	5	
	Campo rupestre	5	
	Corpos d' água	5	
Uso e cobertura	Mata	4	15%
	Pastagem	5	
	Reflorestamento	2	
	Solo exposto	5	
	Urbano	5	
	< 3	1	
	3-7	2	
Declividade	7-15	3	15%
	15-30	4	
	> 30	5	
	< 900	1	
	900 - 1100	2	
Altimetria	1100 - 1300	3	15%
	1300 - 1400	4	
	> 1400	5	

Por fim, com todo o material produzido, foi feita a análise do mapa de vulnerabilidade gerado.

## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de apontar estas áreas mais fragilizadas contribuindo, desta forma, para um melhor planejamento do uso e ocupação do município Rio Acima, o mapa de vulnerabilidade a seguir foi gerado (Figura 08):

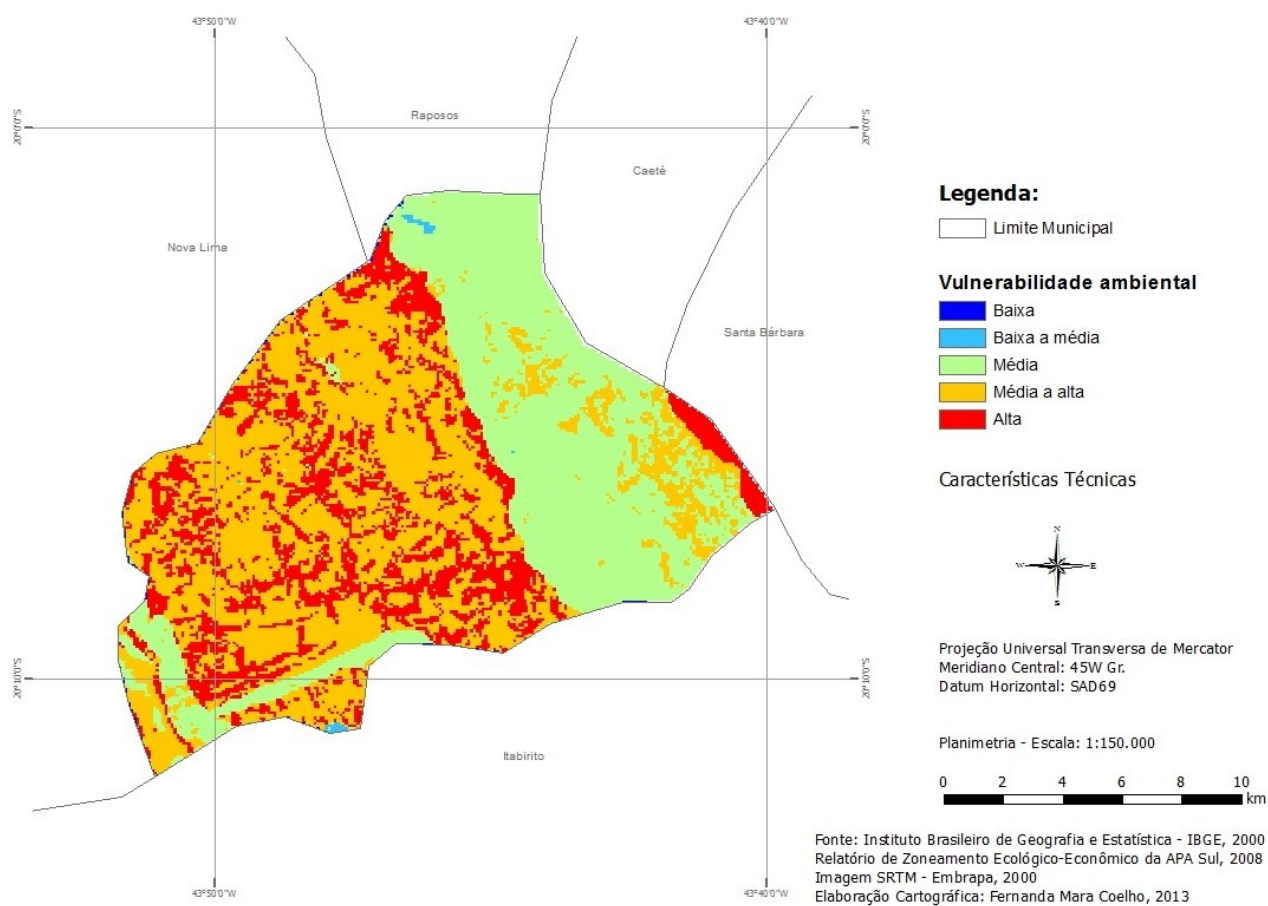


Figura 08: Mapa de vulnerabilidade ambiental do Município de Rio Acima

Observa-se em vermelho, na porção central do município, áreas com elevada suscetibilidade a deslizamentos. De certa forma esta ocorrência está associada à presença de xistos (Grupo Nova Lima) que, devido a sua composição, apresentam um comportamento plástico, deslizando facilmente quando em plano inclinado.

Outras áreas de maior vulnerabilidade correspondem aos elevados declives encontrados nas serras do Gandarela e Moeda. Esta pequena porção da Serra do Gandarela (à extremo oeste do município) afloram rochas, igualmente, do Grupo Nova Lima que associadas à alta declividade resultaram em áreas altamente vulneráveis. Na Serra da Moeda, a fragilidade está associada à presença de xistos (Formação Cercadinho) e filitos (Formação Cercadinho e Batatal). Neste caso, mesmo que como outra associação litológica mais estável, como solo laterítico, fragmentos de itabirito, hematita (coberturas detrito-lateríticas e depósitos recentes) e itabirito (Formação Cauê) os elevados declives constituem-se em fatores determinantes do deslizamento.

As áreas de média vulnerabilidade são as áreas em tons de verde claro e correspondem àquelas onde há presença de quartzito, conglomerado (entre outras rochas menos frágeis), declividades medianas, solo mais vulnerável (como afloramento de rocha e cambissolo) que, quando associados, apresentam resultados intermediários.

O município apresenta raras porções sob baixa vulnerabilidade, justificadas no mapa final em tons de azul. Esta ocorrência está combinada à presença de granito / gnaisse (Complexo Bação), baixíssimos níveis altimétricos e declividade, que se mostraram decisivos, uma vez que esta porção apresenta incidência de cambissolo e mata (fatores que favorecem a vulnerabilidade do ambiente).

## CAPÍTULO 6

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acredita-se que o mapeamento da vulnerabilidade ambiental realizado para o município de Rio Acima possa contribuir na elaboração de medidas de prevenção já que proporciona a espacialização dos riscos com base na análise integrada de variáveis que interferem nos deslizamentos. Sendo assim, a identificação das situações de risco apresentadas neste trabalho pode vir a subsidiar órgãos públicos e privados no que diz respeito ao planejamento urbano e na proposição de medidas de prevenção.

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental, que indica as áreas propensas a riscos oriundos da perda de solos, utilizou-se a metodologia multicritério realizada com Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que constitui um instrumento valioso para apoiar as mais diferentes atividades de planejamento, incluindo análise de suscetibilidade ao risco.

Embora o mapa final seja resultado de certa subjetividade inerente ao processo de abstração da realidade, buscou-se ponderar e atribuir notas as variáveis e seus elementos considerando a realidade da área estudada. Neste sentido, buscando melhorar o resultado obtido é importante a realização de trabalhos de campo a fim de verificar, nas áreas classificadas como de maior vulnerabilidade, as condições de ocupação e construções que podem potencializar os prejuízos decorrentes dos riscos naturais associados a áreas onde o substrato é mais plástico ou em ambiente íngreme.

Dessa forma, conforme o interesse e a necessidade, a pesquisa apresentada permite que novas variáveis sejam acrescentadas de forma a enriquecer o resultado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, L. C. **Proposta de reanálise do risco geológico-geotécnico de escorregamentos em Belo Horizonte - Minas Gerais.** Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

CARRIJO, M. G. G. **Análise da vulnerabilidade ambiental: o caso do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari-MG.** Dissertação de mestrado, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2005.

CREPANI, E.; Medeiros, J. S. de; Azevedo, L. G. DE.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico.** São José dos Campos: INPE, 2001. 25p.

FIGUEIRÊDO, et al. **Análise da vulnerabilidade ambiental.** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010. 47p. ISSN 1677-1915, 127.

HOGAN, D. J. **Mobilidade populacional, sustentabilidade ambiental e vulnerabilidade social.** Rev. Bras. *estud. popul.*, Dez 2005, vol.22, n.2, p.323-338. ISSN 0102-3098.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades@:** Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/link.php?uf=mg>>. Acesso em 09 nov. 2013.

LOBÃO, et al. **Mapeamento das unidades ecodinâmicas: subsídio ao estudo da vulnerabilidade ambiental no polo de Irecê-BA.** Revista Geonorte, Edição Especial, v.2, n.4, p. 1560-1573.

PARIZZI, M. G. et al. **Processos de movimentos de massa em Belo Horizonte, MG.** Geografias Online (UFMG), v. 12, p. 58-87, 2011.

RODRIGUES, F. S.; PEREIRA, J. G. **Uso da geotecnologia na avaliação ambiental na zona de amortecimento do Parque Nacional da Serra da Bodoquena.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Brasil, 13-18 abril 2013, INPE, p. 4338-4345.

ROSÁRIO, G. O. **Análise espacial aplicada à determinação do risco de erosão do solo na porção Noroeste do município de Itabirito.** Monografia, Especialização em Geoprocessamento, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

SAITO, S. M. **Desastres naturais e geotecnologias: vulnerabilidade.** São José dos Campos: INPE, 2011. 35p.

SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F. G. **Análise da fragilidade e vulnerabilidade natural dos terrenos aos processos erosivos como base para o ordenamento territorial: o caso das bacias do Córrego Carioca, Córrego do Bação e Ribeirão**



Carioca na região do Alto Rio das Velhas-MG. Revista de Geomorfologia, v.9, n.1, p. 65-73, 2008.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E MEIO AMBIENTE (SEPLAN). **Vulnerabilidade de Paisagens à Perda de Solos da Folha SB.23-V-C.** Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). Projeto de Gestão Ambiental Integrada da Região do Bico do Papagaio. Zoneamento Ecológico-Econômico. Imperatriz. Org. por Edson Crepani e Ricardo Ribeiro Dias. Palmas, Seplan/DZE, 2006. 48p.

SOUTO, M. V. S.; AMARO, V. E. **Aplicação das técnicas de geoprocessamento para o mapeamento da vulnerabilidade natural para a região da Ponta do Tubarão, litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, município de Macau.** XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2773-2778.