

**RODRIGO DE ARRUDA CAMARGO**

**AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO E PROPOSIÇÃO DE  
ZONEAMENTO ESTRATÉGICO COM VISTAS À SUSTENTABILIDADE DA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRANGA, MG**

**Dissertação apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como parte das  
exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Civil, para  
obtenção do título de *Magister Scientiae*.**

**Viçosa  
Minas Gerais – Brasil  
2012**

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

C172a  
2012

Camargo, Rodrigo de Arruda, 1986-  
Avaliação da suscetibilidade à erosão e proposição de  
zoneamento estratégico com vistas à sustentabilidade da  
bacia hidrográfica do rio Piranga, MG / Rodrigo de Arruda  
Camargo. – Viçosa, MG, 2012.  
xv, 104f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Maria Lúcia Calijuri.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f. 97-104.

1. Zoneamento econômico. 2. Solo - Uso - Piranga, Rio,  
Bacia. 3. Recursos naturais - Conservação - Minas Gerais  
(Estado). 4. Minas Gerais (Estado) - Mapas de zoneamento.  
5. Piranga, Rio, Bacia - Condições econômicas.  
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 628

**RODRIGO DE ARRUDA CAMARGO**

**AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO E PROPOSIÇÃO DE  
ZONEAMENTO ESTRATÉGICO COM VISTAS À SUSTENTABILIDADE DA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRANGA, MG**

**Dissertação apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como parte das  
exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Civil, para  
obtenção do título de *Magister Scientiae*.**

**APROVADA: 01 de março de 2012.**

---

**Maria do Carmo Calijuri**

---

**Eduardo Antônio Gomes Marques  
(Coorientador)**

---

**Maria Lúcia Calijuri  
(Orientadora)**

*“Um sonho sonhado sozinho é um sonho.  
Um sonho sonhado junto é realidade.”*

*Raul Seixas*

# AGRADECIMENTOS

A Deus, por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar os caminhos nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades.

Aos meus pais, José de Melo e Rosana, meu irmão Ricardo e meus avós José (*in memoriam*) e José Carlos, Maria Aparecida e Maria de Lourdes, pelo amor, apoio incondicional, e por fazer minha vida tão cheia de alegrias e realizações.

À toda minha família, tios, primos, pelo companheirismo, paciência e votos de confiança.

A minha namorada Danielle, amor da minha vida, pelas infinitas palavras de apoio e carinho nessa difícil fase.

A minha sogra Erenice, meu sogro Eliel e cunhados Diego e Daniel, pelo apoio e incentivo.

A Profa. Maria Lúcia Calijuri, pela orientação, atenção, companheirismo, confiança e pelos ensinamentos, que nunca serão esquecidos.

Aos professores Eduardo Antônio Gomes Marques e Maria do Carmo Calijuri pela participação na banca colaboradora e por todo apoio direcionado a este trabalho.

Aos meus amigos e companheiros de laboratório Luna, Eduardo, Isabella, Paula, Aníbal, Marcos, Everton, Léo, Mateus, Ivan, Francisco, Mauro e Lucas pela forte amizade e pelo longo tempo que trabalhamos, rimos e nos divertimos juntos, pela motivação extremamente importantes e contribuições realizadas neste trabalho.

A família Canela Raspada pelo companheirismo.

À Cristina Beatriz Schemes Costa (secretária da Pós-Graduação em Engenharia Civil) e Cilene Knauf Lopes (secretária do Departamento de Eng. Civil) pela paciência, atenção e presteza.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

A FAPEMIG pelo financiamento da pesquisa.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

RODRIGO DE ARRUDA CAMARGO, nascido em 28 de novembro de 1986, filho de José de Melo Camargo e Rosana de Arruda Camargo, é natural de São Paulo, São Paulo.

Nos anos 2002 à 2004, cursou o ensino médio no Colégio Leonardo da Vinci – Anglo, em Osasco, São Paulo.

Em março de 2005, ingressou no curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Viçosa. Foi bolsista de Iniciação Científica no período de 2008-2010, sob a orientação da Profa. Maria Lúcia Calijuri. Em janeiro de 2010, graduou-se Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa.

Em março de 2010, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, Área de Concentração em Sanitária e Ambiental, em nível de mestrado, submetendo-se à defesa de dissertação em março de 2012.

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	ix
LISTA DE SIGLAS .....	xi
RESUMO .....	xii
ABSTRACT .....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	1
1.2. OBJETIVOS .....	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. PROCESSOS EROSIVOS .....	4
2.2. ESTUDOS AMBIENTAIS .....	7
2.3. ZONEAMENTO AMBIENTAL .....	8
2.3.1. Zoneamento Ecológico – Econômico.....	10
2.3.2. Zoneamento Ambiental .....	12
2.4. TOMADA DE DECISÃO PELO PROCESSO ANALÍTICO .....	15
2.5. FUNÇÃO DE PRODUÇÃO.....	18
2.6. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	19
2.6.1. Ocorrências de Cheias .....	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
3.1. MATERIAL.....	31
3.2. MÉTODOS .....	33
3.2.1. Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente – MDEHC .	33
3.2.2. Carta de Declividade .....	34

3.2.3.	Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal.....	34
3.2.4.	Dados de Erosividade da Chuva.....	36
3.2.5.	Carta Geomorfológica .....	36
3.2.6.	Mapa Pedológico .....	37
3.2.7.	Carta de Suscetibilidade à Erosão .....	37
3.2.8.	Diagnóstico do Uso e Ocupação do Solo e Cobertura Vegetal .....	48
3.2.9.	Zoneamento de Áreas para Planejamento Estratégico .....	48
3.2.10.	Função de Produção.....	55
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	57
4.1.	MDEHC .....	57
4.2.	CARTA DE DECLIVIDADE .....	57
4.3.	CARTA DE USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL .....	60
4.4.	DADOS DE EROSIVIDADE DA CHUVA .....	60
4.5.	CARTA GEOMORFOLÓGICA .....	63
4.6.	MAPA PEDOLÓGICO .....	66
4.7.	DIAGNÓSTICO DO USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL .....	69
4.7.1.	Formações Florestais .....	70
4.7.2.	Cultura do Eucalipto .....	71
4.7.3.	Agricultura.....	72
4.7.4.	Áreas de Pastagem.....	75
4.7.5.	Área Urbana.....	77
4.7.6.	Área de Mineração.....	77
4.7.7.	Afloramentos Rochosos e Corpos d'Água .....	78
4.8.	CARTA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO.....	79
4.9.	PROPOSIÇÃO DE ZONEAMENTO AMBIENTAL .....	84
5.	CONCLUSÃO.....	95
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	97

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espaço Estratégico de Decisão (RAMOS e MENDES, 2001). .....	18
Figura 2. Localização da bacia hidrográfica do rio Piranga .....	19
Figura 3. Hidrografia da bacia hidrográfica do rio Piranga.....	21
Figura 4. Localização dos Municípios na bacia hidrográfica do rio Piranga .....	23
Figura 5. Sistema Viário da bacia hidrográfica do rio Piranga .....	24
Figura 6. Unidades de Conservação na bacia hidrográfica do rio Piranga.....	25
Figura 7. Foto panorâmica da enchente de 2008 em Ponte Nova – MG.....	27
Figura 8. Situação após a enchente de 2008 em Ponte Nova – MG.....	27
Figura 9. Passarela inundada no município de Piranga - MG em dezembro de 2008....	28
Figura 10. Fluxograma da metodologia adotada na pesquisa.....	30
Figura 11. Mosaico das cartas do IBGE para a área de estudo .....	32
Figura 12. Fluxograma da metodologia para elaboração da carta de suscetibilidade à erosão.....	38
Figura 13. Fatores para Análise de Suscetibilidade à Erosão.....	44
Figura 14. Cenários para Análise de Suscetibilidade à Erosão .....	47
Figura 15. Cenários propostos para o zoneamento estratégico .....	54
Figura 16. Discretização dos municípios para análise no <i>software</i> Stata.....	56
Figura 17. Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) .....	58
Figura 18. Carta de Declividade .....	59
Figura 19. Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal 2001 .....	61
Figura 20. Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal 2001 .....	62
Figura 21. Carta Geomorfológica.....	64
Figura 22. Mapa Pedológico.....	67

Figura 23. Ganhos e Perdas, km <sup>2</sup> , entre 1984 e 1990 .....	70
Figura 24. Contribuições para alteração de formações florestais (km <sup>2</sup> ) .....	71
Figura 25. Contribuições para alteração da cultura do eucalipto (km <sup>2</sup> ) .....	72
Figura 26. Contribuições para alteração das áreas com culturas agrícolas (km <sup>2</sup> ) .....	75
Figura 27. Contribuições para alteração das áreas de pastagem (km <sup>2</sup> ).....	77
Figura 28. Fachada da Mineração Pedra do Sino em Carandaí - MG.....	78
Figura 29. Afloramentos Rochosos na Serra do Espinhaço em Desterro do Melo - MG .....	78
Figura 30. Pastagem com elevado grau de degradação em Alto Rio Doce - MG.....	79
Figura 31. Carta de Suscetibilidade à Erosão .....	81
Figura 32. Área ocupada pelos Solos/Área total – Classe Baixa.....	82
Figura 33. Área ocupada pelos Solos/Área total – Classe Média.....	82
Figura 34. Área ocupada pelos Solos/Área total – Classe Alta.....	82
Figura 35. Área ocupada pelos Solos/Área total – Classe Muito Alta .....	82
Figura 36. Desvio na MG - 132 ocasionada por erosão da pista.....	83
Figura 37. Carta de Aptidão Agrícola .....	85
Figura 38. Áreas selecionadas para o desenvolvimento .....	86
Figura 39. Distribuição das áreas selecionada por tipo de uso do solo e cobertura vegetal .....	87
Figura 40. Distribuição das áreas selecionada por classe de declividade.....	87

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classes de Relevo com base na declividade .....	34
Tabela 2. Valores de suscetibilidade à erosão para o fator declividades.....	39
Tabela 3. Valores de suscetibilidade à erosão para o fator uso do solo .....	40
Tabela 4. Classes de suscetibilidade à erosão para o fator geomorfologia .....	41
Tabela 5. Classes de suscetibilidade à erosão para o fator solos.....	42
Tabela 6. Classes de suscetibilidade à erosão para o fator clima .....	43
Tabela 7. Importância relativa entre os fatores – C1 .....	45
Tabela 8. Importância relativa entre os fatores – C2.....	45
Tabela 9. Importância relativa entre os fatores – C3.....	46
Tabela 10. Importância relativa entre os fatores – C4.....	46
Tabela 11. Importância relativa entre os fatores – C5.....	46
Tabela 12. Padronização para as classes pedológicas .....	49
Tabela 13. Padronização para as classes de declividade .....	50
Tabela 14. Matriz de comparação par a par para seleção de áreas para o desenvolvimento.....	52
Tabela 15. Risco e Compensação para os Cenários Obtidos.....	53
Tabela 16. Porcentagem da área das classes de declividade .....	57
Tabela 17. Erosividade anual dos municípios em MJ mm h <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> .....	63
Tabela 18. Descrição das unidades geomorfológicas.....	65
Tabela 19. Descrição das unidades pedológicas.....	68
Tabela 20. Porcentagem da área das classes de uso e ocupação do solo.....	69
Tabela 21. Área ocupada por formações florestais nas classes de declividade.....	71
Tabela 22. Área plantada, quantidade produzida e valor da produção para as principais culturas em 2001.....	73

Tabela 23. Área plantada, quantidade produzida e valor da produção para as principais culturas em 2010.....	74
Tabela 24. Efetivo dos rebanhos para 2010 em número de cabeças .....	76
Tabela 25. Análise estatística para região de Barbacena.....	89
Tabela 26. Análise estatística para região de Conselheiro Lafaiete .....	90
Tabela 27. Análise estatística para região de Piranga .....	91
Tabela 28. Análise estatística para região de Ubá.....	92
Tabela 29. Análise estatística para região de Ponte Nova.....	93
Tabela 30. Análise estatística para região de Viçosa.....	93

# LISTA DE SIGLAS

ADOCE – Agência Técnica da Bacia do Rio Doce

ALMG – Assembleia Legislativa de Minas Gerais

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

EMATER – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais

GPRH – Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos

SAE – Secretária de Assuntos Estratégicos

SEMADS – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática

SIMGE – Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais

UFV – Universidade Federal de Viçosa

## RESUMO

CAMARGO, Rodrigo de Arruda, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2012. **Avaliação da suscetibilidade à erosão e proposição de zoneamento estratégico com vistas à sustentabilidade da bacia hidrográfica do rio Piranga, MG.** Orientadora: Maria Lúcia Calijuri. Coorientadores: Mônica de Abreu Azevedo e Eduardo Antônio Gomes Marques.

A bacia hidrográfica do Rio Piranga está contida em uma região brasileira que merece especial atenção, seja pelos impactos ambientais negativos, consequência do desmatamento indiscriminado durante a expansão agrícola, manejo inadequado do solo e lançamento de efluentes domésticos sem tratamento, seja pelo seu baixo desenvolvimento econômico e social. Outro aspecto a ser destacado refere-se a ocorrência de cheias. A bacia hidrográfica do Rio Piranga possui características peculiares em relação à potencialidade de ocorrência de cheias. Diante disso, surge a necessidade da implantação de um novo modelo de desenvolvimento que busque conciliar a geração de recursos financeiros à população com conservação da vegetação nativa e da disponibilidade hídrica, de modo que as modificações econômicas se aproximem de um modelo que garanta a sustentabilidade da região. Assim, esse estudo teve por objetivo apresentar proposição de zoneamento para o desenvolvimento estratégico da bacia hidrográfica do rio Piranga, considerando aspectos socioeconômicos, alteração do uso e cobertura do solo e aspectos relativos ao meio físico. Para isso elaborou-se inicialmente a base de dados digitais da bacia hidrográfica do rio Piranga. A partir das cartas topográficas do IBGE, foram produzidas as Cartas Altimétrica, de Declividade e hidrografia. A Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal foi obtida a partir da classificação da imagem Landsat 5 TM para os anos de 2001 e 2010. Procedeu-se também a análise das alterações das classes de uso do solo e cobertura vegetal para obtenção do Diagnóstico do Uso do Solo e Cobertura Vegetal. No período de 2001 e 2010 observa-se um incremento das atividades antrópicas através do avanço da pecuária e da agricultura frente a supressão das áreas de vegetação, ocasionando a redução de 12% das áreas de formações florestais. Por meio da análise multicritério procedeu-se a elaboração da Carta de Suscetibilidade à Erosão através do tratamentos dos fatores Mapa Pedológico, Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal do ano de 2010, Carta

Geomorfológica, Carta de Declividade e dos dados de erosividade anual. A análise demonstrou que 86% da área encontra-se em classe de alta e muito alta suscetibilidade à erosão devido principalmente às características pedológicas e às altas declividades. Para o zoneamento de áreas de desenvolvimento estratégico, 96.106 ha foram selecionados como áreas mais adequadas a partir da análise multicritério. Para esse fim utilizou-se todas as informações desenvolvidas ao longo dessa pesquisa. As áreas selecionadas são propícias à utilização em sistemas agroflorestais e pecuária, desde que estabelecido o manejo correto. Esse zoneamento, aliado à incentivos públicos de desenvolvimento local, possui grande potencial de alteração da qualidade de vida da população dos municípios envolvidos.

# ABSTRACT

CAMARGO, Rodrigo de Arruda, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2012. **Evaluation of the erosion susceptibility and proposal of a strategic zoning plan for the sustainable management of the Piranga River Watershed, MG** Adviser: Maria Lúcia Calijuri. Co-Advisers: Mônica de Abreu Azevedo and Eduardo Antônio Gomes Marques.

The Piranga River watershed lies within a region in Brazil which requires special attention because of negative environmental impacts from uncontrolled deforestation during the expansion of the agricultural activity, inadequate soil management and untreated effluent discharge, and also because of its low level of socioeconomic development. In addition, the Piranga River watershed has singular characteristics related to the potential occurrence of floods. Thus it is essential to implement a new developing model aimed at harmonizing the generation of financial resources to the population and the conservation of native vegetation and water resources so that the economic changes approach a model which guarantees sustainability in the region. For these reasons, the objective of this study was to propose a zoning plan for the strategic development of the Piranga River watershed, considering socioeconomic variables, land use change, soil cover and characteristics of the physical environment. The digital database for the Piranga River watershed was prepared. Topographic maps from IBGE were used to produce the Altimetric, Slope and Hydrographic Maps. The Land Use and Vegetation Cover Maps were obtained by means of classification of Landsat 5 TM satellite images for 2001 and 2010. Changes in land use and vegetation cover were analyzed to obtain the Land Use and Vegetation Cover Diagnosis. For the period from 2001 to 2010 an increase in anthropic activities was observed, mostly due to the expansion of livestock and agriculture over vegetated areas which were reduced in 12%. The multi-criterion analysis was used to obtain the Erosion Vulnerability Map after treating factors of the Pedologic Map, Land Use Map, Vegetation Cover Map in 2010, Geomorphological Map, Slope Map and annual erosivity data. The analysis showed that the erosion vulnerability classes “high” and “very high” accounted for 86% of the area mostly due to its pedologic characteristics and steep slopes. The multi-criterion analysis enabled the selection of 96,106 ha suitable for the strategic development zoning. These

areas are suitable for agroforestry systems and livestock, as long as adequate management practices are implemented. The zoning proposed in this paper combined with public incentive for local development has great potential to improve the quality of life of the population living in the region.

# 1. INTRODUÇÃO

---

## 1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A bacia hidrográfica do Rio Piranga está contida em uma região brasileira que merece especial atenção, seja pelos impactos ambientais negativos, consequência do desmatamento indiscriminado durante a expansão agrícola, manejo inadequado do solo e lançamento de efluentes domésticos sem tratamento, seja pelo seu baixo desenvolvimento econômico e social.

Características da região como grande porção de solos com baixa fertilidade e relevo acentuado, baixo valor agregado das atividades econômicas desenvolvidas e restrições impostas pela legislação ambiental são indicados, entre outros fatores, como responsáveis por sua atual situação econômica, social e ambiental. O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos municípios é considerado baixo, situando-se em torno de 0,5 (IGAM, 2007).

Outro aspecto a ser destacado refere-se a ocorrência de cheias. A bacia hidrográfica do Rio Piranga possui características peculiares em relação à potencialidade de ocorrência de cheias. Em primeiro lugar, devido a sua localização, entre áreas de transição de climas quentes com latitudes baixas para as de climas mesotérmicos do tipo temperado e latitudes médias, a bacia é afetada pela maioria dos sistemas sinóticos que atingem o Brasil meridional (NASCIMENTO et al., 2010). Durante os meses de maior atividade convectiva, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um dos principais fenômenos que influenciam no regime de chuvas, ocasionando alta nebulosidade e chuvas semi-estacionárias, que tendem a produzir grandes volumes de deflúvio superficial. Em segundo lugar, as características geomorfológicas também favorecem a ocorrência de grandes cheias nas regiões de planícies e várzeas da bacia.

Diante disso, surge a necessidade da implantação de um novo modelo de desenvolvimento que busque conciliar a geração de recursos financeiros à população com conservação da vegetação nativa e da disponibilidade hídrica, de modo que as

modificações econômicas se aproximem de um modelo que garanta a sustentabilidade da região.

Para Schneider (2000), três objetivos principais estão relacionados ao desenvolvimento sustentável: a) social, que compreende a moradia, educação, lazer e saúde; b) econômico, que compreende a produção, acesso aos bens de consumo e o emprego; c) ecológico com a preservação do meio ambiente. A proposição de alternativas mais sustentáveis deve ser baseada na avaliação dos mais variados tipos de dados, sejam da qualidade dos recursos hídricos e do tipo de uso e ocupação, sejam das condições socioeconômicas da população e suas aspirações.

A compatibilização entre o desenvolvimento econômico e a qualidade ambiental pode ser obtida através do zoneamento ambiental. O Zoneamento ambiental consiste num instrumento de planejamento que gera indicadores sobre as potencialidades e fragilidades dos meios físico, biótico e socioeconômico capazes de subsidiar a tomada de decisões nos diferentes níveis hierárquicos do aparelho governamental, com vistas a viabilizar o desenvolvimento sustentável e harmônico do território (GRECCHI, 1998).

De acordo com Montanõ et al. (2007), o zoneamento ambiental apresenta como principal qualidade a possibilidade de inserção da variável ambiental em diferentes momentos do processo de tomada de decisão.

A pesquisa está vinculada ao Projeto Temático intitulado “Modelagem hidrológica e hidrossedimentológica e proposição de cenários para a minimização de enchentes no sistema integrado da bacia hidrográfica do rio Doce” financiado pela Fundação de Amparo a Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG – Processo n.º APQ-03851-09).

## **1.2. OBJETIVOS**

O objetivo deste estudo é apresentar proposição de zoneamento para o desenvolvimento estratégico da bacia hidrográfica do rio Piranga, considerando aspectos socioeconômicos, alteração do uso e cobertura do solo e aspectos relativos ao meio físico.

São objetivos específicos:

- Gerar a base de dados digitais da bacia do rio Piranga em escala condizente com o trabalho;
- Analisar a evolução da ocupação e uso do solo da bacia do rio Piranga subsidiados em informações extraídas de imagens Landsat 5 TM dos anos 2001 e 2010.
- Criar carta de aptidão agrícola dos solos da bacia;
- Analisar a suscetibilidade à erosão da área de estudo por meio da análise estratégica de decisão;
- Analisar aspectos sociais e econômicos com vistas à garantia da sustentabilidade;
- Definir áreas prioritárias para desenvolvimento, conservação e preservação.

### **1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

Esse trabalho foi organizado em sete capítulos, como segue:

- O capítulo 2 trata do referencial teórico sobre temas considerados relevantes na pesquisa. Abordou-se os processos erosivos de modo geral, o processo de avaliação da paisagem, os estudos ambientais, o zoneamento ambiental, o processo de tomada de decisão e a função de produção. Discorre ainda sobre a caracterização da área de estudo, considerando os aspectos fisiográficos relevantes, a fim de formar uma base teórica regional para os estudos aqui desenvolvidos.
- No capítulo 3 apresenta-se a metodologia utilizada nesta pesquisa e a maneira como os dados foram analisados.
- No capítulo 4 tem-se a apresentação e discussão dos resultados obtidos.
- O capítulo 5 apresenta a conclusão.
- No capítulo 6 são apresentadas sugestões para trabalhos futuros.
- O capítulo 7 relaciona as referências bibliográficas utilizadas para este estudo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

### 2.1. PROCESSOS EROSIVOS

A erosão é tão antiga quanto à própria Terra, sendo designada geológica e oriunda de fenômenos naturais que agem continuamente na crosta terrestre, como ocorrência normal do processo benéfico para a formação do próprio solo. A ação do homem quebra essa harmonia, por meio da inserção de práticas que destroem o equilíbrio das condições naturais desse processo, dando origem à erosão acelerada, ou simplesmente erosão, que constitui fenômeno de grande importância em razão de rapidez com que se processa e pelo fato de acarretar grandes prejuízos não só para a exploração agropecuária, mas também para diversas outras atividades econômicas e ao próprio meio ambiente (PRUSKI, 2009).

Bertoni e Lombardi Neto (2005) definem erosão como sendo o processo de desprendimento e arraste das partículas do solo causado pela água e pelo vento, constituindo a principal causa da degradação acelerada das terras. Segundo Costa (2003), erosão é a ação de desgaste do solo pelo transporte dos seus constituintes efetuado por agentes geológicos como a água (erosão hídrica) e o vento (erosão eólica).

A erosão eólica consiste no transporte de partículas de solo pela ação do vento, apresentando maior importância nas regiões planas com baixa precipitação, alta incidência de ventos e pouca vegetação para proteger o solo. Para a ocorrência dessa erosão é necessário que a velocidade do vento seja alta e o solo apresente cobertura vegetal escassa ou inexistente, pequena rugosidade da superfície, baixa coesão entre as partículas, pequena umidade e alta propensão à degradação. A erosão hídrica, proveniente de gotas de chuva pode ocorrer no solo como erosão laminar, erosão em sulcos e erosão em voçorocas (CARVALHO et. al, 2001)

Segundo Lal (1988), a força dirigente dos agentes de erosão, os quais causam a desagregação do solo e seu transporte, é chamada de erosividade. Parte da erosividade da chuva é devida ao impacto direto das gotas de chuva, e outra ao escoamento que a chuva gera. A capacidade da chuva de causar erosão do solo é atribuída à proporção e

distribuição dos pingos d'água, segundo a carga de sua energia. Assim, a erosividade de uma chuva é atribuída à sua energia cinética, parâmetros facilmente relacionados às suas intensidade e quantidade total.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2005), determina-se a erodibilidade de um solo por meio de suas propriedades intrínsecas, que vem afetar a velocidade de infiltração de água no solo, bem como sua capacidade de absorção e permeabilidade. Para Lal (1988), erodibilidade do solo é o efeito integrado de processos que regulam a recepção da chuva e sua resistência para desagregação de partículas e o seu transporte subsequente. Esses processos são influenciados pelas propriedades do solo, assim como pela distribuição do tamanho das suas partículas, estabilidade estrutural, conteúdo de matéria orgânica, natureza dos minerais de argila e constituintes químicos. Além desses, consideram-se que os parâmetros do solo que afetam a sua estrutura, hidratação e as características da circulação da água afetam sua erodibilidade.

Diante disso, Lal (1988) ressalta a textura do solo como um fator importante que influencia a erodibilidade, por afetar os processos de desagregação e transporte, uma vez que, enquanto grandes partículas de areia resistem ao transporte, solos de textura fina (argilosos) também resistem à desagregação, sendo a areia fina e o silte as texturas mais suscetíveis à desagregação e ao transporte. Assim, solos derivados de materiais originados de transporte eólico, por exemplo, são mais suscetíveis à erosão.

Além das partículas de solo em suspensão, o escoamento superficial transporta nutrientes químicos, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que, além de causarem prejuízos diretos à produção agropecuária, provocam a poluição das nascentes. Assim, as perdas por erosão tendem a elevar os custos de produção, aumentando a necessidade do uso de corretivos e fertilizantes e reduzindo o rendimento operacional das máquinas agrícolas.

A erosão causa também problemas à qualidade e disponibilidade da água, decorrentes da poluição e do assoreamento dos mananciais, favorecendo a ocorrência de enchentes no período chuvoso e aumentando a escassez de água no período de estiagem. Barroso e Silva (1992) ressaltam que os principais problemas que ocorrem em cursos e reservatórios de água em decorrência do processo erosivo são:

- Redução da capacidade de armazenamento dos reservatórios devido à sedimentação, o que acarreta aumento dos custos de construção das barragens, uma vez que em seu projeto se deve reservar parte da capacidade de armazenamento para os sedimentos que sofrem decantação;
- Diminuição do potencial de geração de energia elétrica em consequência da redução da capacidade de acumulação de água nos reservatórios;
- Elevação dos custos de tratamento da água;
- Desequilíbrio do balanço de oxigênio dissolvido na água e prejuízos para o crescimento de espécies aquáticas, em razão da turbidez da água e da consequente redução da capacidade de propagação da luz; e
- Aumento dos custos de dragagem dos cursos e reservatórios de água.

Os prejuízos sociais e ambientais advindos da erosão também são bastantes elevados. A erosão do solo reduz a capacidade produtiva das terras, refletindo no aumento dos custos de produção e, conseqüentemente, no lucro obtido pelos agricultores. Pode ainda diminuir a área para exploração agrícola, bem como interferir na qualidade das vias de deslocamento, impossibilitando, em algumas situações, o acesso de moradores de áreas rurais à educação e à saúde. Tais aspectos causam expressivo impacto na qualidade de vida do agricultor e, por consequência, na sua própria permanência no campo.

No Brasil, os problemas decorrentes da erosão são muito sérios. Marques (1949, citado por Bertoni e Lombardi Neto, 2005) já em 1949 enfatizava que o Brasil perdia, por erosão laminar, cerca de 500 milhões de toneladas de terra anualmente, o que corresponde ao desgaste uniforme de uma camada de 15 cm de espessura numa área de aproximadamente 280.000 hectares. Atualmente, em razão do uso intenso do solo e da ampliação da fronteira agrícola, as perdas de solo superam expressivamente aquele valor. Em muitos estados brasileiros, a situação é muito grave.

Embora não existam informações recentes sobre as perdas por erosão no Estado de Minas Gerais, segundo Almeida (1981) o estado apresentava, na época, área cultivada de 3.701.247 ha, e em apenas 2% eram utilizadas práticas conservacionistas. Considerando o valor médio de perdas de solo de  $19 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , obtido por Bertoni e Lombardi Neto (1993) no Estado de São Paulo em áreas ocupadas com culturas anuais,

o que é válido para Minas Gerais, o estado perde anualmente 68.917.218 toneladas de solo por erosão. Isso corresponde também a uma perda de 136.000 t ano<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, 8.000 t ano<sup>-1</sup> de cloreto de potássio, 600 t ano<sup>-1</sup> de superfosfato simples, 379.040 t ano<sup>-1</sup> de sulfato de amônia e 1.636780 t ano<sup>-1</sup> de esterco de galinha (PRUSKI, 2009). O autor ainda ressalta que do ponto de vista econômico, essas perdas de nutrientes chegam a aproximadamente US\$ 173.578.303,00.

## **2.2. ESTUDOS AMBIENTAIS**

Avaliação ambiental para subsidiar planejamentos regionais, visando o uso sustentado dos recursos naturais, é um tema recente, para o qual os métodos ainda não se encontram inteiramente definidos, especialmente pelo caráter complexo de suas concepções metodológicas, cuja viabilização pressupõe o conhecimento integrado dos ambientes sob enfoque holístico-sistêmico e realizados por equipes multidisciplinares (VASCONCELOS, 1988).

Segundo Ross (2006), dentro desta perspectiva de planejamento ambiental do território, em especial, bacia hidrográfica, é necessário que as intervenções humanas sejam planejadas com base nas potencialidades dos recursos naturais e humanos e nas fragilidades dos ambientes.

De forma geral, o estudo da paisagem, assim como o manejo dos ecossistemas, envolve o monitoramento de grandes áreas ao longo de escalas temporais. Em muitos casos, a complexidade dos processos estudados e as grandes extensões envolvidas resultam em problemas logísticos que dificultam a condução de experimentos, o teste de hipóteses e a geração de previsões detalhadas. No sentido de contornar essas dificuldades, algumas estratégias são: a amostragem da paisagem em múltipla escala e a integração de modelos nos planos de amostragem das paisagens (URBAN, 2000).

A primeira consiste em coletar amostras de modo que cubram a maior parte da área de estudo, mas ao mesmo tempo, localizadas suficientemente próximas umas das outras para capturar os padrões em pequenas escalas. A segunda estratégia consiste em pré-selecionar as observações que podem, da melhor forma possível, auxiliar na interpretação dos padrões da paisagem e no monitoramento de sua variação ao longo do tempo (URBAN, 2000).

A estratificação ambiental atende aos princípios da ecologia da paisagem na medida em que os ambientes identificados não representam condições ideais de equilíbrio, mas tendências dinâmicas ao clímax pedobioclimático, com mecanismos permanentes e cíclicos de adaptação e retroalimentação, que levam ao aparente “equilíbrio” atual. O tipo de ocupação e uso de diferentes ambientes pelo homem estão intimamente ligados às características do meio físico, sendo essencial o conhecimento das peculiaridades de cada situação para o planejamento eficiente da gestão ambiental (SIMAS, 2002).

As perspectivas envolvendo as análises ecológica, geográfica e ambiental englobam estudos que consideram a complexidade do sistema e o estudo das suas partes componentes. A abordagem sistêmica é necessária para compreender como as entidades ambientais físicas, por exemplo, expressando-se em organizações espaciais, se estruturam e funcionam como diferentes unidades complexas em si mesmas e na hierarquia de alinhamento (CHRISTOFOLETTI, 1999).

### **2.3. ZONEAMENTO AMBIENTAL**

Dentre os mecanismos de planejamento à disposição do Poder Público passíveis de serem utilizados no planejamento territorial é possível perceber que, nos anos recentes, o zoneamento ambiental tem se destacado entre as políticas públicas como um instrumento estratégico de planejamento regional, que busca a compatibilização entre o desenvolvimento econômico e a qualidade ambiental. Entretanto, apesar de sua crescente utilização, a prática envolvendo a aplicação deste instrumento é caracterizada pela ausência de uma definição a respeito de suas reais atribuições.

O conceito de zoneamento, no Brasil, está ligado a pelo menos duas tradições (NITSCH, 1998; SAE/PR, 2000; MILLIKAN & PRETTE, 2000). A primeira diz respeito ao planejamento agrícola sob a forma dos zoneamentos agroecológicos ou agrícolas, nos quais se faz um estudo da aptidão dos solos e do clima de uma dada área para diversos tipos de cultura, ou, ao contrário, procura-se identificar as áreas mais adequadas para uma determinada cultura. Trata-se nesse caso de um instrumento técnico, de caráter indicativo, para subsidiar o agricultor em suas decisões de investimento, ou o setor público no que concerne a concessão de créditos para a agricultura (NITSCH, 1998; SAE/PR, 2000).

Uma outra tradição, mais fortalecida pela prática, está ligada à regulação do uso do solo urbano, que se consubstancia, geralmente, em instrumentos legais e normativos (MACHADO, 1992). Para GRINOVER (1989), essa prática de zoneamento, criada pela tecnologia do planejamento territorial desde as primeiras décadas do século XX, expõe suas deficiências ao se tentar introduzir a dimensão ambiental no processo de planejamento, uma vez que não consegue traduzir de forma eficiente a dinâmica das relações de todo tipo e de todos os níveis que se estabelecem no território.

Apesar de ter sido criado há mais de 20 anos, inserido na Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº. 6.938 de 31/08/81) e, desse modo, constituir um instrumento de gestão ambiental, a regulamentação da legislação sobre o zoneamento ambiental e sua implementação prática (especialmente em termos da estrutura necessária para a sua implementação) ainda não avançaram substancialmente. Talvez devido ao fato de que os primeiros exercícios de zoneamento “de caráter ambiental” (não se deve confundir com o zoneamento ambiental propriamente dito) foram executados com o objetivo de propor um determinado parcelamento do solo do território, a conceituação sobre zoneamento ambiental assumiu, conforme menciona MILLIKAN (1998), um caráter normativo, restritivo, para fins de proteção do meio ambiente.

Na fronteira Amazônica, por exemplo, no atual momento, o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) tem sido apresentado como um instrumento capaz de reverter alguns dos problemas de ocupação desordenada, que tanto despertam a atenção da opinião pública internacional desde os anos 80: desmatamento acelerado, expansão agropecuária em terras de baixa aptidão agrícola, exploração madeireira insustentável, invasões de áreas indígenas e unidades de conservação, entre outros (BECKER & EGLER, 1996; NITSCH, 1998).

No entanto, ao prevalecer o estabelecimento de uma determinada divisão do território em termos das atividades que podem ou não ser desenvolvidas, a elaboração de um zoneamento desse tipo acaba por não cumprir com a verdadeira atribuição de um instrumento de política ambiental, qual seja a provisão de subsídios concretos a serem utilizados pelos administradores na solução de eventuais conflitos que possam surgir.

### **2.3.1. Zoneamento Ecológico – Econômico**

Desde o final da década 80, o Governo Brasileiro reconhecendo os impactos negativos causados pela ocupação desordenada do território nacional, vem promovendo ações para a formulação de uma estratégia que viabilize sua ocupação ordenada e a recuperação de áreas degradadas. Segundo a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Rio de Janeiro, tal estratégia requer uma base de conhecimento técnico-científico e de informação acurada sobre a diversidade territorial (NITSCH, 1998, SEMADS, 2000).

A partir de setembro de 1990, quando foi instituída a Comissão Coordenadora do Zoneamento Ecológico-Econômico do Território Nacional - CCZEE (Decreto n.º 99.540, de 21/09/90), o governo federal vem desenvolvendo ações para implementar um programa descentralizado de zoneamento ecológico-econômico em todo o território nacional.

Segundo diretrizes da CCZEE, o zoneamento ecológico-econômico do Território Nacional ao nível macrorregional e regional é atribuição do Governo Federal e norteará a elaboração dos planos nacionais e regionais de ordenação do território (SEMADS, 2000). Os Governos Estaduais são convidados a integrar a Comissão, na condição de membros, quando áreas de seus respectivos territórios forem objeto de zoneamento e, através dos estados, prevê-se ainda a participação dos municípios.

O zoneamento ecológico-econômico (ZEE) foi criado para ser um instrumento político e técnico do planejamento com a finalidade de otimizar o uso do espaço e as políticas públicas afins. É um instrumento técnico de informação integrada sobre o território, ao passo em que o classifica segundo suas potencialidades e vulnerabilidades. É um instrumento político de regulação do uso do território, visto que favorece a integração de políticas públicas em uma base geográfica descartando o convencional tratamento setorializado e informatiza o processo de tomada de decisão contribuindo para a negociação entre várias esferas de Governo, e entre estas, o setor privado e a sociedade civil (NITSCH, 1998).

Para Ab'SABER (1989), o estabelecimento do ZEE deveria equivaler ao estudo de determinação das potencialidades e restrições de todos os subespaços que compõem um certo território, levando-se em conta suas potencialidades econômicas. Isso implicaria

em um cruzamento dos conhecimentos sobre os fatores fisiográficos e ecológicos com os fatores da conjuntura econômica, demográfica e social da região.

Seria, de acordo com BECKER & EGLER (1996), um instrumento ativo para o desenvolvimento sustentável, e não apenas um instrumento corretivo e restritivo como frequentemente se pensa. E, embora pautado na identificação de zonas homogêneas, na verdade buscaria tirar partido da diversidade territorial, promovendo a compatibilidade sistêmica entre as zonas.

Percebe-se que a conceituação teórica do ZEE o coloca claramente como um instrumento regulador das atividades antrópicas, cuja finalidade seria a de compatibilizar o desenvolvimento econômico de um território com a necessária preservação dos recursos e serviços ambientais. Contudo, ao menos até este momento, as maiores críticas a esse instrumento incidem na falta de clareza quanto aos critérios adotados em sua metodologia – e à falta de consistência científica para sua aplicação (NITSCH, 1998) e quanto à insustentabilidade política encontrada em suas propostas, devido à centralização excessiva de seu processo de elaboração – agravada pela falta de compatibilização entre as diretrizes do zoneamento e as políticas públicas em curso (MILLIKAN, 1998). De forma complementar às críticas anteriores, NITSCH (1998) ainda salienta que o papel do técnico e do cientista é compreender a realidade como ela é ("ser"), e não dizer como as coisas "devem ser". Ou seja, a definição do "dever ser" deve ficar por conta das legítimas instituições democráticas da sociedade.

Uma visão predominante, de acordo com MILLIKAN & PRETTE (2000), é que a implementação dos programas de zoneamento ecológico-econômico deve basear-se na elaboração de um mapa prescritivo, contendo normas sobre atividades permitidas e proibidas entre diferentes “zonas” do território, tipicamente respaldado através de uma lei estadual. Ao longo dos anos, a experiência tem demonstrado as limitações técnicas e políticas desse tipo de zoneamento, principalmente quando envolve grandes extensões territoriais. Segundo SCHUBART (1997) *apud* NITSCH (1998), nas escalas de abrangência territorial significativas para o ZEE não há como implementar leis globais de zoneamento, que resultam no fato já observado de que todos ficam contra todos, tornando o zoneamento politicamente insustentável.

HOMMA (2000) salienta que se o produto final de um estudo de ZEE foi traduzido em um único mapa onde se alocaria os potenciais e limitações para o desenvolvimento de atividades produtivas, levando-se em conta as condicionantes de solo, clima, tecnologia, aspectos sociais e econômicos, vulnerabilidade, entre outros, este deve ser feito sem pressões políticas. Resulta daí que a elaboração do estudo de ZEE constitui apenas o passo inicial, em que a maior dificuldade estaria na sua implementação, para não se transformar em meros mapas para enfeitar as paredes das instituições públicas. Por isso, segue o autor, a participação das comunidades nas discussões para a implementação do ZEE é fundamental para garantir um compromisso coletivo da utilização adequada do espaço que se quer proteger ou utilizar.

### **2.3.2. Zoneamento Ambiental**

Em 1981, a Lei n.º 6.938, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente enumera, entre os princípios que regem essa política, a racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar, o planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais, a proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas, o controle das atividades potencial ou efetivamente poluidoras, a recuperação de áreas degradadas, e a proteção de áreas ameaçadas de degradação.

Mais adiante (artigo 9º), a mesma lei menciona entre seus instrumentos o zoneamento ambiental (inciso II) e a criação de espaços territoriais especialmente protegidos pelo Poder Público Federal, estadual e municipal (inciso VI), tais como áreas de proteção ambiental, de relevante interesse ecológico e reservas extrativistas. Infelizmente, ao mencionar o zoneamento ambiental entre seus instrumentos, o texto da lei não avança em sua definição, ficando seu entendimento à mercê da interpretação do texto como um todo.

O termo zoneamento ambiental – como instrumento de planejamento e ordenamento territorial – é utilizado de várias formas, cada qual possuindo um enfoque específico. Segundo de ROO (2000), o instrumento zoneamento ambiental teria como objetivo investigar os conflitos de uso da terra que poderiam surgir devido à aplicação de normas e padrões ambientais e suas consequências no planejamento, chamado pelo autor de Planejamento para a Qualidade Ambiental.

Roo (200), em sua linha de pesquisa, desenvolvida no Departamento de Planejamento Urbano e Regional da Faculdade de Ciências Espaciais da Universidade de Gröening - Holanda, considera a crescente preocupação a respeito da necessidade em aplicar os princípios do desenvolvimento sustentável em todas as facetas do meio ambiente construído pelo homem, dada a variedade de impactos e atores envolvidos. De acordo com ASHWORT (1995), qualquer expansão no meio ambiente construído (em virtude de alguma atividade antrópica) normalmente conduz a alguns conflitos com o ambiente natural.

No escopo do presente trabalho, o entendimento atribuído ao termo zoneamento ambiental não deve ser restrito ao processo de parcelamento de um determinado espaço com o intuito de estabelecer os usos permitidos em sua ocupação. Segundo MACEDO (1998), a elaboração de um zoneamento ambiental parte de uma questão básica: sua elaboração deve ser feita a partir de uma política de desenvolvimento que se deseja implementar ou manter em um dado território.

Se bem utilizado, segue o autor, o zoneamento ambiental constitui-se no melhor instrumento de auxílio aos gestores desta política e a todas as demais partes envolvidas: investidores, empresários, trabalhadores, mercados, Poder Público, etc.

Acima de tudo, enquanto instrumento de uma política ambiental, sua utilização requer a existência de uma ligação com outros instrumentos – dentre os instrumentos criados pela Lei 6938 e que atuam em conjunto com o zoneamento ambiental, encontram-se, entre outros, a Avaliação de Impactos Ambientais, a criação de espaços territoriais especialmente protegidos e o estabelecimento de normas e padrões a serem observados – de modo a aumentar a eficácia na utilização dos mesmos

Para Souza (2000), a existência do zoneamento ambiental de forma consolidada daria um dinamismo muito maior à aplicação de diversos instrumentos e mecanismos da política ambiental, na medida em que forneceria a base, o conhecimento global da área de estudo de forma sistemática, o que faria com que os estudos de impactos ambientais, por exemplo, obtivessem uma outra dinâmica nas tomadas de decisão no que se refere à viabilidade ambiental do empreendimento. Nesse sentido, complementa o autor, o zoneamento se associa à caracterização ambiental, possibilitando a determinação das

vocações e suscetibilidades do meio ambiente, considerando fatores ambientais específicos.

Sendo a função básica do zoneamento ambiental o fornecimento de informações que permitam a avaliação da situação existente em um determinado território, em termos das restrições e limitações impostas pelos fatores ambientais no que diz respeito ao desenvolvimento de atividades, percebe-se claramente o caráter preventivo associado à correta utilização deste instrumento. Ao possibilitar a visualização da distribuição das áreas com maior ou menor aptidão (ou potencial) para a implantação de determinadas atividades, o zoneamento ambiental surge como um instrumento essencial para a definição das estratégias de ocupação do território levando-se em consideração as limitações impostas pelo meio ambiente.

O que se entende no presente trabalho como zoneamento ambiental passa, inicialmente, pelo processo de determinação das vulnerabilidades e aptidões do território, sem que seja preestabelecido qualquer tipo de uso para o mesmo. De acordo com Macedo (2001), antes disso é imprescindível efetuar o levantamento, não de uma, mas de todas as vocações do território analisado, para depois, num segundo momento, ordenar-se as atividades que mais se adaptam às comunidades que podem ser beneficiadas, às determinações das culturas locais diretamente envolvidas, às expectativas dos mercados disponíveis para os produtos/serviços a serem oferecidos e que apresentam compatibilidade com o espaço biofísico em que irão ser realizadas.

Ressaltando um aspecto que sem dúvida traria a necessária legitimidade ao processo, a elaboração de um zoneamento ambiental deveria culminar com uma ampla discussão envolvendo o Poder Público e a sociedade, com a finalidade de encontrar o melhor caminho para a implementação da referida política de desenvolvimento, que determinará a destinação a ser dada para o território em questão. O zoneamento ambiental deve ser visto, portanto, como um instrumento cuja finalidade é auxiliar a formulação de políticas e estratégias de desenvolvimento a serem implementadas em um determinado território.

## 2.4. TOMADA DE DECISÃO PELO PROCESSO ANALÍTICO

Para efetivar um zoneamento, normalmente são definidos critérios e hierarquia de decisão, além de existir a necessidade de tomada de decisão com base em objetivos conflitantes (LOURES, 2008). Dessa maneira, as diferentes estratégias de avaliação sob critérios múltiplos e resolução de conflitos podem ser utilizadas como ferramentas de suporte para o zoneamento (COSTA, 2001).

O método de análise hierárquica (MAH) apresenta-se como solução, uma vez que possibilita a obtenção de pesos dos critérios e apóia a tomada de decisão sob critérios múltiplos, no qual todos os fatores que interferem em um problema são dispostos em uma estrutura hierárquica. O método assume que, talvez, a tarefa mais criativa e difícil no problema de tomada de decisão, consiste em relacionar todos os fatores relevantes para a decisão considerada.

No MAH, estes fatores são dispostos em uma estrutura hierárquica descendente, partindo de um critério geral em direção aos demais critérios, subcritérios e alternativas, em níveis sucessivos. O MAH facilita a incorporação de considerações qualitativas e subjetivas dentro de fatores quantitativos para o processo de decisão.

De acordo com Badiru et al. (1993), uma descrição geral para a utilização do MAH consiste nas seguintes etapas:

- Desenvolver uma estrutura hierárquica para o problema de decisão;
- Determinar os pesos relativos de cada alternativa com relação às características e subcaracterísticas na hierarquia;
- Realizar julgamentos comparativos para estabelecer prioridades para os elementos da hierarquia, determinando a "nota" geral de prioridades para cada alternativa;
- Determinar os indicadores de consistência na realização de comparações paritárias de características e alternativas;
- Tomar uma decisão final com base nos resultados obtidos.

Depois de construir a hierarquia, a tomada de decisão deve realizar um procedimento de comparações subjetivas, a fim de determinar o peso de cada fator em cada nível de hierarquia.

Comparações paritárias são realizadas em cada nível para determinar a importância relativa de cada fator naquele nível, com relação a cada fator no próximo nível superior na hierarquia. Para isso, utiliza-se uma matriz de comparação pareada com o mesmo número de linhas e colunas, em que cada fator é comparado com os outros fatores (FATURETO, 1997).

Essas comparações consistem em julgamentos com relação a critérios de importância ou prioridade, definidos de acordo com o problema, variando de igual a extremo (igual, moderadamente superior, fortemente superior, muito fortemente superior, extremamente superior). Estes julgamentos verbais correspondem a uma escala de julgamentos numéricos (1, 3, 5, 7 e 9 ou 1/3, 1/5, 1/7 e 1/9) e a compromissos entre esses valores (BADIRU et al., 1993).

O sistema IDRISI apresenta uma aplicação desenvolvida e específica para apoio à tomada de decisão. A Análise Multicritério (MCE - *Multi-Criteria Evaluation*) para um objetivo, constitui-se de três métodos: análise booleana simples, combinação linear ponderada (WLC - *Weighted Linear Combination*) e média ponderada ordenada (OWA - *Ordered Weighted Averaging*) (EASTMAN, 2006).

Para aplicação do método OWA do sistema IDRISI, segundo Eastman (2006) são necessárias as seguintes etapas:

- **Identificação dos critérios (restrições e fatores) mais relevantes** – nesta fase são identificados os critérios mais relevantes a serem utilizados para propiciar o alcance do objetivo. Esta definição deve ser com base em experiência pessoal, de profissionais e dos atores ou tomadores de decisão a área em questão;
- **Padronização dos fatores** – a padronização representa o reescalonamento de valores dos critérios para um intervalo numérico comum. Esta padronização dos fatores é diferenciada para os métodos booleanos simples, WLC e OWA. No método booleano simples, a padronização significa a redução de todos os fatores a imagens booleanas com áreas aptas, assumindo valor 1, e não-aptas,

assumindo valor 0. Nos métodos WLC e OWA, os fatores não são apenas reclassificados, mas reescalados de acordo com alguma função para um intervalo comum. As restrições são mantidas como imagens booleanas (assumem valores 0 e 1), que atuam simplesmente como uma máscara no último passo de WLC, isto é, são critérios de restrição;

- **Definição dos pesos dos fatores** – necessário apenas para os métodos WLC e OWA.

Utiliza-se a técnica de Processo Hierárquico Analítico para o preenchimento da matriz recíproca quadrada de comparação pareada. Esta matriz é representada pelos mesmos fatores nas linhas e colunas. Após análise, é definido o grau de importância de um fator em relação aos outros fatores, sendo esta decisão inserida na matriz.

Através do módulo *WEIGHT* do IDRISI, são obtidos os pesos de cada fator e a consistência da comparação pareada. O método OWA necessita de um segundo conjunto de pesos, denominados pesos de ordenação, que serão aplicados aos fatores. Estes pesos de ordenação controlam a maneira pela qual os fatores ponderados são agregados, propiciando um controle tanto sobre as posições da MCE ao longo de um contínuo, quanto sobre o nível global de compensação, permitindo controlar o nível de risco que se deseja assumir na MCE e o grau com que os pesos dos fatores (pesos de compensação) irão influenciar o mapa final de aptidão.

O controle sobre o nível de risco e sobre a compensação é feito especificando-se um conjunto de pesos de ordenação para as diferentes posições de ordem hierárquica dos fatores em cada local (pixel). O risco assumido e o grau de compensação podem ser calculados pelas equações 1 e 2. A Figura 1 representa o espaço estratégico de decisão MCE.

$$R = \frac{1}{n-1} \sum_i^n (n-1) O_i \quad \text{Equação 1}$$

$$C = 1 - \sqrt{\frac{n \sum_i^n (O_i - \frac{1}{n})}{(n-1)}} \quad \text{Equação 2}$$

Fonte: Eastman (2006)

Em que:

- R = Risco;
- C = Compensação;
- $O_i$  = Peso ordenado na posição;
- n = Número de fatores.

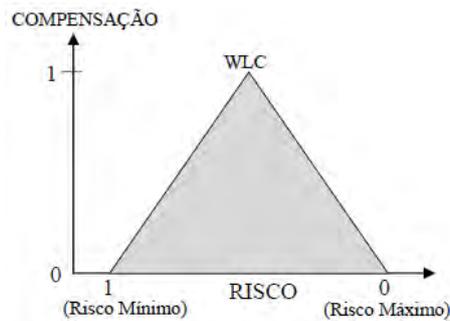


Figura 1. Espaço Estratégico de Decisão (RAMOS e MENDES, 2001).

## 2.5. FUNÇÃO DE PRODUÇÃO

A função de produção é a relação que mostra qual a quantidade máxima obtida do produto a partir da quantidade utilizada dos fatores de produção. Portanto, a função de produção indica o máximo de produto que se pode obter com as quantidades dos fatores, uma vez escolhido determinado processo de produção mais conveniente (PINDYCK e RUBINFELD, 2010).

A função de produção pode ser representada por:

$$q = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

onde:

- q = quantidade máxima produzida do bem, sendo  $q > 0$ ; e
- $x_1, x_2, \dots, x_n$  são as quantidades utilizadas dos diversos fatores de produção, sendo  $x_i > 0$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

Para maximizar o PIB da região,  $q = \text{PIB}$ ,  $x_1 = \text{hectares de banana}$ ,  $x_2 = \text{hectares de arroz}$ , ...,  $x_n$ . A função de produção é uma representação algébrica da alocação relativa

dos fatores de uma economia ou setor, cujo resultado final é o produto ou serviço agregado.

## 2.6. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia hidrográfica do rio Piranga apresentada na Figura 2, situa-se entre as latitudes 20°16' e 21°11' S e longitude 42°42' e 43°49' W. Está completamente inserida no estado de Minas Gerais e abrange uma área aproximada de 6.600 km<sup>2</sup>. A bacia hidrográfica possui uma forma alongada no sentido SO-NE, confrontando-se com as bacias dos rios Paraopeba a noroeste, das Mortes a oeste, Pomba ao Sul, Casca a leste e do Carmo ao norte.

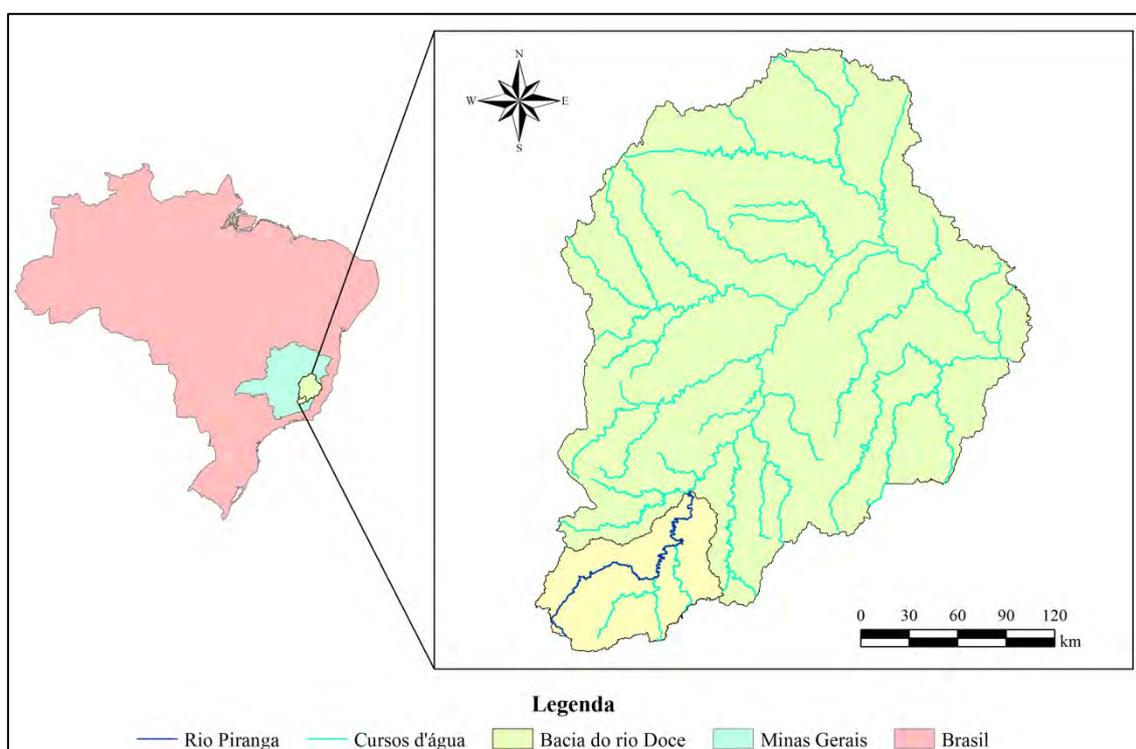


Figura 2. Localização da bacia hidrográfica do rio Piranga

O rio Piranga nasce na Serra das Vertentes, no encontro da serra da Mantiqueira e Espinhaço, no município de Ressaquinha, a uma altitude de cerca de 1225 metros. Possui extensão total de aproximadamente 319 km, percorrendo 16 municípios. Sua foz localiza-se no município de Rio Doce, onde ocorre a confluência com o rio do Carmo e a formação do rio Doce.

A bacia do rio Piranga caracteriza-se por ser uma bacia muito bem drenada. Os principais afluentes do rio Piranga pela margem esquerda são o rio Bacalhau e os

ribeirões Mata-Cães, Água Suja e Manja Léguas, e pela margem direita os rios Xopotó e Turvo Limpo e os ribeirões Oratórios, Teixeira e Vau-Açu. A Figura 3 apresenta a hidrografia da bacia hidrográfica do rio Piranga.

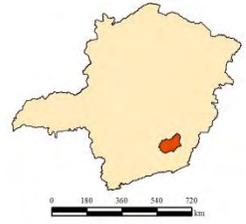
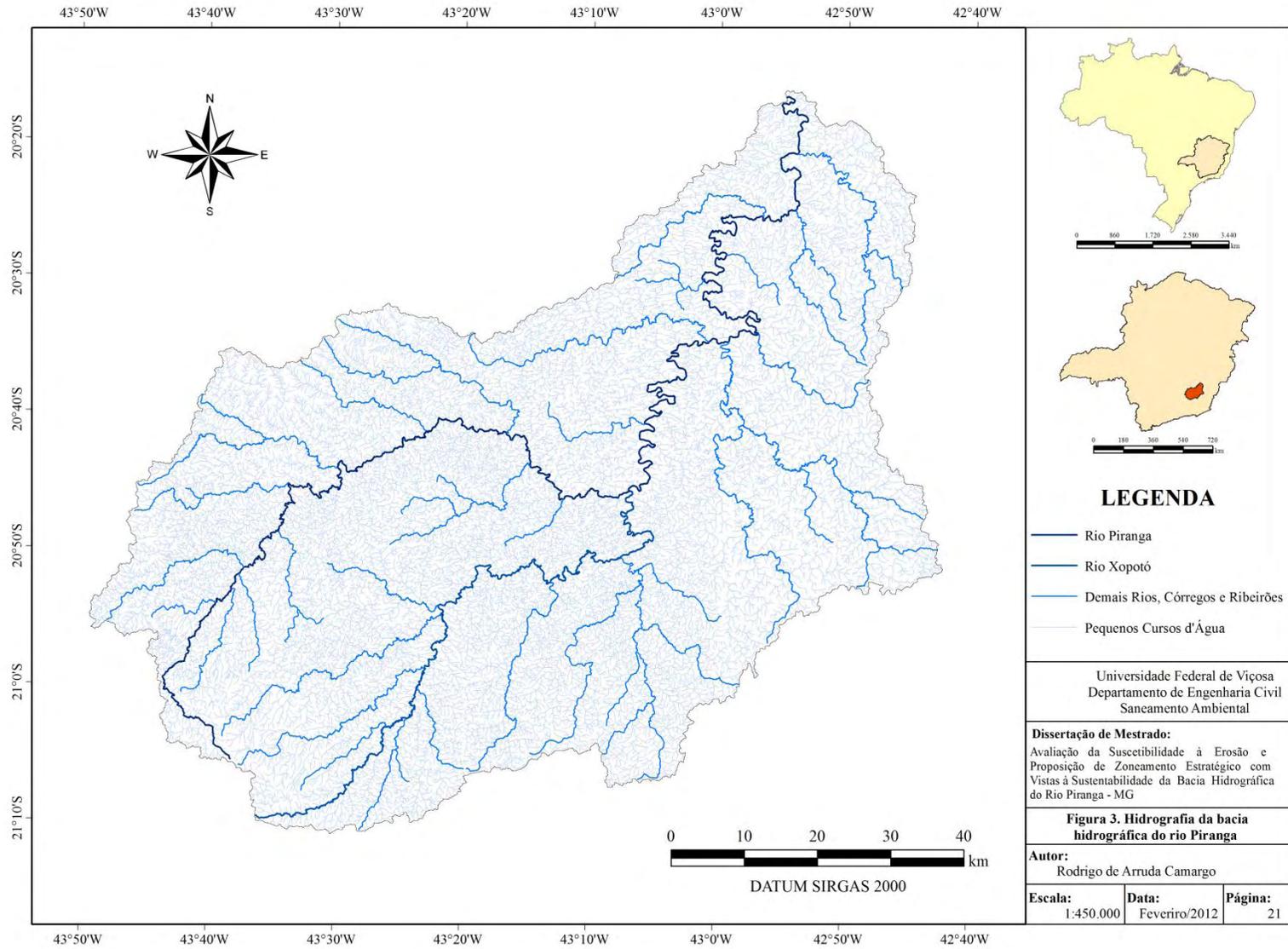
O clima de Ponte Nova, um dos principais municípios desta bacia, segundo classificação de Köppen, enquadra-se como tropical de altitude com chuvas durante o verão, verões frescos e o período seco coincidindo com os meses frios do ano, junho, julho e agosto. A temperatura média anual varia em torno de 19°C, com variações entre 14°C (média das mínimas) e 26°C (média das máximas) e a precipitação média anual é de 1221,4 mm (ALMG, 2009).

A bacia do rio Piranga é caracterizada pela Floresta Tropical Atlântica Subperinifólia, e se encontra atualmente com poucas áreas remanescentes preservadas. O desmatamento com vistas ao aproveitamento da terra para cultura agrícola reduziu consideravelmente a cobertura florestal originária (MARCHI et. al., 2005).

Segundo levantamento realizado pelo IGAM (2007), a bacia do rio Piranga contava com pouco mais de 88 mil hectares de área plantada com lavouras permanentes e 134 mil hectares de lavouras temporárias. Cerca de 57,62% da área da unidade é ocupada pela pecuária, ao passo que 30,16% são ocupados por Floresta Estacional Semi-Decidual.

Os principais problemas são a poluição, a redução da recarga do lençol freático, a inexistência de estruturas de drenagem nas estradas rurais, o extrativismo ambiental feito através do desmatamento, da produção de carvão, da extração de pedra e areia, o uso inadequado dos recursos naturais, a fiscalização ineficiente, a falta de mobilização da população e o desestímulo dos produtores rurais em relação ao cuidado com o meio ambiente (IGAM, 2007).

Nesta bacia predominam tipos de erosão laminar, sulcos e voçorocas, sendo os trechos mais críticos localizados ao norte da cidade de Viçosa, nas cabeceiras do rio Turvo Limpo e a sudeste da cidade de Alto Rio Doce. As colinas convexo-côncavas com vertentes ravinadas e escoamento concentrado favorecem o surgimento de sulcos e erosão laminar. A forte suscetibilidade à erosão verificada na bacia, aliada ao tipo de uso e cobertura dos solos são os grandes responsáveis pela alta taxa de produção de sedimentos, agravando os eventos de cheias nesta bacia.



**LEGENDA**

- Rio Piranga
- Rio Xopotó
- Demais Rios, Córregos e Ribeirões
- Pequenos Cursos d'Água

Universidade Federal de Viçosa  
Departamento de Engenharia Civil  
Saneamento Ambiental

**Dissertação de Mestrado:**  
Avaliação da Suscetibilidade à Erosão e  
Proposição de Zoneamento Estratégico com  
Vistas à Sustentabilidade da Bacia Hidrográfica  
do Rio Piranga - MG

**Figura 3. Hidrografia da bacia hidrográfica do rio Piranga**

**Autor:**  
Rodrigo de Arruda Camargo

<b>Escala:</b> 1:450.000	<b>Data:</b> Fevereiro/2012	<b>Página:</b> 21
-----------------------------	--------------------------------	----------------------

DATUM SIRGAS 2000

A bacia hidrográfica do rio Piranga, objeto desse estudo, é representativa do alto rio Doce. Sua área abrange 54 municípios mineiros (Figura 4), com destaque para os municípios de Viçosa, Ponte Nova, Guaraciaba, Piranga e Porto Firme. A Figura 5 ilustra as vias existentes na região. Entre as principais vias destacam-se a BR-120 que atravessa Viçosa e Ponte Nova no sentido Norte-Sul, a BR-482 que atravessa a bacia no sentido Leste-Oeste e liga os municípios de Viçosa a Conselheiro Lafaiete e a MG-124 que liga a BR-482 a Ubá.

As unidades de conservação inseridas na área de estudo são apresentadas na Figura 6. No total, são 19 Unidades de Conservação de categoria Área de Proteção Ambiental (APA), somando uma área total de 1448 km<sup>2</sup> (21,9 % da bacia). A APA foi introduzida no Brasil pela Lei 6.902, de 17 de abril de 1981. Trata-se em geral de áreas extensas, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais. As APAs presentes na bacia hidrográfica do rio Piranga são de jurisdição municipal e visam a proteção do bioma Mata Atlântica.

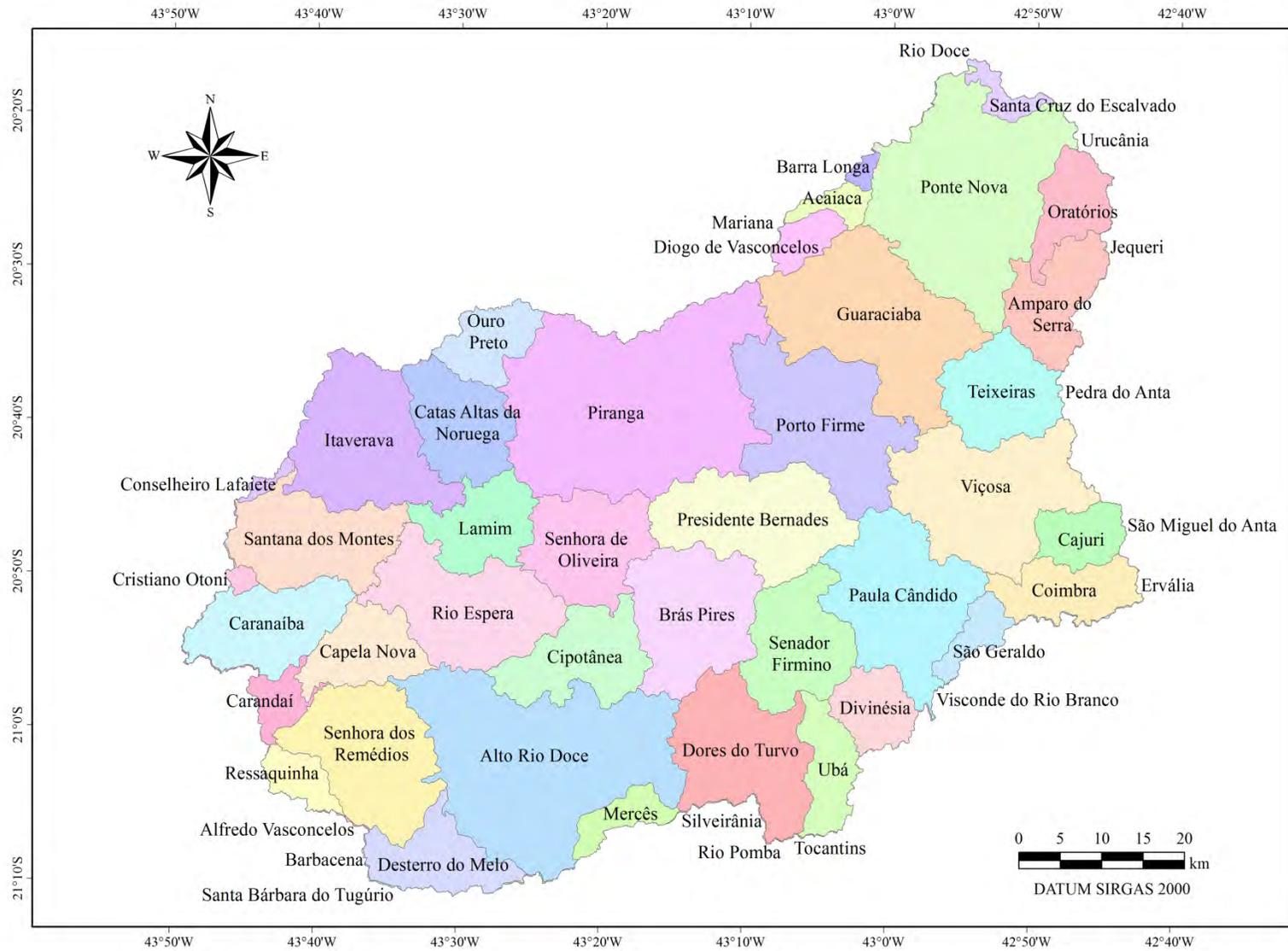


Figura 4. Localização dos Municípios na bacia hidrográfica do rio Piranga

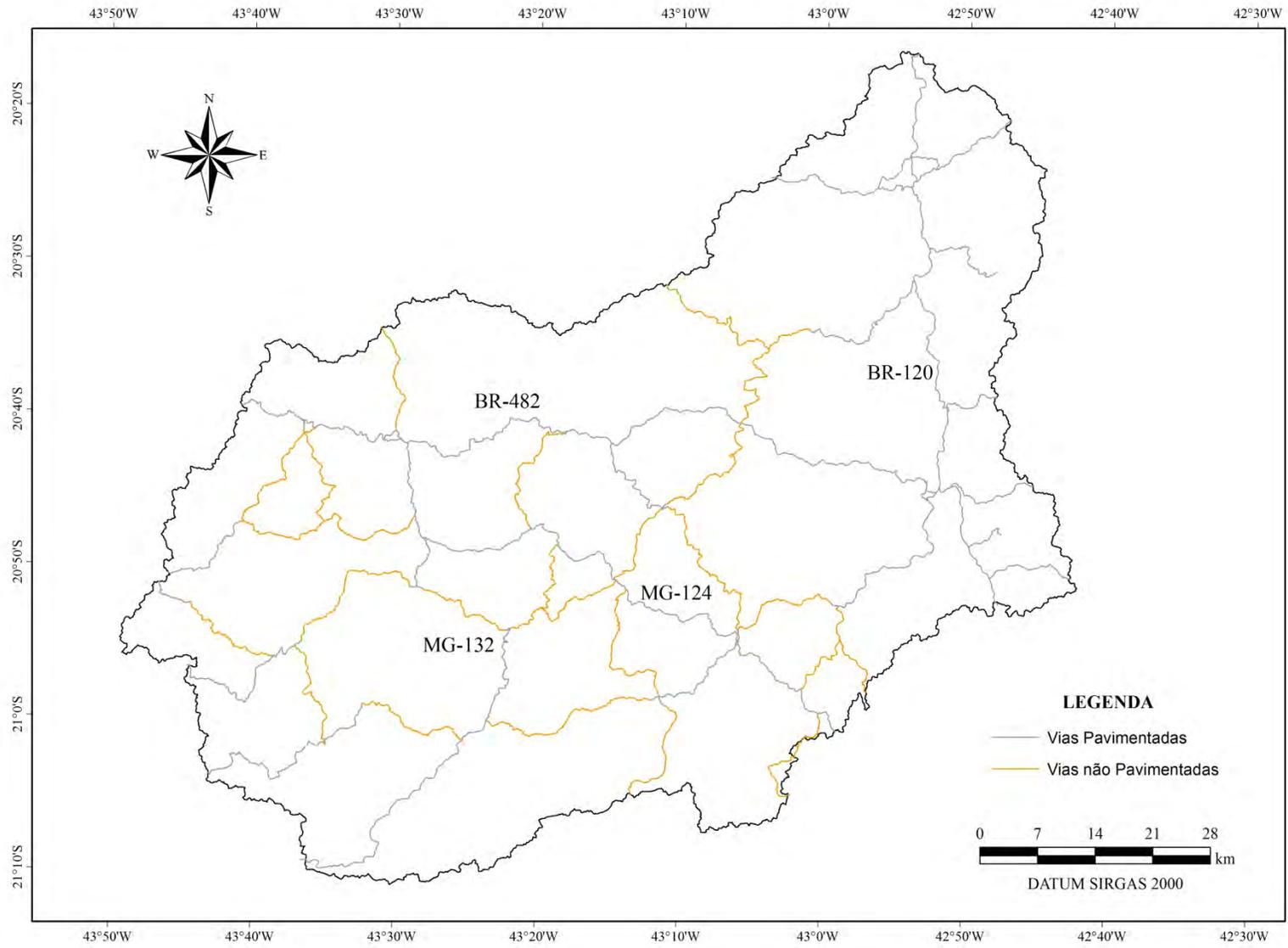
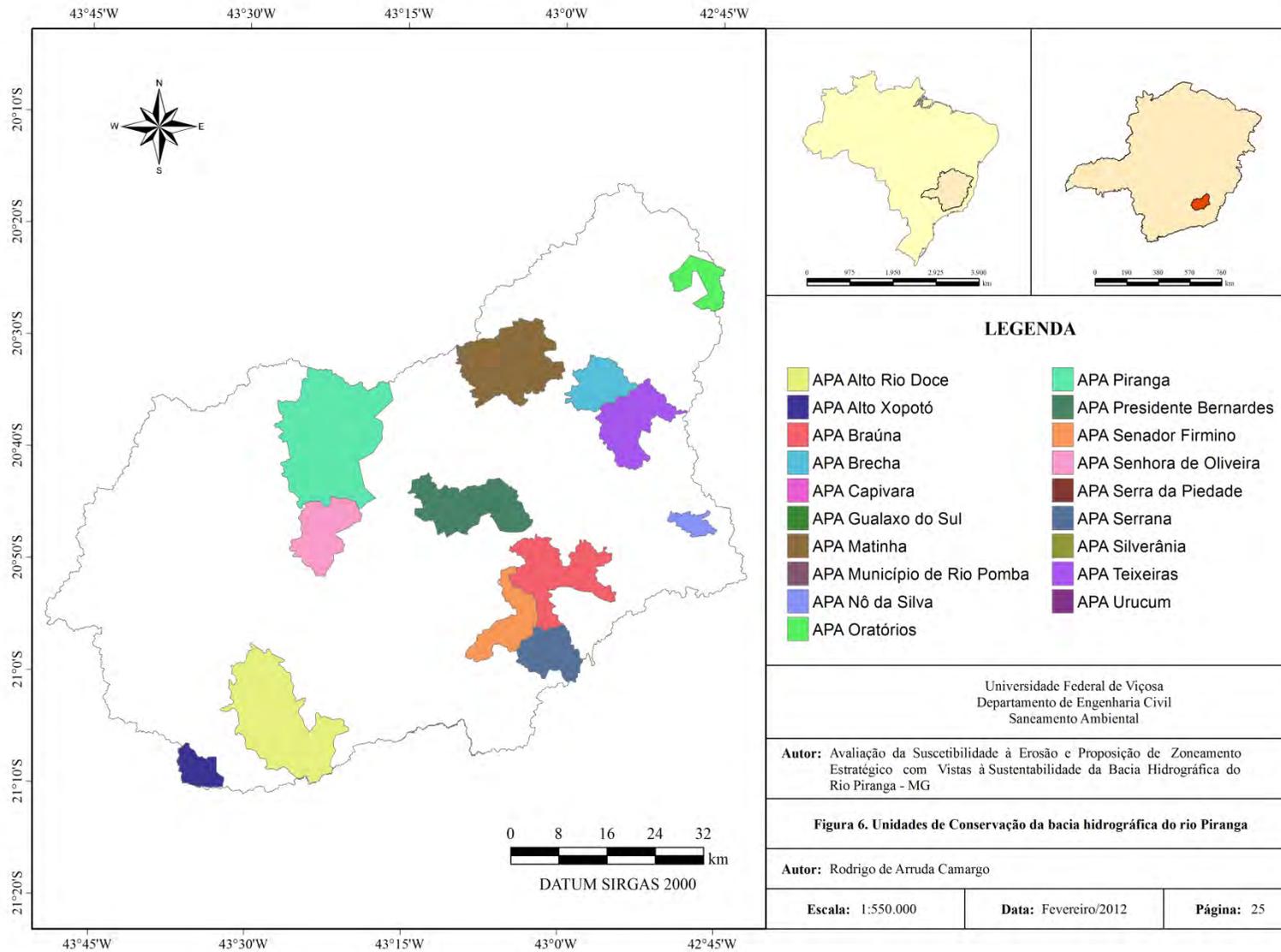


Figura 5. Sistema Viário da bacia hidrográfica do rio Piranga



### **2.6.1. Ocorrências de Cheias**

A bacia hidrográfica do rio Piranga possui características peculiares em relação à potencialidade de ocorrência de cheias. Em primeiro lugar, devido a sua localização entre áreas de transição de climas quentes com latitudes baixas para as de climas mesotérmicos do tipo temperado e latitudes médias, a bacia é afetada pela maioria dos sistemas sinóticos que atingem o Brasil meridional (NASCIMENTO et al., 2010). Durante os meses de maior atividade convectiva, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um dos principais fenômenos que influenciam no regime de chuvas, ocasionando alta nebulosidade e chuvas semi-estacionárias, que tendem a produzir grandes volumes de deflúvio superficial. Em segundo lugar, as características geomorfológicas, tais como relevo acentuado com elevada declividade, também favorecem a ocorrência de grandes cheias nas regiões de planícies e várzeas da bacia.

Segundo Ribeiro Filho (2008), o registro mais antigo de enchente/inundação do rio Piranga, em Ponte Nova, foi em fevereiro de 1865, no século XIX. As demais enchentes/inundações mais significativas que possuem registros oficiais ocorreram no século XX: 06 de janeiro de 1906, início de dezembro de 1918 até o final de janeiro de 1919, 29 de março de 1951, 01 de janeiro e nos primeiros dias de fevereiro de 1979, 01 de janeiro de 1997.

Em fevereiro de 1979, várias cidades foram inundadas deixando aproximadamente 47 mil pessoas desabrigadas e 74 mortos (SIMGE, 2009). Esse evento fez com que, em 09 de dezembro de 1981, os Ministros do Interior e das Minas e Energia criassem um Grupo Interministerial de Trabalho cujo objetivo era realizar estudos de prevenção e controle das enchentes do rio Doce (ADOCE, 1997). Esse grupo relacionou não só medidas estruturais de controle, como também não estruturais, dentre elas a criação e operação de um sistema de alerta, atualmente sob responsabilidade da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) de Belo Horizonte.

Em janeiro de 1997 o número de desabrigados em toda a região atingida foi aproximadamente 58 mil pessoas e 2 vítimas fatais (SIMGE, 2009).

A enchente de 2008 (Figura 7) foi consequência de chuvas contínuas e de intensidades elevadas associadas ao assoreamento da calha do rio, problema esse que é agravado por práticas agrícolas inadequadas (SILVA E FIALHO, 2009). No município de Ponte

Nova, vários bairros ficaram sem energia elétrica, o abastecimento de água para a população foi interrompido por mais de uma semana, as avenidas às margens do rio Piranga foram seriamente danificadas (Figura 8) e as principais rodovias de acesso ao município ficaram interditadas por vários dias. Segundo a Defesa Civil desse município, foram contabilizados prejuízos superiores a 44,4 milhões de reais, aproximadamente 4 mil pessoas ficaram desabrigadas e 44,7 mil pessoas sofreram danos materiais e prejuízos econômicos.



Figura 7. Foto panorâmica da enchente de 2008 em Ponte Nova – MG



Figura 8. Situação após a enchente de 2008 em Ponte Nova – MG.

No município de Piranga, entre os dias 16 e 20 de dezembro de 2008, foi registrado 54,4% do total pluvial esperado para o mês sendo que no dia 16 choveu 152,8mm (28,2% do mês). A cota fluviométrica registrou no dia 16, 460 cm e 586 cm, às 7 e 17

horas, respectivamente. A partir das 22 horas o nível do rio subia constantemente, chegando a atingir 860 cm, na zona urbana, quando ultrapassou o nível da ponte (Figura 9).



Figura 9. Passarela inundada no município de Piranga - MG em dezembro de 2008

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

---

Nesse item descreve-se o material e as metodologias empregadas para o desenvolvimento deste estudo. Inicialmente apresenta-se o fluxograma da pesquisa (Figura 10) a fim de abordar, de forma geral, as metodologias empregadas e facilitar o seu entendimento. Posteriormente, detalha-se cada uma das etapas. Observa-se pelo fluxograma que as diferentes etapas do estudo estão inter-relacionadas.

No diagrama apresentado as setas da mesma cor remetem aos diferentes materiais empregados no estudo ao objetivo específico a que estão ligados. Desta forma, ao observar-se as setas de cor azul, nota-se que por meio das imagens orbitais Landsat dos anos 2001 e 2010 foram obtidas as avaliações dos uso do solo e cobertura vegetal nestes anos e, estas foram subsídio para a obtenção do diagnóstico do uso e ocupação do solo, por meio do aplicativo *Land Change Modeler* (LCM).

A Carta Altimétrica e a Hidrografia foram utilizadas na obtenção do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) (Setas cor verde). O MDEHC foi empregado ainda na obtenção da Carta Geomorfológica (seta amarela) e da Carta de Declividade (seta cor vermelha).

Por meio da Análise Multicritério (WLC) a partir do software Idrisi 16.03 v.2009<sup>®</sup> do Mapa Pedológico, Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal do ano de 2010, Carta Geomorfológica, Carta de Declividade e dos dados de erosividade anual, obteve-se a Carta de Suscetibilidade à Erosão (setas da cor magenta).

Por meio da análise da Carta de Suscetibilidade à Erosão, da Carta de Declividade e do Mapa Pedológico reclassificado de acordo com as características das unidades pedológicas informadas (setas roxas), obteve-se a Carta de Aptidão Agrícola dos Solos.

Realizou-se então, a análise multicritério (OWA) das Cartas de Suscetibilidade à Erosão, Aptidão Agrícola dos Solos e Declividades, Uso e Ocupação do Solo, Hidrografia, Unidades de Conservação e Sistema Viário. A interação dos resultados desta análise com o Diagnóstico de Uso e Ocupação dos Solos deu origem ao Zoneamento de Áreas para Desenvolvimento Estratégico (setas pretas).

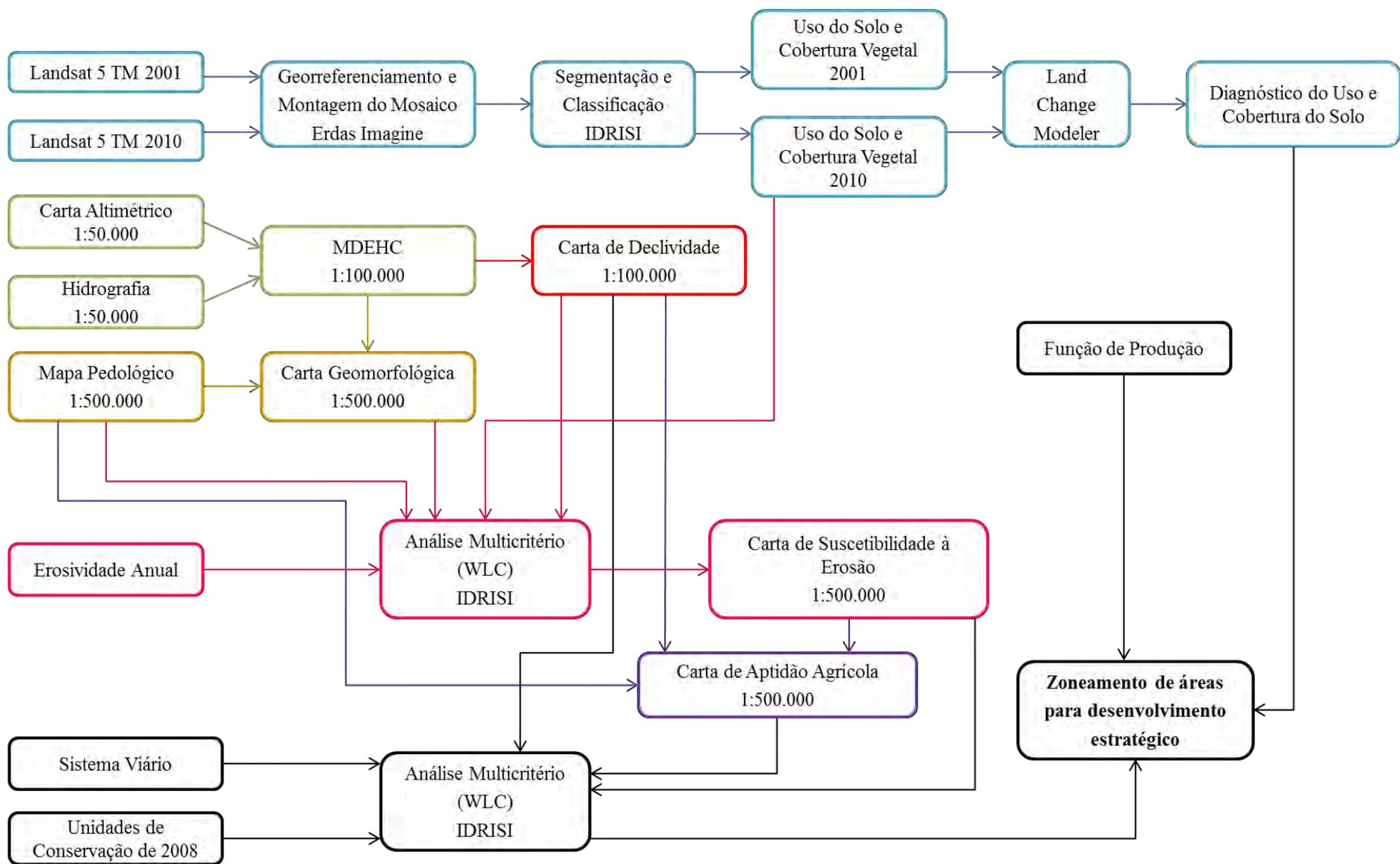


Figura 10. Fluxograma da metodologia adotada na pesquisa

### 3.1. MATERIAL

Utilizou-se para este trabalho, os seguintes dados cartográficos:

- i. Folhas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000, que recobrem a área de estudo. Incluem os seguintes temas: Hidrografia, Altimetria e Sistema Viário. A Figura 11 apresenta o mosaico das cartas do IBGE (1979) utilizadas.
- ii. Mapa de solos do estado de Minas Gerais, escala 1:500.000 da Fundação Estadual de Meio Ambiente – MG/UFV (FERNANDES FILHO et al., 2010).
- iii. Valores mensais e anuais da erosividade da chuva para qualquer localidade do estado de Minas Gerais, calculados pelo *software* netErosividade MG (MOREIRA et al., 2008).
- iv. Imagem orbital de 27/04/2001, órbita-ponto 217/74, sensor a bordo do satélite Landsat 5 sensor TM+. Características: resolução espectral 8 bits, resolução espacial 30 m, e faixa de varrimento de 185 km.
- v. Imagem orbital de 27/04/2001, órbita-ponto 217/75, sensor a bordo do satélite Landsat 5 sensor TM+. Características: resolução espectral 8 bits, resolução espacial 30 m, e faixa de varrimento de 185 km.
- vi. Imagem orbital de 06/05/2010, órbita-ponto 217/74, sensor a bordo do satélite LandSat 5 sensor TM+. Características: resolução espectral 8 bits, resolução espacial 30 m, e faixa de varrimento de 185 km.
- vii. Imagem orbital de 06/05/2010, órbita-ponto 217/75, sensor a bordo do satélite LandSat 5 sensor TM+. Características: resolução espectral 8 bits, resolução espacial 30 m, e faixa de varrimento de 185 km.
- viii. Mapa das Unidades de Conservação de 2008 sob jurisdição federal, estadual e municipal em formato shapefile, disponibilizados pelo IBAMA.

Os principais *softwares* utilizados foram: i) Idrisi<sup>®</sup> 16.03<sup>1</sup> ii) ArcGis 9.3<sup>®</sup> 2; iii) AutoCad 2004<sup>®</sup>3; iv) Erdas Imagine 9.1<sup>®</sup>4; v) netErosividade MG<sup>®</sup>5 e vi) Stata 12<sup>®</sup>6

---

<sup>1</sup>The Andes Edition, Clark Labs 1987-2006.

<sup>2</sup>ESRI Inc. ESRI Inc. 1999-2008

<sup>3</sup>Auto Desk 1982-2006

<sup>4</sup>ERDAS Inc. 1982-1999

<sup>5</sup>Grupo de Pesquisas em Recurso Hídricos da UFV – GPRH, 2007

<sup>6</sup>StataCorp LP 1985-2011

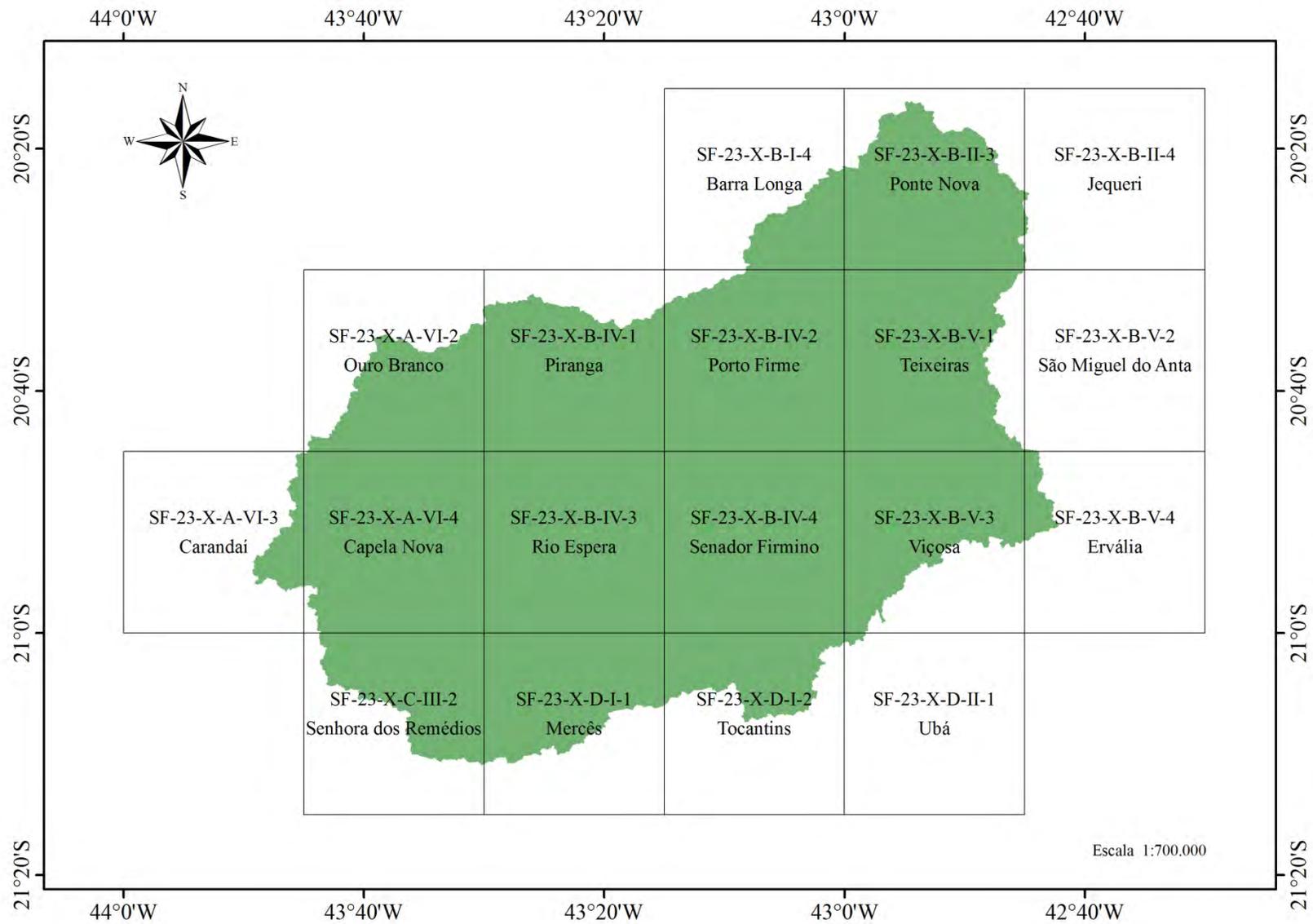


Figura 11. Mosaico das cartas do IBGE para a área de estudo

## **3.2. MÉTODOS**

Inicialmente, realizou-se pesquisa bibliográfica, a fim de coletar informações referentes ao tema central da dissertação e aspectos do meio físico abordados ao longo do trabalho, além de relacionar e agrupar todo o acervo existente de mapas, cartas e imagens de satélites referentes à área de estudo.

De posse desse acervo de informações, identificou-se o conjunto de cartas topográficas que continha a bacia hidrográfica a ser estudada. Uma vez que as feições altimetria, hidrografia e sistema viário já estavam em formatos digitais, procedeu-se um pré-processamento a fim de realizar pequenas correções na base de dados.

Durante a realização do trabalho diversas campanhas de campo foram realizadas para a identificação e georreferenciamento dos usos do solo preponderantes e dos geoambientes presentes na bacia. Estas observações auxiliaram a confecção da Carta de Uso do Solo e da Carta de Geoambientes, respectivamente.

### **3.2.1. Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente – MDEHC**

A caracterização do terreno por meio de seus parâmetros fisiográficos é importante na modelagem de processos hidrológicos. Há muito reconhece-se a topografia como fator dominante nos processos e fenômenos de superfície, ditando a distribuição espacial do clima, que é uma variável ambiental controladora da distribuição e da produtividade dos sistemas biológicos (RIBEIRO et al., 2002). A topografia também influencia, diretamente, o escoamento superficial da água e, por conseguinte, o potencial de erosão e a umidade do solo, afetando suas características físicas e químicas.

Um modelo digital de elevação (MDE) é considerado hidrologicamente consistente (MDEHC) quando representa adequadamente o relevo da área em estudo, permitindo eficiente simulação dos processos hidrológicos ocorrentes na bacia. Da base altimétrica do IBGE em escala 1:50.000, extraiu-se as curvas de nível de 20 em 20 metros, as cotas dos topos de morros, e a hidrografia. Para a geração do MDEHC fez-se necessário uma etapa de pré-processamento dos dados obtidos.

Inicialmente verificou-se a orientação de cada segmento da hidrografia, além de retirar polígonos (lagos) ou bifurcações (ilhas) na rede hidrográfica, para obtenção de um

conjunto de arcos simples conectados em padrão dendrítico. Em seguida utilizou-se o algoritmo de interpolação *Topogrid/ArcGRID* para geração do MDE. Este processamento não garante a total consistência hidrológica do modelo, devido à geração de depressões espúrias no decorrer do processamento, sendo necessária uma etapa de pós-processamento (BARBOSA et al., 2007).

O primeiro passo para a consistência hidrológica do modelo é a aplicação do algoritmo *Agree*, um tipo de *stream burning*, ou seja, um procedimento que realiza a diminuição do valor de altitude das células do MDE ao longo da drenagem vetorial (CHAVES, 2002). O segundo passo corresponde ao preenchimento das depressões espúrias a partir do processamento do algoritmo *Fill Sinks*, que corrige as depressões espúrias, por convolução, geradas na etapa de interpolação dos dados vetoriais. Esse garante a conectividade do fluxo superficial do MDE. Finalizado esse passo, os valores altimétricos alterados na primeira etapa de consistência hidrológica são restaurados com base no MDE. O terceiro passo é a estruturação dos *TALVEGUES*.

### 3.2.2. Carta de Declividade

Utilizou-se o algoritmo *slope/ArcGRID* para gerar a Carta de Declividade a partir do MDEHC. A declividade foi classificada segundo o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (RAMALHO FILHO & BEEK, 1995). A Tabela 1 apresenta as classes de declividades delimitadas para a paisagem em estudo.

Tabela 1. Classes de Relevo com base na declividade

Classe de Declividade	Característica do Relevo
0 - 3%	Plano
3 - 8%	Suave Ondulado
8 - 13%	Moderado Ondulado
13 - 20%	Ondulado
20 - 45%	Forte Ondulado
45 - 100%	Montanhoso
Mais de 100%	Escarpado

Fonte: Adaptado de Ramalho Filho & Beek (1995)

### 3.2.3. Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal

Obteve-se os mapas de uso do solo e cobertura vegetal por meio do tratamento das imagens do sensor orbital Landsat 5 TM datas 27 de abril de 2001 e 06 de maio de 2010, da qual extraíram-se informações para o reconhecimento de padrões e objetos

homogêneos. As imagens do sensor orbital Landsat 5 TM georeferenciadas fornecidas pelo IBGE foram utilizados como referências para o georreferenciamento da imagem.

A classificação de uma imagem nada mais é que a identificação de elementos nelas presentes pela associação de cada um de seus pixels a uma determinada classe temática. A comparação é realizada entre pelo menos duas bandas do espectro, a fim de se comparar o mesmo pixel por meio de possíveis diferentes respostas (FITZ, 2008).

Primeiramente realizou-se a montagem do mosaico das imagens orbitais para a área de estudo pelo *software* Erdas Imagine<sup>®</sup>. A operação de mosaico de imagens tem a finalidade de juntar duas ou mais imagens para gerar uma imagem maior. Este processo é inevitável quando uma área geográfica de estudo é maior do que a cena disponibilizada pelo sensor.

Em seguida realizou-se o georreferenciamento ou registro das imagens estabelecendo, segundo Eastman (2006), a localização de uma imagem no espaço, definida por um sistema referencial de coordenadas conhecido. Através do georreferenciamento a imagem adquire propriedades de um mapa, com todos os pixels referenciados a um sistema de Projeção Cartográfica. Neste trabalho, o sistema de referência utilizado foi o sistema de coordenadas UTM Datum Horizontal SAD 69, sendo a região localizada na zona 23 S.

Para o procedimento de classificação, utilizou-se o *software* Idrisi Andes<sup>®</sup>. Para o processo de composição da imagem RGB das bandas georeferenciadas, utilizou-se a função “Composite” do Idrisi Andes<sup>®</sup>. Apenas três bandas foram selecionadas para o processamento das imagens (3B, 4G e 5R). Segundo Ribeiro (2001), as classes de uso do solo são melhor distinguidas por tais bandas, uma vez que possuem um menor grau de correlação, diminuindo a redundância entre os dados.

Em seguida, foram criadas as assinaturas pelo módulo “*Makesig*”. As áreas de treinamento foram delimitadas por polígonos desenhados sobre cada uso da terra na imagem. Em seguida, foram indicados os nomes de cada classe de uso da terra, associados aos seus respectivos identificadores na caixa-texto, criando-se um arquivo de assinaturas para as categorias. Procedeu-se a classificação supervisionada do mosaico pelo método de Máxima Verossimilhança, utilizando-se do módulo “*Maxlike*”. As amostras de uso da terra duvidosas foram confirmadas em campo. Os dados referentes

ao sistema viário, ao polígono limitante das cidades e a hidrografia foram utilizados da base de dados do IBGE, na escala 1:50.000.

#### **3.2.4. Dados de Erosividade da Chuva**

Obteve-se através *software* netErosividade MG os valores de erosividade anual para os municípios da bacia hidrográfica do rio Piranga. O netErosividade MG foi desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Os valores de erosividade da chuva utilizados para o desenvolvimento das RNAs foram obtidos segundo o método proposto por Pruski et al. (2007), em que se estima o valor da erosividade da chuva a partir de séries sintéticas de precipitação pluvial. Para o treinamento das RNAs, foram utilizadas 254 estações pluviométricas situadas no Estado de Minas Gerais e 14 estações localizadas em seu entorno.

A erosividade da chuva apresenta maior relevância ao processo de erosão hídrica em relação ao total precipitado por considerar a distribuição do tamanho, a velocidade de queda, o número, momento e a energia cinética das gotas, bem como a intensidade, duração e frequência da chuva (PRUSKI, 2009). Utilizou-se a erosividade anual calculada pelo método de Foster (1981) o qual equivale à energia cinética produzida por uma tempestade em um período de 30 minutos ( $EI_{30}$ ).

#### **3.2.5. Carta Geomorfológica**

Na elaboração da Carta Geomorfológica, para a denominação das unidades geomorfológicas, foram integradas as informações obtidas na literatura, como o mapa geomorfológico da bacia do rio Doce (COELHO, 2006) e o mapa geomorfológico da Zona da Mata e do Sul de Minas (GIOVANINI, 2006). A metodologia aplicada para a confecção da carta geomorfológica teve como base a ordenação dos fatores de relevo mapeados em taxonomia que os hierarquiza.

Os Grupos identificados são manchas ou polígonos que constituem grupamento de formas de relevo que apresentam similaridade de definição geométrica em função de uma gênese comum e da generalização dos processos morfogenéticos atuantes, resultando na recorrência de materiais correlativos superficiais (LOURES, 2008). Utilizou-se o MDEHC e o Mapa Pedológico como informações básicas para a compartimentalização das unidades geomorfológicas.

### **3.2.6. Mapa Pedológico**

O Mapa pedológico da área de estudo foi obtido do Mapa Pedológico do Estado de Minas Gerais, publicado em 2011 (FERNANDES FILHO et al., 2010). Este mapa trata-se da atualização do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais na escala 1:600.000, elaborado pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), no ano de 2007 e foi obtido pela compilação do levantamento de varias regiões estudadas durante as décadas de 50 e 60 do século passado, pelos órgãos especializados do Ministério da Agricultura, tais como a EPFS (Equipe de Pedologia e Fertilidade dos Solos), DPP (Divisão de Pesquisa Pedológica), CNEPA (Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas) e SNLCS (Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos), atual CNPS (Centro Nacional de Pesquisa de Solos) da EMBRAPA.

As regiões abrangidas compreendem ao “Médio Jequitinhonha”, a “Área de Influência do Reservatório de Furnas”, a “Área de Influência da Companhia Vale do Rio Doce”, o “Norte de Minas Gerais (Área de Atuação da Sudene), o “Triângulo Mineiro” e a “Região Geoeconômica de Brasília (parte Mineira)”. Foram também executados outros levantamentos de mesmo porte e/ou de menor dimensão (ex. Alto Paranaíba e Sul de Minas), mas que por razões variadas não foram até agora publicados.

Na década de 70 a 80, a CETEC realizou dentro de um conjunto de estudos integrados os levantamentos de solos de três grandes regiões, a “Região Noroeste de MG”, a “Bacia do Jequitinhonha” e o “Alto São Francisco” que, no seu conjunto, perfazem cerca de 55% da área do Estado.

É importante notar que na versão de 2007 os solos foram classificados conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). Contudo, o detalhamento apresentado no presente mapa para as bacias citadas anteriormente, seguiu a versão atualizada do Sistema (EMBRAPA, 2006). Desta forma, quanto à classificação dos solos, as seguintes Unidades de Mapeamento encontram-se de acordo com o Sistema de classificação atual.

### **3.2.7. Carta de Suscetibilidade à Erosão**

A carta síntese de suscetibilidade à erosão teve como objetivo avaliar, de forma integrada, as potencialidades e vulnerabilidades do meio ambiente. A carta de suscetibilidade à erosão foi desenvolvida por meio da correlação dos fatores

Geomorfologia, Solos, Uso do Solo, Clima e Declividades. A Figura 12 apresenta o fluxograma da metodologia utilizada para a elaboração da carta de suscetibilidade à erosão.

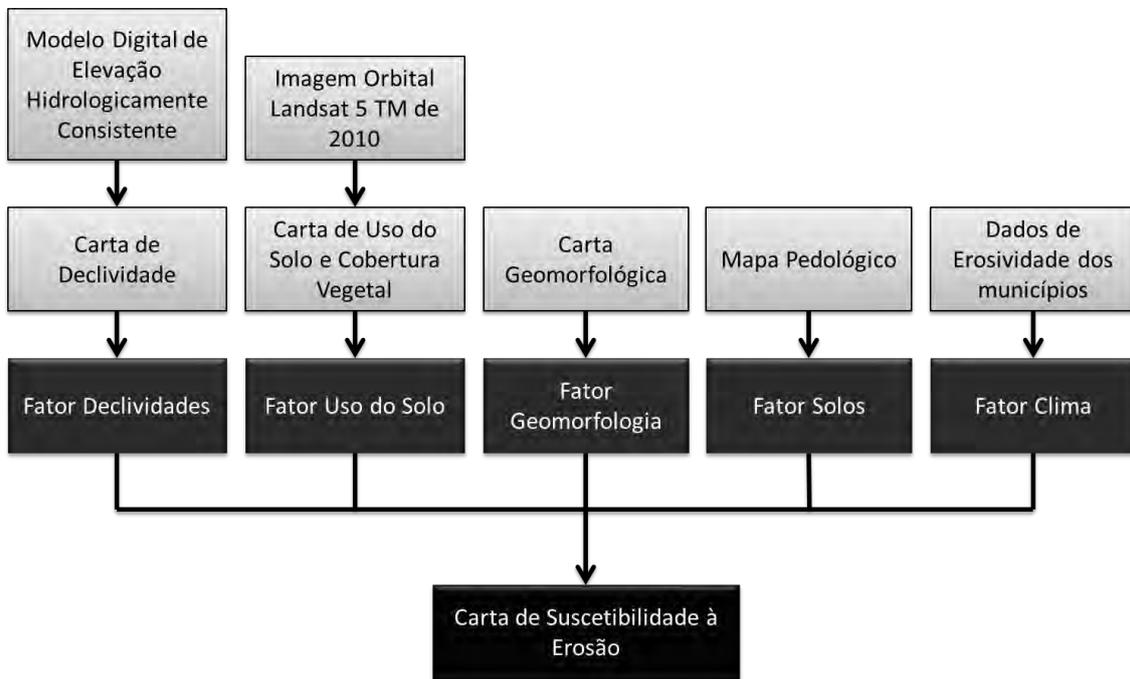


Figura 12. Fluxograma da metodologia para elaboração da carta de suscetibilidade à erosão.

Os dados cartográficos utilizados para a elaboração da Carta de Suscetibilidade à Erosão foram o modelo digital de elevação hidrologicamente consistente, carta de declividade, mapa do sistema viário, mapa pedológico, carta geomorfológica, carta de erosividade anual da chuva e carta de uso do solo e cobertura vegetal (ano 2010).

A Carta de Suscetibilidade à Erosão foi produzida em algoritmo de análise de decisão através da combinação dos fatores por meio da combinação linear ponderada. A análise multicritério exige o estabelecimento de fatores e/ou restrições. As restrições indicam áreas inadequadas ou inaptas para a análise. Os dados cartográficos, convertidos em formato matricial, foram padronizados em escala de adequabilidade *fuzzy* (EASTMAN, 2006).

As funções *fuzzy* foram empregadas, pois passam de maneira contínua do não adequado à adequabilidade máxima. Utilizou-se a escala de adequabilidade variando de zero, menor valor possível de suscetibilidade à erosão, até 255, maior valor possível de

suscetibilidade à erosão. Neste método, cada fator padronizado é multiplicado pelo seu peso correspondente, somados, e a soma é dividida pelo número de fatores.

Os pesos foram obtidos no processo hierárquico analítico por meio da comparação par a par do software Idrisi Andes<sup>®</sup>. O processo de agregação de combinação linear ponderada fornece um cenário com máxima compensação entre os fatores e risco médio na análise.

#### 3.2.7.1. Fator Declividades

O fator declividade foi valorado de acordo com as classes propostas pelo Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (RAMALHO FILHO e BEEK, 1995). As classes mais planas receberam valor mais baixo, já as de maior declividade receberam valor máximo, 255, visto que elas apresentam maior susceptibilidade à erosão. A Tabela 2 exibe a valoração para as classes de declividade.

Tabela 2. Valores de suscetibilidade à erosão para o fator declividades

<b>Carta de Declividade</b>	<b>Característica</b>	<b>Suscetibilidade à Erosão</b>
0 - 3%	Plano	50
3 - 8%	Suave Ondulado	80
8 - 13%	Moderado Ondulado	120
13 - 20%	Ondulado	180
20 - 45%	Forte Ondulado	230
45 - 100%	Montanhoso	255
> 100%	Escarpado	255

#### 3.2.7.2. Fator Uso do Solo

O uso do solo e cobertura vegetal foi hierarquizado definindo-se graus de proteção para as classes de uso, como apresentado na Tabela 3. As classes agricultura e pastagem foram classificadas com valores altos devido a possibilidade de remoção de cobertura total ou parcial por capina e manejo inadequados. Os afloramentos rochosos são áreas cobertas por rocha sã, sem cobertura, contribuindo pouco ou muito pouco com o processo erosivo.

Tabela 3. Valores de suscetibilidade à erosão para o fator uso do solo

<b>Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal</b>	<b>Suscetibilidade à Erosão</b>
Formações Florestais	50
Cultura do Eucalipto	70
Agricultura	200
Áreas de Pastagem	220
Corpos d'água	Restrição
Afloramentos Rochosos	50
Solo Exposto	255
Áreas de Mineração	255
Áreas Urbanas	150

As formações florestais são importantes na proteção do solo contra erosão, uma vez que diminuem o impacto das gotas de chuva, impedindo a impermeabilização do solo, conseqüentemente, mantendo a capacidade de infiltração e evitando um elevado escoamento superficial. Daí sua classificação com um valor reduzido para suscetibilidade à erosão.

As pastagens, quando manejadas de forma correta, podem representar forma de se proteger o solo contra os efeitos da erosão. Entretanto, o pasto mal conduzido torna-se uma das maiores causas da degradação do solo. Na área estudada, uma parcela considerável das pastagens está degradada, por isso sua classificação com elevado valor de suscetibilidade à erosão.

As zonas de solo exposto na área de estudo, assim como as áreas mineradas, foram valoradas com valores máximos, já que ao contrário das zonas com formações florestais, estão sujeitas de forma evidente aos efeitos da erosão hídrica e não apresentam formações rochosas expostas. A falta de cobertura vegetal faz com que o escoamento superficial assuma maior velocidade, gerando um maior carreamento de partículas, caracterizando uma erosão mais acentuada.

As áreas construídas nas zonas urbanas não estão sujeitas à erosão devido à impermeabilização do solo. Entretanto, em seu interior existem áreas de solo exposto, assim como áreas de encostas e taludes de corte que apresentam suscetibilidade considerável. Levando em conta estes dois fatores, utilizou-se um valor médio de suscetibilidade à erosão para áreas urbanas.

### 3.2.7.3. Fator Geomorfologia

As unidades geomorfológicas foram classificadas conforme a Tabela 4 quanto à suscetibilidade erosiva de acordo com o nível de dissecação do relevo e características geoambientais peculiares de cada região.

Tabela 4. Classes de suscetibilidade à erosão para o fator geomorfologia

<b>Unidade Geomorfológica</b>	<b>Suscetibilidade à Erosão</b>
Depressão Interplanáltica do Alto-Médio Rio Doce	50
Planalto Deprimido do Rio Piranga	150
Planalto Campo das Vertentes	210
Planalto de Senhora de Oliveira	210
Borda do Espinhaço	255
Borda do Quadrilátero Ferrífero	255

### 3.2.7.4. Fator Solos

Para o fator solos, utilizou-se valores de suscetibilidade para as diferentes unidades pedológicas, como é mostrado na Tabela 5. Para a determinação dos valores, foram consideradas características como textura, estrutura, erodibilidade e profundidade de horizontes (LOURES, 2008).

Os Cambissolos são constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacentes a qualquer tipo de horizonte superficial. São ainda caracterizados por serem pouco profundos, e na maioria das vezes cascalentos. Os Cambissolos são solos “jovens” com elevado teor de silte, o que combinado com a baixa profundidade faz com que esses solos tenham baixa permeabilidade.

A principal consequência disso é o alto risco de erosão apresentado. Devido à baixa permeabilidade, são formados sulcos com as enxurradas, mesmo quando eles são usados para pastagens.

Tabela 5. Classes de suscetibilidade à erosão para o fator solos

<b>Unidade de Mapeamento</b>	<b>Descrição</b>	<b>Suscetibilidade à Erosão</b>
CXbd1	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A moderado, textura média, fase floresta tropical subperenifólia, relevo montanhoso (50%)	255
CXbe1	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico, A moderado, textura média/argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo montanhoso (70%)	255
LVAAd1	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (35%)	70
LVAAd2	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (45%)	90
LVAAd3	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (50%)	100
LVAAd4	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado/forte ondulado (50%)	125
LVAAd5	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado/forte ondulado (60%)	140
LVAAd6	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa/muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado/montanhoso (50%)	110
LVd1	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (30%)	50
LVd2	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado/montanhoso (35%)	60
LVd3	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado (50%)	90
PVAe1	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado (40%)	200
PVd1	ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (50%)	220

Os Argissolos são solos que possuem horizonte B textural de argila de atividade baixa. Estudos realizados por Bertoni e Lombardi Neto (1990) afirmam que solos com horizonte B textural são mais suscetíveis a erosão, o que pode ser justificado pelo incremento no teor de argila apresentado, do horizonte superficial para o horizonte B. Esse gradiente textural entre os horizontes A e Bt causa um acúmulo de água que propicia o arraste horizontal de partículas, potencializando a erosão. A diferença entre os dois tipos de Argissolos encontrados se deve ao fato de um deles se apresentar em associação com Cambissolos Háplico Tb Distrófico latossólico, além de possuir um relevo ligeiramente mais ondulado, que aumenta sua suscetibilidade.

Latossolos são os solos encontrados com os menores valores de suscetibilidade a erosão. Normalmente, eles são solos profundos, com pouca diferenciação entre os horizontes A, B e C, diferentemente de Argissolos e Cambissolos. Segundo Oliveira et. al. (1999), os latossolos são solos com boas propriedades físicas, apresentando boa drenagem interna, e em grande parte das vezes se situam em relevos pouco íngremes.

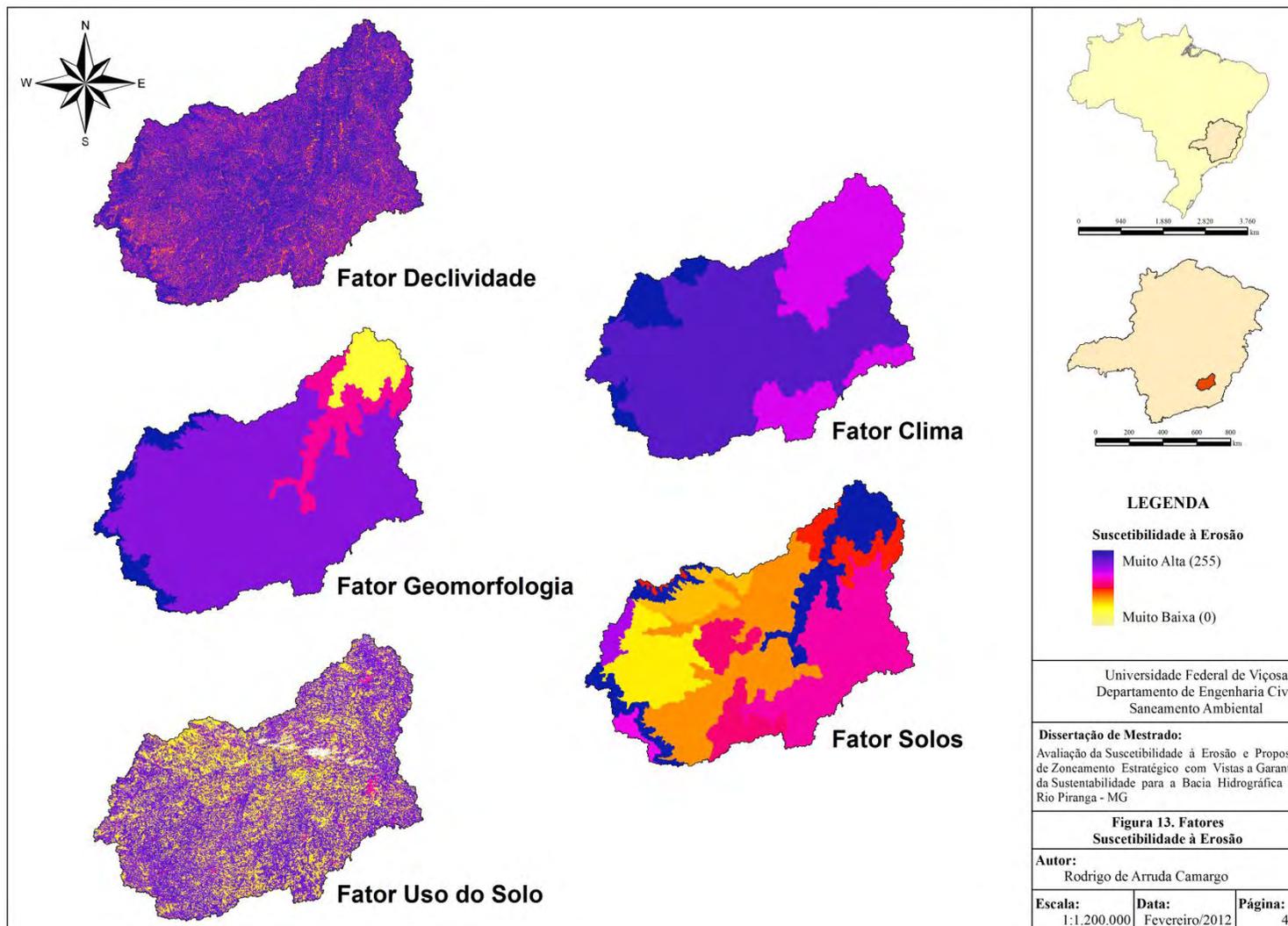
#### 3.2.7.5. Fator Clima

O fator clima foi obtido a partir do estabelecimento de valores de suscetibilidade à erosão para as classes de erosividade anual da chuva, conforme apresentado Tabela 6.

Tabela 6. Classes de suscetibilidade à erosão para o fator clima

<b>Erosividade Anual (MJ mm h<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>Suscetibilidade à Erosão</b>
6000 – 6800	180
6800 – 7000	230
Acima de 7000	255

A Figura 13 apresenta os cinco fatores reclassificados para a análise.



### 3.2.7.6. Análise dos Fatores

Para a identificação das áreas de maior predisposição à erosão e que representam da maneira mais fiel, estabeleceram-se cenários para a suscetibilidade a erosão. Foram obtidos cinco cenários resultantes da variação de importância entre os fatores no processo hierárquico analítico (Tabelas 7 a 11).

Na comparação pareada, o valor um (1) representa a mesma importância de um item sobre outro e o valor meio (1/2) representa importância intermediária, entre igualmente e moderadamente menos importante. As restrições booleanas e os fatores foram agregados, e utilizou-se a combinação ponderada linear, onde ocorre máxima compensação e médio risco.

Dentre os cenários produzidos, Figura 14, optou-se pelo que melhor representou as condições de suscetibilidade erosiva da área de estudo, de acordo com os aspectos físicos mapeados, observações de campo e sobreposição à imagem Landsat. Para o cenário identificado como o que melhor representou as condições *in situ*, estabeleceu-se cinco classes de suscetibilidade à erosão, variando de muito baixa a muito alta.

Tabela 7. Importância relativa entre os fatores – C1

	<b>Declividades</b>	<b>Uso do Solo</b>	<b>Geomorfologia</b>	<b>Solos</b>	<b>Clima</b>	<b>Pesos (C1)</b>
<b>Declividades</b>	1					0,2727
<b>Uso do Solo</b>	1/3	1				0,0909
<b>Geomorfologia</b>	1	3	1			0,2727
<b>Solos</b>	1	3	1	1		0,2727
<b>Clima</b>	1/3	1	1/3	1/3	1	0,0909

Tabela 8. Importância relativa entre os fatores – C2

	<b>Declividades</b>	<b>Uso do Solo</b>	<b>Geomorfologia</b>	<b>Solos</b>	<b>Clima</b>	<b>Pesos (C2)</b>
<b>Declividades</b>	1					0,2308
<b>Uso do Solo</b>	1	1				0,2308
<b>Geomorfologia</b>	1	1	1			0,2308
<b>Solos</b>	1	1	1	1		0,2308
<b>Clima</b>	1/3	1/3	1/3	1/3	1	0,0769

Tabela 9. Importância relativa entre os fatores – C3

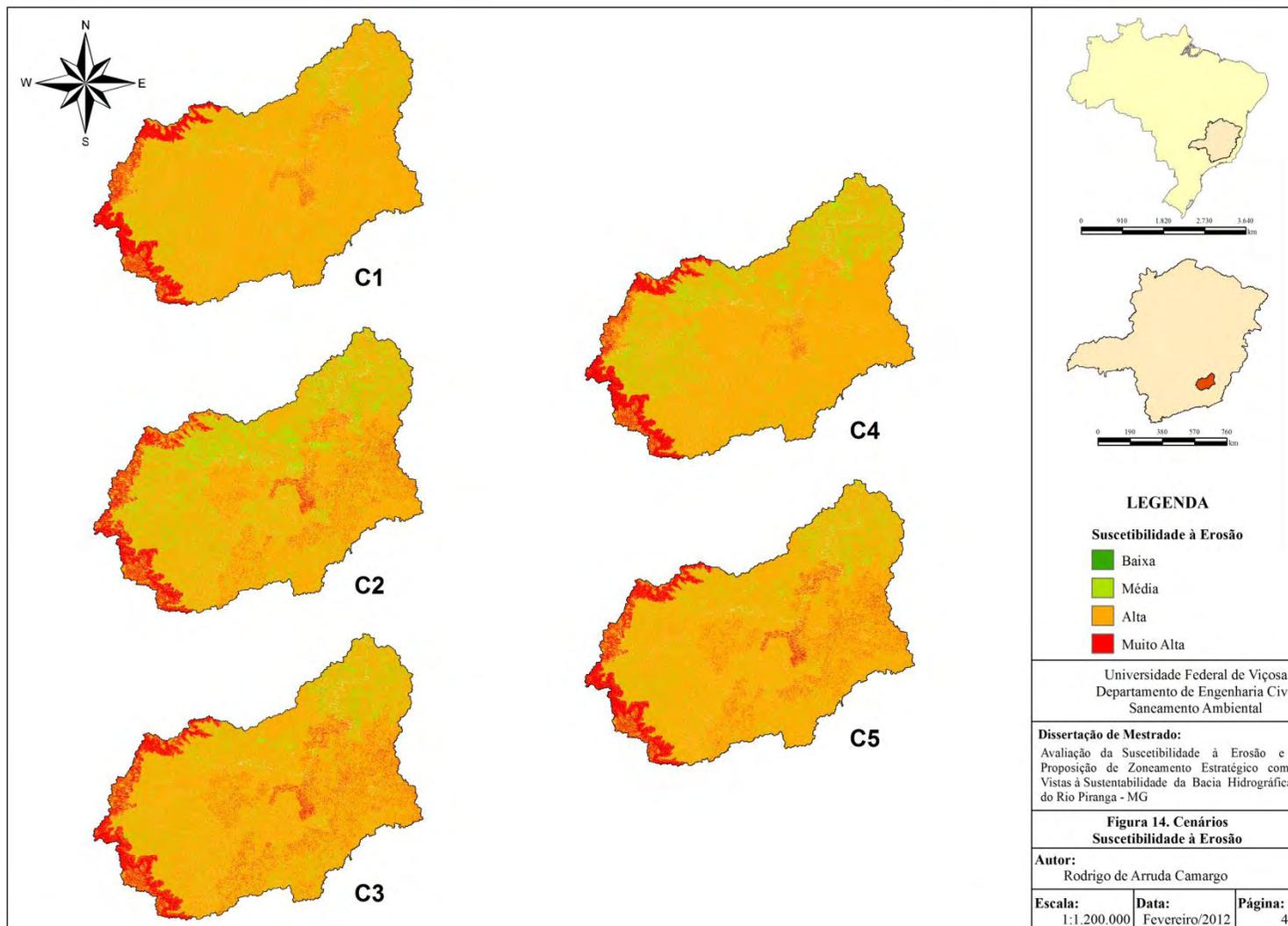
	<b>Declividades</b>	<b>Uso do Solo</b>	<b>Geomorfologia</b>	<b>Solos</b>	<b>Clima</b>	<b>Pesos (C3)</b>
<b>Declividades</b>	1					0,2948
<b>Uso do Solo</b>	$\frac{1}{3}$	1				0,1849
<b>Geomorfologia</b>	1	1	1			0,2230
<b>Solos</b>	1	1	1	1		0,2230
<b>Clima</b>	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	1	0,0743

Tabela 10. Importância relativa entre os fatores – C4

	<b>Declividades</b>	<b>Uso do Solo</b>	<b>Geomorfologia</b>	<b>Solos</b>	<b>Clima</b>	<b>Pesos (C4)</b>
<b>Declividades</b>	1					0,2207
<b>Uso do Solo</b>	1	1				0,1493
<b>Geomorfologia</b>	1	3	1			0,2782
<b>Solos</b>	1	3	1	1		0,2782
<b>Clima</b>	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	1	0,0736

Tabela 11. Importância relativa entre os fatores – C5

	<b>Declividades</b>	<b>Uso do Solo</b>	<b>Geomorfologia</b>	<b>Solos</b>	<b>Clima</b>	<b>Pesos (C5)</b>
<b>Declividades</b>	1					0,2893
<b>Uso do Solo</b>	$\frac{1}{3}$	1				0,1553
<b>Geomorfologia</b>	1	1	1			0,2295
<b>Solos</b>	1	1	1	1		0,2295
<b>Clima</b>	$\frac{1}{3}$	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	1	0,0964



### **3.2.8. Diagnóstico do Uso e Ocupação do Solo e Cobertura Vegetal**

As alterações nos usos do solo foram caracterizadas por meio da classificação de imagens orbitais, de onde foram extraídas informações para o reconhecimento de padrões e objetos homogêneos.

Para avaliação da evolução da paisagem, utilizou-se o modelo *Land Change Modeller* (LCM) do Idrisi Andes®. O modelo analisa as mudanças a partir de mapas de uso e cobertura do solo gerados em diferentes datas produzindo gráficos de ganhos e perdas para cada classe, contribuição de cada classe para a rede de mudanças e transição de mudanças por classe. São utilizados como dados de entrada as imagens de uso do solo de diferentes datas, com número de linhas, colunas e classes idênticas, modelo digital de elevação, e principais rodovias.

### **3.2.9. Zoneamento de Áreas para Planejamento Estratégico**

Neste item descreve-se as metodologias empregadas para a elaboração da Carta de Potencial Agrícola e da identificação de áreas estratégicas para o desenvolvimento. Para a obtenção da Carta de Potencial Agrícola utilizou-se a análise multicritério. No processo de combinação linear ponderada estabeleceu-se como fatores as características pedológicas de acordo com o Mapa Pedológico, a Carta de Declividade e a Carta de Suscetibilidade à Erosão. Os fatores foram padronizados a mesma escala, variando de zero (menor potencial agrícola) a 255 (maior potencial agrícola).

As classes pedológicas foram classificadas conforme o grau de evolução do solo, independente do grau de fertilidade desses solos, uma vez que a fertilidade do solo pode ser corrigida através da adubação. A Tabela 12 apresenta a padronização para as classes pedológicas.

Tabela 12. Padronização para as classes pedológicas

<b>Classes Pedológicas</b>	<b>Valores Atribuídos</b>
CXbd1	Muito Baixo (50)
CXbe1	Muito Baixo (60)
LVAd1	Médio Alto (180)
LVAd2	Médio Alto (160)
LVAd3	Médio (150)
LVAd4	Médio (140)
LVAd5	Médio Baixo (120)
LVAd6	Médio Baixo (120)
LVd1	Alto (180)
LVd2	Médio Alto (160)
LVd3	Médio (150)
PVAe1	Médio Baixo (120)
PVd1	Médio Baixo (100)

Nos argissolos vermelho constata-se grande diversidade nas propriedades de interesse para a fertilidade e uso agrícola (teor variável de nutrientes, textura, profundidade, presença ou ausência de cascalhos, pedras e concreções, ocorrência em diferentes posições na paisagem, entre outras). Dessa forma, torna-se difícil generalizar suas qualidades.

Quando a fertilidade natural é elevada e não há pedregosidade, sua aptidão é boa para agricultura. São particularmente indicados para situações em que não é possível grandes aplicações de capital para o melhoramento e a conservação do solo e das lavouras, o que é mais comum em áreas de agricultura familiar.

Nos latossolos vermelho-amarelo as principais limitações são a acidez elevada e a fertilidade química baixa. Requerem um manejo adequado com correção da acidez, adubação fertilizante e controle de erosão, como por exemplo, terraceamento, especialmente nos solos de textura média, que são os mais pobres e suscetíveis à erosão. Já os latossolos vermelho possuem excelentes condições físicas, as quais, aliadas ao relevo plano ou suavemente ondulado onde ocorrem, favorecem sua utilização com as mais diversas culturas climaticamente adaptadas à região. Esses solos, por serem ácidos e distróficos requerem correção de acidez e adubação.

Os cambissolos da área de estudo estão situados em relevo ondulado. Apresentam restrições ao uso agrícola, pois possuem elevada erodibilidade, forte risco de degradação, forte limitação à trafegabilidade, à qual é aumentada com a pedregosidade e afloramentos de rocha. São solos pobres em nutrientes e ácidos, apresentando elevados teores de alumínio trocável.

A padronização para a carta de declividade foi definida a partir da reclassificação dos valores de declividade. As classes mais planas receberam valores mais altos, enquanto as classes mais declivosas receberam valores menores. Declividades maiores dificultam a mecanização agrícola, por exemplo. A Tabela 13 mostra a padronização para as classes de declividade quanto ao Potencial Agrícola.

Tabela 13. Padronização para as classes de declividade

<b>Classes de Declividade</b>	<b>Valores Atribuídos</b>
0 - 3%	Muito Alto (255)
3 - 8%	Alto (230)
8 - 13%	Médio Alto (180)
13 - 20%	Médio Baixo (100)
20 - 45%	Baixo (75)
45 - 100%	Muito Baixo (50)
> 100%	Muito Baixo (50)

Para a padronização da carta de suscetibilidade à erosão, os valores foram definidos como quanto maior a suscetibilidade à erosão, menor o potencial agrícola. Assim, a carta de suscetibilidade à erosão foi reclassificada entre o intervalo de 0 (anteriormente 255) a 255 (anteriormente 0).

No Processo Hierárquico Analítico (AHP) ou comparação par-a-par para obter-se os pesos de cada um dos fatores, considerou-se o fator aptidão agrícola dos solos como o mais importante. Os fatores suscetibilidade à erosão e declividade foram considerados de mesma importância para a análise. Os pesos resultantes foram:

- Fator aptidão agrícola= 0.5;
- Fator suscetibilidade à erosão = 0.25;
- Fator declividade = 0.25.

Os critérios estabelecidos para a identificação de áreas estratégicas de desenvolvimento envolveram restrições e fatores. Considerou-se como restrição:

- Formações Florestais;
- Corpos d'água protegidos por buffer de 150 m para o rio Piranga, 50 m para os principais rios e ribeirões, e 30 m para os demais cursos d'água;
- Afloramentos Rochosos, Áreas Urbanas e de Mineração;
- Declividade acima de 45%.

Para converter os fatores em imagens padronizadas a uma escala de adequabilidade, utilizou-se as funções dos conjuntos fuzzy, em bytes, variando de zero (áreas menos adequadas) a 255 (áreas mais adequadas). Considerou-se como fatores:

- Uso do Solo;
- Unidades de Conservação;
- Carta de Potencial Agrícola;
- Suscetibilidade à Erosão;
- Sistema Viário;
- Declividade;
- Cursos d'água.

Foram atribuídos valores de 200 para as áreas com cultura do eucalipto, 230 para as agrícolas e de solo exposto e 255 para as áreas de Pastagem. As Unidades de Conservação presentes na bacia são todas Áreas de Proteção Ambiental (APA). Atribuiu-se valor de 150, pois elas permitem o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais.

A Carta de Potencial Agrícola foi utilizada mantendo-se os valores potenciais adquiridos na análise anterior. Assim, os valores mais próximos à 255 indicam áreas aptas ao desenvolvimento e valores próximos à 50 ou menor, indicam áreas com baixo ou nulo potencial ao desenvolvimento.

Para o fator suscetibilidade a erosão, às classes foram definidas em quanto maior a suscetibilidade à erosão, menor é a adequabilidade das áreas a serem encontradas. O fator suscetibilidade à erosão foi obtido pela reclassificação da carta de suscetibilidade à erosão entre o intervalo de 0 (anteriormente 255) a 255 (anteriormente 0).

Para o fator declividade aplicou-se a reescalonagem dos valores categóricos de adequabilidade de acordo com os valores de declividade. Dessa forma utilizou-se uma reta linear monotônica decrescente de 0 a 45. Isso significa que áreas com declividade de 0 receberam valores de 255 e a partir de 45 receberam valores de 0.

Nos sistemas viários foram aplicados a reescalonagem através de uma reta simétrica. Assim a partir da distância 0 a adequabilidade começa a crescer até a distância de 100 metros, onde a adequabilidade permanece máxima (255) até a distância de 5000 metros. A partir desse valor a adequabilidade decresce até a distância de 15000 metros, onde atinge o valor mínimo.

Para o fator cursos d'água aplicou-se a reescalonagem através de uma reta simétrica. A partir da distância 0 a adequabilidade começa a crescer até a distância de 30 metros, onde a adequabilidade permanece máxima (255) até a distância de 6500 metros. A partir desse valor a adequabilidade decresce até a distância de 12000 metros, onde atinge o valor mínimo.

A Tabela 14 apresenta a matriz de comparação par a par entre os fatores analisados.

Tabela 14. Matriz de comparação par a par para seleção de áreas para o desenvolvimento

	<b>Fator Uso do Solo</b>	<b>Fator Unidades de Conservação</b>	<b>Carta de Potencial Agrícola</b>	<b>Fator Suscetibilidade à Erosão</b>	<b>Fator Sistema Viário</b>	<b>Fator Declividade</b>	<b>Fator Hidrografia</b>
<b>Fator Uso do Solo</b>	1						
<b>Fator Unidades de Conservação</b>	1/3	1					
<b>Carta de Potencial Agrícola</b>	1/3	1/3	1				
<b>Fator Suscetibilidade à Erosão</b>	1/3	1/3	1	1			
<b>Fator Sistema Viário</b>	1/3	1/3	1/3	1/3	1		
<b>Fator Declividade</b>	1/5	1/5	1/3	1/3	1	1	
<b>Fator Hidrografia</b>	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1	1

Os pesos obtidos para cada fator foram:

- Fator Uso do Solo: 0,3391

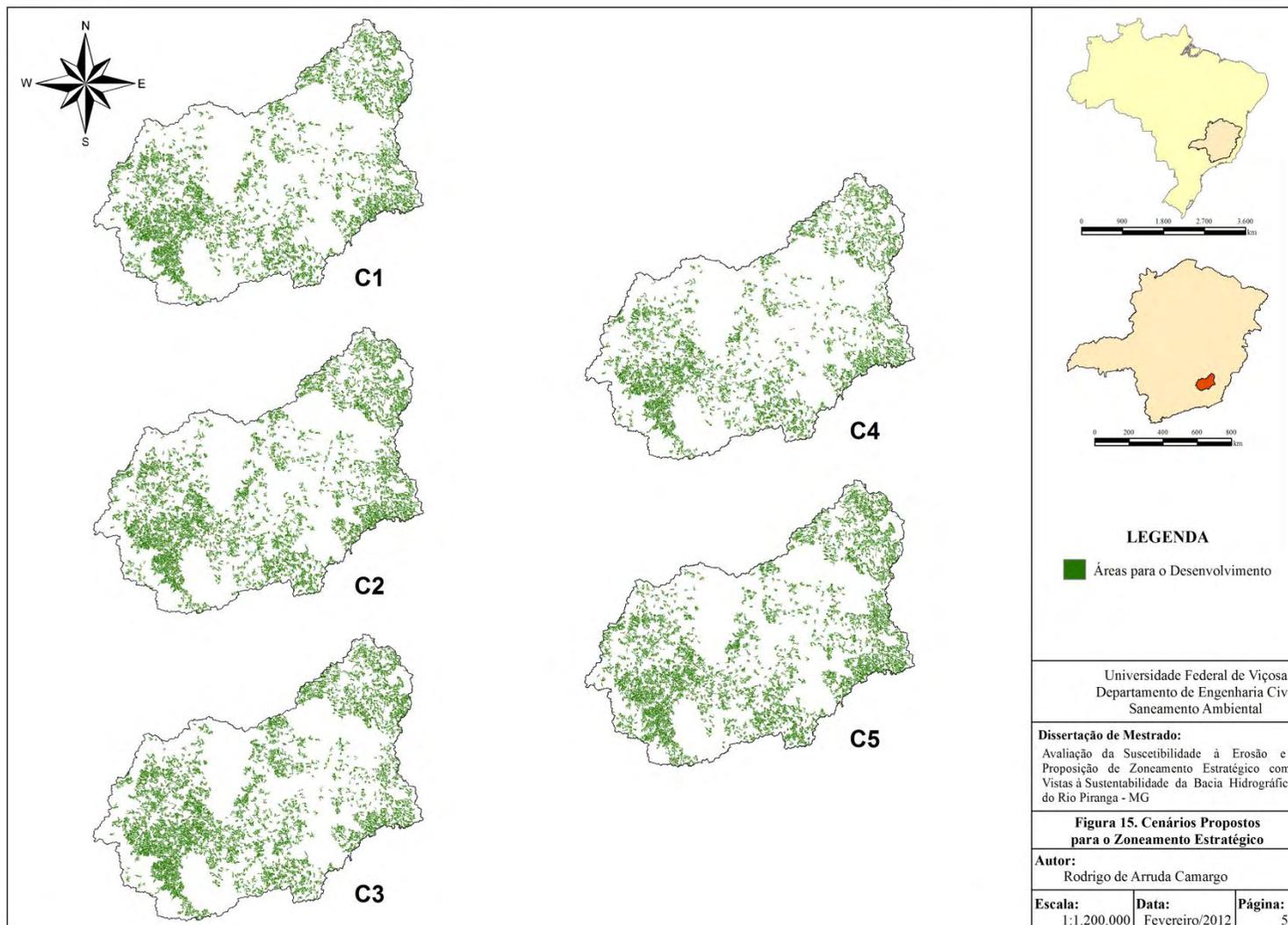
- Fator Unidades de Conservação: 0,2428
- Carta de Potencial Agrícola: 0,1271
- Fator Suscetibilidade à Erosão: 0,1271
- Fator Sistema Viário: 0,0715
- Fator Declividade: 0,0494
- Fator Hidrografia: 0,0429

As restrições booleanas e os fatores foram agregados pelo procedimento OWA, variando os níveis de compensação e risco gerando cenários finais de adequabilidade. Os cenários finais, propostos a partir da variação do risco e da compensação, estão apresentados na Tabela 15. A Figura 15 mostra o espaço estratégico de decisão com a indicação da análise efetuada.

Tabela 15. Risco e Compensação para os Cenários Obtidos

<b>Cenários</b>	<b>Risco</b>	<b>Compensação</b>
C1	0,50	1,00
C2	0,43	0,86
C3	0,38	0,84
C4	0,48	0,96
C5	0,59	0,87

Processos de agregação WLC e OWA resultam em imagens contínuas de adequabilidade, que tornam a seleção de sites, específica para um determinado fim, problemática. A partir das imagens com áreas classificadas em níveis contínuos de adequabilidade, selecionou-se as melhores áreas contíguas, maiores que 30 ha. Para esse fim utilizou-se um critério pós-agregação e a macro SITESELECT. A macro utiliza dois procedimentos e gera dois mapas de sites. O primeiro mapa mostra cada site com áreas individualizadas, e o segundo mapa mostra sites com valores originais contínuos de adequabilidade. A macro também apresenta uma estatística sobre cada site selecionado, incluindo o valor médio da adequabilidade, a variação dos valores, desvio padrão e área em hectares.



### 3.2.10. Função de Produção

Com o objetivo de verificar os efeitos da produção agropecuária no Produto Interno Bruto *per capita* da região, avaliou-se o impacto da área cultivada para diferentes culturas no PIB. Utilizou-se um modelo de aproximação simplificada de uma função de produção apresentada por Loures (2008). Assume-se que o PIB é uma função das seguintes variáveis:

$PIB = f (A_{Abacaxi}, A_{Alho}, A_{Arroz}, A_{Batata-doce}, A_{Batata-inglesa}, A_{Cana-de-açúcar}, A_{Feijão}, A_{Fumo}, A_{Mandioca}, A_{Milho}, A_{Tomate}, A_{Abacate}, A_{Banana}, A_{Café}, A_{Caqui}, A_{Goiaba}, A_{Laranja}, A_{Limão}, A_{Mamão}, A_{Manga}, A_{Maracujá}, A_{Noz}, A_{Palmito}, A_{Tangerina}, A_{Uva})$ , em que:

- PIB é o Produto Interno Bruto *per capita* em R\$ correntes; e
- $A_{cultura}$  é a área plantada da cultura em hectares.

Para alimentação do banco de dados da função de produção, foram coletados dados anuais de PIB *per capita* e área plantada para cada cultura do modelo dos anos de 1999 até 2008. Coletou-se dados do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) (IBGE, 2008) de 28 (vinte e oito) municípios totalmente incluídos na bacia, representando aproximadamente 93% da área de estudo. Para minimizar os efeitos regionais no cultivo das culturas, optou-se pela divisão dos municípios em regiões. A Figura 16 apresenta os municípios presentes em cada região.

Procedeu-se a análise dos dados coletados por meio da análise em painel. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa estatístico Stata, versão 12.0, licenciado para a Universidade Federal de Viçosa. Para cada região foram estimados os modelos pool, modelo de efeitos fixos e modelo de efeitos aleatórios. Por fim, aplicou-se os Testes de Chow, de Hausman e LM de Breusch-Pagan para a identificação do modelo mais adequado ao conjunto de dados.

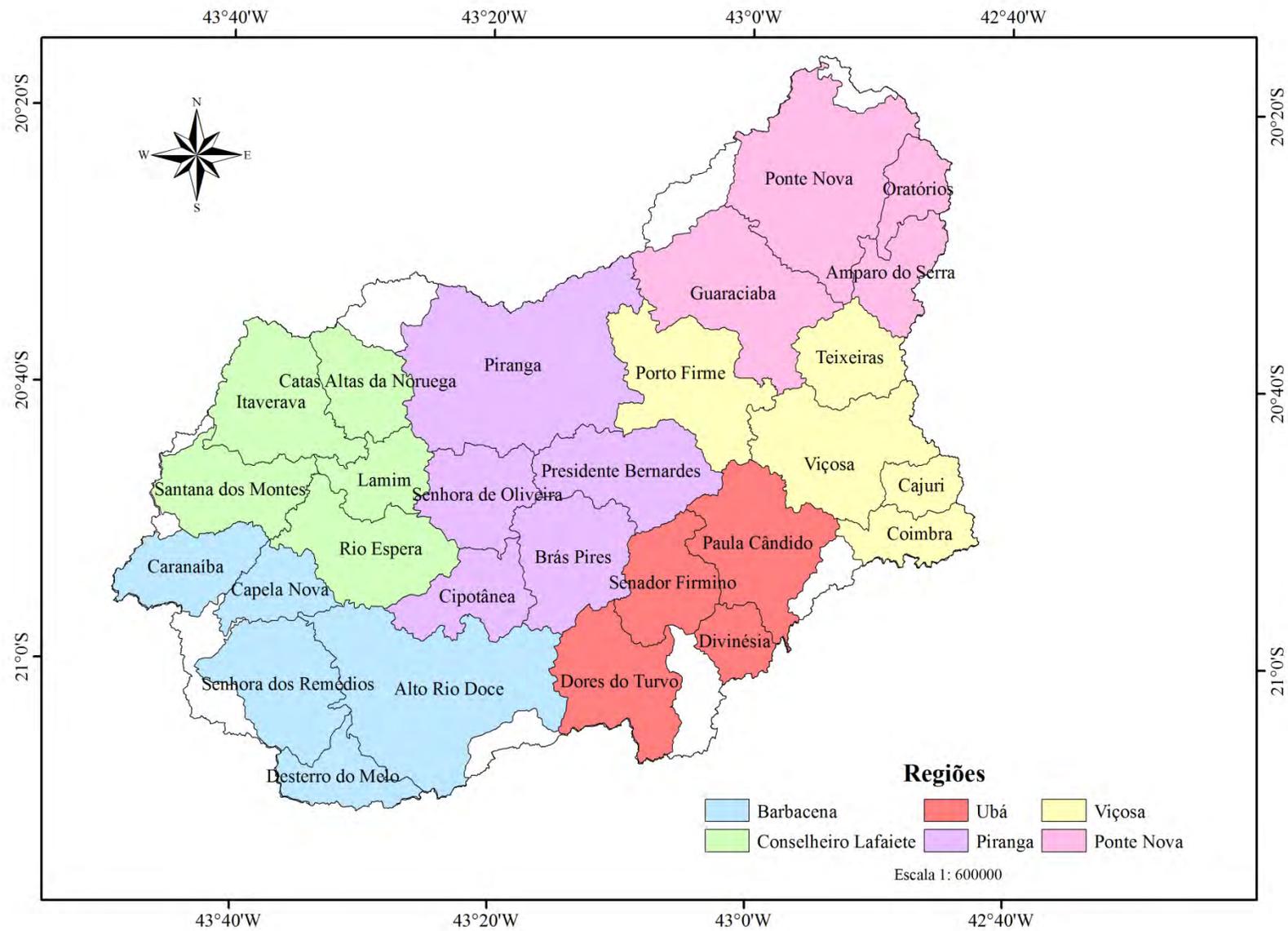


Figura 16. Discretização dos municípios para análise no *software* Stata

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

---

### 4.1. MDEHC

O Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente foi uma das principais ferramentas para o presente trabalho, pois, a partir dele, foram obtidas informações que auxiliaram na confecção das Cartas de Declividade e Geomorfológica. A Figura 17 mostra o MDEHC obtido para a área de estudo. A bacia hidrográfica do rio Piranga apresenta altitude média de 746 metros, com altitude máxima de 1457 e mínima de 322 metros.

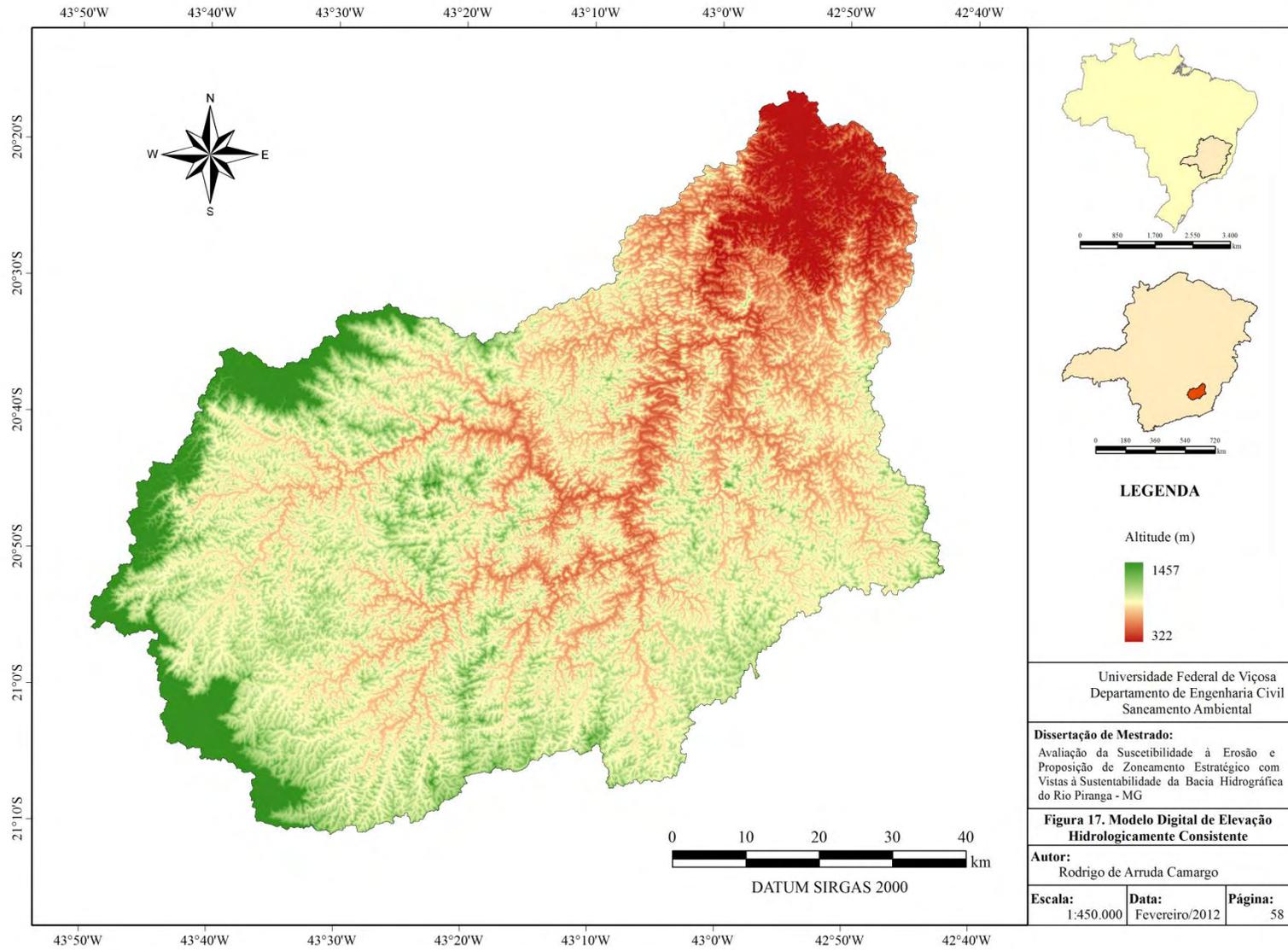
### 4.2. CARTA DE DECLIVIDADE

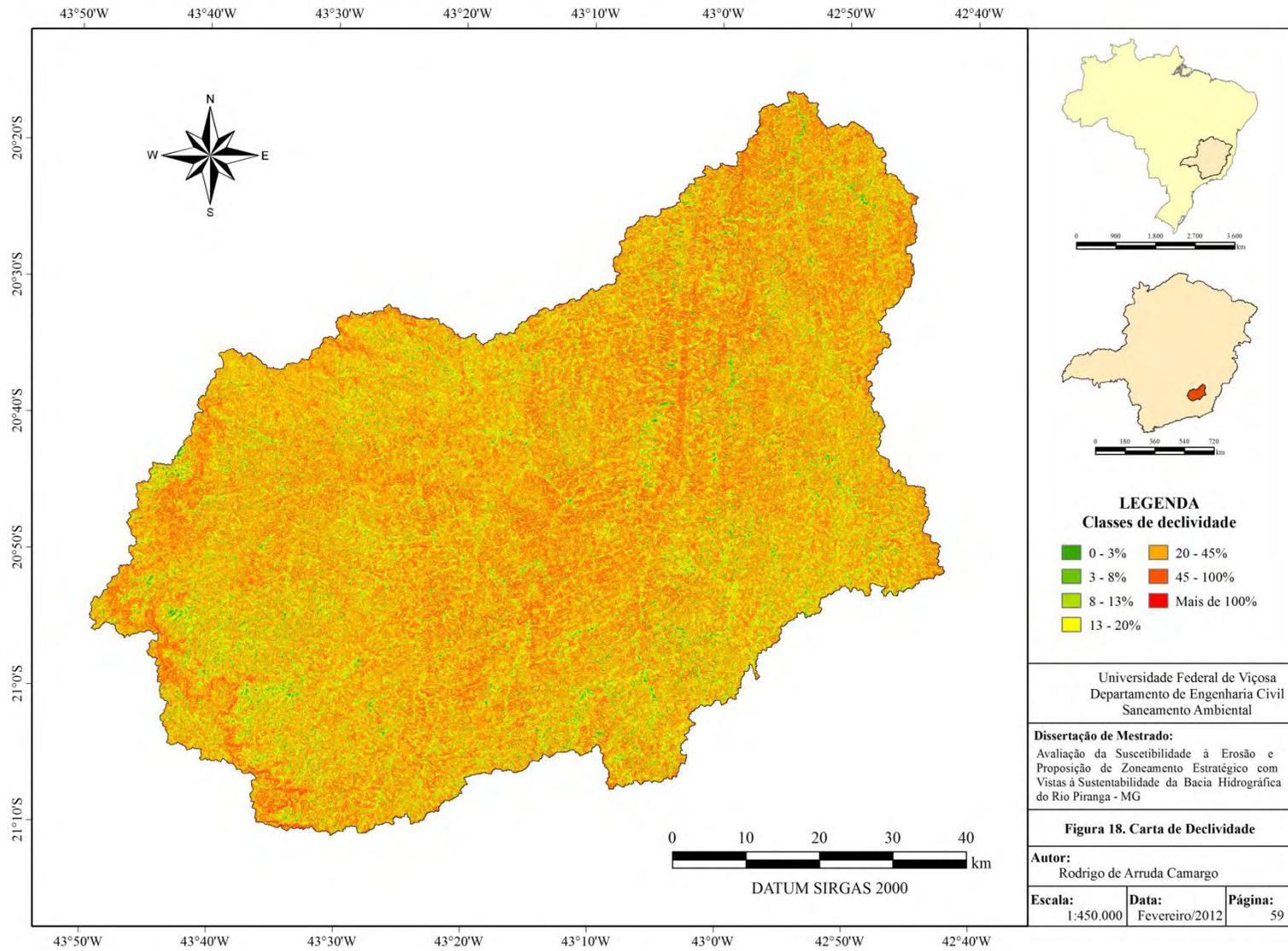
A carta de declividade é apresentada na Figura 18. Ela foi obtida a partir do cálculo da primeira derivada do MDEHC. A Tabela 17 mostra a porcentagem de área de cada classe de declividade na bacia.

Tabela 16. Porcentagem da área das classes de declividade

Classe de Declividade	Característica do Relevo	Porcentagem da área (%)
0 - 3%	Plano	1,26
3 - 8%	Suave Ondulado	5,15
8 - 13%	Moderado Ondulado	8,00
13 - 20%	Ondulado	16,65
20 - 45%	Forte Ondulado	54,17
45 - 100%	Montanhoso	14,76
Mais de 100%	Escarpado	0,01

A maior parte da área de estudo apresenta terreno inclinado, sendo que mais de 85% dela tem declividade com valor superior a 13%. Essas locais representam áreas com relevo ondulado a escarpados, apresentam maior suscetibilidade à erosão e são usadas em grande parte das vezes para o estabelecimento de pastagens e eucalipto.





Aproximadamente 6,4%, apresenta relevo plano ou suave ondulado, representando áreas de baixo risco a suscetibilidade à erosão. Essas áreas representam topos de morros, os leitos dos cursos d'água e as áreas de terraços. O restante da área apresenta relevo moderado ondulado com declividade entre 13% e 20%.

Analogamente ao MDEHC, a Carta de Declividade é um instrumento de muita utilidade na tomada de decisão e no mapeamento do meio físico.

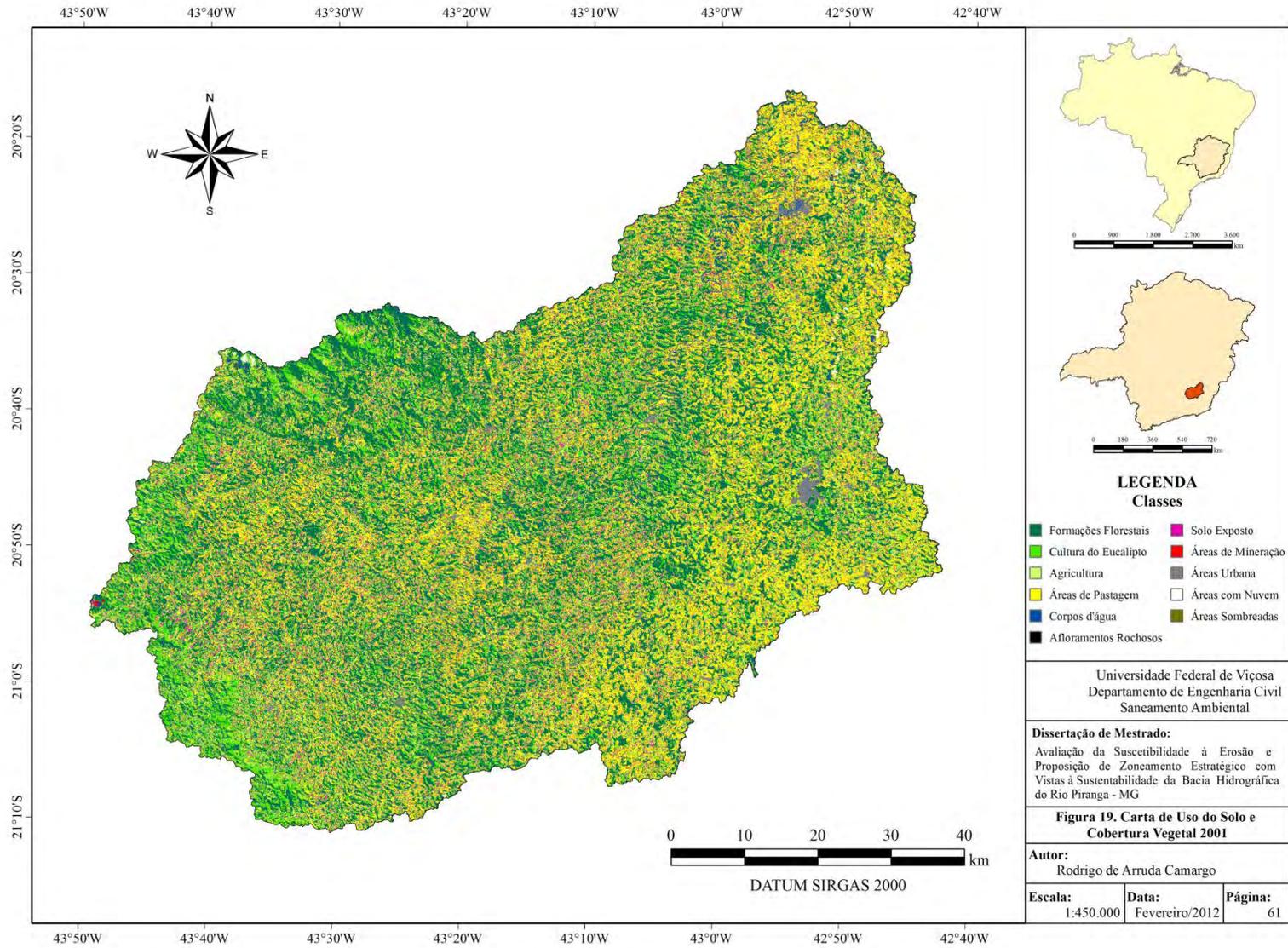
### **4.3. CARTA DE USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL**

Foram identificadas onze classes de uso conforme a Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal, Figuras 19 e 20. As discussões e análises referentes aos mapas de Uso e Cobertura Vegetal dos anos 2001 e 2010 estão apresentadas no item 4.7, Diagnóstico do Uso do Solo e Cobertura Vegetal.

### **4.4. DADOS DE EROSIVIDADE DA CHUVA**

Obteve-se os dados de erosividade anual da chuva dos municípios através do *software* NetErosividade MG. Optou-se pela utilização da erosividade em relação ao total precipitado pela maior relevância no processo de ocorrência da erosão hídrica, ao considerar a distribuição do tamanho, a velocidade de queda, o número, momento e a energia cinética das gotas, bem como a intensidade, duração e frequência da chuva (PRUSKI, 2009).

No programa, ao digitar o nome do município ou as coordenadas do ponto, é informado a erosividade mensal e anual do local calculada através dos métodos de Foster (1981) e Wagner e Massambani (1988). Os valores da erosividade anual calculados pelo método de Foster para os municípios da bacia são apresentados na Tabela 18.



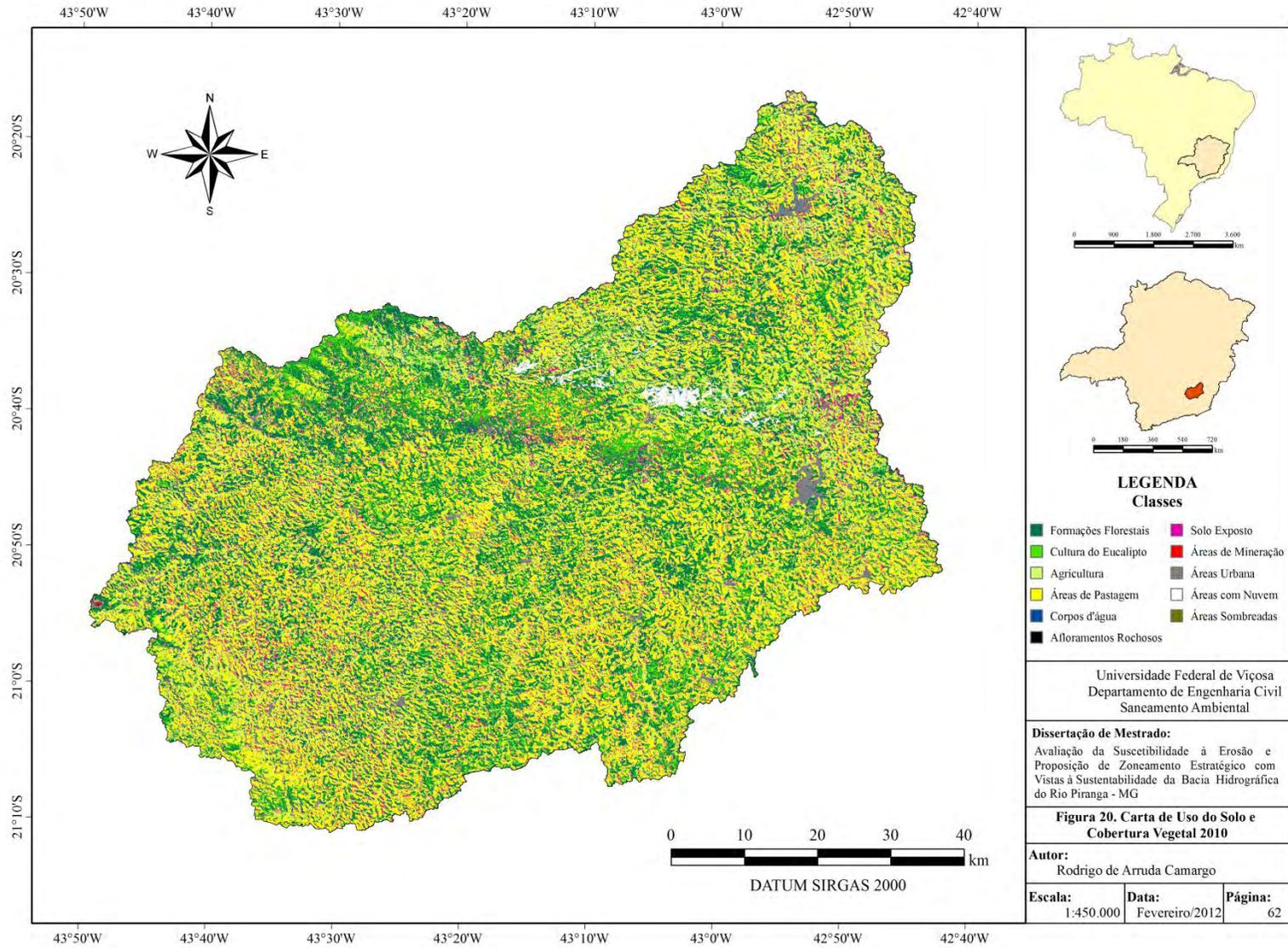


Tabela 17. Erosividade anual dos municípios em MJ mm h<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>

<b>Município</b>	<b>Erosividade</b>	<b>Município</b>	<b>Erosividade</b>
Acaiaca	6662	Oratórios	6701
Alfredo Vasconcelos	7178	Ouro Preto	7357
Alto Rio Doce	6830	Paula Cândido	6809
Amparo do Serra	6734	Pedra do Anta	6728
Barbacena	7093	Piranga	6817
Barra Longa	6765	Ponte Nova	6713
Brás Pires	6816	Porto Firme	6743
Cajuri	6818	Presidente Bernardes	6851
Capela Nova	6883	Ressaquinha	7247
Caranaíba	6922	Rio Doce	6759
Carandaí	7057	Rio Espera	6873
Catas Altas da Noruega	6919	Rio Pomba	6775
Cipotânea	6822	Santa Bárbara do Tugúrio	6956
Coimbra	6789	Santa Cruz do Escalvado	6709
Conselheiro Lafaiete	7128	Santana dos Montes	6957
Cristiano Ottoni	7013	São Geraldo	6745
Desterro do Melo	6932	São Miguel do Anta	6835
Diogo de Vasconcelos	6788	Senador Firmino	6802
Divinésia	6769	Senhora de Oliveira	6871
Dores do Turvo	6790	Senhora dos Remédios	6900
Ervália	6768	Silveirânia	6792
Guaraciaba	6733	Teixeiras	6843
Itaverava	7030	Tocantins	6668
Jequeri	6642	Ubá	6651
Lamim	6893	Urucânia	6711
Mariana	7237	Viçosa	6816
Mercês	6903	Visconde do Rio Branco	6716

#### 4.5. CARTA GEOMORFOLÓGICA

A carta geomorfológica é apresentada na Figura 21. Foram identificadas seis unidades morfoestruturais na bacia hidrográfica do rio Piranga. A Tabela 19 mostra a área da bacia ocupada por cada unidade.

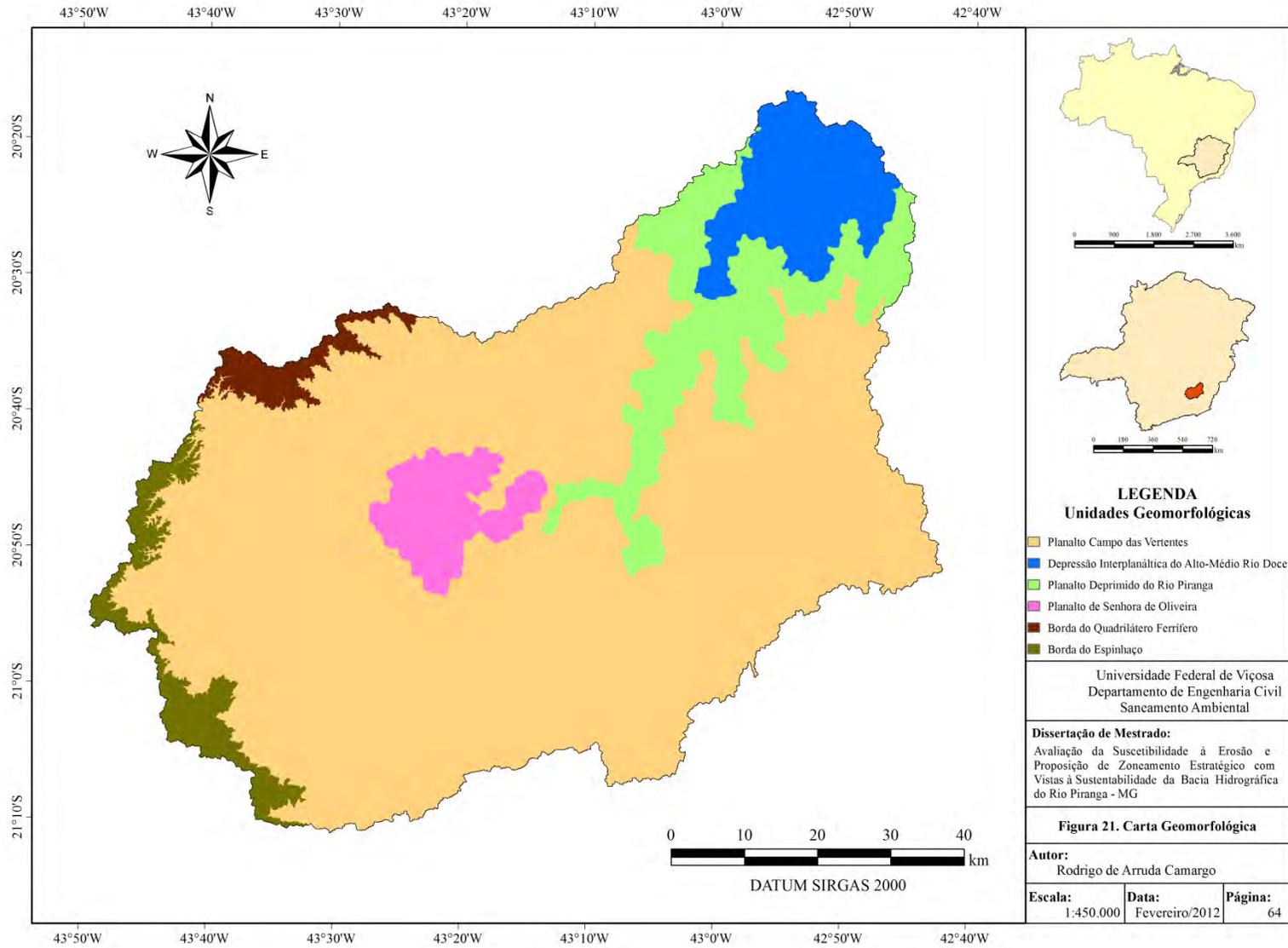


Tabela 18. Descrição das unidades geomorfológicas

<b>Unidade Geomorfológica</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
Depressão Interplanáltica do Alto-Médio Rio Doce	412,24	6,24
Planalto Deprimido do Rio Piranga	662,79	10,03
Planalto Campo das Vertentes	4929,96	74,61
Planalto de Senhora de Oliveira	259,68	3,93
Borda do Quadrilátero Ferrífero	112,95	1,71
Borda do Espinhaço	230,37	3,49

A unidade denominada Depressão Interplanáltica do Alto-Médio Rio Doce caracteriza-se pela extrema dissecação, com altitudes mínimas chegando à casa dos 200 metros, e médias em torno de 550 metros, com seus níveis mais elevados na parte sul. De acordo com Giovanini (2006), sua litologia é dos gnaisses do Grupo Piedade, repletos de falhas e dobras, recobertos por um manto de intemperismo de cerca de dois metros. O modelado compõe-se por colinas alongadas de topos convexos, intercaladas por setores planos de algumas centenas de metros. Existe uma grande propensão à escorregamentos de terra na área, em função de uma cobertura superficial inconsolidada associada à retirada da vegetação.

O Quadrilátero Ferrífero de acordo com o IGAM (2007), é caracterizado por um conjunto de relevos acidentados, localizado na extremidade noroeste da área. Apresenta altitudes elevadas, que variam de 1.100 a 1700m, sendo que na Serra do Caraça atingem até 2.064m. Configura-se como uma unidade morfoestrutural onde as estruturas geológicas exercem um importante controle nos processos de dissecação do relevo, no qual sobressaem os alinhamentos de cristas com vales encaixados e vertentes ravinadas.

A unidade morfoestrutural que se caracteriza por um conjunto de relevos ruiformes resultantes de processos de dissecação fluvial em rochas predominantemente quartzíticas do Super Grupo Espinhaço e do Grupo Macaúbas é denominada de Borda do Espinhaço, que ocupa a borda oeste da bacia. Nesta unidade distinguem-se dois setores: um constituído predominantemente de cristas, picos com vales encaixados e

vertentes retilíneas íngremes e extensos escarpamentos, com topos em torno de 1300 – 1500m. Entre os picos e relevos ruiformes é comum encontrar áreas aplainadas que apresentam uma fina cobertura dedrítica. O outro setor é constituído por formas de colinas, em associação com cristas, com altitudes mais rebaixadas, com médias de 850 a 1000m (IGAM, 2007).

As principais características Planalto Campo das Vertentes são as colinas convexo-côncavas, de dissecação homogênea, o que caracteriza um relevo pouco agitado. O manto de intemperismo é muito espesso, caracterizando uma área profundamente afetada pela ação climática. O Planalto de Senhora de Oliveira apresenta características semelhantes, exceto pela maiores altitudes e relevo um pouco mais acentuado.

No Planalto Deprimido do Rio Piranga, a paisagem é representada por mares de morros. Por vezes observa-se uma tendência de cristas pesadas a se alinharem segundo uma direção que corresponde à direção das camadas. Enquanto na região elevada as camadas são fortemente inclinadas, aqui as rochas se apresentam com menor inclinação e, em algumas regiões, quase horizontais, por exemplo, como em Ponte Nova. Próximo aos grandes rios, como o Piranga e o Xopotó, as colinas apresentam encostas mais íngremes, que dominam ora as planuras aluviais, ora o curso encaixado e acidentado dos mesmos

#### **4.6. MAPA PEDOLÓGICO**

Na bacia hidrográfica do rio Piranga foram identificados treze unidades de mapeamento, com suas respectivas associações, sendo a ordem mais representativa a dos Latossolos (84,22%). Foram identificados também Cambissolos (3,26%) e Argissolos (12,52%). A Figura 22 mostra o Mapa Pedológico obtido. Já a área ocupada por cada tipo de solo pode ser visualizada na Tabela 20.

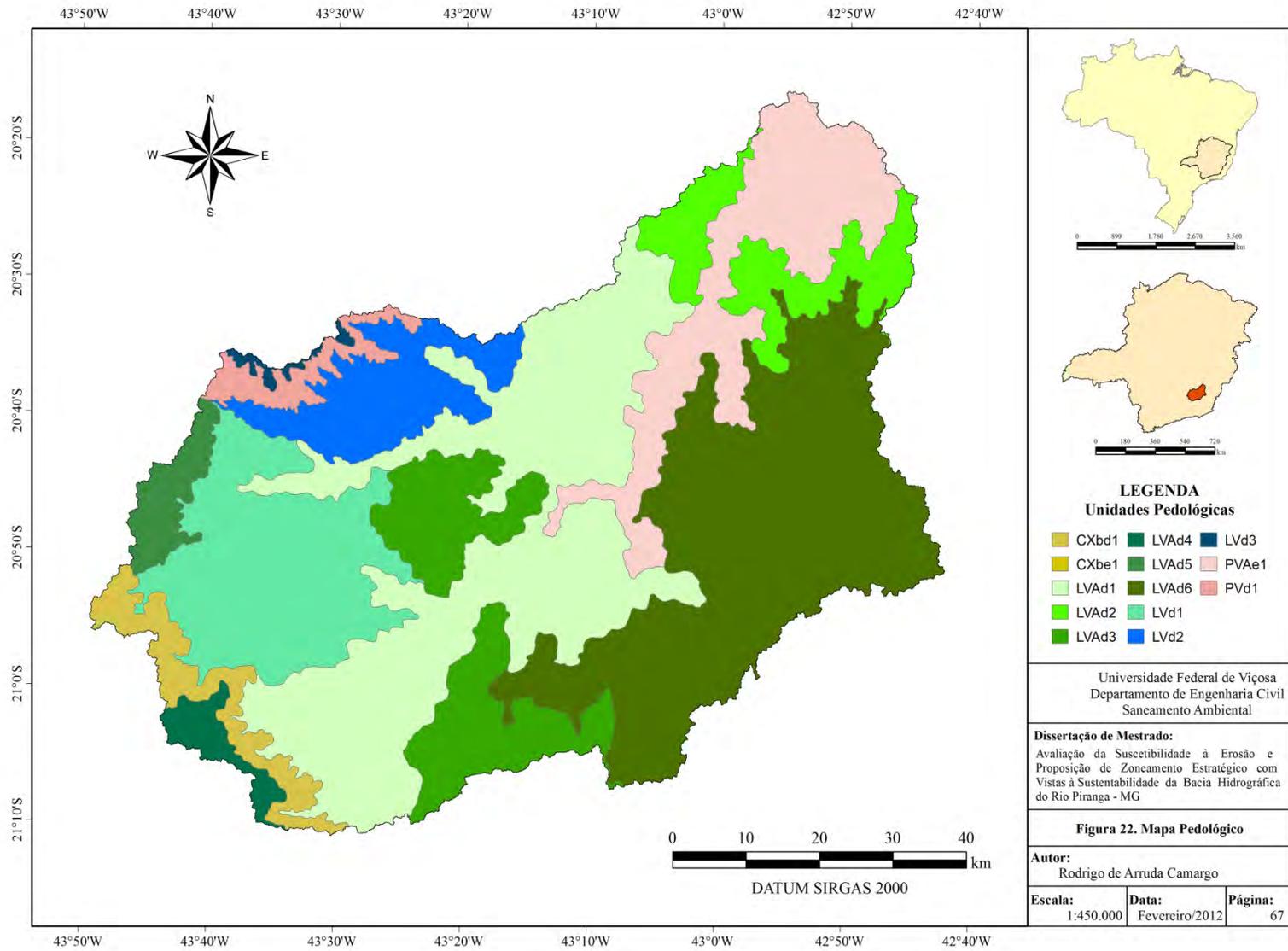


Tabela 19. Descrição das unidades pedológicas

Unidade de Mapeamento	Descrição	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
CXbd1	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A moderado, textura média, fase floresta tropical subperenifólia, relevo montanhoso (50%)	215,39	3,26
CXbe1	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico, A moderado, textura média/argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo montanhoso (70%)	0,02	0,00
LVA d1	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (35%)	1654,41	25,04
LVA d2	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (45%)	364,77	5,52
LVA d3	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (50%)	573,93	8,69
LVA d4	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado/forte ondulado (50%)	88,77	1,34
LVA d5	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado/forte ondulado (60%)	128,60	1,95
LVA d6	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa/muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado/montanhoso (50%)	1581,74	23,94
LVd1	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (30%)	783,27	11,85
LVd2	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado/montanhoso (35%)	367,11	5,56
LVd3	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado (50%)	22,40	0,34
PVAe1	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado (40%)	710,70	10,76
PVd1	ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (50%)	116,89	1,77

Os Latossolos na área de estudo são classificados como Latossolos Vermelho-Amarelo e Latossolos Vermelho, e ocupam respectivamente 66,47% e 17,75% da área de estudo. Os Latossolos Vermelho-Amarelo apresentam amplo predomínio de goethita em relação à hematita, apresentando teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> entre 7 e 11% e ocorrem sobre o Planalto de Senhora de Oliveira, na parte nordeste do Planalto Deprimido do Rio Piranga, na porção centro-sul do Planalto Campo das Vertentes e em parte da Borda do Espinhaço. Já os Latossolos Vermelho ocorrem sobre a porção oeste do Planalto das Vertentes e na parte menos declivosa da Borda do Quadrilátero Ferrífero. Ambas as classes apresentam características distróficas.

Do ponto de vista geotécnico, os latossolos enquadram-se nos solos de comportamento laterítico, que possuem boas características para pavimentação rodoviária (LOURES, 2008). Facilitam os processos construtivos por apresentam, quase sempre, valores adequados de capacidade de suporte para camadas de sub-leito e padrões geotécnicos adequados quanto à estabilidade de taludes e fenômenos erosivos.

Os Argissolos são a segunda classe de mapeamento mais representativa, sendo classificados como Argissolos Vermelho-Amarelo, com característica eutrófica, e Argissolos Vermelho, com caráter distrófico, e ocupam respectivamente 10,76 e 1,77% da área de estudo. Os Argissolos Vermelho-Amarelo ocorrem sobre a Depressão Interplanáltica do Alto-Médio Rio Doce. Já os Argissolos Vermelho ocorrem sobre a faixa com maior declividade da Borda do Quadrilátero Ferrífero.

A classe dos Cambissolos é a menos representativa na área de estudo, sendo identificado os Cambissolos Háplicos Tb de características eutróficas e distróficas. Ambas as unidades ocorrem em regiões montanhosas na região de transição entre o Planalto Campo das Vertentes e a Borda do Espinhaço.

#### 4.7. DIAGNÓSTICO DO USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL

No período entre 2001 e 2010, o processo de uso antrópico do meio foi acompanhado de profundas alterações no uso e ocupação do solo, como mostra a Tabela 21.

Tabela 20. Porcentagem da área das classes de uso e ocupação do solo

Classe de Uso	2001		2010	
	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
<b>Formações Florestais</b>	2099,94	31,78	1677,60	25,39
<b>Cultura do Eucalipto</b>	1040,62	15,75	569,42	8,62
<b>Agricultura</b>	1007,94	15,25	1417,17	21,45
<b>Áreas de Pastagem</b>	1567,28	23,72	2156,80	32,64
<b>Corpos d'água</b>	100,29	1,52	158,16	2,39
<b>Afloramentos Rochosos</b>	0,46	0,01	0,45	0,01
<b>Solo Exposto</b>	639,06	9,67	482,24	7,30
<b>Áreas de Mineração</b>	0,50	0,01	0,32	0,00
<b>Áreas Urbanas</b>	30,80	0,47	39,36	0,60
<b>Áreas com Nuvem</b>	12,42	0,19	48,62	0,74
<b>Áreas Sombreadas</b>	108,70	1,64	57,84	0,88

Observando a variação das áreas correspondente a cada uso, observa-se um incremento das atividades antrópicas através do avanço da pecuária e da agricultura frente a supressão das áreas de vegetação. Considerando como cobertura vegetal as áreas de formações florestais, cultura do eucalipto e agricultura, constata-se que no período de nove anos a porcentagem de cobertura vegetal reduziu de 63 para 55%, um redução de 12%. Devido a proximidade espectral, a distinção entre as classes corpos d'água, afloramento rochoso e áreas sombreadas, deu-se de maneira subjetiva, sendo possível ocorrência de erros durante o processo de classificação. A Figura 23 apresenta o quantitativo de perdas e ganhos gerado pelo *Land Change Modeler*.

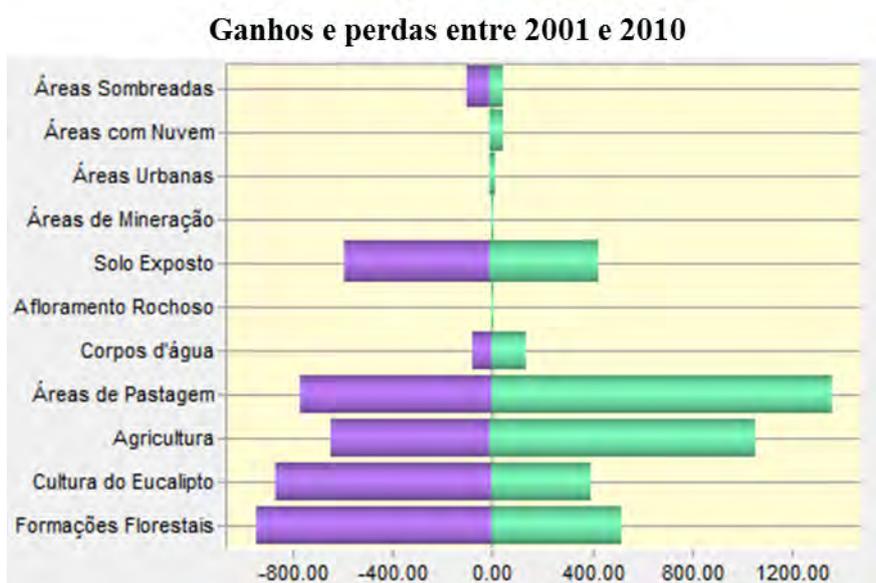


Figura 23. Ganhos e Perdas, km<sup>2</sup>, entre 1984 e 1990

#### 4.7.1. Formações Florestais

As formações florestais na bacia hidrográfica do rio Piranga são constituídas por vegetação do tipo Floresta Estacional Semi-Decidual, vegetação característica do bioma Mata Atlântica. Grande parte da área de floresta preservada deve-se às características geomorfológicas da região, como pode ser observado na Tabela 22. Constata-se que mais de 53% da área de mata está sob relevo forte ondulado (entre declividades de 20 e 45%) e ainda 18% em relevo montanhoso a escarpado (declividades maiores que 45%). Observa-se também que entre os anos de 2001 e 2010 houve redução da formações florestais em todas as classes de declividades, exceto sob relevo ondulado, onde houve um incremento de 69%.

Tabela 21. Área ocupada por formações florestais nas classes de declividade

Característica do Relevo	2001		2010	
	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Plano	30,48	1,56	24,30	1,45
Suave Ondulado	117,70	6,02	94,76	5,65
Moderado Ondulado	158,03	8,08	122,98	7,33
Ondulado	158,03	8,08	230,04	13,71
Forte Ondulado	1113,77	56,94	891,99	53,17
Montanhoso	377,98	19,32	313,41	18,68
Escarpado	0,15	0,01	0,13	0,01

Entre os anos 2001 e 2010 houve significativa redução da cobertura vegetal de Mata Atlântica, equivalente 6,89% de toda região de estudo. Os maiores contribuintes (Figura 24) para essa forte alteração foi principalmente o aumento da áreas de agricultura.

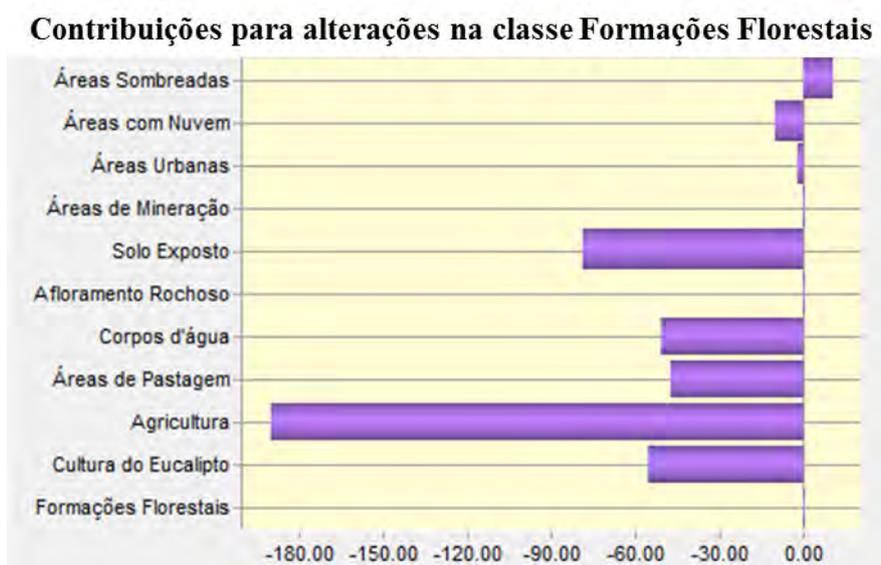


Figura 24. Contribuições para alteração de formações florestais (km<sup>2</sup>)

#### 4.7.2. Cultura do Eucalipto

A cultura do eucalipto na bacia visa a produção de carvão vegetal e celulose, além de suprir a demanda de matéria prima do Pólo Moveleiro de Ubá. Segundo dados da Associação Brasileira dos Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF), Minas Gerais é o maior produtor de florestas plantadas do Brasil com 1,2 milhões de hectares. A produção de madeira no Estado é insatisfatória, sendo necessário importar de outros lugares.

Entretanto, entre os anos 2001 e 2010 houve significativa redução da área cultivada do eucalipto, equivalente a mais de 7% de toda região de estudo, sendo substituído em 23% por áreas de pastagem e 18% pela agricultura (Figura 25).

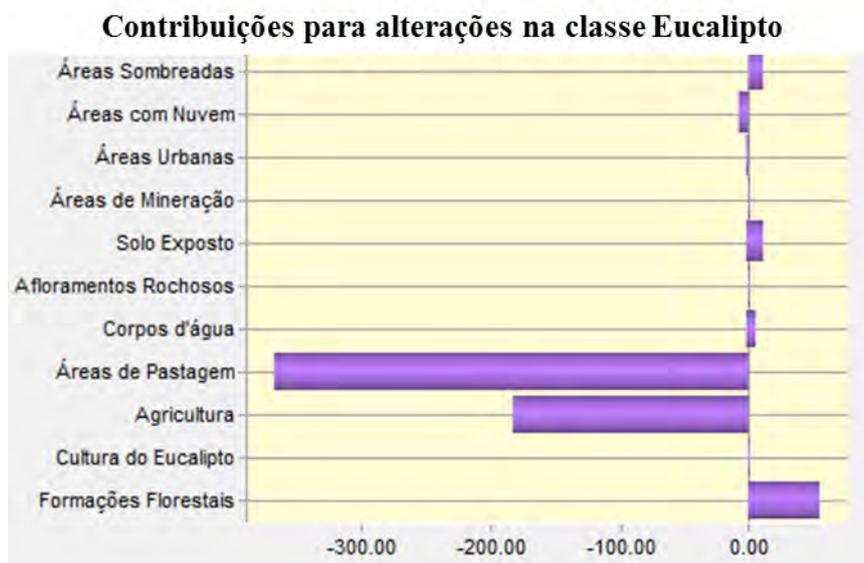


Figura 25. Contribuições para alteração da cultura do eucalipto (km<sup>2</sup>)

#### 4.7.3. Agricultura

De acordo com o Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), na área de estudo são encontradas vinte e cinco culturas, sendo as do arroz, feijão, café, milho e cana-de-açúcar as mais representativas (IBGE, 2012). Estima-se que 30% de toda a produção nacional de café seja proveniente da região da zona da mata mineira, sendo o tipo Arábica mais comumente encontrado (VILELA & RUFINO, 2010).

Na região norte da bacia hidrográfica do rio Piranga encontra-se o cultivo expressivo da cana-de-açúcar. Os municípios de Ponte Nova e Guaraciaba apresentam-se como pólos industriais para a produção de açúcar e álcool. Porém, em todos os municípios da bacia são observadas pequenas propriedades com cultivo da cana-de-açúcar para a produção artesanal de álcool. As culturas do arroz, feijão e milho são cultivadas em pequenas propriedades por toda a bacia hidrográfica do rio Piranga.

Devido as características geomorfológicas da bacia, grande parte das áreas cultivadas encontram-se sob relevo forte ondulado a escarpado. Constatase que mais de 64% da classe agricultura encontra-se em relevo com declividade superior a 20% e apenas 7% encontra-se sob terreno plano a suave ondulado, com declividade máxima de 8%.

Os dados para lavouras permanentes e temporárias para os anos de 2001 e 2010 são apresentados nas Tabelas 23 e 24. Esses dados são referentes à produção agrícola municipal do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) para os vinte e oito municípios inseridos na bacia hidrográfica do rio Piranga (IBGE, 2012).

Tabela 22. Área plantada, quantidade produzida e valor da produção para as principais culturas em 2001

	Arroz			Café			Cana-de-açúcar			Feijão			Milho		
	AP <sup>1</sup>	QP <sup>2</sup>	VP <sup>3</sup>	AP <sup>1</sup>	QP <sup>2</sup>	VP <sup>3</sup>	AP <sup>1</sup>	QP <sup>2</sup>	VP <sup>3</sup>	AP <sup>1</sup>	QP <sup>2</sup>	VP <sup>3</sup>	AP <sup>1</sup>	QP <sup>2</sup>	VP <sup>3</sup>
Alto Rio Doce	186	309	93	40	104	114	550	11000	770	2487	1008	753	3900	10140	1098
Amparo do Serra	6	9	4	156	140	176	200	10000	230	80	36	29	180	540	119
Brás Pires	140	397	119	280	302	214	200	8000	184	1000	640	627	800	3040	486
Cajuri	35	63	15	670	1005	1028	150	5700	143	650	273	317	700	1750	280
Capela Nova	45	52	21	83	63	58	28	840	14	350	105	86	580	1160	151
Caranaíba	70	150	61	25	20	18	30	600	10	190	96	79	850	2125	276
Catas Altas da Noruega	110	155	63	25	20	18	50	1000	17	280	137	113	600	1200	156
Cipotânea	249	472	142	47	122	134	131	1572	110	1630	879	657	2850	7838	849
Coimbra	45	47	12	397	357	330	15	585	15	710	629	735	600	1800	299
Desterro do Melo	48	82	25	52	68	75	216	4536	318	440	178	133	480	1248	135
Divinésia	43	106	32	140	252	179	170	7650	176	650	198	194	550	1353	216
Dores do Turvo	220	324	97	350	525	373	180	9000	207	1650	704	690	700	1960	314
Guaraciaba	105	151	72	600	540	680	250	8000	184	260	108	86	2430	7290	1604
Itaverava	295	590	240	40	32	29	30	600	10	500	290	238	1000	3000	390
Lamim	42	62	25	20	16	15	80	2000	33	180	84	69	660	1254	163
Oratórios	7	17	8	120	108	136	1800	90000	2070	520	360	288	480	1728	380
Paula Cândido	195	443	110	1200	1440	1401	158	6320	158	2000	1620	1912	2500	9000	1395
Piranga	90	132	33	336	285	277	379	15539	373	1650	810	940	3200	13440	2285
Ponte Nova	103	206	99	1500	1350	1701	1200	82500	1898	1400	480	384	1500	5850	1287
Porto Firme	340	442	111	1320	1109	1020	235	10646	245	810	408	477	1500	3750	623
Presidente Bernardes	141	274	67	326	277	251	157	420	1617	600	230	276	1010	3535	601
Rio Espera	200	400	162	45	36	33	50	1000	17	460	216	177	1600	3200	416
Santana dos Montes	65	91	37	20	16	15	100	4000	66	780	382	314	1350	2700	351
Senador Firmino	105	288	86	227	409	290	66	4290	99	1630	673	660	1554	6289	1006
Senhora de Oliveira	13	14	3	127	152	133	650	27300	546	400	220	253	600	1800	299
Senhora dos Remédios	120	144	43	76	109	120	110	1980	139	3400	2416	1806	2050	4100	444
Teixeiras	40	120	30	1652	1486	1446	72	2900	73	800	432	505	980	3724	633
Viçosa	150	420	106	1000	1500	1535	105	3780	95	1200	944	1133	1600	4800	797
<b>Total</b>	<b>3208</b>	<b>5960</b>	<b>1916</b>	<b>26707</b>	<b>11843</b>	<b>11799</b>	<b>7362</b>	<b>321758</b>	<b>9817</b>	<b>26707</b>	<b>14556</b>	<b>13931</b>	<b>36804</b>	<b>109614</b>	<b>17053</b>

AP<sup>1</sup>: Área Plantada (ha); QP<sup>2</sup>: Quantidade Produzida (ton); VP<sup>3</sup>: Valor da Produção (mil R\$)

Tabela 23. Área plantada, quantidade produzida e valor da produção para as principais culturas em 2010

	Arroz			Café			Cana-de-açúcar			Feijão			Milho		
	AP <sup>1</sup>	QP <sup>2</sup>	VP <sup>3</sup>	AP <sup>1</sup>	QP <sup>2</sup>	VP <sup>3</sup>	AP <sup>1</sup>	QP <sup>2</sup>	VP <sup>3</sup>	AP <sup>1</sup>	QP <sup>2</sup>	VP <sup>3</sup>	AP <sup>1</sup>	QP <sup>2</sup>	VP <sup>3</sup>
Alto Rio Doce	175	420	218	20	24	86	450	31500	1575	2100	1420	2201	3200	11200	3920
Amparo do Serra	-	-	-	158	90	347	200	10000	550	8	10	15	250	850	298
Brás Pires	37	77	44	12	11	42	250	20000	1000	55	88	128	610	275	96
Cajuri	15	29	17	830	996	3835	150	5700	314	750	396	436	700	2100	735
Capela Nova	110	305	320	200	310	1054	150	6650	266	606	675	574	800	3300	1099
Caranaíba	28	54	57	12	5	17	16	350	14	147	81	69	680	1560	519
Catas Altas da Noruega	123	255	268	6	6	20	65	3800	152	99	64	54	400	1380	460
Cipotânea	234	450	234	32	42	151	50	2000	100	1250	649	1006	1450	4060	1421
Coimbra	18	20	12	410	615	2368	15	585	32	500	510	740	800	4320	1512
Desterro do Melo	35	70	36	20	22	84	150	9000	450	750	415	643	600	2100	735
Divinésia	3	8	5	150	153	589	150	7500	413	105	87	126	120	600	210
Dores do Turvo	220	366	209	180	238	916	400	24000	1320	600	820	1189	400	1200	420
Guaraciaba	30	44	26	380	342	1317	250	9500	523	18	16	21	2500	7500	2625
Itaverava	50	33	35	35	13	49	20	480	19	425	252	214	600	1780	593
Lamim	4	3	3	20	23	78	185	11000	660	38	21	18	600	1500	500
Oratórios	2	6	3	75	68	262	1800	117000	6435	50	30	44	50	240	84
Paula Cândido	39	101	59	2000	2400	9240	110	9350	514	277	435	631	1106	6086	2130
Piranga	250	615	357	312	297	1143	150	10500	578	2200	1590	2306	3000	10800	3780
Ponte Nova	10	20	12	500	360	1386	1500	82500	4538	20	5	7	300	1170	410
Porto Firme	293	1027	596	900	918	3534	235	10646	586	720	724	1050	1450	6960	2436
Presidente Bernardes	276	593	344	350	420	1617	150	12000	660	595	261	378	300	1080	378
Rio Espera	98	110	143	8	7	23	500	42480	4248	322	221	260	650	1600	533
Santana dos Montes	18	26	34	5	4	13	70	2850	171	125	74	87	600	1900	633
Senador Firmino	78	312	178	236	212	816	137	10275	565	840	517	750	900	4050	1458
Senhora de Oliveira	10	13	8	300	360	1386	170	11900	655	160	168	244	300	1080	378
Senhora dos Remédios	130	150	78	120	108	389	890	44500	2225	1500	1350	2093	3000	13500	4725
Texeiras	125	281	163	1130	1220	4697	72	2900	160	650	720	1044	1100	4400	1540
Viçosa	60	150	87	2300	2760	10626	30	1800	99	350	255	370	1800	8100	2835
<b>Total</b>	<b>2471</b>	<b>5538</b>	<b>3546</b>	<b>10701</b>	<b>12024</b>	<b>46085</b>	<b>8315</b>	<b>500766</b>	<b>28822</b>	<b>15260</b>	<b>11854</b>	<b>16698</b>	<b>28266</b>	<b>104691</b>	<b>36463</b>

AP<sup>1</sup>: Área Plantada (ha); QP<sup>2</sup>: Quantidade Produzida (ton); VP<sup>3</sup>: Valor da Produção (mil R\$)

De acordo com os dados obtidos, observa-se uma redução na área plantada para as culturas do arroz, feijão, café e milho entre os anos de 2001 e 2010. Entretanto somente nas culturas do arroz, feijão e milho houve uma redução da quantidade produzida. Mesmo com a redução da área plantada e da quantidade produzida, para o período de 2001 a 2010 foi observado o aumento no valor da produção.

De acordo com os resultados da análise LCM, o aumento das áreas agrícolas deve-se principalmente à remoção das formações florestais, cultura do eucalipto e solo exposto. A Figura 26 apresenta as contribuições para a classe agricultura entre 2001 e 2010.

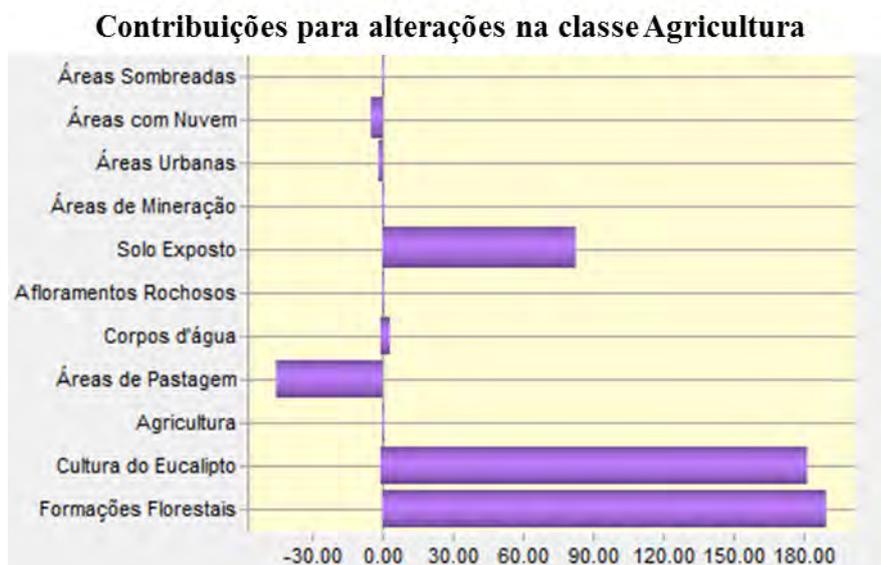


Figura 26. Contribuições para alteração das áreas com culturas agrícolas (km<sup>2</sup>)

#### 4.7.4. Áreas de Pastagem

De acordo com as imagens classificadas, as áreas de pastagem passaram de 1567,28 para 2156,80 km<sup>2</sup> entre os anos de 2001 e 2010. A Tabela 25 apresenta os dados agropecuários coletados do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) para os vinte e oito municípios inseridos na bacia hidrográfica do rio Piranga (IBGE, 2012).

Entre os anos de 2001 e 2010, o aumento das áreas de pastagem deve-se principalmente à substituição das áreas com cultura do eucalipto. Provavelmente, a maior parte das áreas anteriormente classificadas como cultura do eucalipto, apresentaram mudas em início de crescimento, sendo assim, confundida por áreas de pastagem pelo classificador. O aumento das áreas de pastagem deve-se à remoção de 35% das áreas com cultura do eucalipto, 23% do solo exposto, 4% da agricultura e 2% das formações florestais. A Figura 27 apresentam as contribuições para a classe áreas de pastagem entre 2001 e 2010.

Tabela 24. Efetivo dos rebanhos para 2010 em número de cabeças

Município	Bovinos	Equinos	Muares	Ovinos	Suínos	Galos, frangas, frangos e pintos
Alto Rio Doce	15982	880	139	29	3863	5497
Amparo do Serra	7483	458	59	35	13800	14606
Brás Pires	4250	210	10	-	1500	23500
Cajuri	2410	219	45	94	1436	174798
Capela Nova	2882	275	20	-	1115	4350
Caranaíba	4660	265	44	-	378	2130
Catas Altas da Noruega	1545	185	130	-	640	2150
Cipotânea	2696	228	33	-	1122	2599
Coimbra	5722	460	44	199	17811	821571
Desterro do Melo	7467	124	131	-	648	1343
Divinésia	3720	560	25	35	870	120500
Dores do Turvo	9230	375	12	30	1265	22850
Guaraciaba	8790	410	53	120	4225	16590
Itaverava	6122	295	52	-	1595	8050
Lamim	1494	67	7	-	250	810
Oratórios	4540	500	83	-	27560	4530
Paula Cândido	8345	650	110	230	2290	590400
Piranga	11019	1035	370	25	22078	36921
Ponte Nova	21270	436	69	210	74106	26830
Porto Firme	7007	812	75	78	4309	266117
Presidente Bernardes	3801	650	135	35	3330	19165
Rio Espera	4273	675	75	-	1535	14000
Santana dos Montes	5467	575	30	130	755	8150
Senador Firmino	5440	450	35	20	1445	40000
Senhora de Oliveira	2303	360	50	5	2794	15450
Senhora dos Remédios	10928	647	86	-	898	3229
Teixeiras	6002	453	85	307	17308	411880
Viçosa	124276	10651	1607	1609	113155	5952185

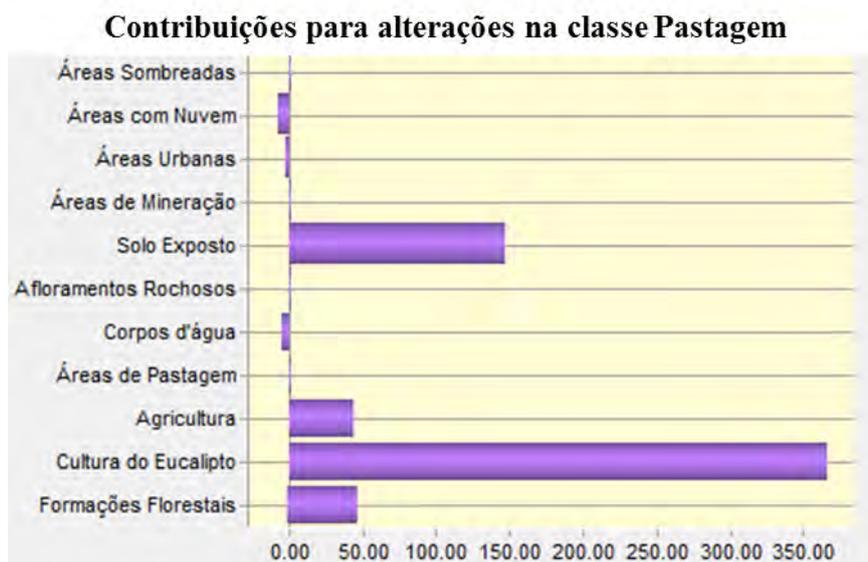


Figura 27. Contribuições para alteração das áreas de pastagem (km<sup>2</sup>)

Constata-se que medidas conservacionistas nas áreas de pastagem praticamente não são aplicadas. Grande parte das pastagens encontra-se com certo grau de degradação, o que ocasiona baixa produtividade agropecuária devido a necessidade de redução do número de cabeças por hectare, além do baixo ganho de peso dos animais.

#### 4.7.5. Área Urbana

A região da bacia do rio Piranga apresenta baixa ocupação urbana, sendo em 2001 0,47% da área da bacia ocupada por manchas urbanas. Para o ano de 2010, constatou-se o aumento de 28%, passando essas áreas a ocuparem 0,60% da bacia. De acordo com os dados populacionais do IBGE (2010), a população dos vinte e oito municípios completamente contidos na bacia hidrográfica no ano de 2000 era de 297945 habitantes. Já em 2010, a população desses municípios passou a ser de 302437 habitantes. Observa-se um baixo crescimento populacional na região, de apenas 1,5%. De acordo com o Censo Demográfico de 2000, desses vinte e oito municípios, 60% viviam nas áreas urbanas. Em 2010, esse percentual subiu para 66%, contabilizando para o período estudado, um aumento de 10%.

#### 4.7.6. Área de Mineração

A área de mineração presente na bacia de estudo refere-se a exploração de calcário e seus derivados existente no distrito de Pedra do Sino em Carandaí. A exploração teve seu início em 1976 pela empresa Cimentos Tupi (Figura 28). Para o período estudado observou-se pequena variação da área explorada.



Figura 28. Fachada da Mineração Pedra do Sino em Carandaí - MG

#### **4.7.7. Afloramentos Rochosos e Corpos d'Água**

As alterações observadas nos corpos d'água devem-se ao aumento de pequenas barragens para contenção de água, abastecimento e irrigação de pequenas lavouras, além das alterações naturais nos meandros do rio Piranga.

Os afloramentos rochosos ocorrem principalmente no limite oeste na bacia, sobre a Serra do Espinhaço (Figura 28). Foram observados paredões rochosos nas proximidades da BR-265, no município de Desterro de Melo, e na BR-482, no município de Itaverava.



Figura 29. Afloramentos Rochosos na Serra do Espinhaço em Desterro do Melo - MG

#### 4.8. CARTA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO

O mapeamento das áreas suscetíveis ou predisponentes à erosão considerou a declividade, a erodibilidade dos solos e a geomorfologia como fatores preponderantes na definição das classes. Entende-se que os fatores uso do solo e cobertura vegetal e erosividade da chuva interferem diretamente no processo erosivo, pois indicam o nível de proteção do solo aos processos erosivos bem como ao agente causador da erosão hídrica.

Quanto aos aspectos do relevo, as áreas que apresentam maiores predisposição à erosão hídrica encontram-se na borda oeste na bacia, sob a Serra do Espinhaço e o Quadrilátero Ferrífero. Nessas áreas, a elevada declividade facilita o arraste das partículas devido a maior energia potencial. Nas regiões de fundo de vale e leito maior dos corpos d'água, devido à baixa declividade, ocorre a deposição das partículas de solo transportadas.

Quanto maior a cobertura vegetal, maior é o grau de proteção do solo. Assim, as formações florestais densas e a cultura do eucalipto em idade mais avançada são os principais agentes no combate à erosão, pois amortecem as gotas de chuva, reduzem a energia de arraste e evitam o carreamento de sedimentos pela presença de matéria orgânica e serrapilheira no solo. As atividades agrícolas e pecuária, quando ocorrem manejo sustentável, corroboram com a redução da suscetibilidade à erosão. Porém, na maior parte da bacia, observa-se o contrário, pastagens degradadas e áreas agricultáveis sem qualquer tipo de controle à erosão (Figura 30).



Figura 30. Pastagem com elevado grau de degradação em Alto Rio Doce - MG

A Carta de Suscetibilidade à erosão gerada é apresentada na Figura 31. Observou-se que o resultado, para o cenário 3, foi compatível com os fatos observados em campo. Para isso validou-se as cartas com os dados vistos em campo. Sendo este selecionado como o mais adequado para a Carta de Suscetibilidade. As classes foram distribuídas em baixa suscetibilidade à erosão (0,2 %), média (14,2 %), alta (74,4 %), e muito alta (8,8%). As classes média e alta representam as classes mais representativas na área, contemplando 937,1 e 4917,5 km<sup>2</sup> respectivamente.

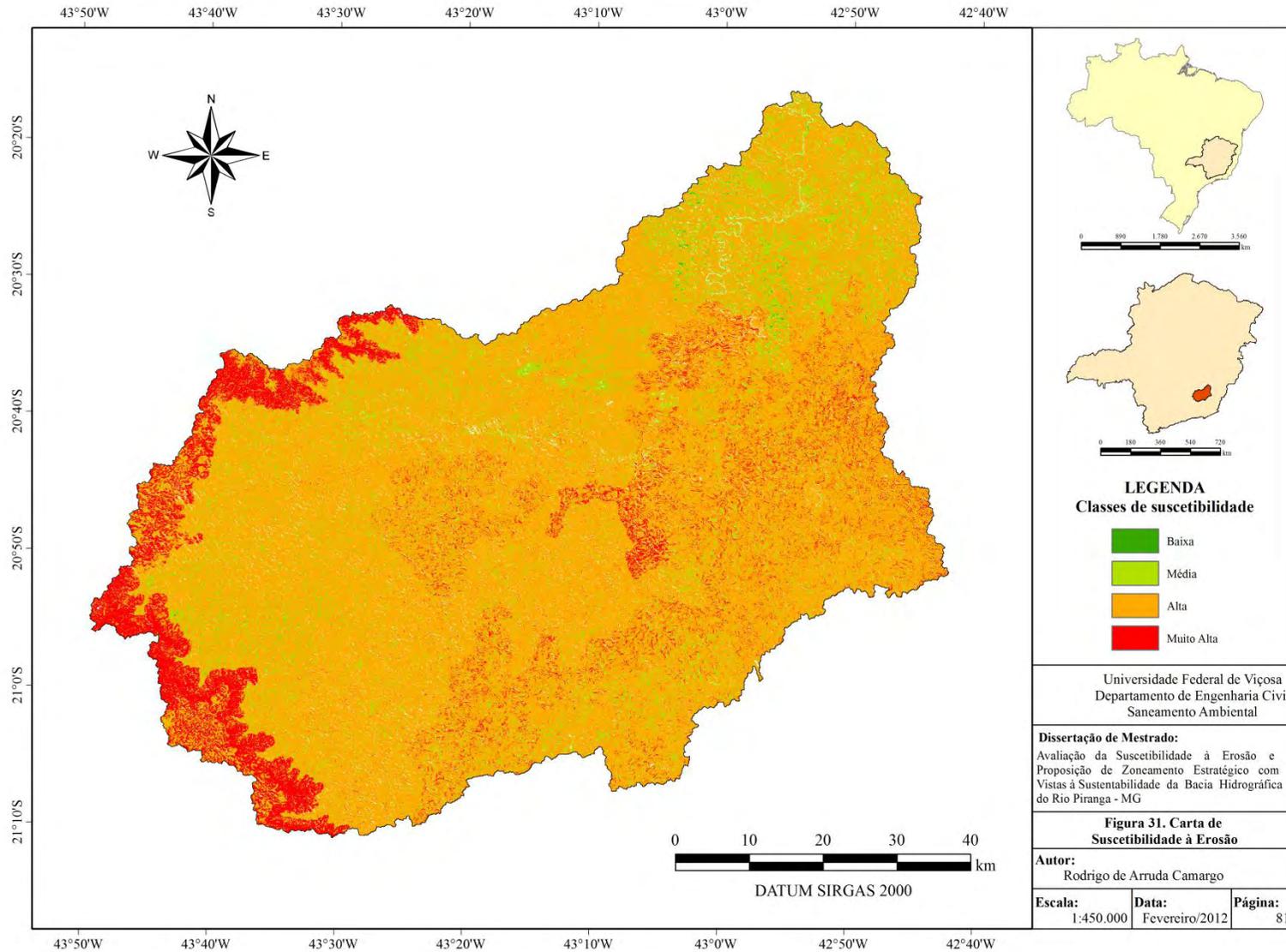
Em relação ao relevo, a classe baixa concentra-se nas áreas com declividade de até 8%, sendo 55% da classe em áreas com declividade de até 3%. Como dito, essas áreas representam locais de fundo de vale e leito maior, onde os processos de deposição prevalecem devido a baixa energia potencial. A Classe média apresenta 85% das áreas com declividade de até 20%. As classes alta e muito alta apresentam respectivamente 76 e 92% das áreas com declividades superiores a 20%. Ainda para a classe alta, observa-se a presença de 82% das áreas agrícolas e 83% das de pastagem.

Praticamente em toda a bacia hidrográfica do rio Piranga não ocorre a adoção de medidas conservacionistas para a redução do processo erosivo. Entre as medidas conservacionistas observadas destaca-se a adubação, restrita ao cultivo de culturas perenes e temporárias, e a plantação em nível para algumas culturas, com destaque para o café. Porém, algumas práticas utilizadas de forma recorrente, tais como queimada e a plantação “morro abaixo”, principalmente da cultura do eucalipto, tendem a acelerar o processo erosivo, ocasionando a diminuição da produção agropecuária e aumento nos custos de produção.

As Figuras 32 a 35 apresentam, para cada classe de suscetibilidade à erosão, a representatividade com relação às classes de solo.

Na classe baixa de suscetibilidade os Latossolos Vermelho-Amarelo são maioria, representando, entretanto apenas 0,13% da área total da bacia, porém 61% da classe baixa de suscetibilidade à erosão. Correm ainda representa a classe os argissolos vermelho-amarelo (0,04%) e os Latossolos vermelhos (0,05%).

A classe de média suscetibilidade à erosão é representada pelos Argissolos Vermelho-Amarelo, Latossolos Vermelho-Amarelo e Latossolos Vermelho. Os Argissolos, apesar da alta erosividade, baixa estruturação e comportamento geotécnico não laterítico, nessa



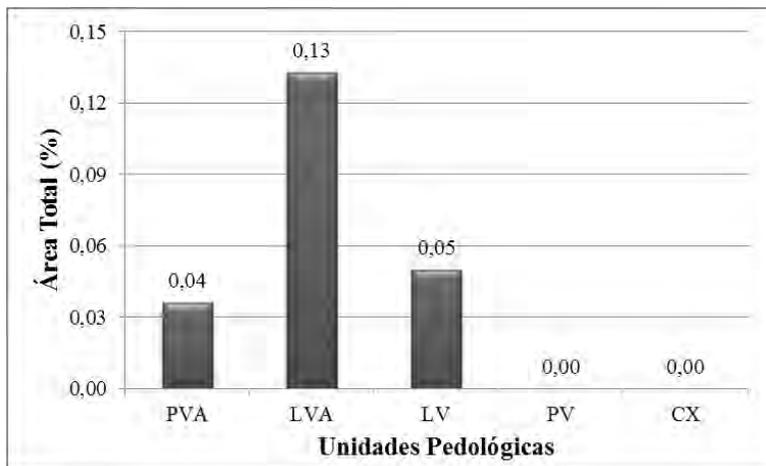


Figura 32. Área ocupada pelos Solos/Área total – Classe Baixa

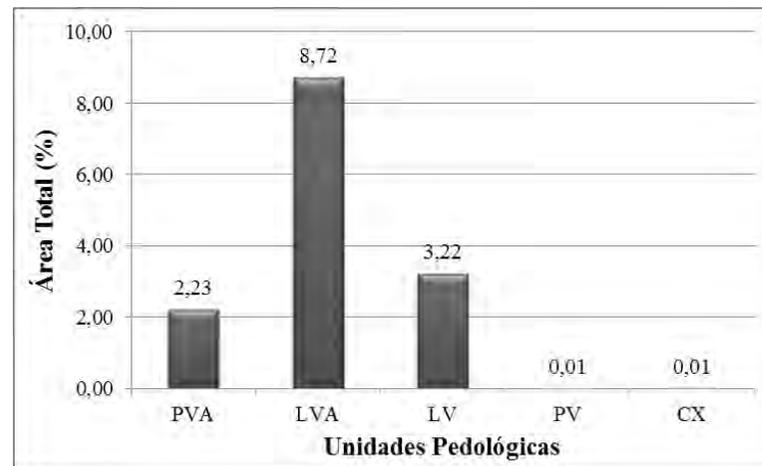


Figura 33. Área ocupada pelos Solos/Área total – Classe Média

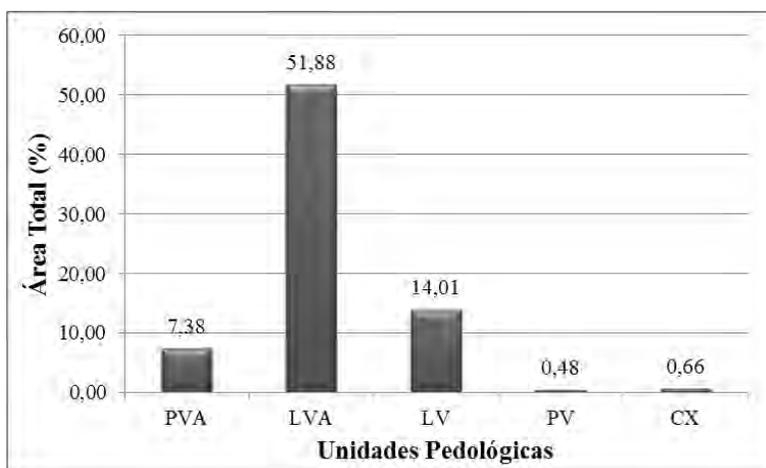


Figura 34. Área ocupada pelos Solos/Área total – Classe Alta

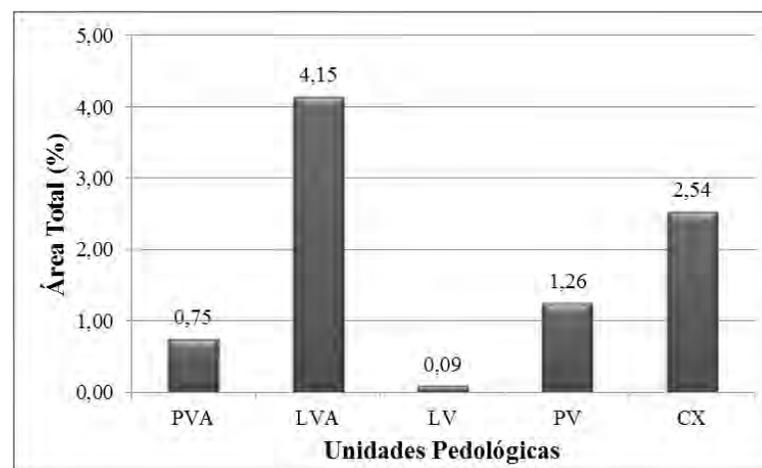


Figura 35. Área ocupada pelos Solos/Área total – Classe Muito Alta

PVA – Argissolo Vermelho-Amarelo ; LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; LV – Latossolo Vermelho; PV – Argissolo Vermelho; CX – Cambissolo Háplico

classe, coincide, com regiões de relevo suave ondulado e ondulado, o que os protege contra remoção de materiais.

As classes de alta e muito alta suscetibilidade à erosão são representadas pelos Cambissolos Háplicos, Argissolos Vermelho-Amarelo, Argissolos Vermelhos, Latossolos Vermelho-Amarelo e Latossolos Vermelho, destacando-se para a classe alta, os Latossolos Vermelho-Amarelo, que estão presentes em cerca de 70% da área correspondente a esta classe.

Os Latossolos Vermelho-Amarelo estão presentes em todas as classes de suscetibilidade à erosão. Isso ocorre devido à presença dessa unidade pedológica desde relevo forte ondulado a relevo montanhoso.

A região estudada contém, em sua malha rodoviária cerca de 1113 km de estradas. Destas, 462 km são estradas pavimentadas e o restante, 651 km, não pavimentadas. Ao se analisar as vias não pavimentadas e sua interseção espacial com as classes de suscetibilidade à erosão observa-se que 0,04% (0,2 km) pertencem à classe de baixa suscetibilidade, 12% (80 km) à classe de média suscetibilidade, 84% (544 km) à classe alta e 4% (27 km) à classe de muito alta suscetibilidade á erosão. Para estradas pavimentadas, a classe de baixa suscetibilidade à erosão contém 0,07% (0,3 km), média suscetibilidade 16% (74 km), 74% (344 km) alta e 9 % (44 km) muito alta. Após o período chuvoso, problemas nas vias de ligação são frequentemente observados, tais como interdição devido a deslizamentos de taludes e depressão na pista ocasionada por erosão (Figura 36).



Figura 36. Desvio na MG - 132 ocasionada por erosão da pista

Por fim, destaca-se que a carta de suscetibilidade à erosão desenvolvida no presente trabalho constitui-se em um instrumento importante para o planejamento físico-territorial visto que contempla diversos fatores atuantes na dinâmica do meio físico e integra aspectos pedológicos e geotécnicos dos solos.

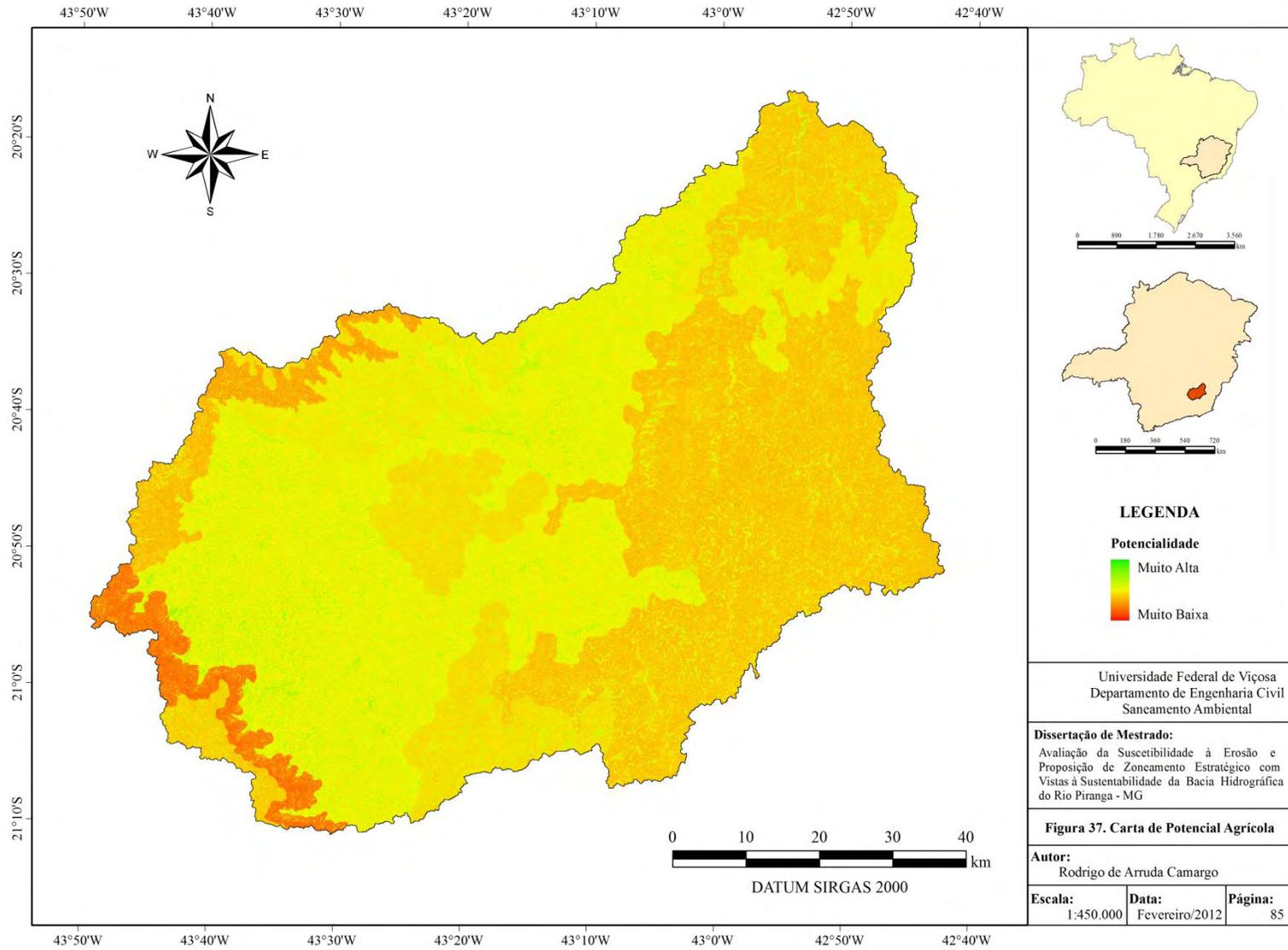
#### **4.9. PROPOSIÇÃO DE ZONEAMENTO AMBIENTAL**

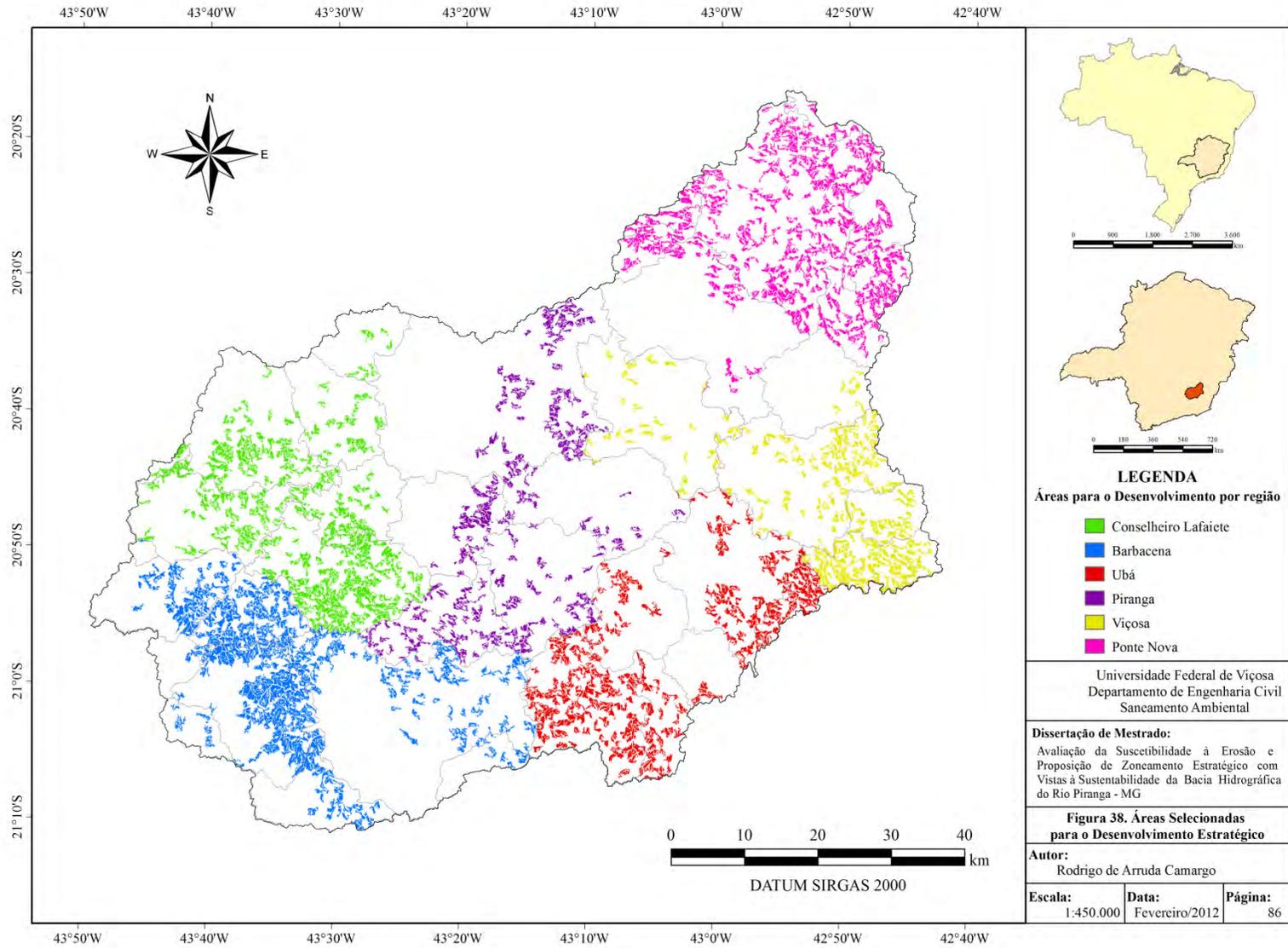
A Carta de Potencial Agrícola, subsídio para o Zoneamento Ambiental, e gerada a partir dos fatores declividade, aptidão agrícola e suscetibilidade à erosão está apresentada na Figura 37. O potencial agrícola na bacia variou de 38 a 218. Ressalta-se que a carta de potencial agrícola varia de 0 a 255, sendo que os menores valores indicam áreas com baixo ou nulo potencial ao desenvolvimento e valores maiores áreas aptas ao desenvolvimento. A potencialidade média da bacia foi de 118. O baixo valor pode ser explicado pelas elevadas declividades e baixa fertilidade dos solos.

Constata-se que na bacia, 1,6% das áreas apresentam potencial muito baixo (1-50), 23,2% potencial baixo (51-100), 65,4% potencial médio (101-150), 9,8% potencial alto (151-200) e 0,1% potencial muito alto (201-255). Devido as elevadas declividades presentes, há na bacia limitação quanto a utilização de máquinas agrícolas, influenciando o baixo potencial. A baixa fertilidade do solo, aliada à sua elevada acidez indicam também a necessidade de altos investimentos para a sua correção química.

A partir da variação do risco e da compensação foram propostos cinco cenários finais. Os cenários, por considerarem aspectos fundamentais e limitações do ambiente natural, apresentam áreas propensas ao planejamento e desenvolvimento regional e diferem entre si quanto a localização e tamanho das áreas selecionadas. A seleção das melhores áreas foi condicionada pelo uso do solo e cobertura vegetal, unidades de conservação, aptidão agrícola, suscetibilidade à erosão, distância das vias, declividades e distância da hidrografia.

Assim, o cenário 4 foi selecionado como proposta para o zoneamento, devido à observação dos graus de risco e compensação. A alta compensação equilibra-se ao valor do risco, garantindo a coerência da proposta. A Figura 38 mostra as áreas selecionadas. Observa-se que as áreas interceptam 49 municípios da bacia.





A área total selecionada para essa proposta corresponde a 92.344 ha (14% da área da bacia), sendo 3% equivalente as áreas com cultura do eucalipto, 26% áreas de agricultura, 64% áreas de pastagem e 7% áreas com solo exposto. A Figura 39, apresenta a distribuição de área por tipo de uso. Nota-se que 49% da área selecionada encontra-se em área de relevo entre 20 e 45% de declividade (Figura 40). Essas regiões apresentam alto grau de impedimento à mecanização. Ressalta-se que 2% da área, equivalente a 2.019 ha, são de relevo plano, oferecendo o emprego de todos os tipos de máquinas e implementos agrícolas em qualquer época do ano.

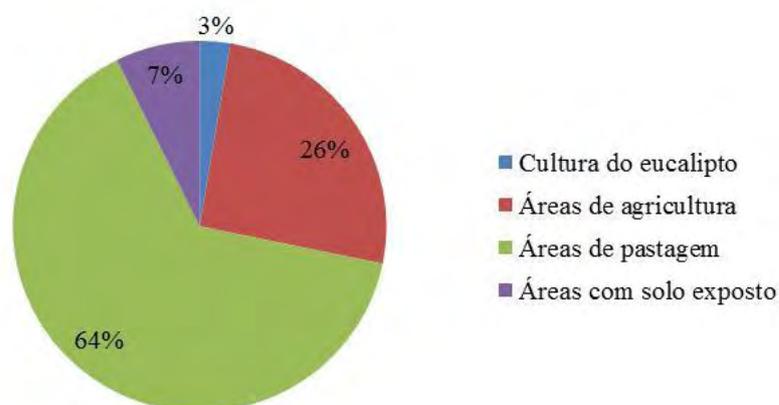


Figura 39. Distribuição das áreas selecionada por tipo de uso do solo e cobertura vegetal

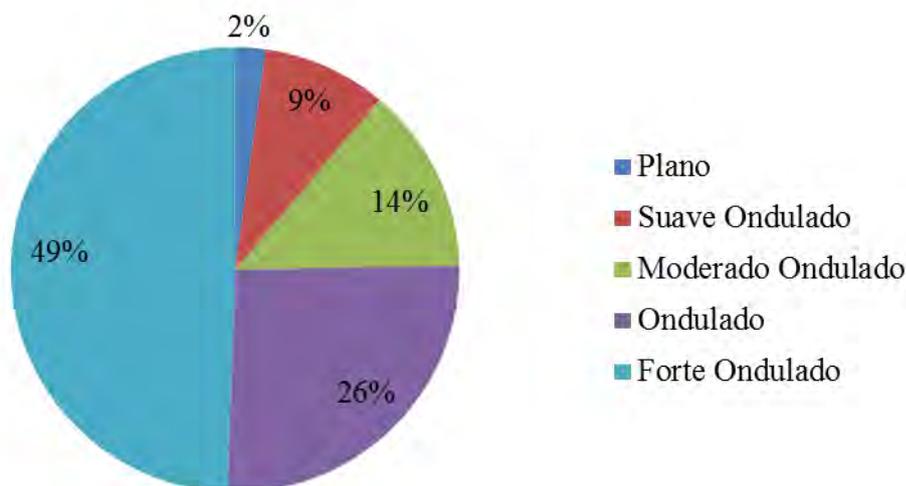


Figura 40. Distribuição das áreas selecionada por classe de declividade

Os sistemas agroflorestais têm sido empregados com grande sucesso em algumas regiões e podem ser indicados como alternativa viável para a região de estudo, com benefícios sociais e econômicos. Os Sistemas Agroflorestais (SAF), através do

consórcio entre espécies arbóreas e agrícolas, apresentam-se como uma forma alternativa de manejo do solo. Vaz da Silva (2002), evitando a sua compactação através da não retirada da cobertura vegetal, os SAF's possuem sistemas radiculares diversos que propiciam uma recarga de matéria orgânica promovendo a estabilidade dos agregados. O reflexo dessa redução é revertido em custos diretos de cerca de 16% em relação ao sistema convencional.

As pastagens fornecem boa proteção ao solo contra a erosão, entretanto, o manejo inadequado, pode prejudicar o cumprimento dessa função, devido ao pisoteio intensivo. Uma boa alternativa é o uso do sistema de rotação do pastoreio. Para isso, a área destinada ao pastoreio é dividida em piquetes, para onde o gado é conduzido conforme planejamento preestabelecido. Assim, fazendo-se com que não seja excessivamente consumida e pisoteada pelos animais, a pastagem terá plenas condições de se recompor antes de ser submetida a novo pastoreio. O ressemeio periódico da área constitui prática recomendável para manter a pastagem com densidade de cobertura capaz de assegurar suporte razoável para o gado e garantir boa proteção do solo contra a erosão.

A integração Lavoura-Pecuária é outra técnica bastante difundida atualmente e consiste em conciliar a pecuária bovina com a produção de grãos. Esta técnica, que busca a recuperação do potencial produtivo das áreas degradadas com a utilização da área durante todas as épocas do ano. Esse consórcio pode ocorrer entre lavoura, pastagem e floresta ou somente entre duas opções. Uma das inovações do método é a utilização de eucalipto no sistema lavoura-pasto. Esse sistema tem se mostrado eficaz por produzir alimentos, madeiras certificadas e animais, além de recuperar áreas degradadas e proteger o solo (EMBRAPA, 2011; EMATER, 2012).

Os benefícios da integração Lavoura-Pecuária e Floresta são a possibilidade de renovação das pastagens a custos menores, ressemeadura natural de algumas espécies forrageiras e antecipação do período de pastejo, favorecimento da pastagem devido ao residual de adubação das culturas de verão, utilização de forragem em épocas mais críticas do ano, menor incidência de pragas e doenças devido à quebra dos ciclos biológicos pela rotação de pastagem e cultivo de grãos, maior rentabilidade e diversificação no momento da comercialização de produtos (grãos/carne/leite ou lã), aumento da liquidez pela possibilidade de realização financeira imediata com a

comercialização de animais; e ciclagem de nutrientes no solo (adubo, urina e atividade biológica intensificada) (CONTE et al., 2006) .

Outra prática conservacionista possível de ser adotada, principalmente em áreas de pastagem é o terraceamento. Terraços são estruturas hidráulicas conservacionistas, compostas por um camalhão e um canal, construídas transversalmente ao plano de declive do terreno. Essas estruturas constituem barreiras ao livre fluxo da enxurrada, disciplinando-a mediante infiltração no canal do terraço (terraços de absorção) ou condução para fora da lavoura (terraços de drenagem). O objetivo fundamental do terraceamento é reduzir riscos de erosão hídrica e proteger mananciais (rios, lagos, represas...). Entretanto, a eficiência do sistema depende também da combinação de outras praticas complementares, como plantio em nível, rotação de culturas, controle das queimadas e manutenção de cobertura morta na superfície do solo.

Para avaliação do impacto das diversas culturas sobre o PIB *per capita* da região, estimou-se aa função de produção realizada por meio do método dos dados em painel. As Tabelas 25 a 30 apresentam os resultados obtidos na análise estatística para as regiões de estudo. Ressalta-se que na análise estática foi considera apenas a alteração de um dos elementos da função.

Tabela 25. Análise estatística para região de Barbacena

Variável (Cultura)	Coeficiente	Prob. t	Modelo: Efeitos Fixos
			R <sup>2</sup> = 0,9767
Arroz	2,9026	0,005	
Batata - Inglesa	162,5812	0,118	
Cana-de-Açúcar	0,7621	0,055	
Feijão	0,2330	0,012	
Mandioca	114,9549	0,000	
Milho	-0,7825	0,000	
Tomate	-132,8532	0,000	
Banana	3,7121	0,000	
Café	-3,3048	0,000	
Laranja	11,9890	0,039	

A região de Barbacena é composta pelos municípios de Alto Rio Doce, Caranaíba, Carandá, Desterro do Melo e Senhora dos Remédios. Para essa região apenas as culturas do arroz, batata-Inglesa, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho, tomate, banana, café e

laranja foram aceitas pelo software. As demais culturas foram omitidas automaticamente devido a colinearidade dos dados. De acordo com os testes realizados, o modelo de efeitos fixos foi o mais adequado para representar a função de produção. Na região, 97,67% das mudanças no PIB *per capita* são explicadas pelas variáveis independentes (áreas plantadas de cultura). Apenas a cultura da Batata-Inglesa não apresentou relação significativa com o PIB *per capita* ( $p > 0,10$ ).

As culturas do arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, banana e laranja relacionam-se positivamente com o PIB *per capita* sendo que o aumento na área plantada destas culturas gera um incremento no PIB *per capita* da região. A cultura da mandioca ocasiona maior impacto no PIB *per capita*. As culturas do milho, tomate e café afetam negativamente o valor do PIB *per capita*, ou seja, o aumento da área plantada destas culturas reduzem os valores PIB *per capita* da região. A cultura do tomate apresenta menor coeficiente e conseqüentemente o maior impacto na redução do PIB *per capita*.

Tabela 26. Análise estatística para região de Conselheiro Lafaiete

Variável (Cultura)	Coeficiente	Prob. t	Modelo: Efeitos Fixos
			$R^2 = 0,9897$
Alho	269,1816	0,364	
Arroz	-2,2410	0,010	
Batata - Doce	-1254,2080	0,394	
Batata - Inglesa	8,2463	0,276	
Cana-de-Açúcar	0,6081	0,072	
Feijão	0,3928	0,765	
Mandioca	-5723005,0000	0,949	
Milho	0,7195	0,560	
Tomate	-93,7639	0,492	
Abacate	-40,7056	0,348	
Banana	-12,0864	0,050	
Café	-3,0703	0,376	
Laranja	9,0835	0,012	
Tangerina	-15,42984	0,605	

A região de Conselheiro Lafaiete é composta pelos municípios de Catas Altas da Noruega, Itaverava, Lamim, Rio Espera e Santana dos Montes. De acordo com os testes realizados, o modelo de efeitos fixos foi o mais adequado para representar a função de produção. Na região, 98,97% das mudanças no PIB *per capita* são explicadas pelas

variáveis independentes (áreas plantadas de cultura). Apenas as culturas do arroz, cana-de-açúcar, banana e laranja apresentam relação significativa com o PIB *per capita* ( $p < 0,10$ ). As culturas da cana-de-açúcar e laranja relacionam-se positivamente com o PIB *per capita* sendo a cultura da laranja a de maior impacto no PIB *per capita*. As culturas da arroz e banana relacionam-se negativamente com o PIB *per capita*, sendo a banana a de maior impacto.

Tabela 27. Análise estatística para região de Piranga

Variável (Cultura)	Coeficiente	Prob. t	Modelo: Pooled
			$R^2 = 0,6032$
Alho	454,2499	0,519	
Arroz	5,5755	0,082	
Batata - Inglesa	-24,5262	0,291	
Cana-de-Açúcar	3,2527	0,541	
Feijão	-1,0222	0,190	
Mandioca	-149,5039	0,546	
Milho	0,1292	0,776	
Tomate	-196,4084	0,741	
Banana	117,5841	0,109	
Café	3,6554	0,049	
Goiaba	3628,4250	0,184	
Laranja	-147,4583	0,417	
Limão	-31,8054	0,709	
Manga	4615,9250	0,435	
Maracujá	311,9992	0,438	

A região de Piranga é composta pelos municípios de Brás Pires, Cipotânea, Piranga, Presidente Bernardes e Senhora de Oliveira. De acordo com os testes realizados, o modelo pooled foi o mais adequado para representar a função de produção. Na região, 60,32% das mudanças no PIB *per capita* são explicadas pelas variáveis independentes (áreas plantadas de cultura). Apenas as culturas do arroz e café apresentam relação significativa com o PIB *per capita* ( $p < 0,10$ ) e o aumento na área plantada destas culturas gera um incremento no PIB *per capita* da região. O coeficiente do arroz é ligeiramente superior ao do café, proporcionando assim, um maior aumento no PIB *per capita*.

Tabela 28. Análise estatística para região de Ubá

Variável (Cultura)	Coeficiente	Prob. t	Modelo: Pooled
			R <sup>2</sup> = 0,8663
Abacaxi	363,7244	0,267	
Alho	1113,1610	0,000	
Arroz	2,445587	0,239	
Cana-de-Açúcar	7,2312	0,000	
Feijão	0,2955	0,243	
Fumo	4812,0770	0,155	
Mandioca	-476,0103	0,187	
Milho	0,1054	0,746	
Tomate	45,5999	0,392	
Banana	6,8175	0,874	
Café	2,0138	0,381	
Goiaba	-37,1133	0,324	
Laranja	-1056,9820	0,123	
Limão	32893,2000	0,126	
Manga	-1748,5390	0,157	
Noz (Fruto Seco)	7,671549	0,966	

A região de Ubá é composta pelos municípios de Divinésia, Dolores do Turvo, Paula Cândido e Senador Firmino. De acordo com os testes realizados, o modelo pooled foi o mais adequado para representar a função de produção. Na região, 86,63% das mudanças no PIB *per capita* são explicadas pelas variáveis independentes (áreas plantadas de cultura). As culturas do alho e cana-de-açúcar apresentam relação significativa com o PIB *per capita* ( $p < 0,10$ ) e o aumento na área plantada destas culturas gera um incremento no PIB *per capita* da região. Investimentos na cultura do alho podem proporcionar o aumento no PIB *per capita*.

A região de Ponte Nova é composta pelos municípios de Amparo do Serra, Guaraciaba, Oratórios e Ponte Nova. De acordo com os testes realizados, o modelo pooled foi o mais adequado para representar a função de produção. Na região, 97,42% das mudanças no PIB *per capita* são explicadas pelas variáveis independentes (áreas plantadas de cultura). Nenhuma das culturas estudadas na região apresentou relação significativa com o PIB *per capita* ( $p > 0,10$ ). Isto quer dizer que o aumento da produção de um desses produtos não afeta o PIB *per capita*.

Tabela 29. Análise estatística para região de Ponte Nova

Variável (Cultura)	Coeficiente	Prob. t	Modelo: Pooled
			$R^2 = 0,9742$
Arroz	80,2847	0,533	
Cana-de-Açúcar	-17,6592	0,953	
Feijão	-1,3831	0,389	
Mandioca	-7493,5630	0,761	
Milho	-30,2419	0,500	
Tomate	30337,3600	0,813	
Banana	284,9311	0,746	
Café	262,7500	0,558	
Goiaba	76976,9000	0,781	
Laranja	56728,4300	0,708	

Tabela 30. Análise estatística para região de Viçosa

Variável (Cultura)	Coeficiente	Prob. t	Modelo: Pooled
			$R^2 = 0,5012$
Abacaxi	-506,0279	0,711	
Alho	2633,0940	0,917	
Batata - Doce	-3652,562	0,199	
Batata - Inglesa	130,9276	0,646	
Cana-de-Açúcar	-82,0963	0,386	
Feijão	-4,4784	0,178	
Mandioca	209,6952	0,694	
Milho	3,7212	0,422	
Tomate	-124,3252	0,299	
Abacate	20449,7600	0,641	
Banana	58,4490	0,636	
Café	-0,2970	0,900	
Caqui	-604,8514	0,540	
Goiaba	-1811,1870	0,391	
Laranja	-229,4801	0,810	
Limão	-6393,2580	0,563	
Mamão	-646,2925	0,790	
Manga	1129,0080	0,596	
Maracujá	1227,6760	0,384	
Tangerina	-7371,945	0,467	

A região de Viçosa é composta pelos municípios de Cajuri, Coimbra, Porto Firme, Teixeira e Viçosa. De acordo com os testes realizados, o modelo pooled foi o mais

adequado para representar a função de produção. Na região, 50,12% das mudanças no PIB *per capita* são explicadas pelas variáveis independentes (áreas plantadas de cultura). Nenhuma das culturas estudadas na região apresentou relação significativa com o PIB *per capita* ( $p > 0,10$ ). Nessa região, grande parte do PIB *per capita* é oriundo do setor de serviços, sendo o setor agropecuário o de menor contribuição para a constituição do PIB *per capita*.

Com relação à infra-estrutura básica de transporte para o melhor aproveitamento da produção agrícola e desenvolvimento econômico da região, percebe-se que a bacia requer altos investimentos para a sua melhoria. Constata-se que as vias pavimentadas não são duplicadas, além da maior parte do sistema viário ser composto por vias não pavimentadas.

As rodovias BR-040 e BR-116 não atravessam, diretamente a bacia, porém as principais vias presentes dão acesso a essas rodovias, permitindo assim a classificação destas como importantes vias de escoamento da produção agropecuária.

## 5. CONCLUSÃO

---

O mapeamento do meio físico foi possível graças à geração da base de dados digitais da bacia hidrográfica do rio Piranga. Como produtos dessa pesquisa encontram-se o Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente, a Carta de Declividades, a Carta Geomorfológica, a Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal para os anos de 2001 e 2010 e a Carta de Potencial Agrícola. Todo esse material gerado foi instrumento de muita utilidade na tomada de decisão e no mapeamento do meio físico.

O diagnóstico do uso do solo e cobertura vegetal permitiu constatar, no período de 2001 a 2010, o incremento das atividades antrópicas através do avanço da pecuária e da agricultura frente a supressão das áreas de vegetação. Constatou-se que a porcentagem de cobertura vegetal foi reduzida em 12%.

A bacia hidrográfica do rio Piranga apresenta elevada suscetibilidade à erosão. De acordo com a carta de suscetibilidade à erosão, 74,4% da área da bacia foram classificadas com alta suscetibilidade, o que representa uma área total de 4.917,5 km<sup>2</sup>. Fato preocupante, pois praticamente em toda a bacia não foi observado a adoção de medidas conservacionistas para a redução do processo erosivo.

A Carta de Potencial Agrícola variou de 38 a 218, com potencial médio de 118. O baixo valor pode ser explicado pelas elevadas declividades e baixa fertilidade dos solos. Constatou-se que na bacia, 1,6% das áreas apresentam potencial muito baixo (1-50), 23,2% potencial baixo (51-100), 65,4% potencial médio (101-150), 9,8% potencial alto (151-200) e 0,1% potencial muito alto (201-255).

As áreas selecionadas para o desenvolvimento estratégico da bacia correspondem a um total de 92.344 ha (14% da área da bacia), sendo 3% equivalente as áreas com cultura do eucalipto, 26% áreas de agricultura, 64% áreas de pastagem e 7% áreas com solo exposto. Nota-se que 49% da área selecionada encontra-se em área de relevo entre 20 e 45% de declividade. Essas regiões apresentam alto grau de impedimento à mecanização. Ressalta-se ainda que 2% da área, equivalente a 2.019 ha, são de relevo plano, oferecendo o emprego de todos os tipos de máquinas e implementos agrícolas em qualquer época do ano.

Diante da análise dos resultados obtidos constatou-se que o modelo computacional utilizado representa a realidade de maneira satisfatória a partir das observações feitas em campo. Isso permite dizer que o sistema de informações geográficas, quando usado para fins de zoneamento, transforma-se em uma importante ferramenta para gestores públicos e privados, auxiliando a tomada de decisões, por exemplo, em relação a assuntos como direção do vetor de crescimento urbano ou localização de um empreendimento futuro.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Ab'SABER, A. N. **Zoneamento Ecológico-Econômico na Amazônia – questões de escala e método.** In: Estudos Avançados, v. 3, n.º 5, p. 4-19, jan./abr. São Paulo, 1989.
- ADOCE - AGÊNCIA TÉCNICA DA BACIA DO RIO DOCE. **Termo de referência - Sistema de Gerenciamento de Informações de Recursos Hídricos para Bacia do Rio Doce - GRH - Doce. Etapa 1: Alerta Hidrológico.** Belo Horizonte, CPRM, 1997.
- ALMEIDA, J. R. **Erosão dos Solos e suas consequências.** Informe Agropecuario, v. 7, n. 80, p. 17-26, 1981.
- ALMG – ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DE MINAS GERAIS. Disponível em <http://www.almg.gov.br/index.asp?grupo=estado&diretorio=munmg&arquivo=municipios&municipio=52105>. Acessado em Dezembro de 2009
- ASHWORT, G. J. **Planning for Environmental Quality. Research Program for Urban and Regional Planning.** University of Gröening, Holanda, 1995.
- BADIRU, A. B.; PULAT, P. S.; KANG, M. **DDM: Decision Support System For Hierarchical Dynamic Decision Making.** Decision Support Systems , v.10, p1-18, 1993.
- BARBOSA, F. L. R.; SILVA, M. A.; TEIXEIRA, A. A.; PRADO, A.; SCHERER-WARREN, M.; RIBEIRO, R. M. P. Delimitação de ottobacias a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente para a bacia do Verde Grande. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIII, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007, p. 3271-3278.
- BARROSO, D. G.; SILVA, M. L. N. **Poluição e conservação dos recursos naturais: solo e água.** Informe Agropecuário, v. 176, n. 16, p. 17-24, 1992.
- BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia Legal. Brasília. 43

p. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR) e Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1996.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO,. F. Manual técnico de manejo e conservação do solo e água. Campinas, SP: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1993. v. 1. (Manual técnico, 38).

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO,. F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005

CARVALHO, D.F.; MONTEBELLER, C.A.; CRUZ, E.S.; CEDDIA, M. B.; LANA, Â.M. Q. **Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v. 6, n. 3, p. 385-389, 2001

CHAVES, M. C. **Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente Consistente para a Bacia Amazônica**. 2002. 115 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2002.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. Ed. Edgard Blucher. 236p. 1999.

COELHO, A. L. N. Compartimentação geomorfológica da bacia do rio Doce: uma atualização. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 5., Goiânia, 2006. **Anais...Goiânia**, Associação Internacional de Geomorfologistas, 2006. CD-ROM.

CONTE, O. et al. **Propriedade otimizada**. Cultivar Máquinas, v.50, p. 132-35, 2006

COSTA, L. A. **Proposta de zoneamento de áreas rurais utilizando sistemas de informações geográficas**. 2001. 124f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

COSTA, J. **Dicionário rural do Brasil**. Rio de Janeiro: Campos, 2003.

- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais.** Minas Gerais, 2003.
- DIAS, H. C. T.; FILHO, E. I. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FONTES, L. E. F.; VENTORIM, L. B. **Geoambientes do parque estadual do Ibitipoca, município de Lima Duarte-MG.** R. *Árvore*, v.26, n.6, p. 777-786, 2002.
- EASTMAN, J.R. **Guide to GIS and image processing.** Worcester, EUA: Clark University. 327p. 2006.
- EMATER – EMPRESA DE ASSISTENCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS –MG. **Zona da Mata tem Circuito de Integração Lavoura, Pecuária e Floresta.** Acessado em fevereiro 2012. Disponível em <http://www.emater.mg.gov.br>. 2012.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. **Integração lavoura-pecuária é tema do Dia de Campo na TV.** Acessado em fevereiro de 2012. Disponível em <http://www.embrapa.br/>. 2011.
- EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412p, 1999.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306p, 2006.
- FATURETO, C. R. C. **Otimização sob critérios múltiplos: metodologias e uma aplicação para o planejamento agrícola.** 1997. 145f. Tese (Doutorado em Economia Rural) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.
- FERNANDES FILHO, E. I.; *et al.* **Levantamento de solos e aptidão agrícola da porção mineira da bacia do Rio Doce.** Belo Horizonte: Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM), 2010.
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação.** São Paulo: Oficina de Textos. 160p. 2008.

- FOSTER, G.R.; MCCOOL, D.K.; RENARD, K.G.; MOLDENHAUER, W.C.  
**Conversion of the universal soil loss equation to SI units.** Journal of Soil and Water Conservation, v.36, p.355-359, 1981.
- GIOVANINI, R. R. **REGIÕES EM MOVIMENTO Um olhar sobre a Geografia Histórica do Sul de Minas e da Zona da Mata Mineira (1808-1897).** Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 204p. 2006.
- GRECCHI, R.C. **Zoneamento geoambiental da região de Piracicaba-SP, com auxílio de geoprocessamento.** Dissertação Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 132p, 1998.
- GRINOVER, L. **O planejamento físico-territorial e a dimensão ambiental.** *Cadernos FUNDAP.* São Paulo, ano 9, n.º 16, junho, p. 25-32, 1989.
- HOMMA, A. **Zoneamento da Amazônia é a solução?** Gazeta Mercantil, Belém, 29/06/2000, p.2., 2000.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA).** Disponível em: [www.sidra.ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br) Acessado em: janeiro de 2012.
- IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce e dos Planos de Ações de Recursos Hídricos para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce.** Consórcio ECOPLAN – LUME, 2007.
- LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. et al. **Soil erosion research methods.** Washington: Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 141-160
- LOURES, S. S. P. **Ambientes, uso e ocupação do solo e zoneamento estratégico para as subbacias dos rios Jacupiranga e Pariquera-Açu, Vale do Ribeira, SP.** 2008. 180f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

- MACEDO, R. K. de. **O que são e para que servem os zoneamentos ambientais.** Texto eletrônico. Portal Brazilian Environmental Mall, 1998.
- MACHADO, P. A. L. **Direito Ambiental Brasileiro.** São Paulo: Editora Malheiros, 606 p., 1992.
- MARCHI, O. A.; CALIJURI, M. L.; COSTA, S. H. G.; LUGÃO, W. G.; SOUZA, P. J. **A. Leitura e caracterização da paisagem em auxílio ao planejamento da ocupação urbana de Ponte Nova - MG.** Natureza & Desenvolvimento, Viçosa, MG - Brasil, v. 1, n. 1, p. 41-50, 2005.
- MILLIKAN, B. H. Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico e Políticas Públicas no Estado de Rondônia: Oportunidades, Limites e Desafios para o Desenvolvimento Sustentável. Projeto BRA/94/007, Cooperação Técnica do PNUD ao PLANAFORO. Porto Velho/RO, 1998).
- MILLIKAN, B. H. & PRETTE, M. E. SEMINÁRIO: AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA DO ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO PARA A AMAZÔNIA LEGAL, Manaus - AM, 03 a 05 de outubro de 2000. Documento Base para Discussão. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Coordenação da Amazônia – SCA. Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável – SDS. Brasília, 2000.
- MONTANÕ, M.; OLIVEIRA, I. S. D. DE; RANIERI, V. E. L.; FONTES, A. T.; SOUZA, M. P. DE. **O Zoneamento Ambiental e a sua importância para a localização de atividades.** Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção. Itajubá. Nº 6, p.49-64. 2007.
- MOREIRA, M. C.; PRUSKI, F. F.; OLIVEIRA, T. E, C.; PINTO, F. A. C.; SILVA, D. D. **NetErosividade MG: erosividade da chuva em Minas Gerais.** Rev. Bras. Ciênc. Solo, vol.32, n. 3, p. 1349-1353, 2008.
- NASCIMENTO, R. A.; SANTOS, M. D.; FIALHO, E. S. Análise das repercussões dos eventos pluviiais intensos no município de Piranga - MG. In: Encontro Nacional dos Geógrafos, 16., Porto Alegre, 2010. **Anais...** Porto Alegre. Disponível em: [www.agb.org.br/evento/download.php?idTrabalho=4381](http://www.agb.org.br/evento/download.php?idTrabalho=4381) . Acesso em 24 jan. 2012.

- NITSCH, M. Planejamento sem rumo. Avaliação crítica da metodologia do “Zoneamento Ecológico-Econômico” nos estados da Amazônia brasileira. Parecer elaborado para a Secretaria de Planejamento do Estado de Rondônia – Projeto de Cooperação Técnica PNUD/PLANAFLORO. Porto Velho/RO, 1998.
- OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERAN FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: Legenda Expandida.** Campinas, Instituto Agrônomo/EMBRAPASolos, Campinas, 1999. 64p.
- PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. Microeconomia. 7. Ed. São Paulo: Prentice Hall, 2010. 647 p.
- PRUSKI, F. F. (Org.). **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica.** 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 279 p
- PRUSKI, F.F.; MOREIRA, M.C.; GONÇALVES, F.A.; OLIVEIRA, T.E.C.; PINTO, F.A.C. & SILVA, D.D. Erosividade da chuva a partir de séries sintéticas de precipitação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., Bonito, 2007. **Anais...** Bonito, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2007. CD-ROM.
- RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.** 3.ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 1995. 65p.
- RAMOS, A. R.; MENDES, J. F. G. **Avaliação da aptidão do solo para localização industrial: o caso de Valença.** Revista Engenharia Civil, v.10, n.10, p. 7-29. 2001.
- ROSS, J.L.S. **Ecogeografia do Brasil: Subsídios para planejamento ambiental.** São Paulo-SP: Oficina de Textos, 208p, 2006.
- RIBEIRO, C.A.A.S.; CHAVES, M.A.; SOARES, V.P. & EUCLYDES, H.P. Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a Amazônia legal. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, 2., Campo Grande, 2002. **Anais...** Campo Grande: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2002. CD-ROM.

- RIBEIRO, C. B. M. **Sensoriamento Remoto aplicado à detecção de mudanças na cobertura do solo de uma bacia hidrográfica.** Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro. 191p. 2001.
- RIBEIRO FILHO, A. B. **O Canto do Piranga:** Um rio, muitas historias. Ponte Nova: 2008. 148p.
- de ROO, G. **Current research projects of theme "Shaping the built environment".** Faculty of Spatial Sciences. *University of Gröening*, Netherlands, 2000.
- SAE/PR Coordenação-Geral de Macrozoneamento Geopolítico e Econômico do Território Nacional (COGEC). Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Brasília, 2000.
- SCHAEFER, C. E. R. **Ecogeography and human Scenario.** *Ciência e Cultura*, v. 49, n. 4, p. 241-252, 1997.
- SCHNEIDER, E. Gestão Ambiental Municipal: preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável. In: Encontro Nacional de Engenharia da Produção, 20., 2000. São Paulo. **Anais...** São Paulo. Disponível em: [www.portalga.ea.ufrgs.br/acervo/ds\\_art\\_05.pdf](http://www.portalga.ea.ufrgs.br/acervo/ds_art_05.pdf). Acesso em 02 mar. 2011.
- SEMADS. Projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro, 2000.
- SILVA, L. A. O. ; FIALHO, E. S. Problemas Opcionados Pela Enchente de Dezembro de 2008 em Ponte Nova - MG. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa - MG. **Anais...XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada.** Viçosa - MG, 2009.
- SIMAS, F. N. **Geoambientes e pedogênese na Serra Verde, Mantiqueira mineira: atributos físicos, químicos, mineralógicos e micromorfológicos.** Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG. 72p. 2002.

SIMGE - SISTEMA DE METEOROLOGIA E RECURSOS HIDRICOS DE MINAS GERAIS. Disponível em: <[http://www.simge.mg.gov.br/alerta/doce/sistema/historico\\_enchentes/index.html](http://www.simge.mg.gov.br/alerta/doce/sistema/historico_enchentes/index.html)> Acesso em: 07 de outubro de 2011.

SOUZA, M. P. Instrumentos de Gestão Ambiental: Fundamentos e Prática. São Carlos: Ed. Riani Costa. 112 p., 2000.

TRICART, J.; KIEWITDEJONGE, C. **Ecogeography and rural management**. Harlow: Longman Scintific, 1992.

URBAN, D.L. **Using model analysis to design monitoring problems for landscape management and impact assessment**. Ecological Applications, v. 10, p.1820 - 1832. 2000.

VASCONCELOS, T.N.N. **Interpretação morfológica da bacia do rio Tenente Amaral, Jaciara-MT: condição básica para sua caracterização ambiental**. Dissertação (Mestrado) - IB/UFMT, Cuiabá, MT. 160p. 1998.

VAZ DA SILVA, P.P. **Sistemas agroflorestais para recuperação de matas ciliares**. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 98p. 2002.

VILELA, P. S.; RUFINO, J. L. S. **Caracterização da cafeicultura de montanha de Minas Gerais**. Belo Horizonte: INAES, 300p, 2010.

WAGNER, C.S.; MASSAMBINI, O. **Análise da relação intensidade de chuva: energia de Wischmeier e Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.12, p.197-203, 1988.