

Milton Pereira Dias Junior

Uso de Restrições Ambientais para a
Definição de Áreas Propícias ao
Estudo de Corredor Rodoviário
Utilizando Técnicas de
Geoprocessamento

XV Curso de Especialização em Geoprocessamento 2014



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

MILTON PEREIRA DIAS JUNIOR

**USO DE RESTRIÇÕES AMBIENTAIS PARA A DEFINIÇÃO DE ÁREAS
PROPÍCIAS AO ESTUDO DE CORREDOR RODOVIÁRIO UTILIZANDO
TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

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

Orientador: Professor Dr. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega

Belo Horizonte

2014

D541u
2014

Dias Junior, Milton Pereira.

Uso de restrições ambientais para a definição de áreas propícias ao estudo de corredor rodoviário utilizando técnicas de geoprocessamento [manuscrito] / Milton Pereira Dias Junior. – 2014. x, 27 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega.

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2014.

Bibliografia: f. 26-27.

1. Geoprocessamento. 2. Planejamento rodoviário – Minas Gerais. I. Nóbrega, Rodrigo Affonso de Albuquerque. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia. III. Título.

CDU: 528(815.1)

Aluno Milton Pereira Dias Junior

Monografia defendida e aprovada em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento, em 6 de novembro de 2014, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega



Prof. MSc. Bráulio Magalhães Fonseca

Dedico a:

Josiane, Filipe e Francisco.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me permitir vivenciar momentos fantásticos como a conclusão desta especialização;

Ao Departamento de Cartografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais pela oferta do curso;

Ao professor Dr. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega pelo apoio e orientação;

Ao professor Bráulio Magalhães Fonseca pelas importantes considerações durante a banca examinadora;

Ao monitor Eric Pereira pelo apoio na monitoria;

A minha mãe pelo carinho e por sempre querer o meu melhor;

Aos amigos, compadres e geógrafos Rafael Pompermayer e Rafael Zendonadi pelo apoio e pelo esclarecimento de diversas dúvidas;

Ao Filipe meu filho pelo imenso amor e por me aguardar retornar das aulas todos os dias até tarde da noite com os olhos “pingando” de sono para me dar um abraço;

Ao Francisco meu filho que ficava me aguardando dentro da barriga da mamãe até a metade do curso e quando nasceu ainda durante o curso, enchendo ainda mais meu coração de alegria e amor;

A minha esposa Josiane, minha flor do Cerrado, melhor companheira na caminhada, obrigado!

“...Sou só um sertanejo, nessas altas ideias navego mal. Sou muito pobre coitado. Inveja minha pura é de uns conforme o senhor, com toda leitura e suma doutoração. Não é que eu esteja analfabeto. Soletrei, anos e meio, meante cartilha, memória e palmatória. Tive mestre, Mestre Lucas, no Curralinho, decorei gramática, as operações, regra de três, até geografia e estudo pátrio. Em folhas grandes de papel, com capricho tracei bonitos mapas...”

Grande Sertão Veredas (João Guimarães Rosa)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	2
1.1 <i>Apresentação</i>	2
1.2 <i>Caracterização geográfica da região</i>	3
1.3 <i>Objetivos</i>	6
1.4 <i>Objetivos Específicos</i>	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 <i>Geoprocessamento com instrumento de análise</i>	7
2.2 <i>Análise de multicritério e álgebra de mapas.....</i>	8
3. MATERIAIS E MÉTODOS	10
3.1 <i>Tratamento das bases cartográficas.....</i>	10
3.2 <i>Definição da área</i>	12
3.3 <i>Elaboração de mapas temáticos e criação de rasters.....</i>	14
3.4 <i>Análise Integrada – Distribuição dos pesos.....</i>	15
3.4.1 <i>Declividade</i>	15
3.4.2 <i>Cobertura do solo</i>	16
3.4.3 <i>APPs de cursos d’água</i>	17
3.4.4 <i>Unidades de Conservação</i>	18
3.4.5 <i>Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço.....</i>	18
3.4.6 <i>Espeleologia - cavernas cadastradas pelo CECAV-IBAMA</i>	19
3.4.7 <i>Resultados obtidos</i>	20
3.5 <i>Alterações na metodologia prevista inicialmente.....</i>	22
4. RESULTADOS.....	22
5. CONCLUSÕES	25
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do município de Santana do Riacho.....	4
Figura 2 - Mapa do Circuito Turístico Serra do Cipó (Fonte: Secretaria de Turismo do Estado de Minas Gerais)	5
Figura 3 - Mapa de Biomas do Estado de Minas Gerais	6
Figura 4 - Exemplo de modelo de ponderação (Câmara e Monteiro, 2007)	9
Figura 5 - Modelo de sobreposição de imagens (Planos de Informação Geográfica) - CEPAC/RS	10
Figura 6 - Procedimento para extração dos dados de interesse para a área de estudo - adoção da ferramenta “Clip”	11
Figura 7 - Demonstração dos fatores de influência para a definição da área de pesquisa	13
Figura 8 - Superfície gerada de declividade.....	16
Figura 9 - Superfície gerada da cobertura do solo.....	17
Figura 10 - Superfície gerada das áreas de APP de curso d’água - buffer 30m	17
Figura 11 - Superfície gerada das Unidades de Conservação	18
Figura 12 - Superfície gerada das zonas da Reserva da Biosfera do Espinhaço.....	19
Figura 13 - Superfície gerada das cavernas cadastradas na área de estudo	19
Figura 14 - Procedimento de uso da ferramenta Raster Calculator	21
Figura 15 - Representação da álgebra de mapas dos rasters gerados no estudo	21
Figura 16 - Superfície final do estudo.....	23

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Distribuição de notas.....	15
Quadro 2 - Notas para declividade.....	15
Quadro 3 - Notas para cobertura do solo.....	16
Quadro 4 - Notas APPs de curso d'água.....	17
Quadro 5 - Notas para classes de Unidades de Conservação.....	18
Quadro 6 - Notas para Reserva da Biosfera do Espinhaço	18
Quadro 7 - Notas para cavernas.....	19
Quadro 8 - Distribuição de pesos para classificação da área de estudo	20

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

APA - Área de Proteção Ambiental

APP - Área de Preservação Permanente

CECAV - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas

CNA - Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil

DER - MG - Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais

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

IEF - Instituto Estadual de Floresta

PARNA - Parque Nacional

PNLT - Plano Nacional de Logística e Transporte

PROCESSO - Programa de Pavimentação de Ligações e Acessos Rodoviários aos Municípios

RESBIO - Reserva da Biosfera

SIG - Sistema de Informação Geográfica

UC - Unidades de Conservação

ZEE - Zoneamento Ecológico Econômico

RESUMO

Devido à importância da malha rodoviária, que é utilizada como o principal modo de transporte no Brasil, buscou-se neste trabalho utilizar restrições ambientais para a definição de áreas propícias ao estudo de corredor rodoviário, através de técnicas de geoprocessamento, na região do município de Santana do Riacho, entre o trecho de ligação do entroncamento da rodovia MG 010 no distrito Cardeal Mota (Serra do Cipó) até a sede urbana do referido município. A escolha deste trecho se deu pela recente conclusão do projeto rodoviário que foi inaugurado em 2012 (contemplado pelo Programa de Pavimentação de Ligações e Acessos Rodoviários aos Municípios - PROACESSO do governo de Minas Gerais), cuja extensão é de aproximadamente 26 km, de responsabilidade do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais (DER-MG). O propósito do trabalho é comparar se o projeto executado coincide com as áreas propícias para definição de corredores rodoviários resultado deste estudo. Este comparativo é um importante instrumento para buscar melhorias contínuas no processo de definição de traçados rodoviários que poderá ser aplicado a outras localidades. Foram adotadas como metodologias a análise de multicritério baseada na média ponderada e a álgebra de mapas. A análise de multicritério baseada na média ponderada é uma operação que consiste em obter um campo numérico a partir de um campo temático, de tal modo que cada local de uma área de estudo fique associado a um valor, indicando o peso de cada classe temática diante de uma operação quantitativa que se deseje; a álgebra de mapas é o processo que analisa o valor de cada pixel de um arquivo raster e através de operações matemáticas geram produtos cartográficos novos, contendo as informações para a análise e planejamento do objeto de estudo, assemelhando-se a técnica de sobreposição de imagens.

Palavras Chaves: Geoprocessamento, Multicritério, Restrições Ambientais.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Devido a importância da malha rodoviária, que é utilizada como o principal modo de transporte no Brasil, buscou-se neste trabalho utilizar restrições ambientais para a definição de áreas propícias ao estudo de corredor rodoviário, através de técnicas de geoprocessamento, na região do município de Santana do Riacho, entre o trecho de ligação da rodovia MG 010 no distrito Cardeal Mota (Serra do Cipó) até a sede urbana do referido município.

A escolha deste trecho se deu pela recente conclusão do projeto rodoviário que foi inaugurado em 2012 (contemplado pelo Programa de Pavimentação de Ligações e Acessos Rodoviários aos Municípios - PROACESSO do governo de Minas Gerais), cuja extensão é de aproximadamente 26 km, de responsabilidade do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais (DER-MG).

O propósito em se trabalhar em uma área onde se encontra um projeto implantado recentemente é de poder comparar se os resultados finais deste trabalho serão coincidentes ou não com o traçado implantado. Este comparativo é um importante instrumento para buscar melhorias contínuas no processo de definição de traçados rodoviários que poderá ser aplicado a outras localidades.

Segundo dados do Governo do Estado de Minas Gerais¹, o estado possui a maior malha rodoviária do Brasil, equivalente a 16% de toda a malha viária existente no país. No estado, são 269.546 km de rodovias. Deste total, 7.689 km são de rodovias federais, 23.663 km de rodovias estaduais e 238.191 km de rodovias municipais. Quanto às características das estradas no estado, a malha federal é toda pavimentada. A estadual se divide em 13.995 km pavimentados e 9.724 km não pavimentados. A maioria das rodovias municipais não é pavimentada.

¹ Disponível em: <http://www.mg.gov.br/governomg/portal/m/governomg/conheca-minas/5662-rodovias/5146/5044>; acesso em 30/10/2014.

Em Minas Gerais ainda há uma grande demanda para o desenvolvimento de projetos rodoviários, tendo em vista que ainda existem diversos municípios e localidades sem interligação por asfalto, deixando de gerar benefícios para a população, prejudicando o deslocamento e o escoamento da produção.

Mesmo com uma parte significativa da malha rodoviária sem pavimento, podemos considerar que Minas Gerais possui uma realidade favorável em comparação à grande parte dos estados brasileiros.

Existe uma carência em infraestrutura de transporte em estados brasileiros que estão vivenciando um apogeu no desenvolvimento econômico, principalmente no setor do agronegócio. Podemos citar o exemplo da região denominada como Matopiba, nome dado a região formada pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Segundo o artigo “Matopiba, a nova ousadia da agricultura brasileira”, publicado pela EMBRAPA², a região até então não possuía tradição forte em agricultura, porém atualmente constitui-se como a mais nova fronteira de intensificação agrícola do Brasil.

No site do jornal Estadão foi publicada uma matéria sobre a perda de competitividade da fronteira agrícola brasileira³, o destaque foi para a região do Matopiba, estando entre as regiões com menor competitividade no ranking do agronegócio no país devido a deficiência estrutural. Os dados foram obtidos através do Índice de Competitividade criado pela Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) divulgados no dia 02/12/2014. Um dos quesitos de avaliação adotados pela CNA é a produtividade, que mostra que da porteira para fora as principais áreas em volume de produção agrícola perdem em capacidade de escoamento para antigos redutos da agricultura: o Sul e o Sudeste, cujo nível de infraestrutura e de educação são superiores.

Com o objetivo de resgatar o planejamento estratégico no setor de transportes, o Ministério do Transporte criou o Plano Nacional de Logística e Transporte (PNLT) que agrupou as microrregiões homogêneas em função da superposição georreferenciada de diversos

² Artigo disponível em: https://www.embrapa.br/sala-de-imprensa-artigos/-/asset_publisher/D02sE8gXQO4I/content/id/1705615; acesso em 07/01/2015.

³ Matéria disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/negocios,nova-fronteira-agricola-brasileira-perde-em-competitividade,1601265>; acesso em 07/01/2015.

fatores representativos para melhor analisar o portfólio de investimentos, resultando em sete agrupamentos chamados de Vetores Logísticos: Amazônico, Centro-Norte, Nordeste Setentrional, Nordeste Meridional, Leste, Centro-Sudeste e Sul (Ministério dos Transportes, 2012).

O cenário descrito anteriormente é um dos motivadores deste estudo. A proposta da definição de áreas propícias ao estudo de corredor rodoviário é de definir, através do uso de técnicas de geoprocessamento, uma faixa preferencial que apresenta as menores intervenções ambientais possíveis. Na elaboração de um projeto rodoviário esta seria uma das primeiras etapas e quando definido o corredor este serviria como o campo de trabalho para as equipes de engenharia para, a partir de então, definir o traçado rodoviário dentro dos limites apresentados.

Foram adotados parâmetros de avaliação baseados em importantes restrições ambientais que influenciam na execução de uma obra rodoviária, priorizando dados de fácil obtenção provenientes de fontes confiáveis, como os dados disponibilizados pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas - CECAV (Unidade Descentralizada do IBAMA). No entanto, é sabido que as restrições ambientais são diversas e considerá-las em toda a sua totalidade exigiria a atuação de uma equipe multidisciplinar, mas não é objetivo deste trabalho esgotá-las, mas sim demonstrar que as restrições discutidas aqui já se constituem como um importante parâmetro de análise (as restrições ambientais adotadas neste trabalho serão apresentadas no item 3.4).

1.2 Caracterização geográfica da região

A área de estudo engloba principalmente o município de Santana do Riacho, onde se encontra implantado a obra do PROACESSO. O município está localizado no estado de Minas Gerais, na Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (figura 1). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) o município possui uma população estimada de 4.235 habitantes para o ano de 2014, sua área territorial é de 677,20 km², possuindo uma densidade demográfica de 5,94 habitantes por km². No entanto, a área de estudo também abrangeu parte dos municípios de Baldim e Jaboticatubas, conforme demonstrado na figura 1.

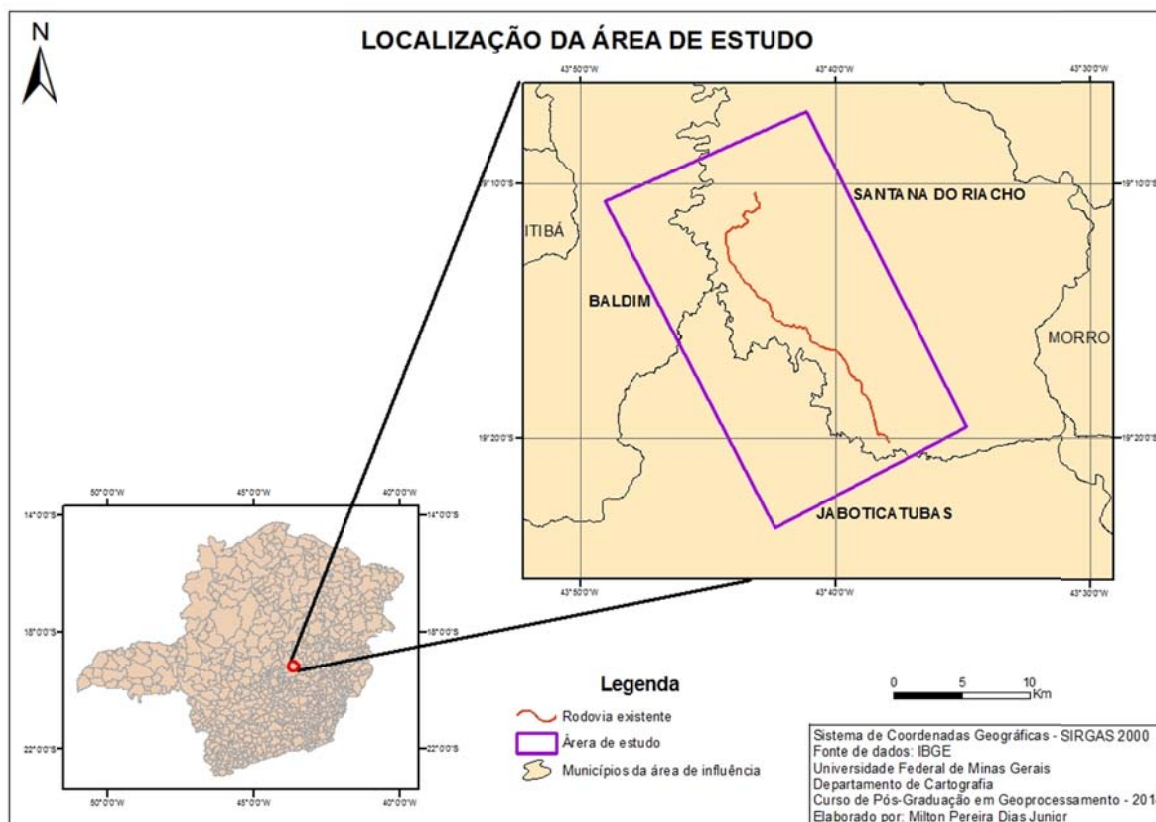


Figura 1 - Mapa de localização do município de Santana do Riacho

A área de estudo se encontra em uma das regiões de grande apelo turístico, denominada Serra do Cipó, que possui uma rica biodiversidade e conta com representantes endêmicos da fauna e da flora, além da beleza cênica da Serra do Espinhaço.

Diante de toda a exuberância e da rica biodiversidade foram criadas as Unidades de Conservação (UC) Parque Nacional da Serra do Cipó (PARNA Cipó) e a Área de Proteção Ambiental (APA) Morro da Pedreira, ambas as UCs possuem limites em parte do território do município de Santana do Riacho. O município ainda faz parte do circuito turístico Serra do Cipó, que contempla outros seis municípios (figura 2).

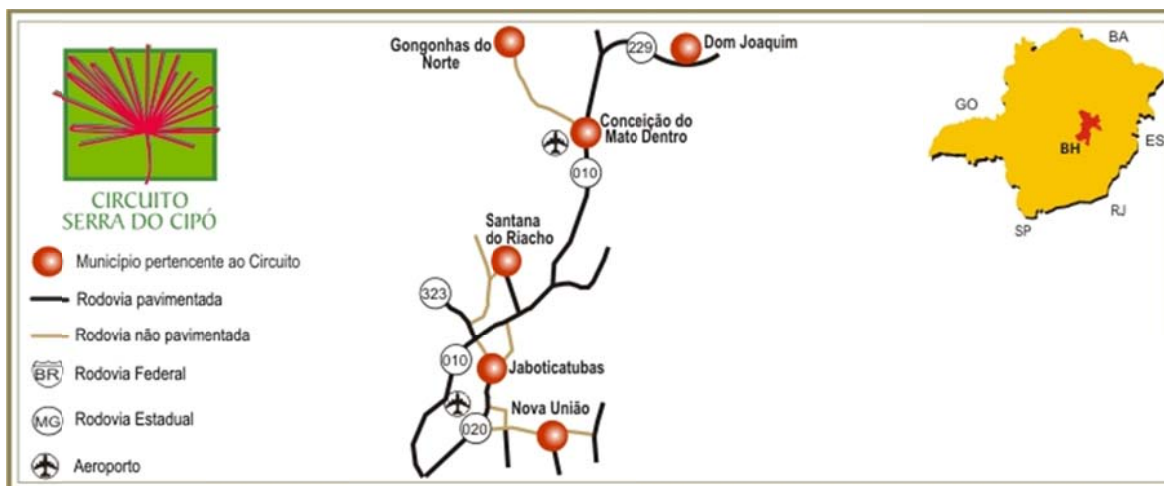


Figura 2 - Mapa do Circuito Turístico Serra do Cipó (Fonte: Secretaria de Turismo do Estado de Minas Gerais)

O relevo da região é heterogêneo variando em áreas planas/onduladas e montanhosas, nas imediações da Serra do Espinhaço. Os principais cursos d'água do município são os rios Cipó e o Parauninha, que vertem para o Rio das Velhas, afluente do Rio São Francisco.

Está localizado na área do bioma Cerrado, próximo aos limites do bioma de Mata Atlântica, o que a caracteriza como área de transição. Dessa forma, é possível encontrar no município áreas com predomínio de espécies de Cerrado e fragmentos de Mata Atlântica. Em relação à flora destacam-se as áreas de campo rupestre sobre quartzito presentes nas áreas de maiores altitudes da Serra do Espinhaço. A figura 3 apresenta a localização do município nos referidos biomas.

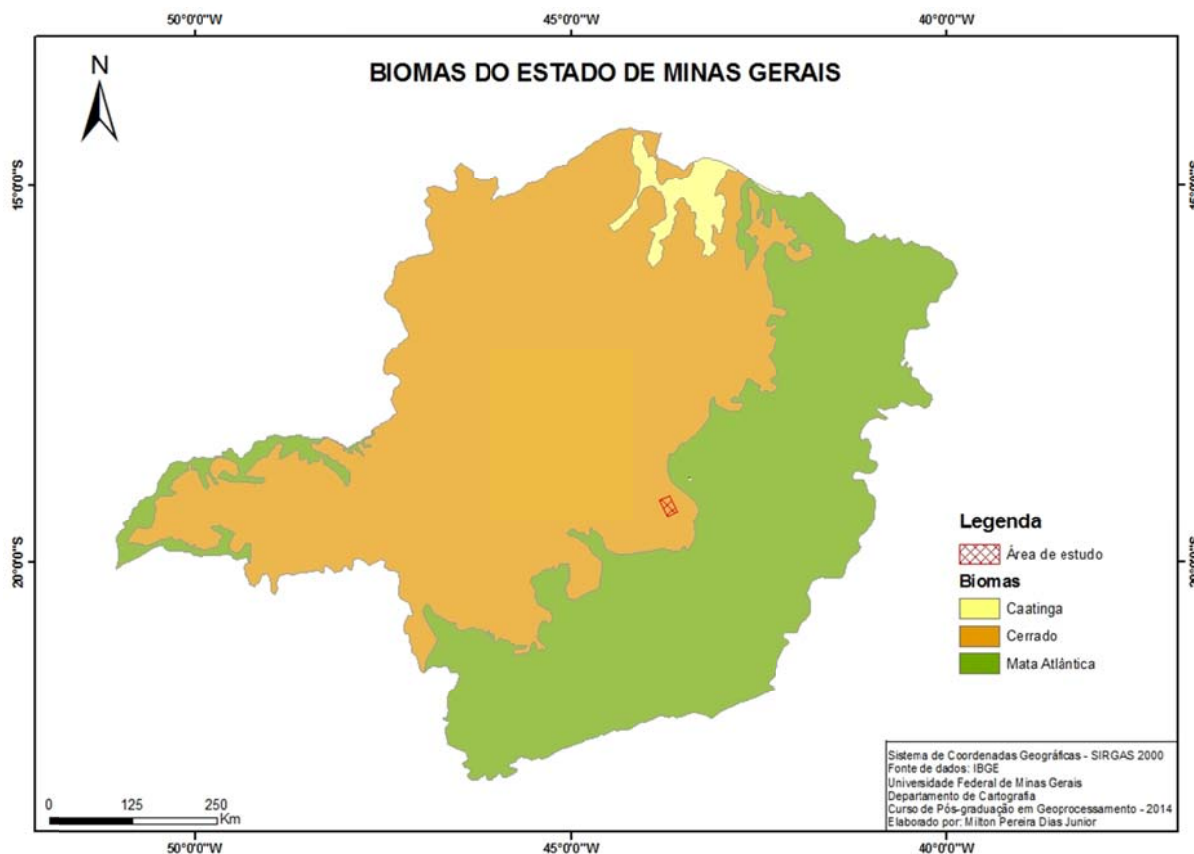


Figura 3 - Mapa de Biomas do Estado de Minas Gerais

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo definir por meio de variáveis ambientais e do uso do geoprocessamento uma área propícia ao estudo de Corredor Rodoviário, de modo que seja possível verificar se há concordância entre os resultados obtidos e o traçado implantado no ano de 2012 entre o entroncamento da rodovia MG 010 e a sede municipal de Santana do Riacho.

1.4 Objetivos Específicos

- Demonstrar a aplicabilidade do geoprocessamento para obras lineares;
- Apresentar uma metodologia que possa aperfeiçoar o trabalho de definição de traçados rodoviários.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Geoprocessamento com instrumento de análise

As formas de representar a terra, os fenômenos existentes e as relações entre eles sempre foram um desafio para pesquisadores e planejadores do espaço geográfico, mas que se tornaram possíveis com o advento da tecnologia.

Até algumas décadas anteriormente, a representação do espaço geográfico e de fenômenos ambientais e sociais somente eram representados em meio analógico, o que dificultava a análise integrada e a interpretações dos dados, tendo em vista a impossibilidade de combinar os dados das cartas e mapas impressos.

De acordo com Câmara *et. al* (2001), com o desenvolvimento simultâneo da tecnologia de informática na segunda metade do século XX tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do Geoprocessamento. Ainda segundo os autores:

[...] o termo Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (GIS), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados geo-referenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos (Câmara *et. al* 2001).

A própria aplicabilidade do geoprocessamento, como descrito anteriormente, sugere que ele seja uma ferramenta interdisciplinar e de fato permite o trabalho conjunto e simultâneo de diferentes áreas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos. Para este fato Câmara *et. al* (2001), apontam para um problema conceitual que é a própria interdisciplinaridade dos SIGs:

Para utilizar um SIG, é preciso que cada especialista transforme conceitos de sua disciplina em representações computacionais. Após esta tradução, torna-se viável compartilhar os dados de estudo com outros especialistas (eventualmente de disciplinas diferentes). Em outras palavras, quando falamos que o espaço é uma linguagem comum no uso de SIG, estamos nos referindo ao espaço

computacionalmente representado e não aos conceitos abstratos de espaço geográfico (Câmara *et. al* 2001).

No presente trabalho o uso do geoprocessamento está aplicado no trato de informações ambientais que estão ao alcance do autor, sem abarcar áreas que necessitariam da aplicação de outras disciplinas e, conseqüentemente, de uma equipe multidisciplinar.

Diante das próprias variantes ambientes que se interrelacionam faz com que seja demandado de forma intensiva de técnicas de integração de dados no uso do geoprocessamento, neste caso os estudos ambientais para serem feitos de forma adequada requerem que o especialista em geoprocessamento combine ferramentas de análise espacial, processamento de imagens, geo-estatística e modelagem numérica de terreno (Câmara e Monteiro, 1998).

2.2 Análise de multicritério e álgebra de mapas

A análise de multicritério é um importante instrumento para processos de decisão, através desta metodologia é possível trabalhar variáveis distintas, avaliando suas respectivas características e combinando seus resultados. Esta metodologia está sendo cada vez mais utilizadas em SIGs o que reflete sua aplicabilidade no planejamento territorial.

Para Silva *et. al.* (2004), os modelos de avaliação de multicritérios são facilmente integráveis em SIG e aproveitam as capacidades destes em analisar grandes quantidades de informação sobre o território.

Ao se definir o modelo de avaliação de multicritério é preciso ter conhecimento sobre o objetivo do trabalho e conhecimento sobre os critérios a serem adotados para evitar que se tenham resultados contorcidos da realidade, uma vez que o avaliador ou o grupo de avaliadores podem mensurar de forma diferente os critérios adotados, principalmente em análises subjetivas.

Segundo Moura (2007):

A Análise de Multicritérios é um procedimento metodológico de cruzamento de variáveis amplamente aceito nas análises espaciais. Ela é também conhecida como Árvore de Decisões ou como Análise Hierárquica de Pesos. O procedimento baseia-se no mapeamento de variáveis por plano de informação e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação e de cada um de seus componentes de legenda para a construção do resultado final. A matemática empregada é a simples Média Ponderada, mas há pesquisadores que já utilizam a lógica Fuzzy para atribuir os pesos e notas (Moura, 2007).

Neste trabalho adotou-se a Média Ponderada, que é uma operação que consiste em obter um campo numérico a partir de um campo temático, de tal modo que cada local de uma área de estudo fique associado a um valor, indicando o peso de cada classe temática diante de uma operação quantitativa que se deseja modelar (Câmara e Davis 2007).

A figura 4 apresenta uma operação de ponderação para confecção de um mapa de solos “ponderado”, com a distribuição de pesos para cada classe de solos (campos temáticos) e seus respectivos pesos.

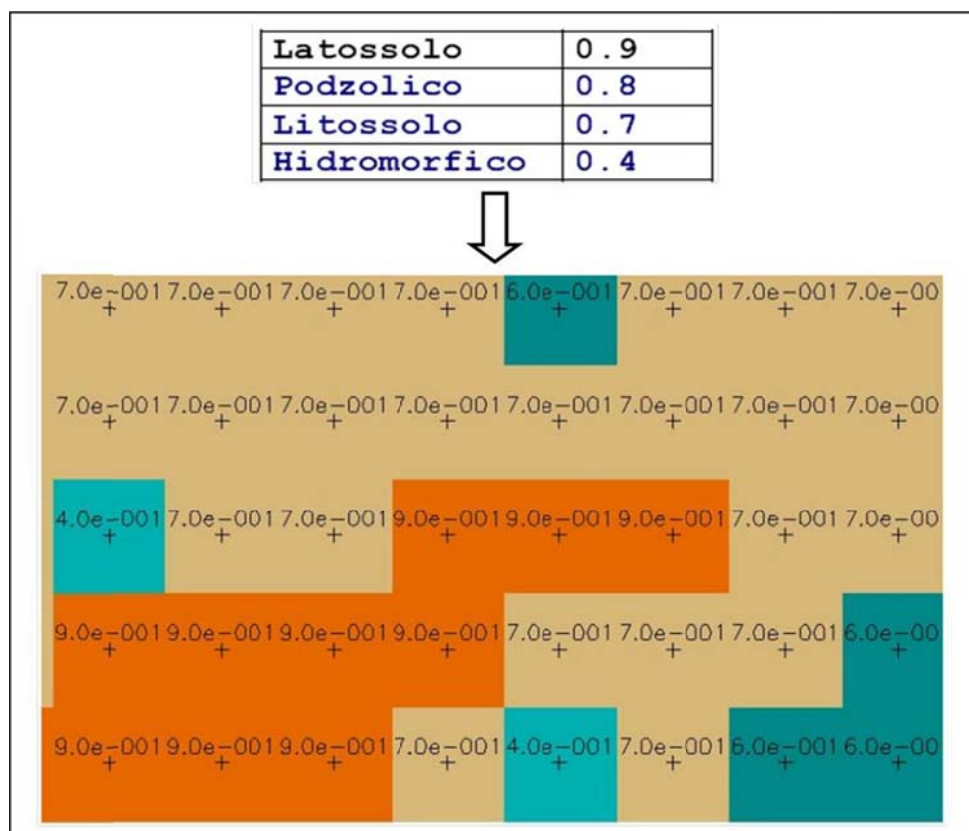


Figura 4 - Exemplo de modelo de ponderação (Câmara e Monteiro, 2007)

Neste trabalho a análise de multicritério sobre as variáveis adotadas resultaram em arquivos rasters padronizados com o mesmo tamanho de célula de modo que o todo o conjunto de informações fossem processadas através de técnicas matemáticas realizadas automaticamente pelo software Arcgis 9.3, originando então a álgebra de mapas.

De modo geral, a álgebra de mapas é o processo que analisa o valor de cada pixel de um arquivo raster e através de operações matemáticas geram produtos cartográficos novos, contendo as informações para a análise e planejamento do objeto de estudo. Este procedimento se assemelha com a técnica de sobreposição de imagens, conforme exemplo demonstrado na figura 3.

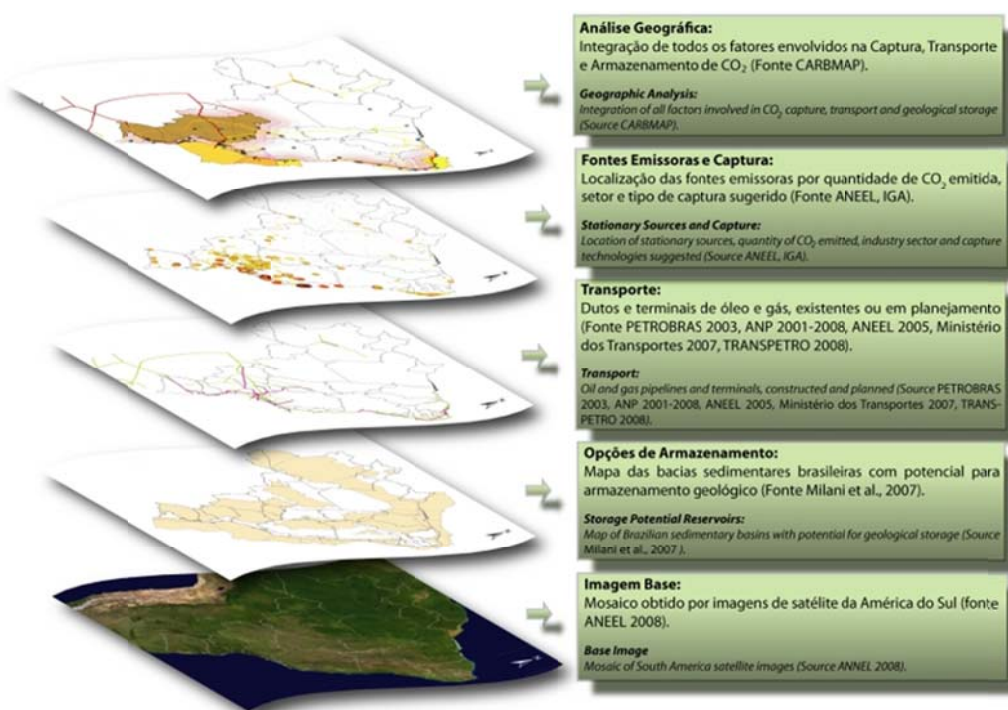


Figura 5 - Modelo de sobreposição de imagens (Planos de Informação Geográfica) - CEPAC/RS⁴

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Tratamento das bases cartográficas

A primeira etapa metodologia foi à padronização das bases cartográficas utilizadas neste trabalho, tendo em vista a diversidade dos sistemas de coordenadas utilizados. As bases

⁴ Disponível em: http://www.pucrs.br/cepac/index_br.php?p=programas; acesso em 16/11/2015.

cartográficas foram padronizadas para o Sistema SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000), tendo em vista que este será o Sistema de Projeção padrão utilizado no Brasil⁵.

As alterações nos sistemas de coordenadas das bases cartográficas foram realizadas através das ferramentas *Projections and Transformations - Define Projection*, do software ArcGIS 9.3.

Em seguida foi criado um polígono abrangendo uma área de 39.281ha e a partir deste polígono foram extraídos somente os dados de toda a base cartográfica utilizada coincidente com a área do polígono. Para a realização deste procedimento foi utilizada a ferramenta *Clip*, presente no menu do Analyst Tools em Arctoolbox (figura 6).

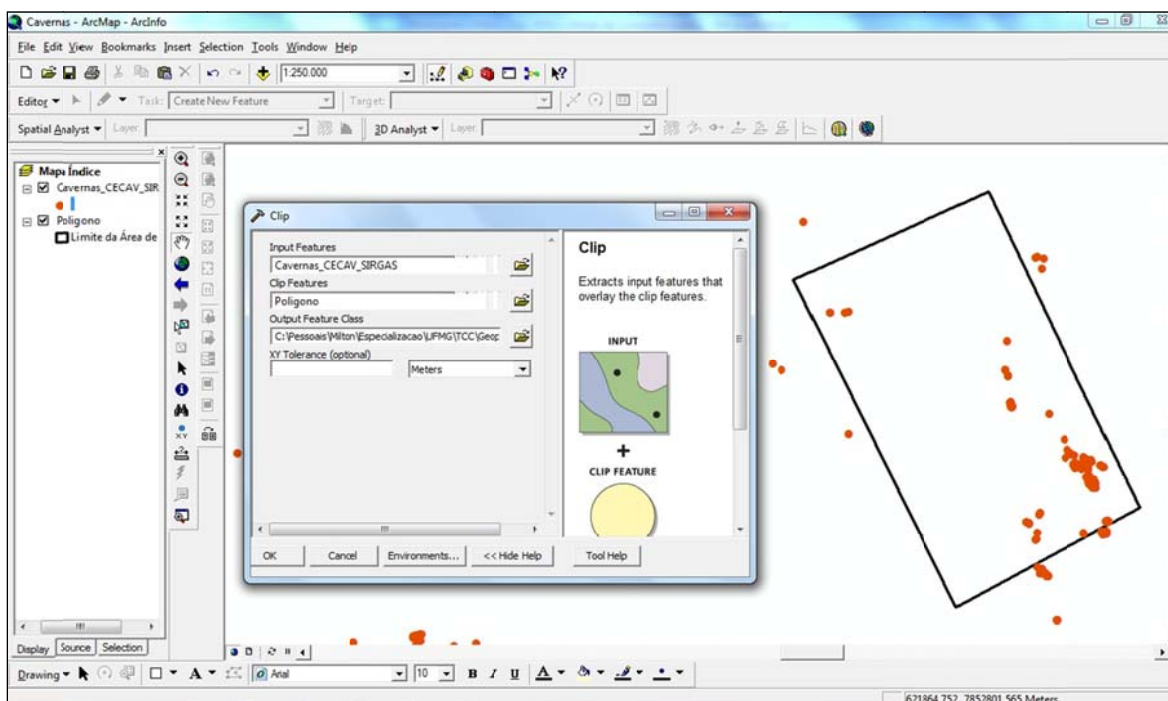


Figura 6 - Procedimento para extração dos dados de interesse para a área de estudo - adoção da ferramenta "Clip"

⁵ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm#1>; acesso em 25/10/2014.

3.2 Definição da área

Os principais fatores que influenciaram na definição da área de estudo foram: projeto rodoviário implantado recentemente em uma área de conhecimento e a presença de uma diversidade de fatores ambientais, tais como presença de rios, cavernas, vegetação especial como os campos rupestres sobre quartzito, dentre outros que influenciam na implementação de um projeto rodoviário.

Após a definição dos fatores para escolha da área de estudo, identificou-se o projeto implantado recentemente no trecho de ligação entre a rodovia MG 010 no distrito Cardeal Mota (Serra do Cipó) e sede urbana do município de Santana do Riacho. .

A figura a seguir ilustra a área de estudo, que corresponde a parte do município de Santana do Riacho, em destaque na figura estão o vale do Rio Cipó e a parte da Serra do Espinhaço.

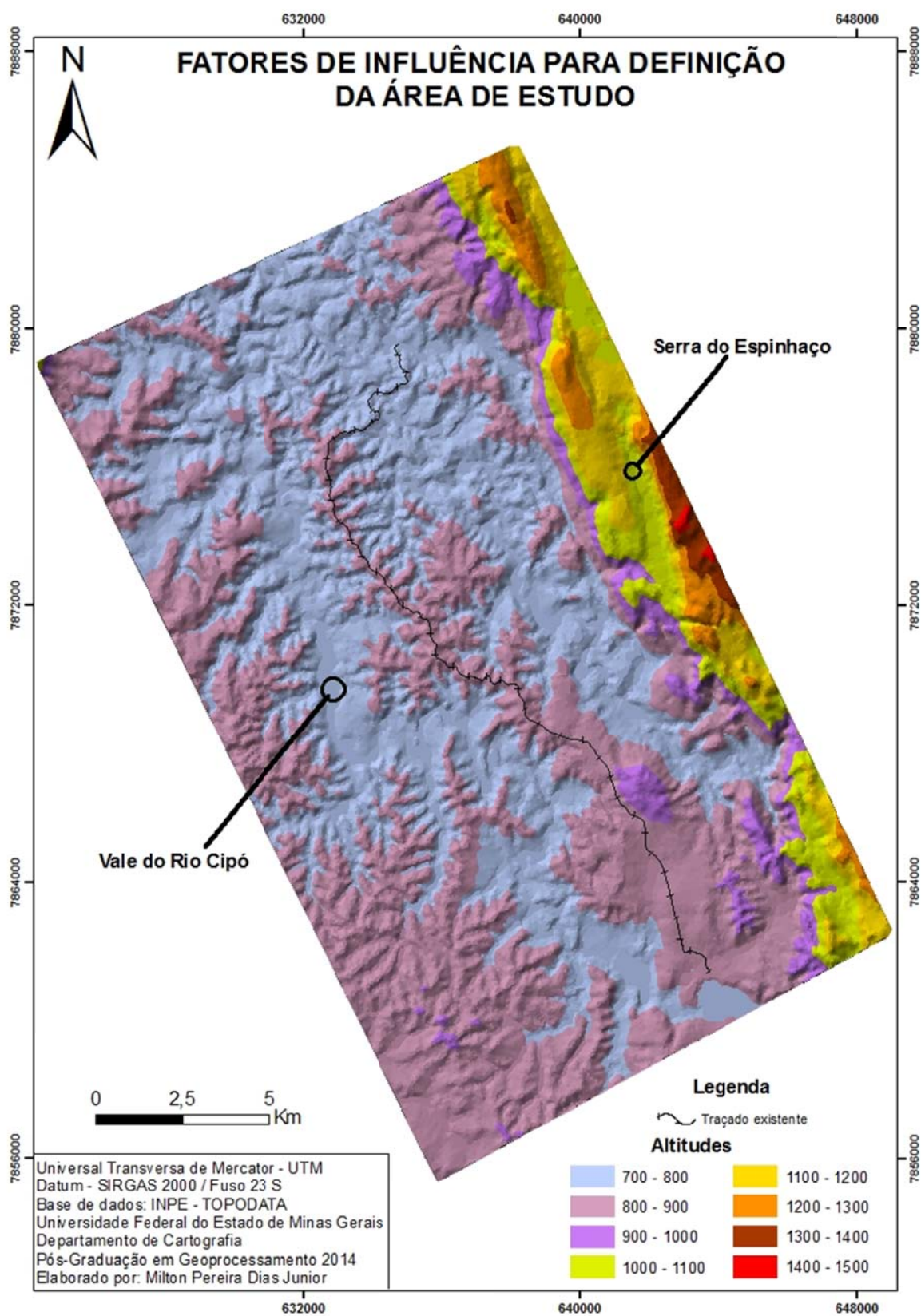


Figura 7 - Demonstração dos fatores de influência para a definição da área de pesquisa

3.3 Elaboração de mapas temáticos e criação de rasters

Nesta etapa foram definidos os elementos ambientais que oferecem restrições importantes na definição de traçados rodoviários, posteriormente, foram gerados layers de cada um deles. A definição dos elementos restritivos neste trabalho é conservadora, tendo em vista que ainda há vários outros importantes elementos que influenciam a tomada de decisão em um projeto. Porém, considera-se que para a natureza deste trabalho os elementos são suficientes para demonstrar a aplicabilidade do geoprocessamento e de técnicas de análise de multicritério para esta finalidade.

Foram geradas as seguintes camadas correspondentes a cada uma das variáveis ambientais:

- APPs de Cursos d'água: obtidas através da base cartográfica disponibilizada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM;
- Cobertura do solo: adquirido do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado de Minas Gerais - ZEE-MG;
- Declividade: adquirido da CPRM - Biodiversidade;
- Espeleologia - cavernas cadastradas pelo CECAV-IBAMA: por ser este um tema de grande impacto na execução do projeto, foi consultada a base do CECAV-IBAMA e houve a ocorrência de cavernas na área, foi gerado um *buffer* de 250m conforme preconiza a legislação.
- Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço (RESBIO): por estar na área de influência deste estudo, gerou-se uma layer onde constam as respectivas zonas da RESBIO na área de influência do projeto;
- Unidades de Conservação: utilizadas através das bases georreferenciadas disponibilizadas pelo IBAMA;

As camadas geradas foram convertidos para raster através da ferramenta *Features to Raster*, em seguida foram atribuídas notas para as respectivas classes de cada um dos rasters, com o uso da ferramenta *Reclassify* do menu *Spatial Analyst*. As notas atribuídas a variam de 1 a 5, sendo a de menor valor correspondente a menor restrição e a de maior valor correspondente a restrição mais crítica.

3.4 Análise Integrada - Distribuição dos pesos

Para padronizar a análise das variáveis cada uma delas foi dividida em cinco categorias correspondentes ao grau de restrição. Para esta categorização buscou-se em primeiro lugar associar as notas em conformidade com a legislação pertinente para cada variável, concomitantemente com a visão técnica.

A discriminação das notas e o seu nível de representatividade estão apresentados no quadro 1, onde é possível observar que quanto menor a nota menores as restrições, havendo um aumento gradativo das restrições proporcionalmente com o aumento das notas.

Quadro 1 - Distribuição de notas

Notas	Descrição
1	Ótimo
2	Bom
3	Regular
4	Ruim
5	Inviável

3.4.1 Declividade

A distribuição das notas foi baseada nas classes de declividade do estudo de Geodiversidade da CPRM.

Quadro 2 - Notas para declividade

Notas	Declividade (°)	Classificação do Relevo
1	0-3°	Plano
2	3-10°	Domínio de colinas amplas e suaves
3	10-20°	Domínio de colinas dissecadas e de morros baixo
4	20-35°	Domínio de morros e de serras baixas
5	35-45°	Domínio montanhoso

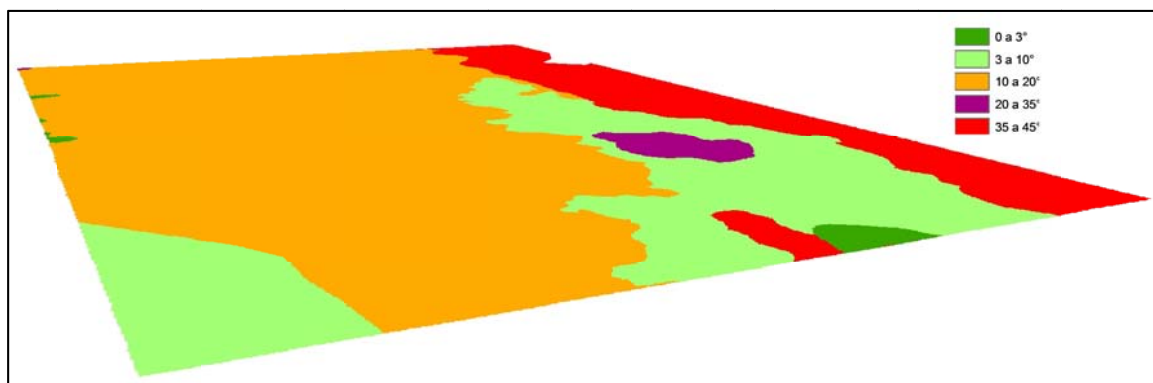


Figura 8 - Superfície gerada de declividade

3.4.2 Cobertura do solo

Quadro 3 - Notas para cobertura do solo

Notas	Tipologias
2	Campo
2	Campo Cerrado
3	Cerrado
3	Eucalipto
4	Água
4	Floresta
4	Urbanização
5	Campo Rupestre

Nota-se que algumas tipologias receberam a mesma nota mesmo apresentando importâncias ambientais diferentes, como é o caso da tipologia floresta e urbanização ou cerrado e eucalipto. Porém considerou-se fatores como as modificações socioeconômicas e os entraves em afetar diretamente uma área produtiva, como é o caso do eucalipto, resultando nos valores apresentados no quadro 3, gerando notas semelhantes entre tipologias distintas.

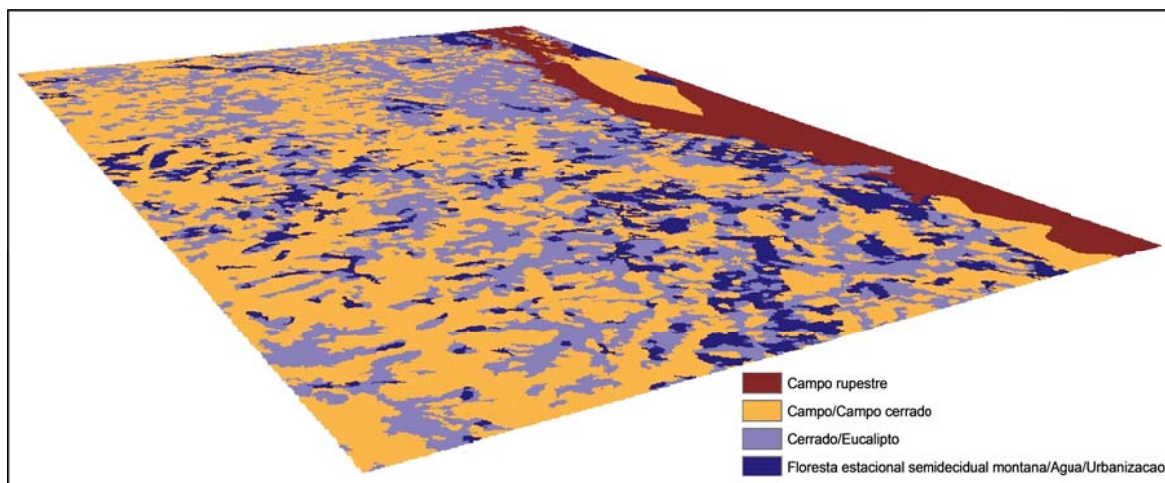


Figura 9 - Superfície gerada da cobertura do solo

3.4.3 APPs de cursos d'água

Quadro 4 - Notas APPs de curso d'água

Notas	Descrição
3	APP

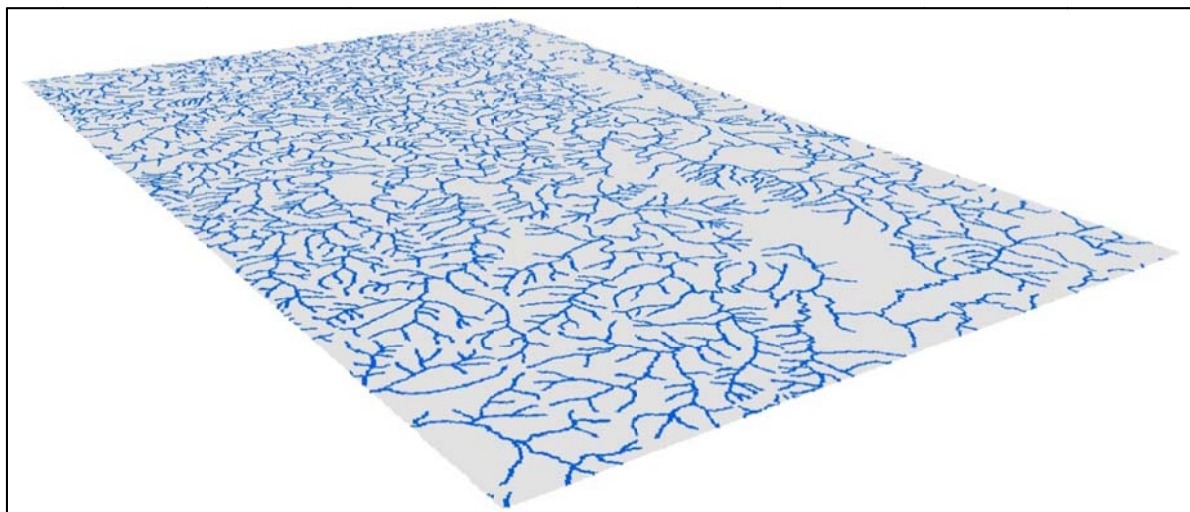


Figura 10 - Superfície gerada das áreas de APP de curso d'água - buffer 30m

3.4.4 Unidades de Conservação

Quadro 5 - Notas para classes de Unidades de Conservação

Notas	Unidades de Conservação
4	Uso Sustentável
5	Proteção Integral



Figura 11 - Superfície gerada das Unidades de Conservação

3.4.5 Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço

Quadro 6 - Notas para Reserva da Biosfera do Espinhaço

Notas	Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço
3	Zonas de Transição - sem limites rigidamente definidos, envolvem as zonas de amortecimento e núcleo. Destinam-se prioritariamente ao monitoramento, à educação ambiental e à integração da Reserva com o seu entorno, onde predominam áreas urbanas, agrícolas, extrativistas e industriais.
3	Zonas de Amortecimento – estabelecidas no entorno das zonas núcleo, ou entre elas, tem por objetivos minimizar os impactos negativos sobre estes núcleos e promover a qualidade de vida das populações da área, especialmente as comunidades tradicionais.
4	Zonas Núcleo – sua função é a proteção da paisagem natural e biodiversidade. Correspondem às Unidades de Conservação de proteção integral como Parques e Estações Ecológicas.

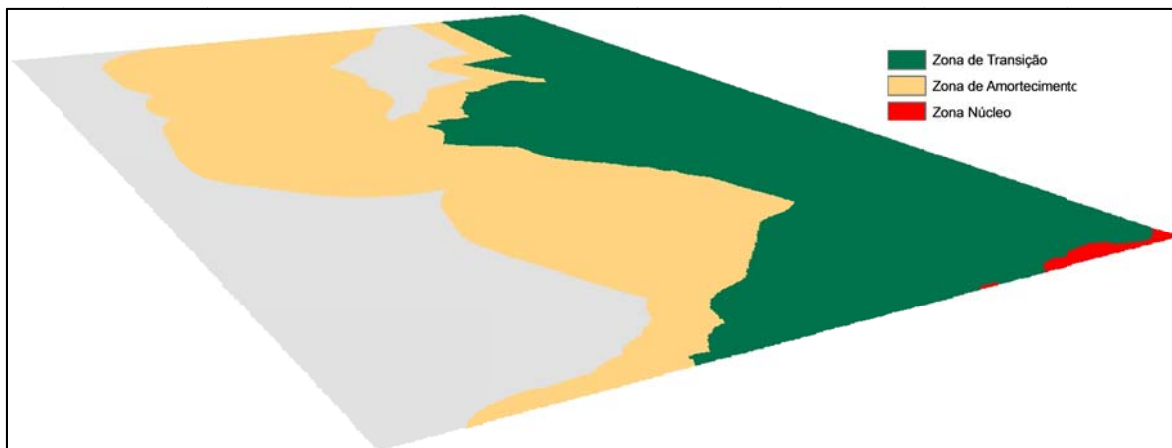


Figura 12 - Superfície gerada das zonas da Reserva da Biosfera do Espinhaço

3.4.6 Espeleologia - cavernas cadastradas pelo CECAV-IBAMA

Quadro 7 - Notas para cavernas

Notas	Cavernas
5	Cavernas (buffer 250m)

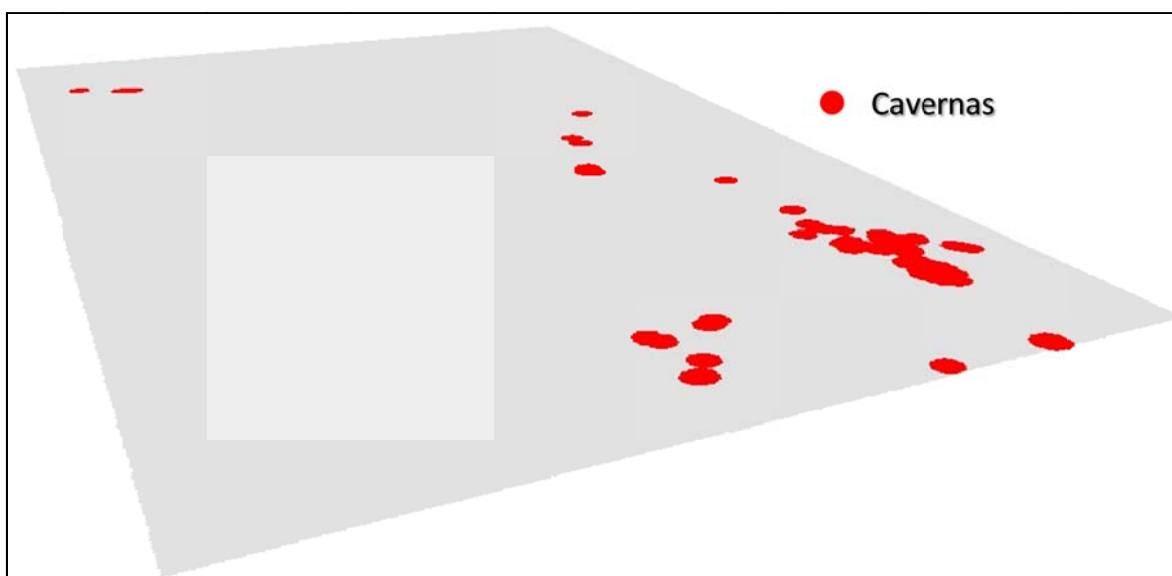


Figura 13 - Superfície gerada das cavernas cadastradas na área de estudo

3.4.7 Resultados obtidos

Atribuídas as notas na etapa da análise integrada em todas as variáveis selecionadas foi realizado o procedimento de atribuir um peso para cada raster correspondendo a importância de cada um deles para o objetivo do estudo.

De forma simplificada foi atribuído a cada raster um valor em porcentagem de modo que a soma total fosse 100%, conforme demonstrado no quadro a seguir.

Quadro 8 - Distribuição de pesos para classificação da área de estudo

Raters	Pesos
APP de curso d'água	20,00%
Cavernas	35,00%
Cobertura do Solo	5,00%
Declividade	15,00%
Unidades de Conservação	20,00%
Zonas da Reserva da Biosfera do Espinhaço	5,00%
Soma Total	100,00%

Os pesos apresentados no quadro anterior foram atribuídos somente de forma representativa, mesmo buscando representar da forma mais fidedigna possível o grau de influência de cada uma das restrições, com intuito de demonstrar a aplicabilidade da metodologia.

A figura a seguir demonstra a realização do procedimento que se deu através da ferramenta *Raster Calculator*.

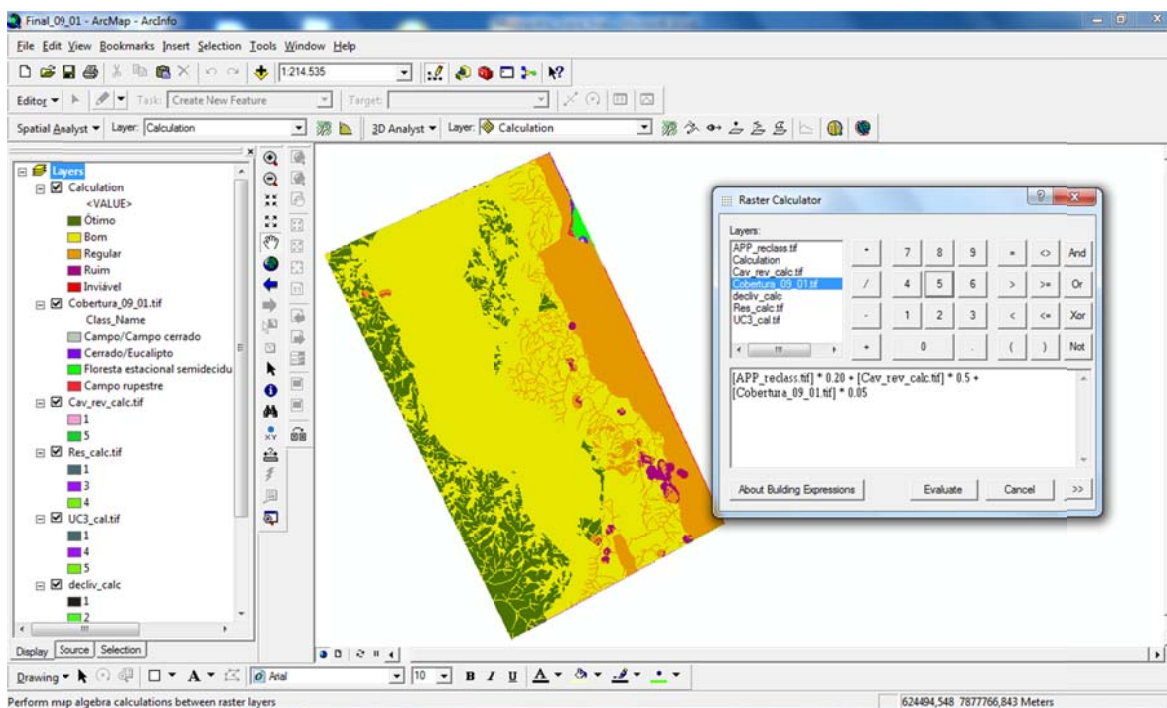


Figura 14 - Procedimento de uso da ferramenta Raster Calculator

A figura a seguir representa a álgebra de mapas no processo para cruzamento dos dados de cada raster gerado no estudo.

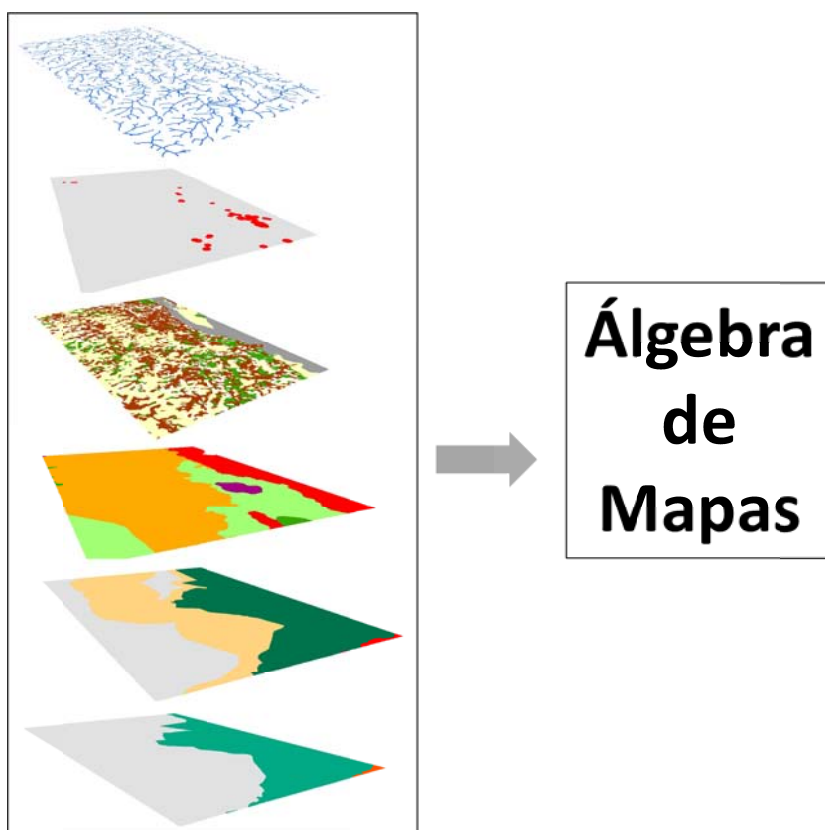


Figura 15 - Representação da álgebra de mapas dos rasters gerados no estudo

3.5 Alterações na metodologia prevista inicialmente

Durante o desenvolvimento do trabalho a metodologia sofreu algumas modificações do que foi previsto inicialmente, conforme será descrito a seguir.

Um dos fatores que motivou alterações na metodologia foi o uso das imagens de satélite Rapideye, cedidas cordialmente pelo Instituto Estadual de Floresta - IEF (MG). A princípio buscou-se criar o mosaico de imagens e a classificação da cobertura do solo no software Spring 5.2, porém, o resultado final apresentou diversos “ruídos” que impossibilitaram a continuidade do trabalho. Uma segunda tentativa foi feita no software Envi 4.5, que apresentou resultados melhores do que o software anterior, porém, a classificação final da cobertura do solo não se demonstrou confiável principalmente por ter identificado a tipologia de campo rupestre sobre quartzito em área de campo, o que poderia causar erros inaceitáveis para a análise.

A alternativa encontrada frente os imprevistos ocorridos no processo de obtenção da cobertura do solo através das imagens Rapideye foi a adoção do mapeamento da cobertura do solo do ano de 2009 disponibilizado no site do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado de Minas Gerais - ZEE-MG. Este material apresentou uma qualidade regular, tendo em vista que algumas áreas não foram mapeadas, neste caso foi realizado o processamento manual de complementação da cobertura vegetal.

4. RESULTADOS

Através das características das restrições avaliadas foi possível deduzir quais seriam as áreas de menor e as de maiores restrições para projetos rodoviários. As áreas de maiores declividades atreladas a regiões com maior número de cavernas e os campos rupestres já indicavam que a borda leste da área de estudo apresentaria as maiores restrições.

As áreas menos restritivas foram às áreas da margem esquerda e do centro da área de estudo, conforme apresentado na figura a seguir.

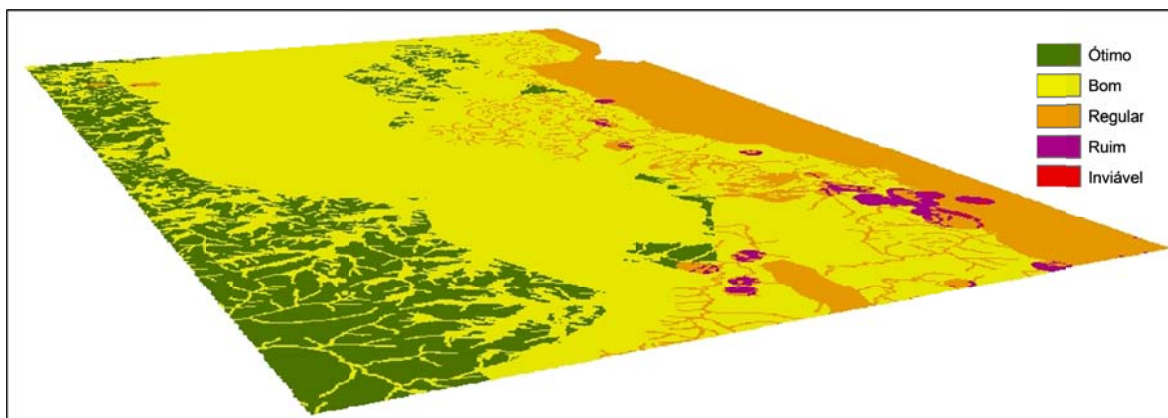
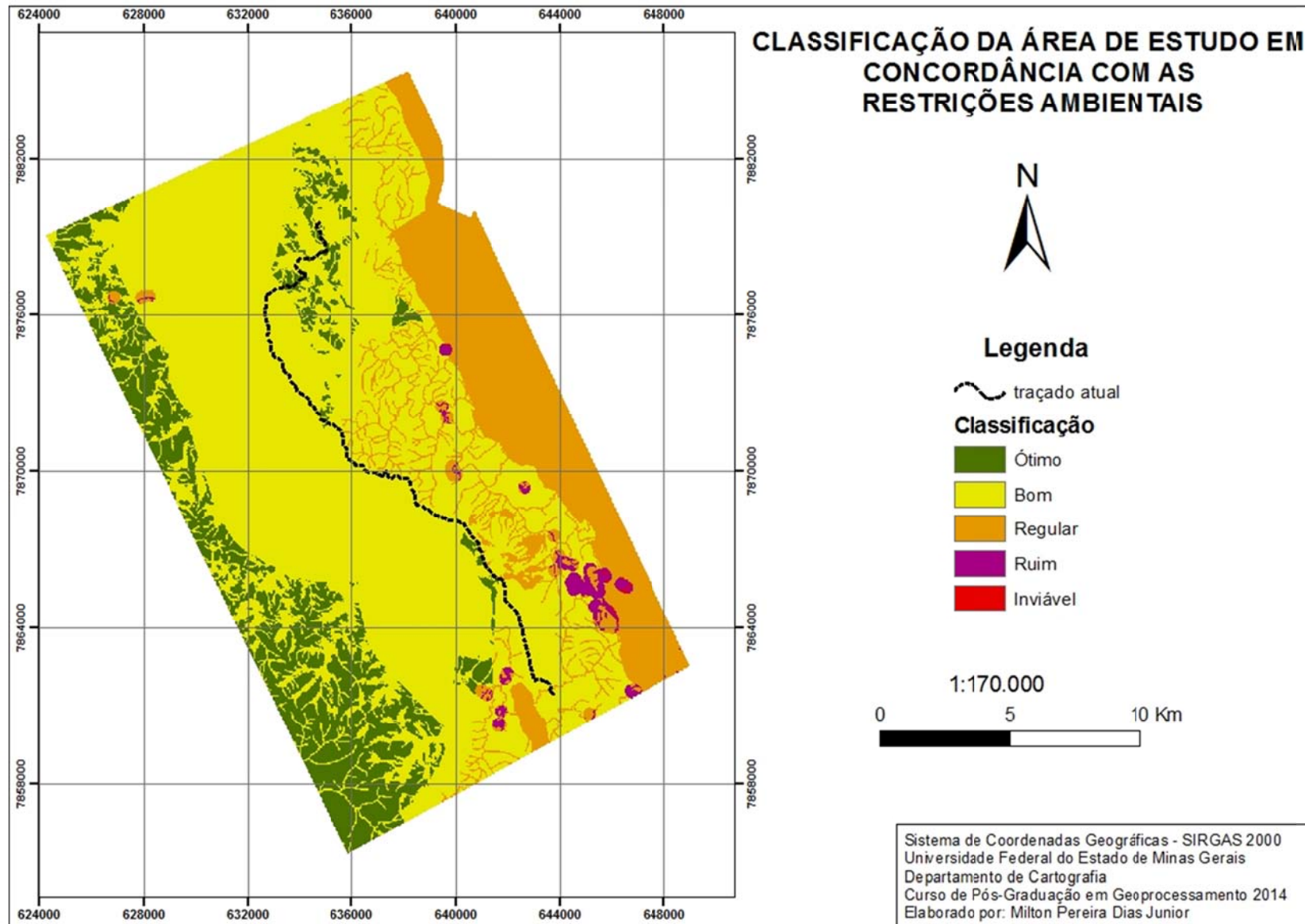


Figura 16 - Superfície final do estudo

O resultado final demonstra que o traçado existente foi implantado em uma área entre as classificações “ótimo” e “bom”, conforme demonstrado na figura a seguir.



5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que apesar da simplicidade do procedimento metodológico adotado é possível realizar uma análise por meio da identificação de restrições ambientais que possa ser útil em desenvolvimento de projetos rodoviários.

É de conhecimento que existam outras variáveis importantes que devem ser consideradas na realização de trabalhos desta natureza, porém não foi intenção aqui de esgotar todas as variáveis, mas sim demonstrar a aplicabilidade da adoção de técnicas de geoprocessamento na análise do espaço geográfico.

A contribuição de outros profissionais na definição dos pesos dados para cada variável poderia agregar uma maior precisão no resultado final, apesar da classificação ter-se baseado também nos requisitos legais da legislação pertinente que determina, por exemplo, a distância mínima que se deve adotar em relação às cavidades.

Foi possível verificar que o traçado existente está contido na faixa definida como boa, e que esta se refere a uma superfície com boas condições para implantação do projeto viário em relação às restrições ambientais, estando distante principalmente da concentração de cavernas, das áreas mais íngremes e dos campos rupestres sobre quartzito.

Para trechos virgens alvos de projetos rodoviários os resultados gerados serviriam para nortear a tomada de decisão e a atuação das equipes de engenharia.

Apesar deste trabalho se concentrar a nível local, no interior do estado de Minas Gerais, espera-se que ele tenha desdobramentos, que seja aperfeiçoado, e que possa a ser aplicado futuramente a nível nacional, acompanhando as tendências e demandas, principalmente do PNLT do Governo Federal que tem um horizonte de implementação até o ano de 2023.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CÂMARA, G. e MEDEIROS, J.S. Geoprocessamento para Projetos Ambientais. São José dos Campos: INPE, 1998. 2ª ed. Revisada e Ampliada.

CAMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>; acesso em 15/10/2014.

CAMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). Introdução à ciência da geoinformação. Cap. Álgebra de Mapas. São José dos Campos: INPE, 2007. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap8-algebra.pdf>; acesso em 10/10/2014.

CECAV. Base de dados. Brasília, CECV, 2011. Disponível em: www.icmbio.gov.br/cecv. Acesso em: 02 Out. 2014.

CEPAC/RS. Mapa Brasileiro de Captura, Transporte e Armazenamento Geológico de CO₂. Disponível em: http://www.pucrs.br/cepac/index_br.php?p=programas; acesso em 16/11/2015.

Departamento de Estrada de Rodagem do Estado de Minas Gérias - DER: <http://www.der.mg.gov.br/saiba-sobre/caminhos-de-minas>; acesso em 28/09/2014.

Departamento de Estrada de Rodagem do Estado de Minas Gérias - DER. Rodovias. Disponível em: <http://www.mg.gov.br/governomg/portal/m/governomg/conheca-minas/5662-rodovias/5146/5044>; acesso em 30/10/2014.

EMBRAPA. Matopiba, a Nova Ousadia da Agricultura Brasileira. Matéria disponível em: https://www.embrapa.br/sala-de-imprensa-artigos/-/asset_publisher/D02sE8gXQO4I/content/id/1705615; acesso em 07/01/2015.

ESTADÃO. A Nova Fronteira Agrícola Brasileira Perde em Competitividade. Matéria disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/negocios,nova-fronteira-agricola-brasileira-perde-em-competitividade,1601265>; acesso em 07/01/2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. Cidades. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=315900>; acesso em 26/11/2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Manuais Técnicos em Geociências. Rio de Janeiro, 1992. vol .

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. Mapas Interativos. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_interativos/; acesso em 05/09/2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. Perguntas Frequentes. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm#1>; Acesso em 25/10/2014.

Ministério dos Transportes. Relatório Executivo do Plano Nacional de Logística e Transporte (PNLT). Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/public/arquivo/arq1352743917.pdf>; Acesso em: 10/11/2014.

MOURA, Ana Clara M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2899-2906.

Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço. Disponível em <http://www.biodiversitas.org.br/rbse/>. Acessado em 20 de outubro de 2014.

ROSA, J. G. Grande Sertão: Veredas. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2006.

Secretaria de Estado de Turismo - MG. Circuito Turístico do Parque Nacional da Serra do Cipó. Disponível em: <http://www.turismo.mg.gov.br/circuitos-turisticos/lista-de-circuitos/974-circuito-turistico-parque-nacional-da-serra-do-cipo->; acesso em 10/11/2014.

SILVA, A. N. R et al. SIG: uma plataforma para a introdução de técnicas emergentes no planejamento urbana, regional e de transportes. 1 ed. São Carlos, SP: Editora dos Autores, 2004. 227p.