



Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências
Departamento de Cartografia
Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas
Ambientais

José Irley Ferreira Júnior

**MODELAGEM DE DADOS GEOGRÁFICOS PARA A
DEFINIÇÃO DO CORREDOR DO RODOANEL DA
REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE: O
CASO DA ALÇA SUL**

Belo Horizonte
2016

José Irley Ferreira Júnior

**MODELAGEM DE DADOS GEOGRÁFICOS PARA A DEFINIÇÃO
DO CORREDOR DO RODOANEL DA REGIÃO
METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE: O CASO DA ALÇA
SUL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo A. A. Nóbrega

Co-Orientadora: Profa. Dra. Leise Kelli de Oliveira

Belo Horizonte
Instituto de Geociências – UFMG
2016

Tese intitulada *Modelagem de Dados Geográficos para a Definição do Corredor do Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte: O Caso da Alça Sul*, de autoria do mestrando José Irley Ferreira Júnior, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais do Instituto de Geociências da UFMG como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof. Dr. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega – IGC/UFMG
Orientador

Prof. Dr. Marcelo Antônio Nero – IGC/UFMG

Prof. Dr. Marcelo Tuler de Oliveira – CEFET/MG

Prof. Dr. Renato Guimarães Ribeiro – CEFET/MG

Belo Horizonte, 23 de fevereiro de 2016

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação ao meu querido e amado pai (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela força dada nestes dois difíceis anos da minha vida. Sem Ele nada seria possível!

Agradeço a minha amada esposa e ao meu filho Joaquim que está chegando para alegrar ainda mais a família. Obrigado meu amor, por compreender os períodos de ausência e de cansaço que dificultavam nosso diálogo e por saber que este passo está sendo tomado em prol da subida de mais um degrau em minha carreira profissional e de nossa família. Obrigado por me apoiar e ser uma verdadeira companheira independente dos momentos.

Obrigado mãe e pai (*in memoriam*) pelo amor compartilhado desde o meu nascimento. Agradeço pela educação, muitas vezes rígida, mas necessária, ensinada ao longo dos anos. Espero responder a cada dia por tudo que fizeram por mim. Agradeço a minha irmã por torcer pela minha vitória e pelos diálogos que me fizeram refletir e crescer como pessoa.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega ou simplesmente Sal, pelos conselhos acadêmicos dados, pelos textos corrigidos e conversas formais e informais. Obrigado também a sua esposa, Liria, que proferiu apoio a mim e minha família em momentos delicados.

Muito obrigado ao CEFET-MG, especialmente aos professores, funcionários e estagiários do Departamento de Engenharia de Transportes pelo apoio e diálogos que ajudaram em muito a elaboração deste trabalho.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da UFMG pela possibilidade de realizar este curso e abrir caminhos para novos desafios. Obrigado a Secretária Pâmela Siqueira por me ajudar nos prazos de entrega de documentos, aos professores, colegas e demais funcionários desta instituição que realmente é um ícone de boa qualidade de ensino e pesquisa na educação do país.

EPÍGRAFE

Tudo posso naquele que me fortalece (Fp 4:13)

RESUMO

Medidas de planejamento em transporte no Brasil não são atuais. O desafio de desenvolver uma malha de transportes no interior do país teve início durante o período colonial, ainda com apoio de técnicas rudimentares de planejamento e de implementação dos projetos. No cenário atual, embora o planejamento de transportes esteja apoiado por recursos informatizados, o processo de decisão depende exclusivamente de operações e interpretações manuais. O processo tem se mostrado frágil e deficiente quando confrontado com a demanda atual das políticas pública, de transportes e ambiental. O recente crescimento econômico do país mobilizou o desenvolvimento de projetos de infraestrutura de transportes, em sua ampla maioria implementados sem a preocupação com o emprego de técnicas de planejamento adequadas às políticas vigentes no país. Visando oferecer produtos e processos mais abrangentes como suporte ao planejamento de transportes, a comunidade acadêmica tem se debruçado nas últimas décadas no aperfeiçoamento de modelos de suporte a decisão com base em geoprocessamento, ampliando o tradicional espectro das análises de custo-benefício para análises complexas de estudos de viabilidade e cenários preditivos. O desafio do planejamento tem sido a busca por soluções eficientes e sustentáveis que promovam o projeto da infraestrutura de transporte através do equilíbrio entre os interesses divergentes da perspectiva de proteção ambiental, de planejamento urbano, da economia regional, resguardando questões chave como a eficiência logística e a segurança.

Este trabalho aborda uma investigação realizada junto a um projeto vigente do Rodoanel-Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). A proposta integra inteligência geográfica na modelagem de soluções para a modernização do processo de planejamento de transportes. O objetivo foi desenvolver uma solução multivariada, recorrendo a 21 variáveis organizadas em 4 cenários, sendo: Biofísico, Mercadológico/Suporte Logístico, Restrições Ambientais e Socioeconômico. A solução apresenta um modelo que agrega análise multicriterial, apoiada na técnica *Analytic Hierarchy Process* (AHP), a um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e aplicativo de Modelagem. A área de estudo apresenta terreno com declividade elevada, contém unidades de conservação ambiental, concentra áreas rurais e áreas com densidade populacional elevada, possui importantes parques industriais e áreas de interesse minerário, e engloba a conexão entre a BR040 e a BR381, duas das mais movimentadas rodovias do estado. A região tem sido alvo de fortes

pressões e conflitos de interesse pela necessidade de expansão urbana, simultaneamente, de proteção ambiental, onde as autoridades de transporte admitem a necessidade de uma solução logística para aliviar o então saturado anel rodoviário da RMBH.

Os resultados mostram que a abordagem pode automatizar de forma segura o projeto dos corredores de viabilidade com excelente qualidade através da combinação de grande volume de dados e com a participação de um grande número de atores no processo de planejamento. O modelo desenvolvido demonstrou que é possível trabalhar com transparência, uma vez que os dados, as variáveis e as regras devem ser claros e explícitos para facilitar a discussão entre os atores do processo. O modelo também evidenciou que é possível calcular cenários preditivos proporcionando uma visão detalhada das várias condicionantes compreendidas no projeto rodoviário, antes da efetiva fase de construção.

ABSTRACT

The transportation planning process is not recent in Brazil. The challenge in extend the transportation infrastructure inward the country was originated during the colony era, which employed rudimentary techniques for planning and construction. Today, besides the transportation planning is been supported by computational resources, the decision making process relies on the dependency for manual operation and interpretation. This process is fragile and deficient when facing the current public, transportation and environmental policies. The recent economic growth in Brazil pushed the country to develop transportation infrastructure projects, most of them implemented without concerning techniques of planning that meet the existing policies. In order to address broad solutions to transportation planning, in the past decades researchers have devoted their attention to create and enhance decision support framework coupled to geospatial intelligent models, aiming to expand the traditional spectrum of cost-benefit analyzes for complex assessments of feasibility and predictive scenarios. Thus, the challenge is to provide an efficient and sustainable transportation solution that balances divergent interests from environmental protection, urban planning and regional economic development, regarding transportation efficiency, logistic and safety.

The present work addresses an investigation conducted along to an alive project of metropolitan bypass in Belo Horizonte-Brazil. The objective was to develop a multivariate solution that used 21 variables organized in 4 scenarios: Biophysical, Market_&_Logistics supportive, Socioeconomic and Environmental Limitations. The solution presented a model that integrates a framework for multicriteria decision making, developed using Analytic Hierarchy Process, a Geographic Information System and a platform for geospatial modeling. It enabled to compute a diversity of scenarios derived from concurrent-divergent values and opinions. The study area presents steep terrain, conservation areas and environmental sensitive areas, intermixes rural and developed areas that contain key important industries and mineral prospection sites. The region also encapsulates the junction of BR040 and BR381, two of the most important interstate highways in the state, where pros and cons issues have forced transportation authorities to present a logistic solution to replace the outdated-saturated bypass and junction of interstates highways.

Findings show the approach can automate the delivery of corridors projects with outstanding quality by combining high volume of data and values. Due to the transparency of the data, variables and rules, the model provides a highly adaptable and transferable solution. The model outputs outstanding graphics and quantitative reports that match the rigor of the highway design. The model can compute predictive scenarios, therefore provided basis for a detailed ground environmental impact analysis and basis for mitigation plan prior to engineering construction phase take place.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Planos rodoviários Catramby e Schnoor.....	25
Figura 2: Plano Rodoviário do DNER	27
Figura 3: Mapas das propostas do Sistema Nacional de Viação de 1973. A esquerda a rede ferroviária, ao centro a rede hidroviária e a direita a rede rodoviária.....	29
Figura 4: Fluxo de veículos – Anel Rodoviário, Belo Horizonte, MG	30
Figura 5: Localização do Rodoanel Mário Covas	34
Figura 6: Prolongamento da SP-083 – Anel Viário de Campinas.....	35
Figura 7: Anel viário de Campinas – SP	36
Figura 8: Segmentos do Arco Metropolitano do Rio de Janeiro.....	37
Figura 9: Croqui de localização dos trechos	39
Figura 10: Área urbanizada próxima ao Anel Viário	40
Figura 11: Contorno Oeste Ottomar de Souza Pinto (as setas vermelhas indicam o segmento do anel viário).....	41
Figura 12: Evolução urbana de Feira de Santana – BA. Em vermelho e laranja – áreas mais antigas; em amarelo – áreas mais novas.	42
Figura 13: Sugestão de traçado de Danilo Ferreira para a Rodovia Perimetral Norte – Feira de Santana (BA) (Linha vermelha)	44
Figura 14: Anéis viários de Houston, TX – EUA	45
Figura 15: Anéis viários de Pequim – China	46
Figura 16: Objetos vetoriais discretos.....	50
Figura 17: Objetos contínuos	50
Figura 18: Representação matricial. Cada cor representa um valor diferente de uma variável em escala nominal (dados categóricos) indicando uma classe de cobertura do solo.	51
Figura 19: Representação matricial: alfanumérica e visual	52
Figura 20: Tipos de dados vetoriais	52
Figura 21: Camadas de informações geográficas compostas em SIG	54
Figura 22: Vulnerabilidade de Evacuação na área de Santa Bárbara, Califórnia	58
Figura 23: Papel de um modelo de dados em SIG	59
Figura 24: <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP) – Procedimento do Método AHP (a); Classificação dos atributos em SIG (b)	62

Figura 25: Cenários para implementação de corredor ferroviário	65
Figura 26: Localização da área de estudo e opções de trecho Anel Sul.....	67
Figura 27: Fluxograma metodológico	73
Figura 28: Referência de rampas – (DNER) DNIT.....	80
Figura 29: Fluxograma simplificado do modelo aplicado	84
Figura 30: Exemplos de funtores e reclassificação utilizados.....	85
Figura 31: Exemplo do modelo de esforço aplicável ao esforço acumulado.....	86
Figura 32: Exemplo da implementação do modelo de cálculo de mapa de custo.....	87
Figura 33: Localização dos pontos de origem para mapas de custo	88
Figura 34: Funtores para geração do corredor.....	89
Figura 35: Proposta de corredor considerando o Cenário Biofísico	91
Figura 36: Corredor extraído do cenário biofísico sobreposto a declividade	92
Figura 37: Corredor – Cenário Mercadológico / Logístico.....	94
Figura 38: Corredor – Cenário Restrições Ambientais	95
Figura 39: Corredor – Cenário Socioeconômico.....	97
Figura 40: Corredor – Cenário Biofísico (Alinhamento da BR-040).....	98
Figura 41: Corredor – Cenário Socioeconômico (Alinhamento da BR-040)	99
Figura 42: Corredor X Declividade – Cenário Biofísico	100
Figura 43: Corredor X Declividade – Cenário Biofísico – Cenário Socioeconômico	101
Figura 44: Corredor X Declividade – Cenários de Restrições Ambientais – a) e Mercadológico/Suporte Logístico – b).....	101
Figura 45: Corredores X Variáveis (Área Urbana, UCs e Vegetação) – Biofísico e Socioeconômico	102
Figura 46: Corredores X Variáveis (Área Urbana, UCs e Vegetação) – Restrições Ambientais e Mercadológico/Suporte Logístico	103
Figura 47: Alinhamentos de acordo com o cenário.....	105
Figura 48: Diferença entre os corredores (Legenda na próxima página).....	110
Figura 49: Corredores alternativos com início no Contorno de Betim e fim na BR-040	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Rodovias do Século XIX	23
Tabela 2: Comparação entre representações para mapas temáticos	53
Tabela 3: Escala de comparação par-a-par	62
Tabela 4: Índice de Inconsistência Aleatória.....	64
Tabela 5: Organização da base de dados	71
Tabela 6: Áreas de intervenção (m ²)	106

LISTA DE ABREVIATURAS

- AAE** - Avaliação Ambiental Estratégica
- AHP** - *Analytic Hierarchy Process*
- ANTT** - Agência Nacional de Transportes Terrestre
- APA** - Área de Proteção Ambiental
- APE** - Área de Proteção Especial
- ARTESP** - Agência de Transporte do Estado de São Paulo
- BHTRANS** - Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte S.A.
- CAD** - *Computer Aided Design*
- CECAV** - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas
- CEMIG** - Companhia Energética de Minas Gerais
- CETESB** - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
- CPRM** - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
- CTM** - Cadastro Técnico Multifinalitário
- DER** - Departamento de Estradas de Rodagem
- DERSA** - Desenvolvimento Rodoviário S/A
- Dinamica EGO** - *Environmental Geoprocessing Objects*
- DNER** - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
- DNIT** - Departamento Nacional de Infraestrutura Mineral
- DNIT-GEO** - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte - Geoprocessamento
- DNPM** - Departamento nacional de Produção Mineral
- EPUSP** - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- ESEC** - Estação Ecológica
- FAUUSP** - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo
- FESPSP** - Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo
- GASMIG** - Companhia de Gás de Minas Gerais
- GIS** - *Geographic Information System*
- GIS-T** - Geographic Information System for Transportation
- IBAMA** - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IDE** - Infraestrutura de Dados Espaciais
- IGTEC** - Instituto de Geotecnologia de Minas Gerais

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
LIS - *Land Information System*
MDS - Modelo Digital de Superfície
MONA - Monumento Natural
PAR - Parque Estadual
PIL - Programa de Investimentos em Logística
PNLT - Plano Nacional de Logística e Transporte
PNV - Plano Nacional de Viação
PRN - Plano Rodoviário Nacional
PRODABEL - Empresa de Processamento de Dados do Município de Belo Horizonte S.A.
RMBH - Região Metropolitana de Belo Horizonte
RMSP - Região Metropolitana de São Paulo
RPPN - Reserva Particular do Patrimônio Natural
SIG - Sistema de Informação Geográfica
SNV - Sistema Nacional de Viação
TIGER - Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing
UC - Unidade de Conservação
UFF - Universidade Federal Fluminense
UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro
VALEC - Engenharia, Construções e Ferrovias S/A
ZEE-MG - Zoneamento Ecológico Econômico de Minas Gerais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. Justificativa	19
1.2. Objetivos	20
1.3. Hipóteses do Estudo	20
1.4. Estrutura do Trabalho.....	21
2. RETRATOS DO PLANEJAMENTO DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES RODOVIÁRIO NO BRASIL.....	22
2.1. Contexto dos rodoaneis no Brasil	30
2.1.1. Rodoanel Mário Covas.....	32
2.1.2. Anel Viário José Roberto Magalhães Teixeira	34
2.1.3. Arco Metropolitano do Rio de Janeiro.....	36
2.1.4. Anel Rodoviário de Curitiba	38
2.1.5. Anel Viário de Boa Vista	40
2.1.6. Avenida do Contorno de Feira de Santana	42
2.2. Rodoaneis internacionais	44
2.3. Novas metodologias em transportes.....	46
3. SIG E GEOPROCESSAMENTO EM TRANSPORTES	47
3.1. SIG e Geoprocessamento	47
3.2. Fenômenos Geográficos.....	49
3.3. Estrutura de Dados	51
3.4. Organização das informações geográficas de álgebra de mapas.....	54
3.5. Aplicações de SIG em Transportes	55
3.6. Modelagem em SIG e Análise Multicritério na Análise de Corredores de Transporte	59
4. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA: O RODOANEL DE BELO HORIZONTE	66
5. METODOLOGIA.....	69
5.1. Dados e Construção de Base de Dados	69
5.2. Etapas do Procedimento Metodológico	72
5.3. Preparação Base Cartográfica	74
5.3.1. Variáveis do Cenário Biofísico	75
5.3.2. Variáveis do CenárioMercadológico e Suporte Logístico.....	77
5.3.3. Variáveis do Cenário de Restrições Ambientais	78
5.3.4. Variáveis do Cenário Socioeconômico	78
5.4. Regras de Decisão Intravariáveis	79
5.4.1. Regras de Decisão no Contexto Biofísico	80
5.4.2. Regras de Decisão no Contexto Mercadológico/ Suporte Logístico.....	82

5.4.3. Regras de Decisão para Restrições Ambientais.....	83
5.4.4. Regras de Decisão no Contexto Socioeconômico	83
5.5. Regras de Decisão das Intervariáveis	83
5.6. Regras de Decisão dos Cenários	84
5.7. Implementação do Modelo.....	84
5.7.1. Reclassificação.....	84
5.7.2. Superfícies de Esforço Acumulado.....	86
5.7.3. Superfícies de Custo	87
5.7.4. Corredor.....	89
6. RESULTADOS	90
6.1. Proposta de Corredor considerando o Cenário Biofísico	90
6.2. Proposta de Corredor considerando o Cenário Mercadológico/Suporte Logístico.....	93
6.3. Proposta de Corredor considerando o Cenário de Restrições Ambientais.....	93
6.4. Proposta de Corredor considerando o Cenário Socioeconômico	96
6.5. Propostas de Corredores considerando Cenários Alternativos	96
6.6. Análise de sensibilidade	100
6.7. Alinhamentos hipotéticos.....	104
7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	108
8. CONCLUSÃO.....	113
REFERÊNCIAS	115
APÊNDICES	121

1. INTRODUÇÃO

Medidas de planejamento da infraestrutura de transportes no Brasil não são recentes, e antecedem o surgimento dos veículos automotores. As primeiras iniciativas rodoviárias datam das épocas coloniais, no intuito de abrir estradas carroçáveis em meio o vasto território nacional. Embora com longa história, as dificuldades no desenvolvimento de projetos de infraestrutura de transporte no Brasil, sobretudo as fases de planejamento e de implementação são constantes. O planejamento ineficiente e a não conclusão dos projetos são fatos que, infelizmente, continuam a fazer parte dos projetos no setor de transporte. Como forma de mitigar os frequentes problemas que dificultam a execução dos projetos, o planejamento deve ser abrangente quanto às informações utilizadas, preciso quanto ao processamento e preditivo quanto ao apontamento de cenários futuros e antecipação de problemas e suas soluções.

O recente crescimento econômico do Brasil mobilizou, em massa, o desenvolvimento de projetos de infraestrutura de transportes, em sua maioria implementados sem a preocupação com a modernização das técnicas de planejamento frente à demanda das atuais políticas públicas, de transporte e ambientais vigentes no país. Ainda, a inadequação de grande parte dos projetos quanto a fase de planejamento e a falta de transparência quanto aos dados e métodos empregados nas análises têm causado problemas quanto a natureza técnica e orçamentária das obras, refletindo em aumento do custo e do prazo (Nóbrega, 2013).

Neste sentido, é vital investir esforços na modernização dos procedimentos para o planejamento de transportes, alinhando, de forma integrada, estudos de demanda atuais e futuros, a pluralidade de interesses dos agentes e as condicionantes atrativas e repulsivas para a implementação da infraestrutura. Contudo, como em todo o projeto de engenharia, o planejamento deve visar, simultaneamente, o aumento da qualidade e a redução do custo e do tempo do empreendimento.

No Brasil, por meio do Ministério dos Transportes (2014), há a retomada do processo de planejamento através do Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT), “dotando-o de estrutura permanente de gestão, com base em sistemas de informações georreferenciadas, contendo os principais dados de interesse do setor, tanto na oferta

quanto na demanda." O atual Programa de Investimentos em Logística (PIL) do governo federal, sucessor do PNL T, embora em uma perspectiva macroeconômica, possui também foco no desenvolvimento regional, considerando a territorialidade e os impactos da infraestrutura no desenvolvimento das diversas regiões do país. Desta forma, mais do que nunca, o planejamento de transportes deve ter a flexibilidade para se adaptar as particularidades biofísicas, socioeconômicas e logísticas regionais.

Para que o retorno da atividade de planejamento em transportes, tanto na esfera pública quanto na privada, aconteça, é importante o pensamento sistêmico nos projetos. Assim, é vital que os profissionais envolvidos no processo tomem decisões em conjunto e considerem que as variáveis presentes em todas as fases dos projetos se interajam. Nesse sentido, o modelo de análise multicritério se apresenta como interessante alternativa na tomada de decisões multidisciplinares. A técnica torna possível que diversos atores mostrem seus pensamentos e discutam ações que devem ser tomadas frente ao planejamento. Através da técnica, as prioridades são discutidas e ponderadas com a intenção de alcançar um resultado comum a todas as partes envolvidas, resultando em projetos que denotem custos e benefícios favoráveis.

O modelo de análise multicritério pode ainda receber suporte de técnicas que aprimoram sua aplicação, uma delas é a *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Esta técnica permite que a subjetividade advinda das decisões humanas seja minimizada com a aplicação de regras matemáticas no processo de atribuições de notas as variáveis. O referido modelo tem sido explorado nos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) que permitem a modelagem espacial das variáveis.

Os SIGs exploram a capacidade analítica de processamentos computadorizados, alinhando processamento matemático e gráfico às operações de banco de dados. O SIG possibilita que uma das principais perguntas dos projetos seja respondida: 'Onde?'. Neste caso, são identificadas as relações geográficas dos fenômenos e as suas implicações no encadeamento da tomada de decisão. Modelos de análise multicritério têm sido construídos em SIG transformando dados em informações. Modelos tradicionais podem ser aprimorados em SIG, demonstrando vantagem na utilização deste tipo de sistema.

Atualmente, muitos órgãos públicos disponibilizam variáveis espaciais, por meio das Infraestruturas de Dados Espaciais (IDEs), que subsidiam análises de diversos interessados. Assim, tem aumentado o reconhecimento da informação geográfica e projetos que não se preocupam em utilizar esta ferramenta são considerados como arcaicos. Podem-se citar algumas aplicações do SIG em transportes como transporte público, saúde, segurança, limpeza urbana, defesa civil etc. A proposta deste trabalho explora o emprego de SIG e análise multicritério para a composição de cenários preditivos de viabilidade para a definição de um corredor rodoviário interligando o Contorno de Betim e a BR-040, em Nova Lima, trecho a ser contemplado no projeto do Anel Rodoviário da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH).

Neste contexto, este trabalho visa apresentar e discutir um modelo multicritério geoprocessado. A modelagem catalisou informações públicas disponíveis no Anexo I (Projeto Básico – Termos de Referência) para o estudo do traçado e elaboração do projeto executivo de engenharia para o Contorno Rodoviário Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte, e empregou dados e ferramentas de domínio público para canalizar, qualificar e quantificar a viabilidade regional para a implantação do corredor rodoviário.

1.1. Justificativa

O presente trabalho tem como premissa investigar o corredor de interligação das localidades previstas no Anel Rodoviário Sul da RMBH através do emprego de técnicas avançadas de geoprocessamento e decisão multicritério. O trabalho visa explorar, através de modelagem de dados e SIG, cenários que possam ser integrados de forma a capacitar o planejamento de transportes, de técnicas modernas e eficientes, bem como da transparência quanto a utilização de dados, métodos e regras de decisão. O conhecimento destas ferramentas pelos órgãos públicos pode proporcionar mais eficiência na elaboração, gestão e controle externo de projetos, e, assim, garantir reduções efetivas relacionadas a tempo e custo.

Ainda existe uma dificuldade de interligar o conhecimento acadêmico ao cotidiano das pessoas. No que se trata de infraestrutura rodoviária, uma problemática em nosso país, considera-se que o saber científico contribuirá para apresentar soluções à este setor, da mesma forma que a academia poderá renovar o conhecimento das questões que precisam

ser abordadas no campo da pesquisa. Acerca do uso de ferramentas de geoprocessamento, Bielenki Júnior, Raia Júnior e Silva (2008, p. 3) evidenciam o uso desta tecnologia por pesquisadores desde o final dos anos 1990, todavia a utilização em atividades básicas de planejamento é pouco difundida. Este trabalho poderá proporcionar a divulgação desta ferramenta de forma que a tomada de decisão seja mais estruturada e objetiva.

Acredita-se que os projetos rodoviários precisam ser tratados de maneira sistêmica. A exemplo do Anel Sul - RMBH, questões ambientais são consideradas somente depois que as opções de traçados foram estabelecidas. O SIG e modelagem podem mudar este pensamento introduzindo todas as variáveis possíveis no estudo de corredor, colocando à mesa os atores envolvidos no processo.

1.2. Objetivos

O objetivo geral deste estudo é realizar a modelagem geográfica de dados através do Modelo de Análise Multicritério, utilizando a técnica AHP, e considerando variáveis ambientais, mercadológicas, socioeconômicas e logísticas como suporte à definição do corredor viário do Rodoanel Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Em relação aos objetivos específicos, estes listam como:

- Promover o uso do SIG e da modelagem geográfica de sistemas para projetos de engenharia, sobretudo rodoviária;
- Promover a modernização e enriquecimento das técnicas de planejamento de transportes;
- Identificar variáveis presentes no trecho estudado além das que foram constatadas no Termo de Referência do Rodoanel Sul da RMBH;
- Contribuir bibliograficamente com os estudos de corredores viários no Brasil.

1.3. Hipóteses do Estudo

São fatos considerados neste trabalho:

- Grande número de variáveis envolvidas no processo de planejamento de transportes atual;
- Necessidade de modernizar o processo de planejamento de transportes;

- Necessidade de redução do custo e do prazo de execução sem prejuízo na qualidade do projeto;
- Necessidade de transparência no emprego de variáveis e regras para a tomada de decisão.

Postos os fatos, a hipótese a ser avaliada neste trabalho é a viabilidade da modelagem de um sistema de suporte à decisão para definição de alternativas de traçado de corredores para a implementação da alça sul do rodoanel da RMBH. O modelo deve integrar as variáveis necessárias para compatibilidade com as atuais leis de política pública e de transportes, oferecer transparência no processo e promover a redução do tempo e custo do planejamento, bem como aumento da qualidade do produto.

Acredita-se que as propostas de corredores gerados pela modelagem, considerará, com maior complexidade, as variáveis contidas nos termos de referência, e que o trabalho demonstrará a efetiva abordagem sistêmica dos elementos.

1.4. Estrutura do Trabalho

Após esta seção introdutória, o capítulo 2 apresenta um o panorama da infraestrutura de transportes rodoviários no país, inicialmente sob uma perspectiva geral da malha viária e, posteriormente, um olhar específico para o quadro atual dos anéis viários integrantes de áreas urbanas. O Capítulo 3 aborda o conceito em geoprocessamento e seu emprego no setor de transportes e a fundamentação teórica do modelo de análise multicritério e sua implementação em SIG, conceituando a técnica de suporte a decisão hierárquica (AHP – *Analytic Hierarchy Process*) implementada e utilizada neste trabalho. O Capítulo 4 caracteriza o objeto de estudo abordando sua localização, a questão do quadro atual do Anel Rodoviário de Belo Horizonte e trechos alternativos gerados para o Rodoanel Sul por empresas consultoras de engenharia. O Capítulo 5 trata acerca da metodologia empregada seguindo para os Resultados, a discussão destes e conclusão.

2. RETRATOS DO PLANEJAMENTO DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES RODOVIÁRIO NO BRASIL

O transporte rodoviário no país passa por momentos difíceis desde o período colonial. Portugal não tinha interesse em investir em infraestrutura rodoviária terrestre, pois não se esperava retorno monetário da colônia. Segundo Seman (2010, p. 3):

No Brasil Colonial, a má situação econômica de Portugal, aliada ao desinteresse na aplicação de recursos para o desenvolvimento de uma colônia que não aparentava proporcionar o retorno financeiro imaginado, acarretou um sistema muito precário de vias terrestres. Os caminhos abertos no Brasil até 1822 estavam relacionados às necessidades dos engenhos, às atividades de apreensão de indígenas, à criação de comércio de gado e à procura de metais e pedras preciosas.

Segundo o DNIT (2015), o mar era o modo de transporte utilizado para a ligação entre as capitanias, em longas e perigosas viagens, com um leque variado de embarcações. Devido a isso, as capitanias se desenvolveram a partir de portos marítimos, mesmo assim, sem grandes investimentos da coroa que se preocupava em obras de fortificação contra invasores. Este comportamento do colonizador mostrou que as estradas não foram prioridade proporcionando falta de desenvolvimento para este modo de transporte.

Em relação ao segundo reinado, enquanto o foco era a construção de ferrovias, as estradas de rodagem continuavam precárias. Dois documentos da época testemunham sobre a má situação das rodovias. Em 1846 o engenheiro francês L. Leger Vauthier relata o seguinte:





“Os caminhos estavam cheios de trechos mal-assombrados, trechos de areia gulosa e de lama traiçoeira. Para o lado Sul, atemorizava os viajantes a chamada passagem dos Tocos, entre Imbiribeira e Motocolombô; no caminho de Santo Antônio, havia os alagados de Jequiá. Ainda mais terríveis eram as ladeiras íngremes e escorregadias, excessivamente perigosas, conhecidas pelos nomes de Pedra do Caranguejo; Bomba do Calixto, Mocó etc. Na rodovia de Escada, era nos tremendais do engenho de Suassuna – os pântanos das Areias Gordas – que se atolavam os cargueiros”. (COIMBRA, 1974, p. 127)

Um manuscrito, cuja autoria é de Murtinho de Freitas, datado de 20 de agosto de 1859, descreve a situação do Estado de Sergipe:

“As vias de comunicação por terra não passam de estradas naturais, boas em tempo de verão, porém de penoso trajeto pelo inverno. Como melhoramentos neste gênero contam-se várias pontes, umas de madeira, outras em grande parte de pedras, algumas das quais sem dúvida boas”. (COIMBRA, 1974, p. 127)

De acordo com DNIT (2015), o Império não obteve êxito na atração de investimentos estrangeiros para a construção de rodovias, algo que tinha acontecido com as ferrovias. Todavia, apesar do quadro desfavorável, foram construídas, na segunda metade do Século XIX (**Tabela 1**), quatro estradas, sendo:

Tabela 1: Rodovias do Século XIX

Data	Descrição	Foto
1861	Estrada União e Indústria – entre Petrópolis e Juiz de Fora. Extensão de 144 km.	
1857	Filadélfia (Minas Gerais). Extensão de 170 km.	
1867	Estrada Dona Francisca (Santa Catarina), ligando Joinville a São Bento. Extensão de 146 km. Conhecida como rodovia Erva-Mate, pois era o principal produto que transportava à época.	
1885	Estrada Graciosa (Paraná), entre Antonina e Curitiba. Implantada em 1807 por necessidades de colonização, passando por melhorias entre 1853 à 1873. Extensão de 94 km.	

Fonte: Seman (2010)

Nos primórdios do Século XX, apareceram no Brasil os veículos automotores que proporcionaram o incentivo da construção de estradas de rodagem com aspectos mais modernos. Também influenciaram na mudança da política de transportes, deixando em segundo plano as ferrovias. (COIMBRA, 1974).

Em 1913, São Paulo iniciava o modelo que seria seguido futuramente pelos demais estados brasileiros e também no âmbito federal, com a pavimentação da chamada Estrada do Vergueiro, entre Santos e São Paulo. Em 1917, ocorreu o Primeiro Congresso Paulista de Estradas de Rodagem e seus participantes puderam viajar da capital do estado à cidade de Santos pela nova e precursora rodovia.

Washington Luís, como governador de São Paulo, iniciou, em 1920, a construção da rede rodoviária paulista. Em 1925 foi inaugurado o primeiro trecho da estrada de concreto da América do Sul, na região da Serra do Mar.

O estado de Minas Gerais também foi alvo da nova infraestrutura rodoviária quando em 1924 adotou o plano rodoviário com o objetivo principal de ligar Belo Horizonte a todos os quadrantes de seu território, predizendo a construção de 15.000 km de estradas de rodagem.

Quando Washington Luís assumiu a Presidência da República defendeu o seguinte lema: “Governar é abrir estradas”. Tendo Vítor Konder como ministro da pasta da então Viação e Obras Públicas, formou a Comissão de Estradas de Rodagem Federais, que ficou sob condução do engenheiro Joaquim Timóteo de Oliveira Pentead, cujos trabalhos permitiram que fosse entregue em 5 de maio e 25 de agosto de 1928, duas importantes estradas que, de acordo com Coimbra (1974, p. 171), foram base para os troncos da rede rodoviária atual: a Rio – São Paulo e Rio – Petrópolis, respectivamente. Segundo Seman (2010, p. 16), “Rio – São Paulo reduziu o tempo de viagem terrestre rodoviária entre as duas principais cidades do país, de 33 dias (tempo da primeira viagem de automóvel completada em 1908) para 14 horas.

Essas iniciativas favoreceram, em 1926, a criação dos primeiros planos rodoviários, destacando-se os planos Catramby (1926), Schnoor (1927) (**Figura 1**) e o plano da Comissão de Estradas de Rodagem Federais (1928).

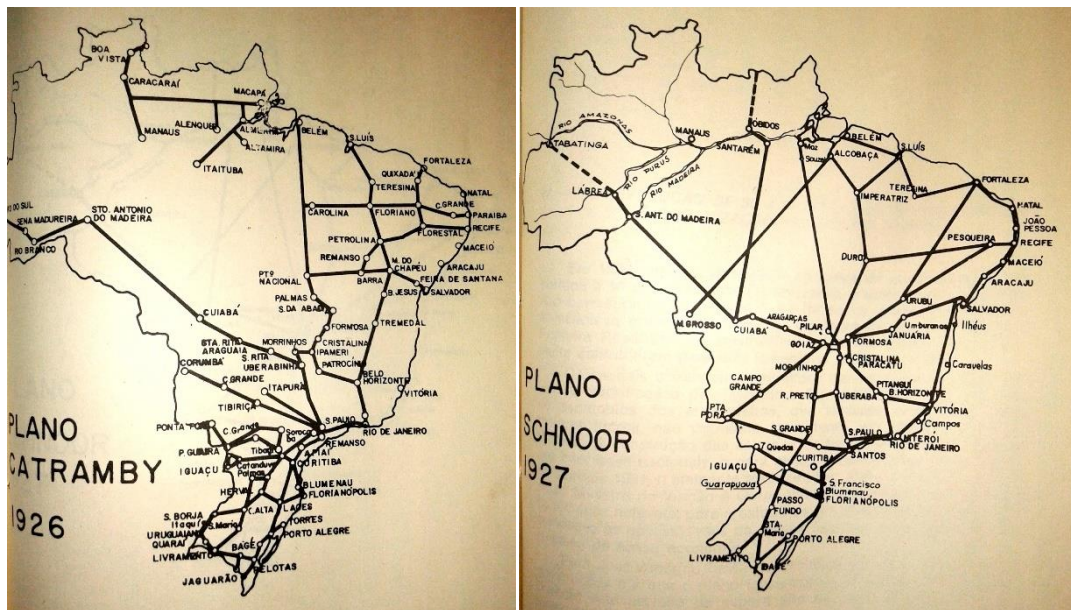


Figura 1: Planos rodoviários Catramby e Schnoor
Fonte:Coimbra (1974)

Em 1930, ano em que o Presidente Getúlio Vargas depôs o Presidente Washington Luís, haviam 2.255 km de estradas de rodagem e 5.917 km de estradas chamadas de carroçáveis, em mau estado de conservação (SEMAN, 2010, p. 17).

Nos anos 1930, o Brasil já estava com 128 anos de independência política e 40 anos de República, e mesmo assim, o sistema viário existente não correspondia as necessidades da época. A situação era inversa, apresentava carência em todos os setores.

Nesta época, havia o problema da escassez dos combustíveis nacionais, mas que estava sendo resolvido juntamente ao desenvolvimento da indústria dos pneumáticos. Com a expansão dessas facilidades, a estrada de rodagem começou a concorrer vantajosamente com as linhas férreas. O problema das rodovias começou a sensibilizar os responsáveis pelo desenvolvimento da rede viária, vista como solução mais adequada aos transportes terrestres. O principal apelo era a independência para a mobilidade de mercadorias e pessoas. (COIMBRA, 1974).

Mesmo com reconhecimento inicial da importância de uma rede viária eficiente, ainda haviam desafios a serem vencidos, principalmente no âmbito da fiscalização das estradas. Era considerada limitada e superficial resultando em um serviço ineficiente, permitindo irregularidades administrativas ocasionando prejuízos ao erário.

A falta de manutenção e conservação em algumas vias, a ausência de obras de arte em outras, bem como erros em projetos de construção, fizeram com que 540 km de estradas fossem reconstruídas. As carroçáveis se caracterizavam como simples picadas roçadas e destocadas, sem qualquer obra de arte e sem a preocupação de aspectos projetivos como o *grade* (perfil de projeto), sendo que eram utilizáveis somente nos períodos entre julho a dezembro. As ditas estradas de rodagem não apresentavam situação muito diferente.

Com o objetivo de melhorar este cenário, a Inspetoria de Secas realizou uma obra rodoviária, entre 1931-1933, construindo 1.810 km de estradas-tronco e 652 ramais, totalizando 2.642 km de rodovias. Foi o primeiro projeto investigativo, no qual foram construídos 2.112 bueiros e 411 pontes e pontilhões, atingindo as obras de artes especiais uma extensão total de 4.565 metros. As estradas carroçáveis também foram alvos desta preocupação com a construção de 180 km, neste momento com um padrão técnico mais evoluído. Os estados que tiveram verbas fornecidas pela União, no norte do país, construíram 4.213 km de rodovias e estradas carroçáveis, sendo também reconstruídos 1.482 km. Além disso, foram feitas obras e melhoramentos em estradas como Rio-São Paulo, Rio-Bahia, Rio-Petrópolis entre outros (COIMBRA, 1974, p. 178).

As intervenções entre 1930-1934 foram as primeiras realizações até a aprovação do Plano Geral de Viação Nacional (PGVN), sendo o primeiro projeto nacional de transportes aprovado oficialmente com natureza multimodal, mas tendo como prioridade a modalidade rodoviária. Este plano apresentava critérios para que as estradas fossem consideradas troncos ou de interesse geral e, segundo Coimbra (1974, p. 179):

- Ligavam a capital federal a uma ou mais capitais dos diferentes Estados;
- Ligavam qualquer via de comunicação a rede federal a qualquer ponto da fronteira do país;
- Constituíam via de transporte ao longo da fronteira, ou dessa paralela, a menos de 200 km;
- Ligavam entre si dois ou mais troncos de interesse geral, objetivando estabelecer, por caminho mais curto, comunicações entre duas ou mais unidades da federação;
- Atendiam às exigências de ordem militar.

Com a preocupação do governo no aspecto da infraestrutura rodoviária, aumento das frotas de veículos e necessidade de planejamento, em 1937, foi criado o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), sendo que em mesmo ano, o órgão apresentou um plano de viação (**Figura 2**), com ênfase a política rodoviária em detrimento à ferroviária.

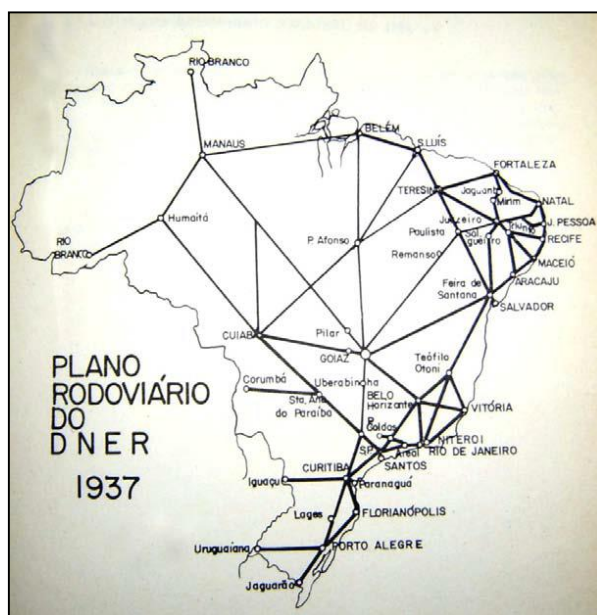


Figura 2: Plano Rodoviário do DNER
Fonte: Seman (2010)

O DNER definiu atribuições e estabeleceu conceitos de categorias de estradas para cada um dos escalões governamentais que eram participantes da construção e conservação de rodovias.

A evolução da malha rodoviária brasileira, a partir da década de 1940, foi possível com o Plano Rodoviário Nacional (PRN), através do Decreto 15.093, de 20 de março de 1944 (BRASIL, 1944), o primeiro aprovado pelo Governo Federal. Este estimava 27 diretrizes principais distribuídas em seis rodovias longitudinais, 15 transversais e de seis ligações, totalizando 35.574 km, recebendo o símbolo BR. O intuito era interligar o país de Norte à Sul e em diversas direções com o objetivo de criar uma malha rodoviária que atendesse as várias porções do território (SEMAN, 2010, p. 20).

Algumas diretrizes estabelecidas pelo PRN eram:

- Evitar a superposição das rodovias com os troncos ferroviários principais;
- Aproveitar trechos de rodovias existentes ou em projeto, dos planos estaduais;

- Considerar apenas trechos rodoviários de caráter nacional;
- Estabelecer, no interior do país, as convenientes ligações da rede rodoviária nacional com infraestrutura aérea.

Em 1946, o DNER foi transformado em Autarquia e ocorreu a criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN), que possibilitou a destinação de recursos para que o DNER desenvolvesse importantes rodovias para o interior do território brasileiro. Este fundo viabilizou o surgimento de anteprojetos e a criação de órgãos rodoviários estaduais. Os aspectos geoeconômicos e geopolíticos eram considerados de maior relevância em objetivos emergenciais para construção de trechos.

O Plano Geral de Viação Nacional de 1934 sofreu revisão e em 1948 foi encaminhado para aprovação, transformando-se no Plano Nacional de Viação (PNV) em 1951, definindo o sistema ferroviário, rodoviário, fluvial e marítimo e o novo modo de transporte aeroviário.

O PNV de 1951, inicialmente, não chegou a ser aprovado. Todavia devido as marchas e contra-marchas do processo da revisão do PGVN de 1934, o governo de Juscelino Kubitscheck (JK), considerando o Plano de Metas, solicitou e obteve a aprovação a título provisório de um Plano Rodoviário Nacional e de um Plano Ferroviário Nacional de acordo com a Lei 2.975 de 1956 (BRASIL, 1956). Também no governo de JK, ocorreu a implantação da indústria automobilística nacional assim como a construção da atual Capital Nacional, impulsionando o desenvolvimento da malha viária do país.

Em 1964, no governo militar, criou-se um novo PNV sendo peça fundamental para a formação de uma política de transportes. Em 1965, o Congresso Nacional alterou a descrição das vias que compunham o modal rodoviário do PNV, acrescentando cerca de 2.000 km. Tal medida foi concomitante ao programa norte-americano de rodovias interestaduais (*Interstate Highway Program*), que, segundo Stich *et al.* (2011), foi lançado em 1956, pelo então Presidente Dwight D. Eisenhower, com o objetivo de promover corredores rodoviários de alta capacidade que interligassem importantes centros urbanos em todo o país. Contudo, enquanto o *Interstate Highway Program* promovia uma configuração de malha com vias distribuídas de forma

longitudinal/transversal, o PNV, segundo Bronkhorst (2010), tinha sua malha rodoviária planejada em um sistema axial convergindo para as capitais e principais centros urbanos.

Por meio da Lei 5.917 de 10 de setembro de 1973 (BRASIL, 1973), foi configurado novo PNV. No ano de 2001, o DNER foi extinto e criado o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), que tem como atribuição a execução da Política de Transportes estabelecida pelo Ministério dos Transportes. O PNV de 1973 foi revogado pela Lei 12.379, de 6 de janeiro de 2011 (BRASIL, 2011) que designou o Sistema Nacional de Viação (SNV) (**Figura 3**), composto pelo Sistema Federal e pelos sistemas de viação dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios. O SNV compreende os subsistemas rodoviário, ferroviário, aquaviário e aeroviário.



Figura 3: Mapas das propostas do Sistema Nacional de Viação de 1973. A esquerda a rede ferroviária, ao centro a rede hidroviária e a direita a rede rodoviária.

Fonte: Bronkhorst (2010).

Observa-se que ocorreram diversas mudanças no Brasil em relação ao transporte rodoviário, atualmente caracterizado como subsistema pelo SNV. Nos primórdios da criação das rodovias, estas eram destinadas a veículos rudimentares e atualmente são atribuídas a veículos modernos e com necessidades totalmente diferentes no âmbito da engenharia.

Com o desenvolvimento desta malha viária, a expansão dos centros urbanos foi indiretamente estimulada nas adjacências de rodovias por serem polos de atração de fluxos de pessoas e veículos. Sendo assim, as rodovias se transformaram em verdadeiras avenidas urbanas ocupadas por várias categorias de veículos. Vale ressaltar que, mesmo considerando o rigor geométrico e de segurança viária praticado no planejamento e projeto dessas rodovias, as políticas públicas, ambientais e de transportes eram ainda

incipientes e não requeriam dos projetos análises abrangentes e preditivas. Contudo, hoje é indispensável o pensamento que devem-se articular ideias para o atendimento destes novos fluxos nas infraestruturas rodoviárias existentes, bem como a interação das vias frente a logística regional e urbana, de forma a garantir o que diz a Lei 12.379 de 6 de Janeiro de 2011 (BRASIL, 2011), em seu Art. 38 no parágrafo IV: “possibilitar a circulação econômica de bens e prover meios e facilidades de transporte coletivo de passageiros, mediante oferta de infraestrutura viária adequada e operação racional e segura do transporte intermunicipal e urbano.”(DNIT, 2015).

Nesse sentido, o papel dos rodoaneis tem se destacado, por proporcionar, simultaneamente, a continuidade e fluidez do transporte interurbano e a oferta de soluções para problemas de logística e segurança para os conturbados sistemas de transportes das grandes cidades brasileiras.

2.1. Contexto dos rodoaneis no Brasil

Sabe-se que atualmente as grandes cidades vivem um constante problema relacionado ao trânsito. O tráfego pesado de caminhões (**Figura 4**) circulando dentro do perímetro urbano e, em muitos casos, disputando espaço em vias estreitas com veículos de pequeno porte em meio a áreas densamente ocupadas. Tal cenário ocasiona diversos problemas como a retenção do fluxo, aumento do ruído, aumento da concentração de CO₂, redução da acessibilidade, aumento do tempo das viagens e o aumento de acidentes.



Figura 4: Fluxo de veículos – Anel Rodoviário, Belo Horizonte, MG
Fonte: Jornal Estado de Minas(2012)

A implantação de rodoaneis tem sido uma das soluções encontradas por centros urbanos de grande e médio porte em todo o mundo e recentemente por algumas cidades brasileiras

para reduzir o fluxo de veículos de cargas de passagem em áreas urbanas. Pode-se enfatizar também questões socioambientais envolvidas, pois a população e o ambiente são diretamente afetados por este tipo de intervenção. Um exemplo, no contexto social, desta situação é uma notícia divulgada pela Agência de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP) informando que o uso do Rodoanel Leste (Mário Covas) reduz em 30% o tempo de viagem entre a Baixada Santista e Guarulhos. Esta redução de tempo de viagem produz uma reação em cascata nas vidas das pessoas envolvidas neste tipo de melhoria.

Os rodoaneis são alvos de discussões que suscitam debates intensos e defesas de acordo com diferentes pontos de vista. O ponto de vista de industriários, ambientalistas, urbanistas e outros vários representantes da sociedade discutem seus argumentos em reuniões técnicas, audiências públicas, noticiários entre outros. As informações veiculadas provenientes dos grupos de interesses chegam a ser antagônicas em função de quem as escreve (FAUUSP, 2005, p. 13). Uma afirmação feita pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAUUSP) no Estudo Preliminar Rodoanel Mário Covas – Trecho Oeste foi a seguinte:

... sabe-se que no Brasil, assim como em tantas outras partes do mundo, grandes obras de infraestrutura têm um enorme potencial político-eleitoral, o que faz com que muitas vezes suas definições e decisões estratégicas se guiem mais pelos interesses políticos imediatos do que por alguma estratégia de longo prazo de política pública.(FAUUSP, 2005, p. 13).

Este enunciado evidencia um problema crônico, especificamente no Brasil, que percorre a séculos, o vínculo entre projetos de infraestrutura e interesses políticos. O princípio do interesse traz um juízo de valor nas tomadas de decisões que pesa na vida de milhões de pessoas, ou seja, questões do coletivo estão à revelia da conveniência de poucos.

A FAUUSP (2005) ainda menciona que políticas estratégicas que afetam relevantemente as dinâmicas de ocupação e organização do território deveriam estar sob a responsabilidade de um órgão de gestão metropolitana e não de um protagonista de caráter setorial. A lei 10.257, de 10 de julho de 2001 (BRASIL, 2001), denominada Estatuto da Cidade, em seu Art. 4º, Parágrafo II, afirma que são ‘instrumentos da política urbana o planejamento das regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões’, ou

seja, existe a necessidade da participação de diversos atores em uma ação que afetará além daqueles que estão em um limite municipal específico.

Conforme mencionado, existe a necessidade de um órgão público metropolitano para execução das tarefas com a proposta de realizar o planejamento e definir as estratégias globais tendo em vista cada secretaria setorial, especialmente aquelas que terão ações que afetam diretamente a organização geográfica do território. O intuito é promover o pensamento interdisciplinar entre os diversos órgãos que compõem a agência metropolitana com o objetivo de expandir os limites de discussões e questões presentes nos escopos de projetos.

Pensa-se que os órgãos definidores da implantação de um rodoanel não devem ater-se somente a questão do fluxo de veículos. Devido a sua complexidade, é fundamental verificar a real necessidade de introdução, demanda e alternativas a serem aplicadas (FAUUSP, 2005, p. 15). É preciso ter em mente que estão envolvidos diversos processos de transformações territoriais gerando impactos positivos e negativos.

No Brasil, algumas cidades e regiões metropolitanas já implementaram e estão implementando anéis viários em suas infraestruturas de transportes. As iniciativas estão ocorrendo em cidade com população a partir de 280.000 habitantes, como o caso de Boa Vista (RR), bem como em regiões metropolitanas como a de Belo Horizonte (MG), Campinas (SP), Curitiba (PR), Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP), apresentadas a seguir.

2.1.1. Rodoanel Mário Covas

O Rodoanel Mário Covas está inserido na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Atualmente existem três trechos finalizados sendo Oeste, Sul e Leste.

Na realização do Estudo de Impacto Ambiental do Trecho Sul, a Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo (FESPSP, 2004, p. 3) afirma que:

De fato, a avaliação ambiental comparativa de todas as alternativas de traçado, conforme desenvolvida na Seção 3.2 (do estudo – EIA), resultou em alteração de traçado em mais de 60 % do percurso com relação ao projeto anteriormente apresentado para análise da Secretaria do Meio Ambiental.

A FESPSP (2005) evidencia que os programas e medidas ambientais propostos para o Trecho Sul não fazem parte do início do processo de prevenção e mitigação dos impactos ambientais do projeto, mas na realidade constituem elementos que interferiram na concepção deste. A FESPSP (2005) ainda ressalta que foi feito um esforço para a identificação viável de alternativas de traçado através de comparação criteriosa entre elas sob a ótica de um conjunto diversificado e multicritério de aspectos ambientais. Além dos aspectos ambientais, o Trecho Sul também é lembrado no que tange ao adensamento urbano. A referência é o estudo realizado para o Trecho Oeste.

De acordo com a FAUUSP (2005, p. 49),

Embora os saltos no crescimento populacional da RMSP se dêem em determinadas áreas periféricas socialmente excluídas – marcadas pela informalidade urbana – nas regiões Leste e Sul, é no eixo Oeste que se verifica o vetor de crescimento de novas áreas industriais, ao longo das rodovias citadas, assim como de assentamentos habitacionais de alto padrão, como os conhecidos condomínios da Rodovia Castello Branco.

A FAUUSP (2005) afirma que a região Oeste é o vetor de expansão da RMSP e com maior potencialidade em termos econômicos e menores impactos ambientais.

Referente ao Trecho Leste, de acordo com a DERSA (2009, p. 1) “terá o mesmo padrão rodoviário do Trecho Oeste, em operação desde 2002, e do Trecho Sul...”. O Trecho Leste também foi alvo de estudos ambientais que focaram os possíveis impactos que seriam causados em sua área de influência. Atualmente, este trecho já está em operação.

O Trecho Norte está em processo de obras desde 2013. Segundo a DERSA (2010, p. 17)

O Trecho Norte atravessará as regiões noroeste norte e nordeste da RMSP e permitirá agregar ao Rodoanel Mario Covas a Rodovia Fernão Dias (BR-381), além de criar um novo corredor viário, com elevada capacidade e padrão de tráfego, situado no limite norte da área urbanizada contínua da RMSP.

Ainda segundo a mesma fonte, apesar da alteração relevante no tráfego de passagem da RMSP, estudos conduzidos no âmbito da Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), com a utilização de técnicas de modelagem de crescimento induzido, mostram que não existem impactos significativos relacionados ao emprego e distribuição de renda da RMSP, a partir da implantação da alça norte do Rodoanel. A modelagem preditiva revelou que os

impactos positivos serão modestos, sendo que alterações significativas dependem de processos mais complexos. No que tange ao meio ambiente, além de outras questões, a DERSA (2010) enfatiza que as recomendações da AAE para os estudos de traçado, especificamente para alternativas ao sul da Serra da Cantareira, seriam um empreendimento com ação potencializadora para o controle a do avanço da urbanização e ao aperfeiçoamento dos mecanismos de proteção de unidades de conservação existentes.

As concessões do Rodoanel se divide em duas empresas: Rodo Anel (CCR) que gerencia o trecho oeste e a empresa SPMar (Bertin), atuante nos trechos sul e leste. De acordo com a ARTESP (2012), o trecho oeste integra as Rodovias Raposo Tavares, Castello Branco, Anhangüera, Bandeirantes, Régis Bittencourt e Rodoanel Sul e recebe cerca de 240 mil veículos dia. Os trechos somam 132,5 km e com a implantação do Trecho Norte, este valor será estendido. A **Figura 5** ilustra a localização do Rodoanel Mário Covas frente a área urbanizada da RMSP.

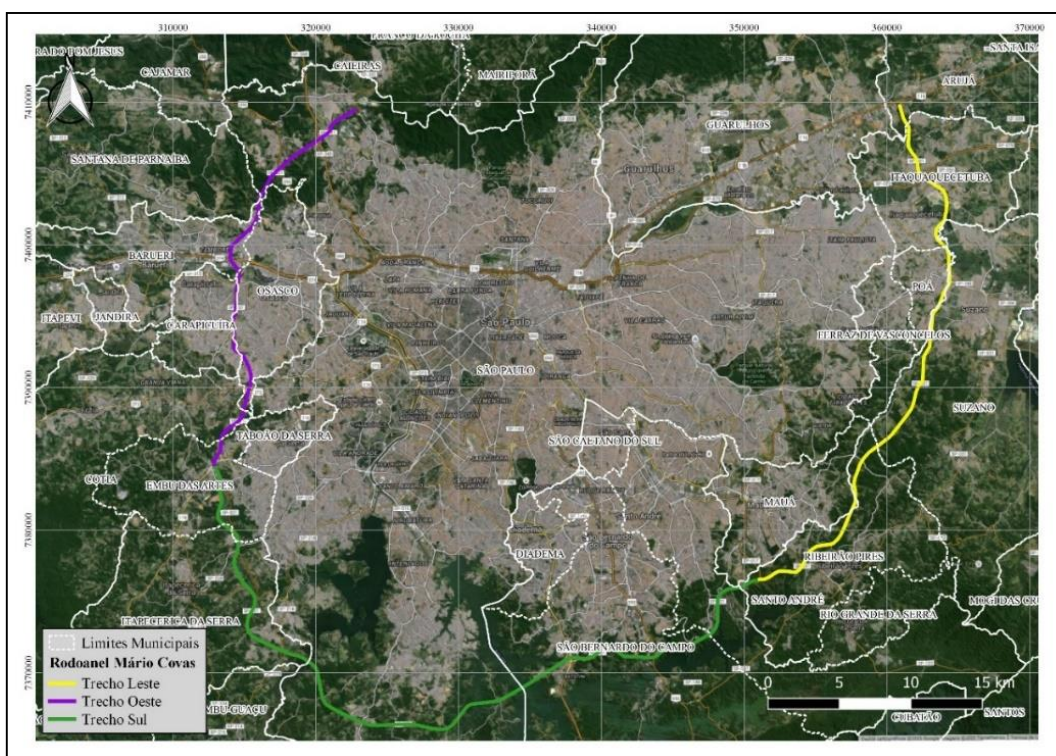


Figura 5: Localização do Rodoanel Mário Covas

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

2.1.2. Anel Viário José Roberto Magalhães Teixeira

O conhecido Anel Viário de Campinas, denominado SP-083, é uma rodovia paulista construída no intuito de melhorar o fluxo de veículos na cidade de Campinas, visando

facilitar viagens entre localidades adjacentes, a conexão entre as Rodovias Anhanguera (SP-330) e Bandeirantes (SP-348) e o Aeroporto Internacional de Viracopos. De acordo com a CETESB (2012, p. 2), o primeiro trecho, entre o km 103 da Anhanguera e o acesso a Valinhos, foi construído em 1972 e atualmente faz parte da Rodovia Dom Pedro I (SP-065). O segundo trecho, concluído em 2001, dispõe de 12 km de extensão e foi nomeada de Rodovia José Roberto Magalhães Teixeira, ligando da Rodovia Pedro I na altura do km 127, com a Rodovia Anhanguera, e no km 86, em Valinhos.

Recentemente foi projetado e construído o prolongamento da SP-083, promovendo a ligação entre as rodovias SP-330 e SP-348 conforme ilustrado na **Figura 6**.

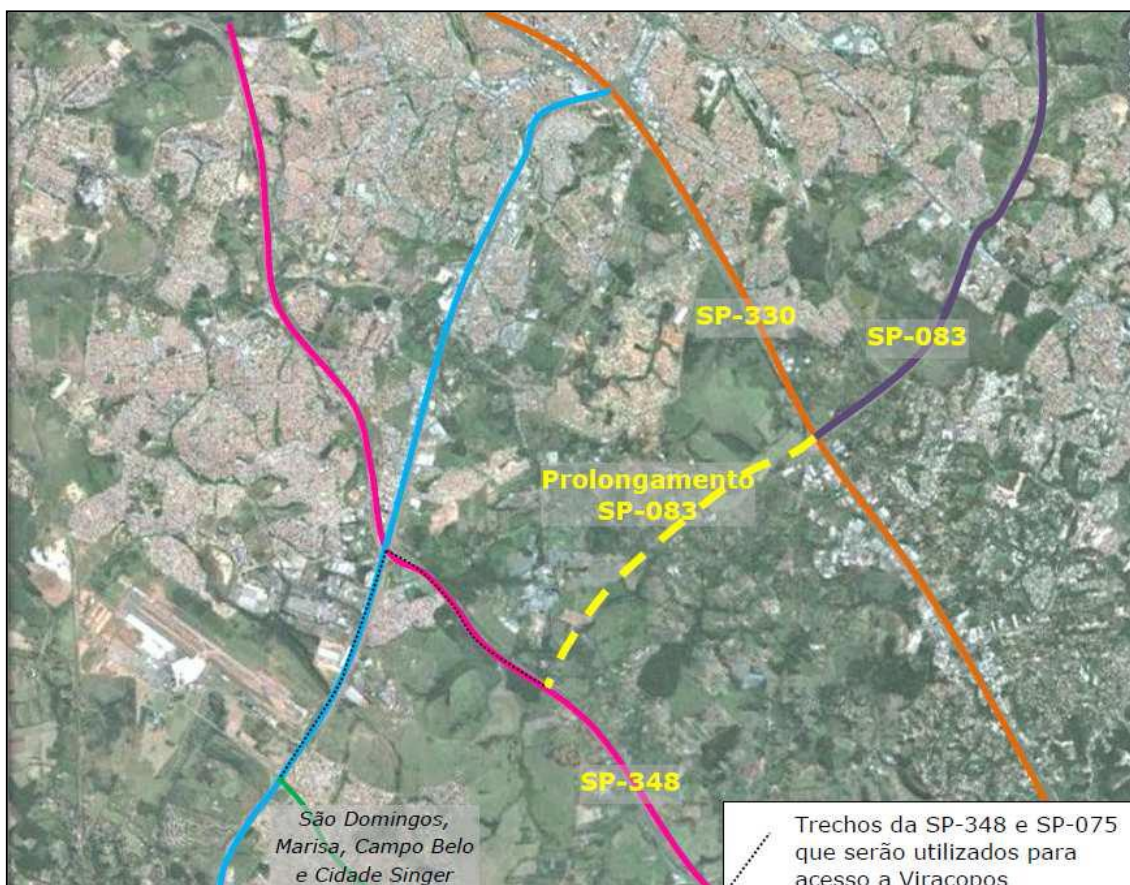


Figura 6: Prolongamento da SP-083 – Anel Viário de Campinas

Fonte: CETESB (2012, p. 3)

O novo trecho da SP-083 localiza-se na porção sudoeste do município de Campinas e a noroeste do município de Valinhos. A área possui pouco adensamento urbano sendo caracterizada pela presença de propriedades rurais. No total, são 6 quilômetros de

extensão, entre o km 12+200 ao 18+200. A **Figura 7** mostra a extensão total do Anel Viário de Campinas.

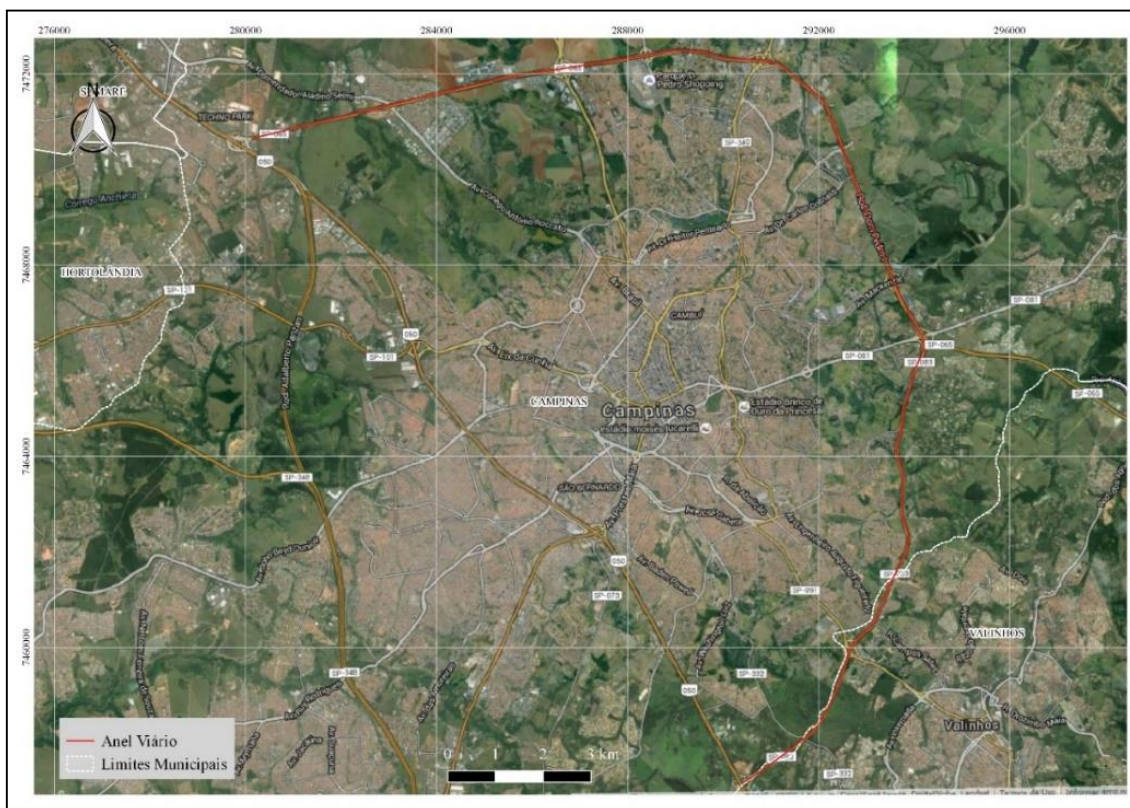


Figura 7: Anel viário de Campinas – SP

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

2.1.3. Arco Metropolitano do Rio de Janeiro

O projeto do Arco Metropolitano do Rio de Janeiro é alvo de estudos desde a década de 1970, a partir da definição do traçado da rodovia RJ-109. O Arco Metropolitano foi considerado projeto essencial para a infraestrutura de transportes do estado do Rio de Janeiro, todavia sofreu diversas alterações. De acordo com o Departamento de Estradas e Rodagem do Rio de Janeiro (DER-RJ, 2007, p. 5):

Em 2007, o Governo Federal, através do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), classificou a interligação entre a BR-101/NORTE e a BR-101/SUL como obra prioritária para o desenvolvimento do Estado do Rio de Janeiro. Em acordo realizado entre o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT e o Departamento de Estradas e Rodagem – DER, a implantação do Arco passou a ser de responsabilidade do Governo do Estado do Rio de Janeiro e do DER. A partir deste acordo, a rodovia passou a ser denominada Arco Metropolitano, associando a RJ-109 a BR-493.

A função principal do Arco é realizar a conexão entre a BR-101/Norte e a BR-101/Sul com o objetivo de desviar o trânsito intenso das vias urbanas provindos de rodovias. A composição do Arco Metropolitano se caracteriza em quatro segmentos (**Figura 8**):

- Segmento A: Trecho da Rodovia BR-493/RJ, entre a BR-101, em Manilha (Itaboraí), e o entroncamento com a BR-116, em Santa Guilhermina (Magé);
- Segmento B: Trecho da Rodovia BR-101 (Rio – Santos), entre Itacuruçá e a Avenida Brasil;
- Segmento C: RJ-109, entre as rodovias BR-040 (Rio – Juiz de Fora) e a BR-101/SUL.
- Segmento D: Trecho da BR-116/NORTE, entre a BR-493/RJ em Santa Guilhermina e a BR-040/RJ em Saracuruna (administrado pela Concessionária CRT da Rodovia Rio – Teresópolis).

Observa-se que o arco não possui um segmento ao sul da região metropolitana devido à proximidade com o litoral.



Figura 8: Segmentos do Arco Metropolitano do Rio de Janeiro
Fonte: DER-RJ (2007)

Em 23 de Janeiro de 2015 foi publicado o decreto estadual 45.137(RIO DE JANEIRO, 2015) e, em seu Anexo I, é informada a intervenção na rodovia RJ-109 realizando a exclusão do entroncamento BR-040 Rodovia Washington Luiz (Localidade de Chácara Rio-Petrópolis e Figueira no Município de Duque de Caxias) e entroncamento BR-101 Sul Rodovia Rio-Santos (Localidade de Brisa Mar no Município de Itaguaí) com extensão

total de 75,5 km. Também no Anexo I, é incluído o entroncamento BR-101 – Avenida Brasil, km 382,(Bairros Paciência e Campo Grande) no Município do Rio de Janeiro e o entroncamento BR-493 – Arco Metropolitano, km 53, localidades de Fonte Limpa e Fazenda Caxias no Município de Seropédica totalizando em 20 km de extensão.

De acordo com o DER (2007, p. 10), as principais justificativas para a realização da obra foi atender ao tráfego de longa distância de origem das regiões Sul/Sudeste em direção as regiões Norte/Nordeste do país, desvio do tráfego de veículos comerciais de longa distância e conexão de rodovias federais. Além disso, é considerada a possibilidade de criação de áreas de expansão urbana.

O Arco Metropolitano do Rio de Janeiro possui vários questionamentos enquanto a verba planejada e a efetivamente aplicada. Acerca do tempo, foram mais de 40 anos desde o projeto até o término da obra. Estas questões manifestam a falta de planejamento, gestão e fiscalização nos âmbitos financeiro e temporal, acumulando prejuízos inestimáveis à população, foco da intervenção, e ao erário.

2.1.4. Anel Rodoviário de Curitiba

De acordo com o Detalhe do Projeto Individual, desenvolvido pela empresa responsável pela conclusão do Anel de Curitiba, o objetivo desta infraestrutura é melhorar o trânsito no centro urbano da capital paranaense. Frisa-se o desvio do tráfego de veículos de carga provindo das BR-277, PR-090, PR-092, BR-376 e BR-116. Portanto, pretende-se melhorar as condições de segurança, reduzir o tempo de viagem e o custo de transporte.

O Anel Viário é constituído por trechos federais e um estadual em um total de três contornos: Sul, Norte e Leste, sendo:

- Contorno Sul com 14,6 km em pista dupla conectando às BRs 116/PR e 277/PR se integrando ao Corredor do Mercosul. A construção ocorreu na década de 1970 e a duplicação nos anos de 1990;
- Contorno Leste com 44 km em pista dupla, interligando as BRs 376, 277 e 116. O início se dá no município de Quatro Barras (BR-116) e vai até o bairro de Pinheirinho em

Curitiba. Este trecho é a principal ligação entre as BRs 376 e 277. A obra foi concluída em setembro de 2008;

- Contorno Norte, o único trecho de responsabilidade estadual, isto é, do Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná (DER-PR), que consiste em um trecho da PR-418 entre a BR-277 (Bairro Campo Comprido) e PR-417 (Estrada da Uva), totalizando 21,86 km. Ainda existe um trecho a ser implementado no Contorno Norte entre a PR-417 em BR-116, todavia com aprovação ainda pendente do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

A **Figura 9** apresenta um croqui com os trechos do Anel de Curitiba.

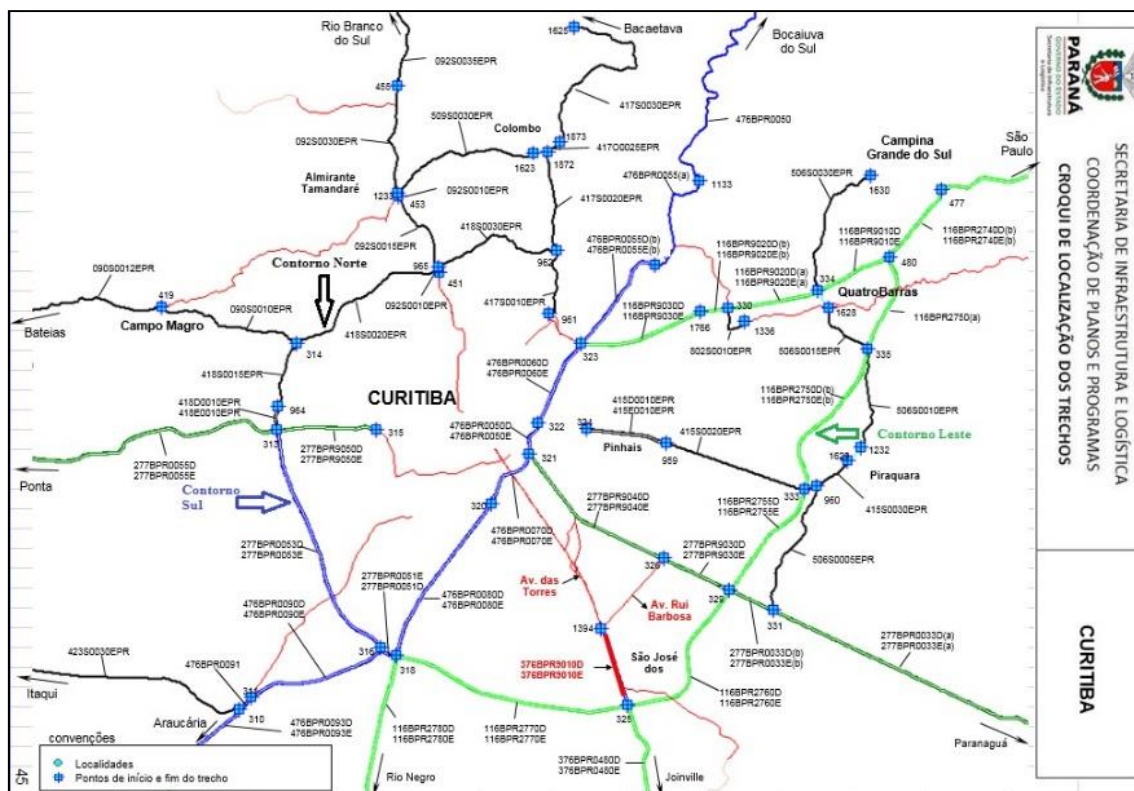


Figura 9: Croqui de localização dos trechos
Fonte: PARANÁ (2014)

O **Figura 10** ilustra a distribuição da malha urbana vizinha ao Anel Viário. Observa-se que os trechos Sul e Norte possuem maior área urbanizada enquanto o trecho Leste se constitui de menores áreas edificadas, dada a presença da Represa de Iraí e do Rio Iguaçu. Também é destacada a área alvo de intervenção em relação ao término do trecho norte que conforme explicitado, visa ligar a PR-417 à BR-116 no intuito de se fechar efetivamente o Anel.

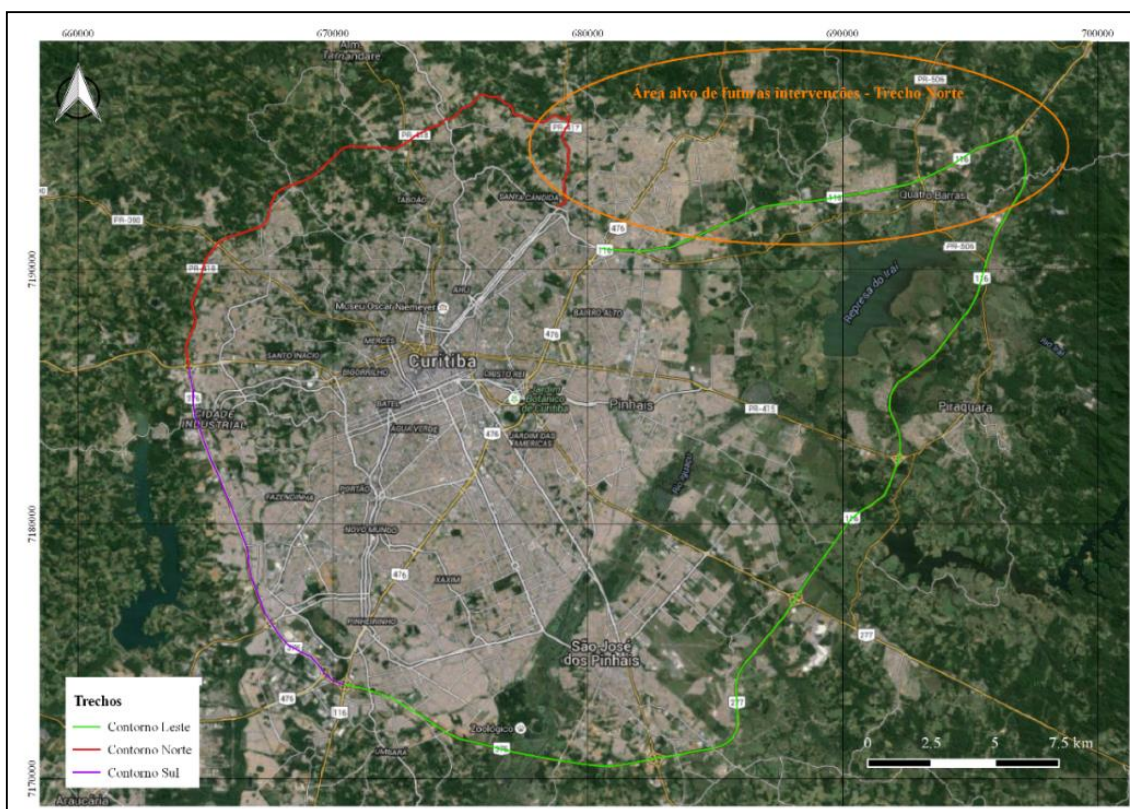


Figura 10: Área urbanizada próxima ao Anel Viário
Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

2.1.5. Anel Viário de Boa Vista

A Lei 12.129, de 17 de dezembro de 2009 (BRASIL, 2009), denomina o Contorno Oeste Ottomar de Souza Pinto. Localiza-se no município de Boa Vista (RR), faz a ligação entre a BR-174 Norte à BR-174 Sul e o intuito deste anel viário é desviar o tráfego de veículos de carga do centro urbano de Boa Vista. De acordo Jucá (2007):

O Contorno Oeste de Boa Vista vai trazer inúmeros benefícios para a condução do tráfego na capital de Roraima, uma vez que vai redirecionar a circulação de transporte pesado na BR-174, para veículos que circulam entre o Amazonas, Roraima e a Venezuela, evitando que passem por dentro da cidade de Boa Vista. Além da diminuição de acidentes, que vêm sendo registrados ao longo dos anos – muitos com vítimas fatais –, certamente trará fluidez, organização e segurança ao trânsito local.

O Contorno Oeste de Boa Vista possui 28,7 km de extensão com largura de pista de 12 metros. A área ocupada pelo alinhamento se encontra em zonas não urbanas cruzando hidrografia e vegetação antropizada (**Figura 11**). Da mesma forma que no Rio de Janeiro,

não é possível a criação de um novo contorno, neste caso leste, devido a barreira natural imposta pelo rio Branco. Atualmente, o projeto se encontra concluído.

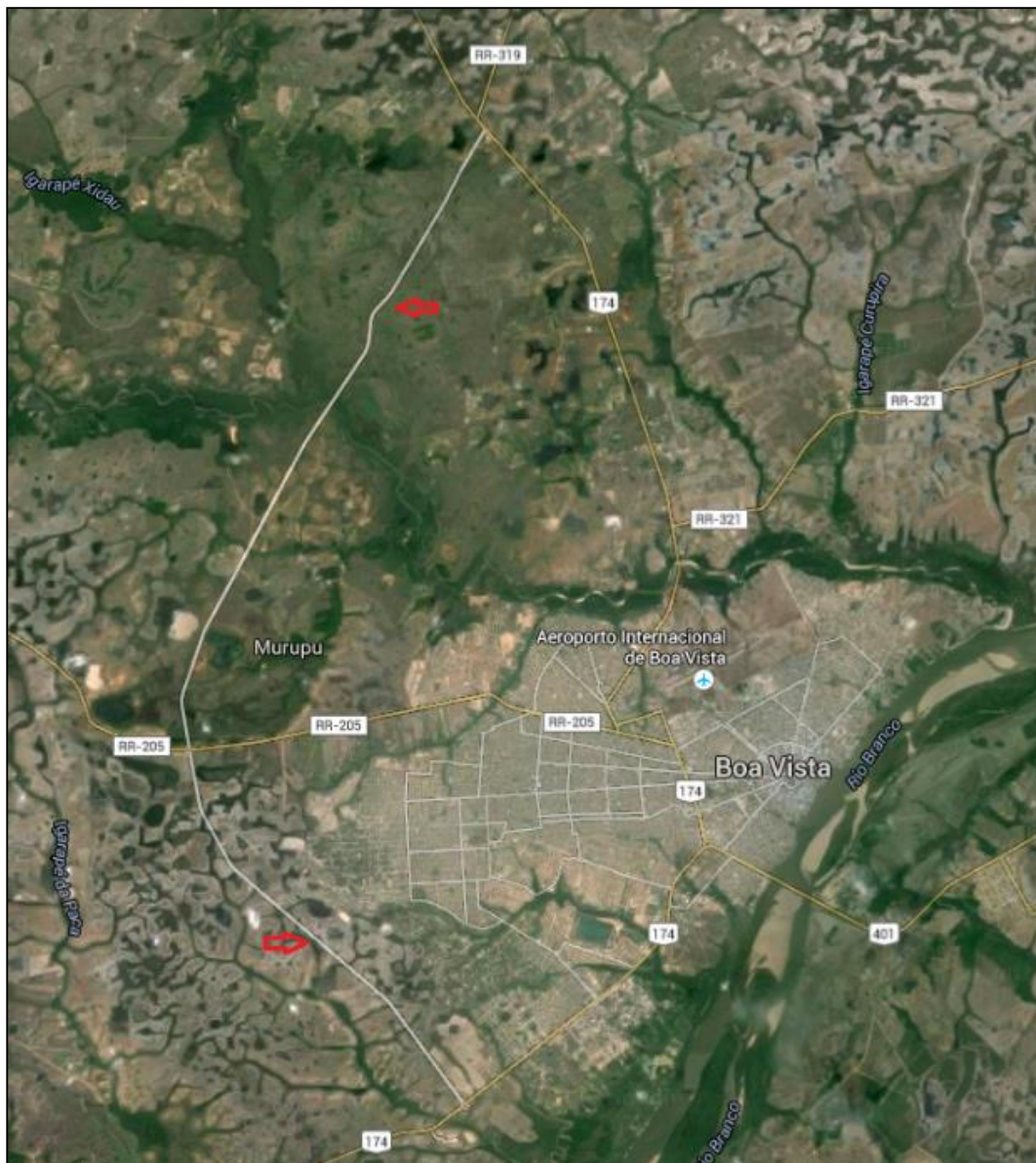


Figura 11: Contorno Oeste Ottomar de Souza Pinto (as setas vermelhas indicam o segmento do anel viário).

Fonte: Elaborado pelo autor (adaptado do Google Maps) (2015)

2.1.6. Avenida do Contorno de Feira de Santana

No município de Feira de Santana (BA) foi construído o Anel do Contorno para que os veículos pudessem transitar em várias partes da cidade sem a necessidade de passar pela região central. Este anel evita que os veículos provindos de outros locais cruzem o centro da cidade para continuar suas viagens. Entretanto, a expansão urbana (**Figura 12**) fez com que o Anel do Contorno se transformasse em uma avenida, atualmente conhecido como Avenida do Contorno.

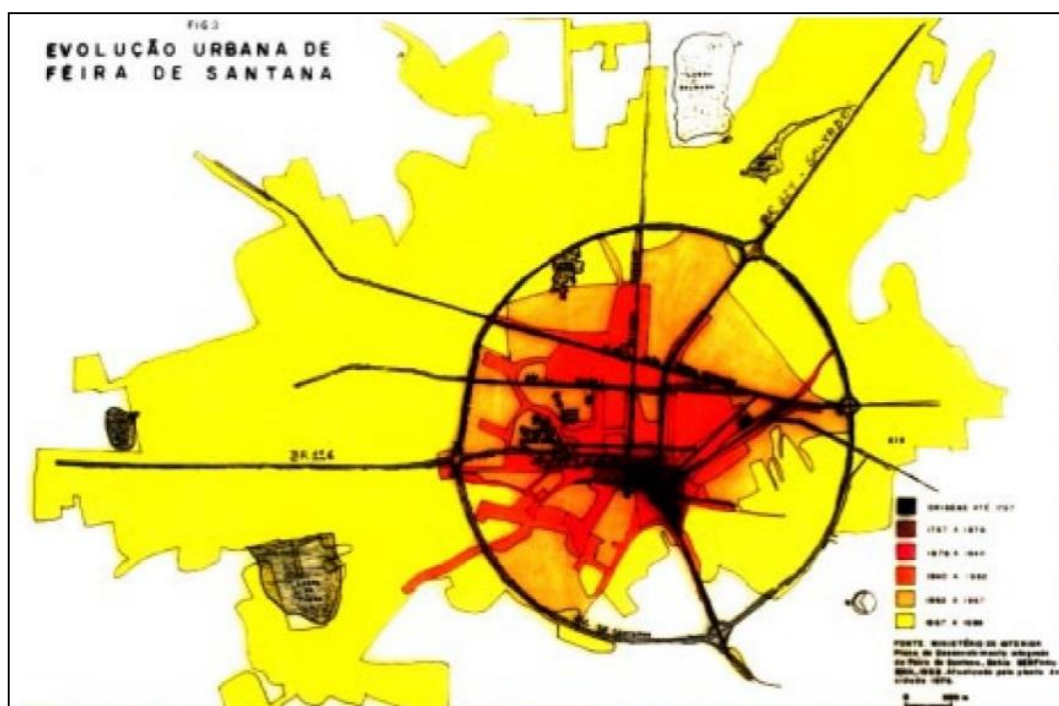


Figura 12: Evolução urbana de Feira de Santana – BA. Em vermelho e laranja – áreas mais antigas; em amarelo – áreas mais novas.

Fonte: Santo (2003, p. 16)

Segundo Santo (2003), é possível perceber que a área urbana de Feira de Santana sofreu alteração expressiva em sua organização. A função inicial do Anel do Contorno ficou prejudicada devido a aglutinação causada pela nova ocupação do solo. Portanto, os fluxos na via supracitada tendem a sofrer mutações para atender a nova dinâmica urbana.

Devido as necessidades de crescimento da cidade, no âmbito logístico e econômico, foi feito um estudo preliminar para a implantação da Rodovia Perimetral Norte, trecho do novo Anel do Contorno de Feira de Santana.

Buscando criar um novo caminho que integre as três rodovias Federais (Br's 101, 116 e 324), que cruzam Feira de Santana, a rodovia perimetral norte de 33 km, surge como uma alternativa muito importante para a consolidação logística da região, permitindo a fluidez do transporte rodoviário, sem a interferência Urbanística da Cidade de Feira de Santana, bem como abrir a possibilidade para a criação de um importante vetor de desenvolvimento para o estado da Bahia. (FERREIRA, 2013, p. 1)

Ainda de acordo com Ferreira (2013, p. 1), “a Perimetral Norte visa também estabelecer uma ligação direta do aeroporto de Feira de Santana com essas três rodovias federais, tornando este o primeiro aeroporto do país com o potencial de se conectar simultaneamente com três rodovias federais.”

O estudo preliminar visa o convencimento de que a Rodovia Perimetral Norte irá trazer maiores benefícios ao município de Feira de Santana e do Estado da Bahia. É apontado o argumento em relação ao atual Anel do Contorno, enfatizando que este possui debilidade em relação ao escoamento de fluxos de mercadorias e serviços e evolução urbanística, sendo necessário o desenvolvimento de um novo eixo viário para recompor estas funções. O autor ainda defende que é preciso dar importância ao planejamento da ocupação das margens da nova rodovia para que essas sirvam a sociedade e não dêem margem há uma especulação imobiliária desenfreada.

Ferreira (2013) sugere um traçado com 33 km de extensão, que proporcionaria maior amplitude para o desenvolvimento urbano da cidade sem comprometer as adjacências da infraestrutura viária, enquanto o sugerido pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) é de 17,4 km. A seguir consta a **Figura 13** com a sugestão do autor.

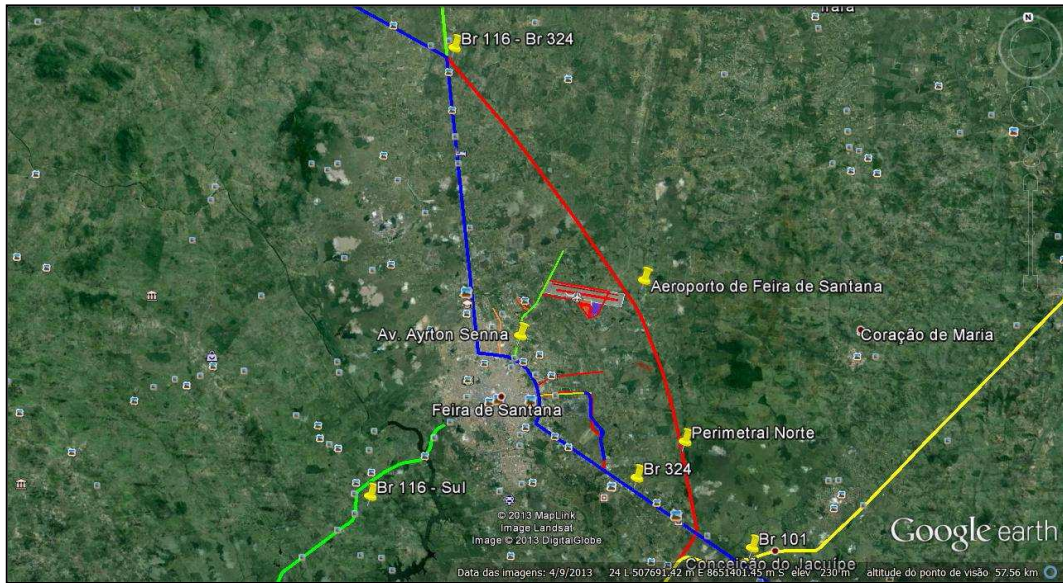


Figura 13: Sugestão de traçado de Danilo Ferreira para a Rodovia Perimetral Norte – Feira de Santana (BA) (Linha vermelha)
Fonte: Ferreira (2013, p. 5)

2.2. Rodoaneis internacionais

A solução de anéis viários tem sido utilizada em diversos países. Cita-se o caso de Houston, Texas – Estados Unidos. De acordo com Maciel (2011, p. 54) “Houston é uma das mais espalhadas manchas urbanas dos EUA (aproximadamente 80 X 70 km de extensão)”, colocando o automóvel como um dos principais meios de transportes para se locomover na cidade. A proposta de contornar a área central de Houston já está presente desde os primeiros desenhos viários e sua finalidade se assemelha as propostas brasileiras, neste caso, desviar tráfego de passagem, principalmente de caminhões, e reduzir a intervenção em relação ao tráfego urbano (MACIEL, 2011, pg. 59). Houston é composto por três principais anéis viários sendo: *Loop 610 (I-610)*, *Beltway 8 – Sam Houston Parkway/Tollway* e o *Grand Parkway*. O primeiro e segundo anel foram absorvidos pela mancha urbana e o terceiro não foi implantado em sua totalidade (**Figura 14**).

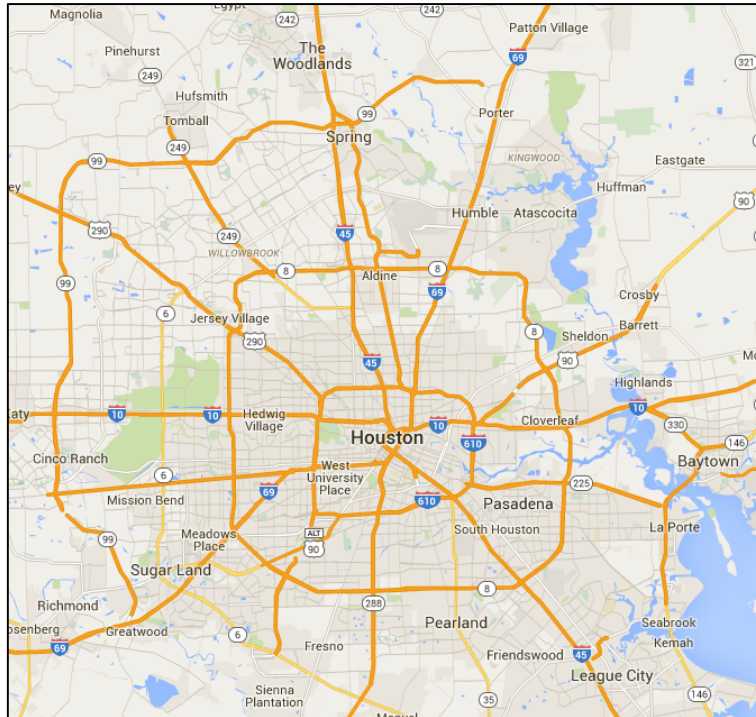


Figura 14: Anéis viários de Houston, TX – EUA
Fonte: Adaptação Google Maps (2016)

Outra metrópole importante que também aplicou a metodologia de anéis viários é Pequim – China. Apresentando uma das regiões mais densamente ocupadas do planeta, a cidade está em meio a questões culturais alinhando o passado, presente e perspectivas para o futuro em uma visão moderna. A cidade chinesa se configura em uma malha urbana densa, aglutinando os anéis viários próximos ao centro. O interessante em Pequim é a dificuldade de transpor a cidade no sentido Leste-Oeste devido a antiga sede do poder, a Cidade Imperial. A medida que há expansão urbana, o núcleo antigo se transforma em um obstáculo, todavia necessita de ser preservado (MACIEL, 2011, p. 67). Os anéis viários em Pequim (**Figura 15**) se transformam em mais do que vias de tráfego de passagem, mas sim uma substituição as vias radiais que fazem o trânsito fluir melhor, ou seja, soluções tanto para o ambiente interurbano quanto para o intraurbano.

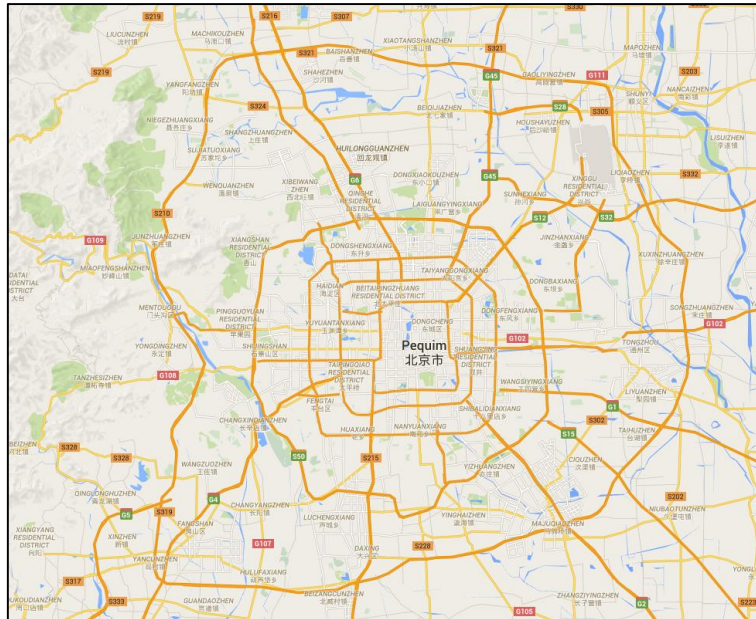


Figura 15: Anéis viários de Pequim – China
Fonte: Adaptação Google Maps (2016)

Observa-se que tanto nos casos nacionais quanto internacionais, a alternativa de implantação de anéis viários tem suprido carências enquanto ao planejamento de transportes. Este, sofre transformações ao longo das décadas evidenciando a necessidade de adoção de novas tecnologias que visam obter projetos eficientes que respondam que maneira efetiva os anseios da sociedade.

2.3. Novas metodologias em transportes

Observa-se que os pareceres no âmbito dos projetos rodoviários são realizados tendo a necessidade da participação de vários profissionais. O Brasil é marcado, em sua história, pela falta de planejamentos bem realizados, fazendo com que o aspecto primordial da colaboração fique apenas na teoria. Neste sentido, pensa-se em metodologias que podem otimizar os projetos no intuito de se ter algo planejado e consistente. Cita-se o geoprocessamento que segundo Bielenki Júnior, Raia Júnior e Silva (2008, p. 159) são “ferramentas que permitem uma análise espacial mais eficiente e podem se tornar um diferencial para o sucesso da organização dos trabalhos.” Portanto, a também chamado geotecnologia, proporciona o conhecimento geográfico do objeto de estudo e viabiliza responder várias questões no âmbito geoespacial através de um raciocínio sistêmico se caracterizando como instrumento essencial para o planejamento em transportes.

3. SIG E GEOPROCESSAMENTO EM TRANSPORTES

Antes de debater as implicações do SIG e geoprocessamento em transportes, é importante apresentar as bases sobre esta tecnologia e como ela vem sendo empregada em transportes.

3.1. SIG e Geoprocessamento

O conhecimento sobre a distribuição geográfica no tocante às propriedades, aos recursos minerais e aos ambientais, à infraestrutura, ao complexo arbóreo entre outros elementos, sempre foi uma atividade de destaque nas sociedades organizadas. Em uma realidade próxima e ainda presente, os registros são feitos através de meios rudimentares como croquis simplificados, planilhas analógicas ou digitais, mapas em papel ou em imagens digitais. Estes formatos impedem uma análise detalhada da combinação das diversas bases de dados no intuito de tomar uma decisão que tenha a visão de múltiplos cenários, em especial quando o volume de dados é elevado. Contudo, a partir da segunda metade do século XX, graças ao desenvolvimento da informática, tornou-se possível realizar o armazenamento e representação de informações em ambiente computacional, favorecendo o aparecimento do Geoprocessamento.

De acordo com Câmara, Davis e Monteiro (2001, p. 2):

“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, Transportes¹, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (GIS1), 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.”

Os autores ainda citam que se a informação do “onde” é importante para determinado negócio, o geoprocessamento pode ser caracterizado como uma ferramenta de trabalho. Não apenas no mundo comercial, mas principalmente em questões governamentais de políticas públicas, o geoprocessamento se apresenta como ferramenta de potencial

¹ Grifo próprio.

expressivo, principalmente no Brasil que possui carência de informações adequadas para tomada de decisão. Este cenário pode-se tornar cada vez mais real devido às facilidades de acesso e desenvolvimento a sistemas livres e interfaces amigáveis.

Internacionalmente, o processamento de dados com características internacionais começou a se desenvolver na Inglaterra e Estados Unidos na década de 1950. O objetivo era diminuir os custos de produção e manutenção de mapas. Devido a débil capacidade da informática a época e a particularidade dos estudos que estavam sendo desenvolvidos como botânica na Inglaterra, e estudos de tráfego nos Estados Unidos, os sistemas ainda não eram considerados como “Sistemas de Informação”. (CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO, 2001)

A partir da década de 1960, no Canadá, no intuito de elaborar um sistema para inventariar os recursos naturais, desenvolveram-se as primeiras iniciativas de processamento geográfico computadorizado, LIS (*Land Information System*). Todavia, estes se apresentavam de difícil manipulação e com grande necessidade do conhecimento em linguagens de programação. Com isso, os sistemas tinham a particularidade do usuário que os manipulava. O processamento ainda se caracterizava de baixa capacidade, porém a partir da década de 1970, impulsionados pelas ideias de representação dos elementos naturais da paisagem de forma abstrata, desenvolvidas por Ian McHarg na década de 1960 (McHarg, 1992), e pelos avanços computacionais de processamento e desenho gráfico, surgiram os Sistemas de Informação Geográfica (*Geographic Information System – GIS*) e os sistemas de desenho apoiados por computador (*Computer Aided Design - CAD*), focado para plantas e desenhos para engenharia, servindo de base para cartografia automatizada.

Na década de 1980, o programa TIGER (*Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing*) do *United States Census Bureau* intensificou as ações governamentais em prol da produção e tratamento de dados geográficos nos Estados Unidos (Miller, 1999). Segundo Fletcher (2002), o modelo utilizou em primeiro plano a estrutura viária federal e estadual como referência para o georreferenciamento de outros planos de informação, como os setores censitários e limites administrativos. Com isso, iniciou-se a popularização e aperfeiçoamento do SIG que dura até os dias atuais.

No Brasil, a introdução do geoprocessamento acontece nos anos de 1980, com a iniciativa do Prof. Jorge Xavier da Silva (UFRJ) e Prof. Marcos Rodrigues (EPUSP). Concomitantemente, a presença do Dr. Roger Tomlison, responsável pela criação do primeiro SIG (*Canadian Geographical Information System*), no Brasil alavancou o surgimento de interessados no desenvolvimento da tecnologia (CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO, 2001, p. 4).

Em síntese, SIG é um sistema formado por recursos humanos (desenvolvedores e usuários) e recursos computacionais (*hardware* e *software*), intrinsicamente envolvidos em prol de um modelo lógico de entendimento e processamento dos dados abstraídos da realidade através de um modelo conceitual ou adicionados ao modelo para a predição de cenários. SIG e o geoprocessamento são tecnologias importantes para o dia-a-dia das organizações que as utilizam. Todavia, o segundo termo é um produto a partir da manipulação dos dados do primeiro. Todo este processo necessita de ações criativas de analistas modeladores de análises críticas dos usuários, quem demandam e utilizam as informações espacializadas.

3.2. Fenômenos Geográficos

A representação espacial pode se dar por objetos discretos ou contínuos. Segundo Zhang, Atkinson e Goodchild (2014), a caracterização entre elementos geográficos para a representação discreta ou contínua é relativamente similar ao entendimento dos termos contínuo e discreto quanto a amostragem estatística. Fenômenos discretos correspondem a elementos contáveis que podem ser representados de forma independente e que não ocupam a superfície de estudo como um todo. Por sua vez, fenômenos contínuos ocorrem de forma abrangente na superfície e não são fracionados ou contados individualmente. Estes podem ser considerados como um conjunto de variáveis cujo valor pode ser medido em qualquer ponto na superfície terrestre e pode variar continuamente ao longo da superfície. (LONGLEY *et al.*, 2013). São exemplos de fenômenos discretos, as representações vetoriais como hidrografia, edificações e vias. São exemplos de fenômenos contínuos as representações matriciais (imagens), vetoriais em polígonos contíguos e adjacentes como cobertura do solo, ou rede triangular irregular de modelos digitais de terreno.

No Brasil, a literatura trata tais fenômenos como geo-objetos e geo-campos, respectivamente (CAMARA *et al.*, 1996). As **Figuras 16 e 17** ilustram as representações de fenômenos geográficos discretos e contínuos, respectivamente.



Figura 16: Objetos vetoriais discretos
Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

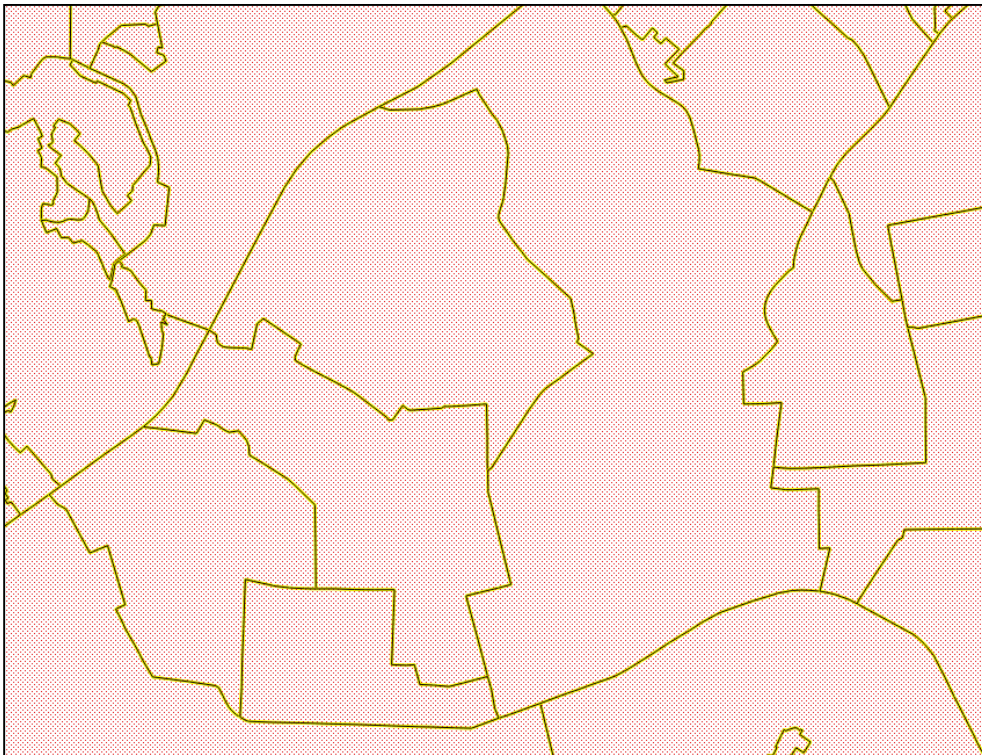


Figura 17: Objetos contínuos
Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

3.3. Estrutura de Dados

Conforme seção anterior, os objetos discretos e contínuos são apenas aspectos conceituais dos fenômenos geográficos. Atualmente, existem várias formas de entrada de dados em SIG, todavia dois tipos de estruturas são mais conhecidos e responsáveis por reduzir a informação geográfica a formatos codificados em base de dados. São denominados de vetorial e matricial. Em princípio, ambos podem ser utilizados no âmbito dos objetos discretos e contínuos, mas a prática mostra expressiva associação entre matrizes – contínuos e vetoriais – discretos.

A representação matricial é dividida em uma malha retangular de células que também são chamadas de pixels (contração de *picture elements*) (**Figura 18**). Toda a variação no espaço é atribuída as propriedades de cada célula. O dado constituído em matriz também é conhecido como “*raster*” ou simplesmente uma “imagem”. Normalmente a origem destes dados são de imagens de satélite, aerofotogrametria, Vants/Drones dentre outros.

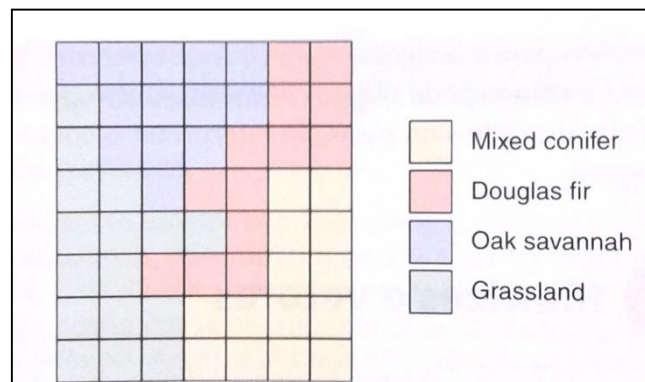


Figura 18: Representação matricial. Cada cor representa um valor diferente de uma variável em escala nominal (dados categóricos) indicando uma classe de cobertura do solo.

Fonte: Longley, Goodchild, *et al.*, (2013, p. 88)

A **Figura 19** também demonstra a realidade do dado matricial sendo a informação representada através de formato alfanumérico e sua correspondente visual.

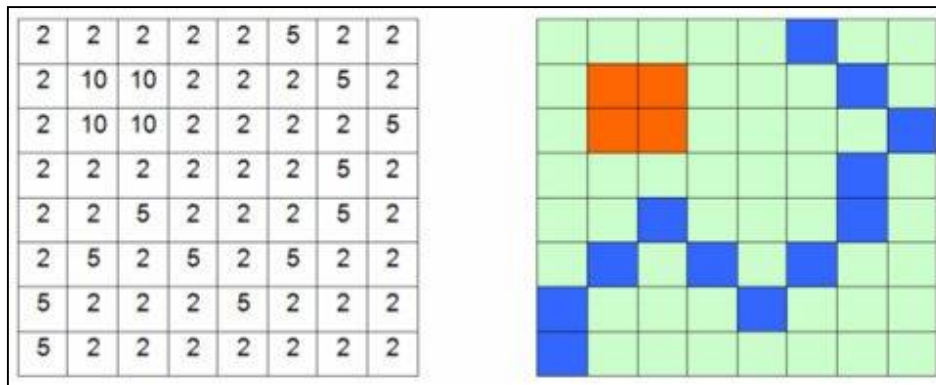


Figura 19: Representação matricial: alfanumérica e visual

Fonte: Portogente (2012)

O dado matricial também pode provir de um vetor, processo chamado de digitalização. Pode-se também gerar uma matriz de maneira bruta, ou seja, a origem do dado é matricial como, por exemplo, realizar um cálculo de distância a partir de um determinado ponto definindo a representação por malha.

No que tange aos dados vetoriais, estes caracterizam-se por três formas de representação: ponto, linha e polígono, sendo este último também conhecido como areal ou zonal. Tal conceito advém do modelo de representação dos elementos naturais da paisagem para representação computacional em 1963 (MCHARC, 1993). Estes três tipos possibilitam a descrição exata de posição, tamanho e dimensão, como ilustrado **Figura 20**.

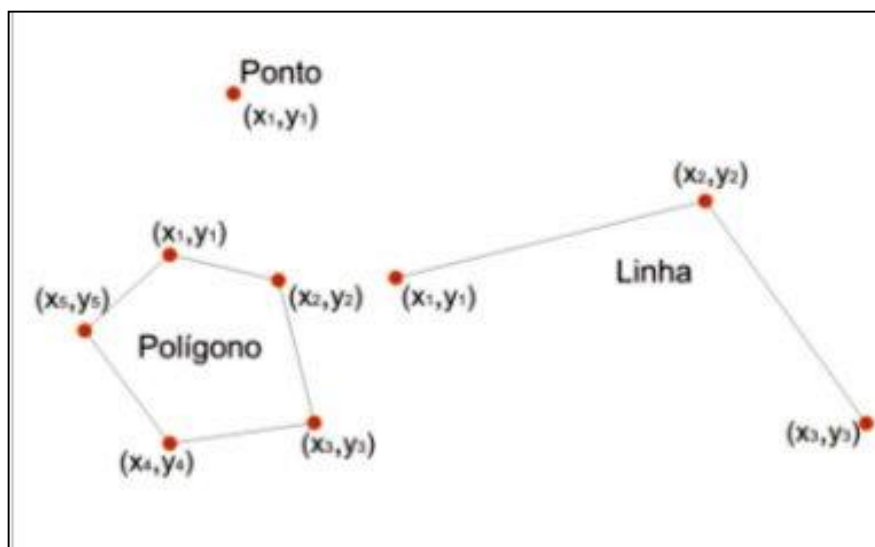


Figura 20: Tipos de dados vetoriais

Fonte: Portogente(2012)

Ao contrário dos pontos, os polígonos e linhas são basicamente segmentos de reta conectando os pontos. “Alguns programas de SIG aceitam curvas como conexão entre pontos, porém, na maioria dos casos, elas são uma aproximação gerada pelo incremento da densidade de pontos”(LONGLEY; GOODCHILD *et al.*, 2013, p. 88). Normalmente, a fonte destes dados são bases cartográficas organizadas em formatos digitais como .shp, .dgn, .dwg, .dxf, mid/mif entre outros.

Apesar de serem duas formas distintas de organização, representação, armazenamento e processamento, dados vetoriais e dados matriciais podem, em grande parte dos aplicativos de geoprocessamento, serem utilizados em conjunto em análises geográficas e processamentos, bem como podem ser convertidos de um formato para o outro.

A escolha entre o uso de estruturas vetorial e matricial vai depender do objetivo a ser atingido. Enquanto que no dado vetorial pode-se obter, por exemplo, um cálculo de área com maior precisão, o dado matricial contém métodos de compressão com capacidade de reduzir o armazenamento no intuito de aumentar a eficiência do processamento. Nesse sentido, a triagem do tipo de dado evidencia que não é simples a tarefa de instituir a aplicação de determinada estrutura de dado geoespacial. A **Tabela 2** apresenta uma breve comparação feita por Câmara, Davis e Monteiro (2001, p. 32) entre estruturas vetoriais e matriciais.

Tabela 2: Comparação entre representações para mapas temáticos

REGINALDO ANTONIO		
0.09	VILELA	198.57
0.23	REGINALDO ANTONIO VILELA	198.57
0.16	REGINALDO ANTONIO VILELA	198.57
0.2	REGINALDO ANTONIO VILELA	198.57
0.09	REGINALDO ANTONIO VILELA	198.57
0.27	REGINALDO ANTONIO VILELA	198.57
0.86	REGINALDO ANTONIO VILELA	198.57

Fonte: Adaptado de Câmara, Davis e Monteiro (2001, p. 32)

Observa-se que cada tipo de representação possui a sua relevância de acordo com o objetivo almejado. Destaca-se que tanto dados vetoriais quanto matriciais, sejam eles contínuos ou discretos, possuem formas de organização padronizadas em um SIG. Neste caso, pensa-se na sistematização em camadas, os chamados *layers*, no processo de construção da base integrada de dados para análises espaciais.

3.4. Organização das informações geográficas de álgebra de mapas

As informações geográficas geradas precisam ser estruturadas em planos de informação, também intitulado de camadas. Considerando que estes planos já estejam constituídos de sistema de coordenadas (topográficas, geográficas, geodésicas ou cartesianas) e devidamente georreferenciados, podem ser sobrepostos no intuito de representar o modelo do mundo real. Habitualmente, se afirmaria que para ocorrer esta sobreposição, seria necessário que as camadas tivessem a mesma projeção cartográfica, sistemas de coordenadas e sistema de referência geodésico. Contudo, alguns aplicativos SIG atuais possuem recursos que possibilitam a pseudo-transformação dos dados para visualização em tempo real quando camadas diferentes de informação possuem sistemas de projeção ou data geodésicos divergentes. Este recurso é chamado de *On-The-Fly*, em que o mesmo realiza cálculos para anular graficamente as diferenças entre os sistemas, todavia isso é feito de maneira virtual e as camadas não sofrem reprojeção. A **Figura 21** ilustra a representação do mundo real em SIG.

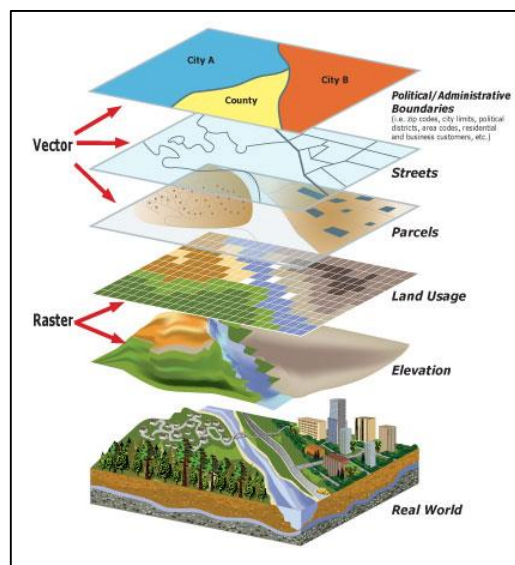


Figura 21: Camadas de informações geográficas compostas em SIG
Fonte: NOAA (2015)

É possível observar vários elementos geográficos relacionados a um único tema ou uma classe de informação. Neste caso, nota-se que existe um tema para ruas, outros para edificações, vegetação, hidrografia e assim por diante. Todas estas camadas possuem o objetivo de compor um estudo temático que envolvam todas essas informações. De acordo com o Estudo Dirigido em SIG promovido pela Universidade Federal Fluminense (UFF, 2015) os elementos geográficos representam e descrevem os eventos e os fenômenos do mundo real através de duas componentes:

- Gráfica ou espacial –descreve a localização registrada em coordenadas geográficas, coordenadas de projeção ou coordenadas retangulares com uma origem local, a geometria contendo informações sobre área, perímetro e forma;
- Não-gráfica ou não-espacial ou alfanumérica – descreve os atributos temáticos e temporais, representados em forma de tabela estruturada ou de um banco de dados convencional.

Os componentes gráficos e alfanuméricos são interligados através de geocódigos. A maioria dos SIGs utilizam modelos relacionais de banco de dados estruturando os mesmos em tabelas. Cada linha da chamada tabela de atributos corresponde a uma feição espacial.

Esta abordagem de *layers* assim como as formas de representação e estruturação de dados geográficos são de relevância para a compreensão dos estudos em geoprocessamento. É possível apreender que a informação espacial necessita de organização para que as análises sejam sustentadas de maneira efetiva. Este tratamento deve ser dado no âmbito das geotecnologias em transportes de forma que se gere conhecimento a respeito deste tema que seja convincente e útil para a resolução de problemáticas do mundo real.

3.5. Aplicações de SIG em Transportes

A importância da informação ligada a localização é de suma relevância na Engenharia de Transportes. A questão espacial tem sido considerada em relação ao deslocamento de mercadorias e pessoas de um lugar para outro, e também no campo da infraestrutura (rodovias, ferrovias, hidrovias), responsáveis pela alocação dos fluxos. As diversas autoridades ligadas aos órgãos da administração pública assim como gestores de empresas privadas, necessitam de tomar decisões diariamente sobre novas rotas que precisam ser criadas, sobre administração das condições das rodovias, vias urbanas etc.

A informação espacial tem sido útil na organização de operações públicas e privadas como, por exemplo, onde instalar centros de distribuição e facilidades de transferência multimodais. Os órgãos de trânsito precisam planejar rotas e horários, rastrear veículos e lidar com incidentes e acidentes que provocam atrasos, além de oferecer informação sobre o sistema ao público em deslocamento. Estas áreas podem empregar o SIG, em um mix de aplicações operacionais, táticas e estratégicas (LONGLEY, GOODCHILD, *et al.*, 2013, p. 61).

Na década de 1990, foi criada nos Estados Unidos a iniciativa do *Geographic Information System for Transportation* (GIS-T), que visava organizar e coordenar ações de pesquisa para aperfeiçoamento das técnicas de geoprocessamento no âmbito dos transportes (RODRIGUE *et al.*, 2006 ; FLETCHER, 2002).

No Brasil, embora a mobilização tenha surgido posteriormente, há iniciativas e ações de estímulo ao emprego de geoprocessamento em transportes, como o Plano Diretor de Geoprocessamento (VALEC, 2013) para planejamento de projetos ferroviários, DNIT-Geo para visualização e disponibilização dos dados da infraestrutura viária, e as ações da Secretaria de Fiscalização de Infraestrutura Portuária, Hídrica e Ferroviária do Tribunal de Contas da União, que visa recorrer a geotecnologias para auditoria, fiscalização e controle externo de obras públicas (BERBERIAN *et al.*, 2016).

O DNIT, responsável pela infraestrutura de transportes, tem se preocupado com a utilização do geoprocessamento no planejamento dos sistemas de transportes, e enfoca o uso da geotecnologia na reestruturação do seu sistema. Segundo o órgão:

Sob a Coordenação Geral de Planejamento e Programação de Investimentos – CGPLAN, está implantando um núcleo de Geoprocessamento, com uma visão multimodal, cuja principal missão é elaborar e manter toda base de dados geográfica, devidamente georreferenciada, representativa dos dispositivos integrantes do sistema de transporte, de modo a garantir a padronização, a qualidade, a unificação e a atualização dos dados.

Ao Sistema de Planejamento está sendo aplicado um conjunto de técnicas inerentes a Geotecnologias, que visam o georreferenciamento da informação da infraestrutura viária dos diversos modais de transporte de competência do DNIT. Nesta linha, está sendo desenvolvido um novo módulo do SGP, com a finalidade de relacionar os dados de levantamentos em campo às informações geográficas, possibilitando análises espaciais como a criação de rotas condicionantes.(DNIT, 2015)

Para a escala municipal no Brasil, o emprego de geoprocessamento em transportes ocorreu nos primórdios dos anos 2000, sendo a Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte S.A (BHTRANS) e a Empresa de Processamento de Dados do Município de Belo Horizonte S.A. (PRODABEL) as precursoras da aplicação dessa tecnologia para planejamento e gestão. Na época, os representantes dessas instituições salientaram:

Os sistemas de informação geográfica (SIG) têm demonstrado ser uma ferramenta de integração de dados informatizados e de visualização de informações, facilitando sobremaneira as atividades de planejamento, projeto, operação e monitoração dos sistemas de transportes e trânsito (Zuppo, Davis Júnioire Meirelles, 2000, p. 2).

Os autores ainda citam potencialidades de aplicações em transportes em situações do município de Belo Horizonte como representação de malha viária, execução de pesquisas espaciais, produção de mapas temáticos, automatização da cartografia convencional e, principalmente, a representação de redes com a utilização de grafos (arcos e nós), como no caso em estudo. Esta representação possibilita a análise de rotas a partir de critérios definidos pelos usuários.

Zuppo, Davis Júnior e Meirelles (2000, p. 2) enfatizam o uso da geotecnologia em sistemas de transportes, pois os mesmos desvendam processos dinâmicos, exigindo constantes reformulações em seu todo ou em perspectivas limitadas. Sendo assim, o SIG revela-se uma ferramenta eficaz no acompanhamento destas mudanças.

A aplicação do geoprocessamento em transportes normalmente é lembrada no planejamento em uma área urbana, roteamento de ônibus escolares entre outras situações do cotidiano de uma população. Todavia, existem casos extremos em que a geotecnologia é empregada como, por exemplo, em um plano de evacuação para ocorrências de incêndios florestais. O Estado da Califórnia (Estados Unidos), sofre com grandes incêndios florestais que acabam atingindo áreas urbanas e por este motivo são elaborados planos de evacuação em SIG mostrando vias que possuem classificações de acordo com a capacidade de escoamento, considerando número de saídas e população. Neste caso, o grande diferencial do geoprocessamento oferecido pela perspectiva de transportes são as ferramentas de análise em rede, responsáveis pela roteirização das rotas de fuga em função de atributos como capacidade das vias, pavimentação, impedância, dentre outros.

Tal conceito é hoje amplamente utilizado em aplicativos de auxílio a navegação embarcados nos veículos ou em dispositivos de telefonia móvel.

A **Figura 22** ilustra o plano de evacuação da cidade de Santa Bárbara, Califórnia. As cores mostram dificuldades de evacuação de acordo com a variação das mesmas. Percebe-se que as áreas em vermelho teriam uma dificuldade de passagem de mais de 500 veículos pelas vias. As classificações foram feitas a partir de medidas de vulnerabilidade e interpolação espacial. Esta foi necessária para atribuir valores as vias uma vez que a análise produziu valores para as interseções.

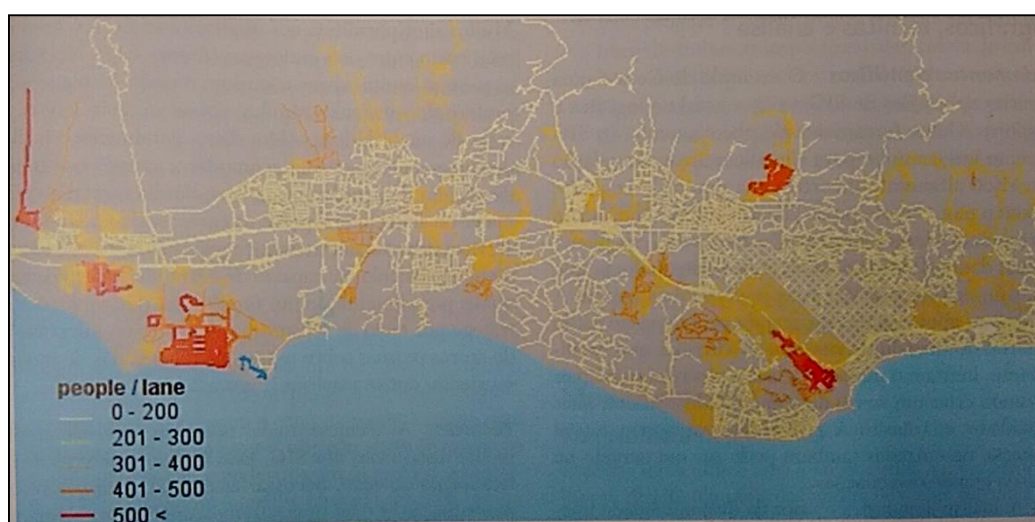


Figura 22: Vulnerabilidade de Evacuação na área de Santa Bárbara, Califórnia
Fonte: Longley, Goodchild, *et al.*(2013, p. 63)

O geoprocessamento no âmbito dos transportes viabiliza a análise espacial dos problemas. Não é apenas a representação de uma malha viária ou localização de pontos de origem e destino de determinado estudo, mas sim a possibilidade de se tomar decisões sobre diversos cenários. Assim, identifica-se a existência de demanda do uso de geotecnologias nos transportes e que sua aplicação não está sendo somente bem-aceita, mas sim necessária. As aplicações são diversas, todavia é vital a importância do profissional que irá operar o sistema. Portanto, visualiza-se a figura de analista do geoprocessamento em transportes e não meramente o simples usuário de SIG.

3.6. Modelagem em SIG e Análise Multicritério na Análise de Corredores de Transporte

A demanda por metodologias para modernizar o planejamento de transporte é notória e o geoprocessamento é a peça chave para integrar, de forma coordenada, as inúmeras variáveis espaciais desse processo, conforme explicitado anteriormente. No entanto, ocorre que a consolidação do geoprocessamento como instrumento de análise e modelagem de corredores é algo ainda pouco explorado fora do ambiente acadêmico. A elaboração de um SIG para suporte ao planejamento de corredores de transportes demanda grande volume de dados, como, por exemplo, mapas temáticos, hidrografia, dados geológicos e geomorfológicos, dados tabulares, dados históricos de uso e cobertura do solo, dados do censo, fotografias aéreas e imagens de satélite. Para o suporte das análises necessárias, metodologias são desenvolvidas para aperfeiçoar o fluxo de trabalho e estas são implementadas na modelagem em SIG. Ressalta-se que o modelo de dados é a base de qualquer SIG, caracterizando-se como um “conjunto de construtores para representar objetos e processos no ambiente digital do computador” (LONGLEY, GOODCHILD, *et al.*, 2013, p. 208) (**Figura 23**).

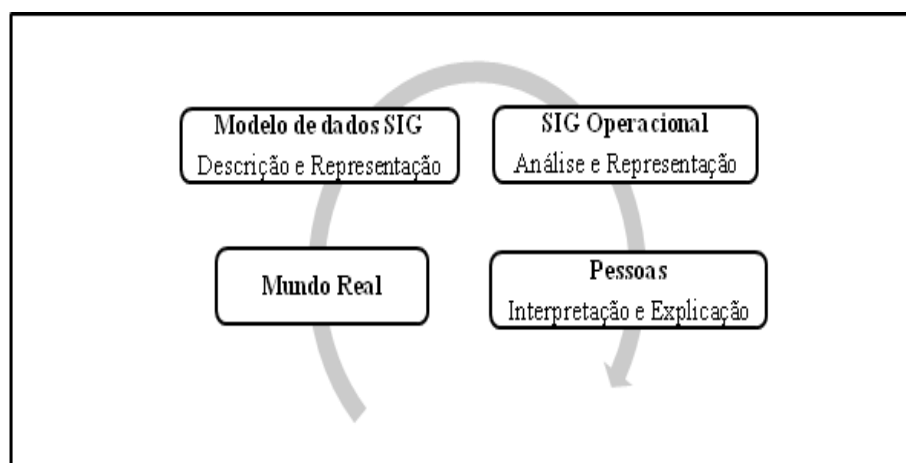


Figura 23: Papel de um modelo de dados em SIG
Fonte: LONGLEY, GOODCHILD, *et al.*(2013, p. 208)

Percebe-se que o processo inicia no Mundo Real e a partir disto é criado um Modelo de Dados em SIG com o objetivo de descrever e representar o problema. Posteriormente, o SIG possibilitará a análise e nova representação do objeto de estudo, este interpretado e explicado por Pessoas. Esta abordagem define uma visão geral da modelagem em SIG, considerando-se que existem vários problemas e diversas abordagens e, por isso é

possível afirmar que não existe um único e abrangente modelo de dados em SIG. Neste caso, é necessário e importante analisar as circunstâncias da modelagem.

Um dos modelos que tem sido discutido e utilizado juntamente com SIG é a Análise Multicritério. Em algumas discussões acadêmicas presenciadas pelo autor deste trabalho, notou-se que existem estudiosos que aceitam a Análise Multicritério como modelo, todavia existem linhas de pensamentos questionadoras. Entendendo o “modelo em SIG” como abstração da realidade geográfica e que a Análise Multicritério possibilita o entendimento desta realidade, considerou-se como tal.

Observa-se que a Análise Multicritério, aplicado ao SIG, se encaixa no modelo de dados proposto por Longley *et al* (2013), devido ao fato do processo começar no mundo real e terminar com os tomadores de decisão, ou seja, pessoas. Este modelo possibilita “inúmeros benefícios, dentre os quais a identificação de elementos relevantes para a decisão, a análise de situações complexas, de várias alternativas, da estabilidade e a comunicação de resultados” (GRAEML e EHRLICH, 1999). Trata-se de uma forma de trabalho interessante, pois o ser humano tem a dificuldade de considerar, simultaneamente, diversos elementos.

Para subsidiar a análise multicriterial e na perspectiva de anular a subjetividade humana, desenvolvem-se metodologias para aperfeiçoar o fluxo de trabalho e estas são implementadas na modelagem em SIG. Cita-se neste contexto a AHP (*Analytical Hierarchy Process*). De acordo com Sadasivuniet *al.* (2009, p. 2):

O método AHP foi introduzida por Saaty (1994) sendo um método de comparação par-a-par para tomada de decisão em multicritérios. Este método emprega matemática de análise de decisão para determinar as prioridades de várias alternativas usando comparação de pares de diferentes elementos de decisão com referência a um critério comum.

Vale ressaltar que esta técnica é aplicada como um método de comparação de variáveis para análise multicritério e se utiliza da modelagem matemática para determinação de prioridades, algo importante para organizar as disparidades de valores e opiniões e interesses dos agentes envolvidos no planejamento de corredores de transporte. Para Saaty (1994) *apud* Sadasivuni *et al.* (2009, p. 2), a técnica AHP pode ser usada para realizar alocação de recursos, análise de custo/benefício, resolução de conflitos, desenho

e otimização de sistemas e, com isso, possibilitar o desenvolvimento de resultados que visam resolver questões ligadas a fatores tangíveis e intangíveis.

O uso da técnica possui uma variedade de aplicações referente a tomada de decisão e tende no crescimento de sua utilização pela sua potencialidade de oferecer a resolução de conflitos entre múltiplas variáveis. De acordo com Sadasivuni *et al.*(2009, p. 2), para qualquer forma de tomada de decisão semi-estruturada, os aspectos principais a serem considerados são:

- Reconhecer que existem várias interessados envolvidos no processo de decisão;
- Pessoas possuem diferentes prioridades e valores;
- Muitos fatores são considerados, sendo estes avaliados de maneiras diversas por diferentes olhares;
- Problemas complexos não possuem solução única e perfeita.

A **Figura 24** ilustra uma ideia de decomposição de variáveis em SIG considerando o processo hierárquico, evidenciando o uso da AHP em um estudo hipotético. Em (a), de maneira simplificada, são apresentadas as variáveis (*layers*) e os respectivos atributos. Em seguida, é gerada uma camada contendo o resultado da sobreposição das variáveis. Em (b), o procedimento AHP é detalhado demonstrando os critérios ou variáveis. Em segunda etapa, as variáveis são comparadas par-a-par para gerar uma pontuação para cada uma. Nesta etapa ainda se padroniza os atributos das variáveis para serem multiplicadas com o valor adquirido pela comparação. Na terceira etapa já constam as variáveis com respectivos atributos classificados, sendo que estas são sobrepostas para se criar uma superfície final.

A comparação par-a-par é utilizada na atribuição de notas para cada variável e também para classificar os atributos presentes nas variáveis. A escala de comparação foi desenvolvida por Saaty (1980) *apud* Sadasivuni *et al.* (2009, p. 2) conforme **Tabela 3**.

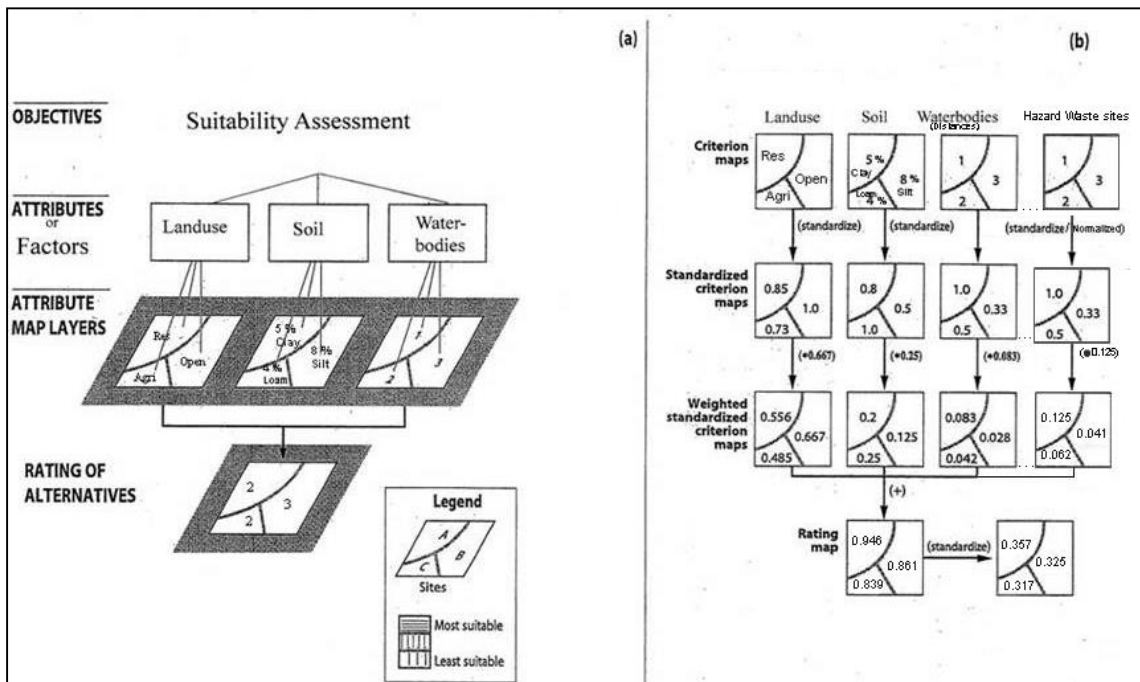


Figura 24: Analytic Hierarchy Process (AHP) – Procedimento do Método AHP (a); Classificação dos atributos em SIG (b)
Fonte: Sadasivuni *et al.* (2009, p. 2).

Tabela 3: Escala de comparação par-a-par

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Ambos os elementos são de igual importância	Ambos os elementos contribuem igualmente
3	Moderada importância de um elemento sobre o outro	A experiência e a opinião favorecem um elemento sobre o outro
5	Forte importância de um elemento sobre o outro	Um elemento é fortemente favorecido
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro	Um elemento é muito fortemente favorecido
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro	É evidente o favorecimento de um elemento sobre o outro
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre julgamentos adjacentes	Consenso entre julgamentos
Recíproco	Se uma variável tem um requisito acima dos que lhe são atribuídos, quando comparado com um segundo requisito, o segundo tem valor recíproco, quando comparado com o primeiro.	

Fonte: Saaty (1980) *apud* Sadasivuniet al. (2009, p. 2)

A partir da comparação par-a-par de cada critério, é construída uma matriz quadrada $C[i,j]$ para calcular os fatores. Uma vez que a matriz é criada, realiza-se a soma dos valores de cada coluna conforme **Equação 1**.

$$C_{ij} = \sum_{i=1}^n C_{ij} \quad \text{Equação 1}$$

A próxima etapa refere-se a divisão de cada elemento integrante da matriz pela soma do total das colunas. Pretende-se gerar neste passo uma matriz normalizada (**Equação 2**).

$$\begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} \end{bmatrix} \quad X_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^n C_{ij}} \quad \text{Equação 2}$$

Posteriormente, divide-se a soma da coluna da matriz normalizada pelo número de critérios utilizados para gerar a matriz de peso (**Equação 3**).

$$\begin{bmatrix} W_{11} \\ W_{12} \\ W_{13} \end{bmatrix} \quad X_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ij}}{n} \quad \text{Equação 3}$$

O próximo passo do processo consiste na comparação inicialmente dos critérios, chegando nas notas adquiridas pela AHP, que somadas, resultam em um valor igual a 1. As comparações e notas obtidas são alvo de validação através do índice *Consistency Ratio* (C_r) sendo $C_r < 0,1$ mostrando consistência na análise e valor diferente deste, evidenciando a necessidade de revisão e novos cálculos. A determinação do C_r é feita em duas etapas sendo a primeira uma multiplicação de matriz que envolve a primeira etapa da comparação par-a-par junto aos pesos adquiridos conforme **Equação 4**.

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} W_{11} \\ W_{12} \\ W_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Cv_{11} \\ Cv_{12} \\ Cv_{13} \end{bmatrix} \quad \text{Equação 4}$$

Posteriormente, o cálculo da consistência do vetor é realizado dividindo o peso adquirido pela soma dos vetores pelo peso adquirido pelos critérios conforme **Equação 5 a 7**.

$$Cv_{11} = \frac{1}{W_{11}} [C_{11}W_{11} + C_{12}W_{21} + C_{13}W_{31}] \quad \text{Equação 5}$$

$$Cv_{21} = \frac{1}{W_{21}} [C_{21}W_{11} + C_{22}W_{21} + C_{23}W_{31}] \quad \text{Equação 6}$$

$$Cv_{31} = \frac{1}{W_{31}} [C_{31}W_{11} + C_{32}W_{21} + C_{33}W_{31}] \quad \text{Equação 7}$$

Uma vez calculada a consistência do vetor, calcula-se a sua média expressada por lambda (λ). A partir desta etapa é feito o cálculo *Consistency Index* (CI) composto pelo lambda e o número de critérios analisados (n) (**Equação 8**).

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad \text{Equação 8}$$

Enfim, o cálculo C_r é realizado utilizando o CI encontrado e dividindo-o pelo Índice de Inconsistência Aleatória (RI) conforme **Tabela 4** e **Equação 9**.

Tabela 4: Índice de Inconsistência Aleatória

Índice de Inconsistência Aleatória (RI) para $N = 10$										
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,46	1,49

Fonte: Saaty (1980) *apud* Sadasivuni *et al.* (2009, p. 4)

$$C_r = \frac{CI}{RI} \quad \text{Equação 9}$$

A compreensão da metodologia exposta é de suma importância para o entendimento da análise multicritério com o suporte da AHP. Conforme explicitado anteriormente, o método procura anular perspectivas unilaterais no processo de tomada de decisão e reduzir os possíveis erros do julgamento humano, visando obter resultados mais consistentes. Em um estudo de corredores viários, a técnica se mostra de maneira atrativa por propiciar a ligação de vários tomadores de decisão uma vez que o universo deste tipo de projeto envolve ciências multidisciplinares.

Do ponto de vista prático, pela sua origem e significativas contribuições na área da Economia, AHP é o método de análise multicritério mais utilizado e conhecido no apoio à tomada de decisão na resolução de conflitos negociados, em problemas com múltiplos critérios (MARINS, SOUZA e BARROS, 2009, p. 2). Todavia, ainda existe importante

espaço de crescimento no âmbito da modelagem geográfica, sido intensificada em ambientes SIG. Trabalhos estão sendo desenvolvidos com a utilização da metodologia conforme Nóbrega (2014) através de projeto produzido junto VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A. O projeto, desenvolvido pelo Departamento de Cartografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, investigou a junção entre os segmentos Panorama-SP/Chapecó-SP e Chapecó-SP/Riogrande-RS da Ferrovia NorteSul, ao longo de uma diretriz de aproximadamente 1.300km. O objetivo foi encontrar de forma integrada as três melhores alternativas, conforme reunião colegiada, para a conexão entre os corredores preferenciais definidos pelas empresas desenvolvedoras e aprovados pela VALEC. Os cenários encontrados foram possíveis através da modelagem de diversas variáveis geográficas e regras de decisão por meio da análise multicritério. A **Figura 25** ilustra a composição de 3 cenários distintos para avaliação técnica da alternativa mais viável para conexão dos segmentos ferroviários ao norte e ao sul da cidade de Chapecó-SC desviando da mancha urbana e das interferências ambientais e físicas, e simultaneamente sugerindo a implantação dos trilhos para próximo das áreas produtoras de grãos.

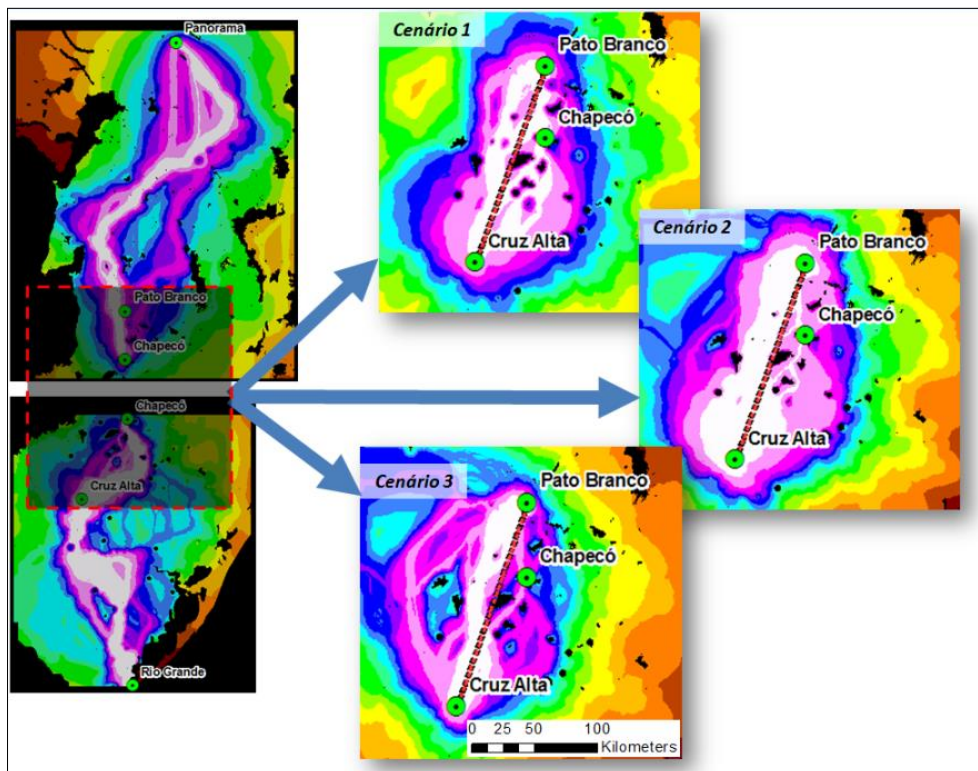


Figura 25: Cenários para implementação de corredor ferroviário
Fonte: Nobrega (2014)

4. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA: O RODOANEL DE BELO HORIZONTE

Belo Horizonte é uma cidade polo gerador de fluxos. No município chegam importantes rodovias federais como a BR-040, BR-381, BR-262 e BR-356, pelo qual trafegam veículos da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), composta por 34 municípios. Além disso, servem de passagem para veículos de pequeno, médio e grande porte de várias partes do Brasil.

De acordo com o levantamento volumétrico realizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2014) que teve início em 29/05/2014 e duração de 30 dias, no Km 551,6 da BR-040 (município de Nova Lima, próximo a Belo Horizonte), foram contabilizados 175.048 caminhões e ônibus, sendo que deste total 133.112 veículos são classificados como dos tipos mais pesados (caminhão trucado, semirreboques e reboque com dolly). No mesmo levantamento foram contabilizados 357.727 veículos de passeio, 13.557 motocicletas e 7.997 de outras categorias. Ainda segundo o DNIT (2011), os caminhões pesados representam 24% do total de veículos e grande parte do fluxo tem Belo Horizonte como origem e/ou destino.

Para a RMBH, segundo DNIT (2011), a proposta de construção do rodoanel caracteriza o projeto em três alças: sul, norte e leste. O objeto de estudo deste trabalho é o “Anel Sul”, que pretende ser uma via estruturante no contexto do sistema viário da RMBH. Esta alça atravessará trechos dos seguintes municípios: Ibirité, Betim, Contagem, Brumadinho e Nova Lima. A região é caracterizada por densidade populacional elevada, atividades industriais, áreas vulneráveis e de proteção ambiental. De acordo com o DNIT (2011), o Anel Sul possibilitará a retirada de parte dos veículos de carga que têm como trajeto as vias da capital mineira, sendo parte integrante do projeto de um complexo viário envolvendo Rodoanel Norte (Trevo da Krupp – Ravena, com 67 km de extensão) e Anel Leste (Olhos D’Água – Sabará com 22 km de extensão). Um estudo preliminar desenvolvido por uma empresa de engenharia² aponta quatro alternativas de trechos (**Figura 26**), todos com origem na BR-381, próximo à Petrobrás e Fiat, e término na BR-040.

² Atendendo à solicitação de confidencialidade frente aos dados oficialmente ainda não publicados, o nome da empresa e do projeto não serão divulgados neste trabalho.

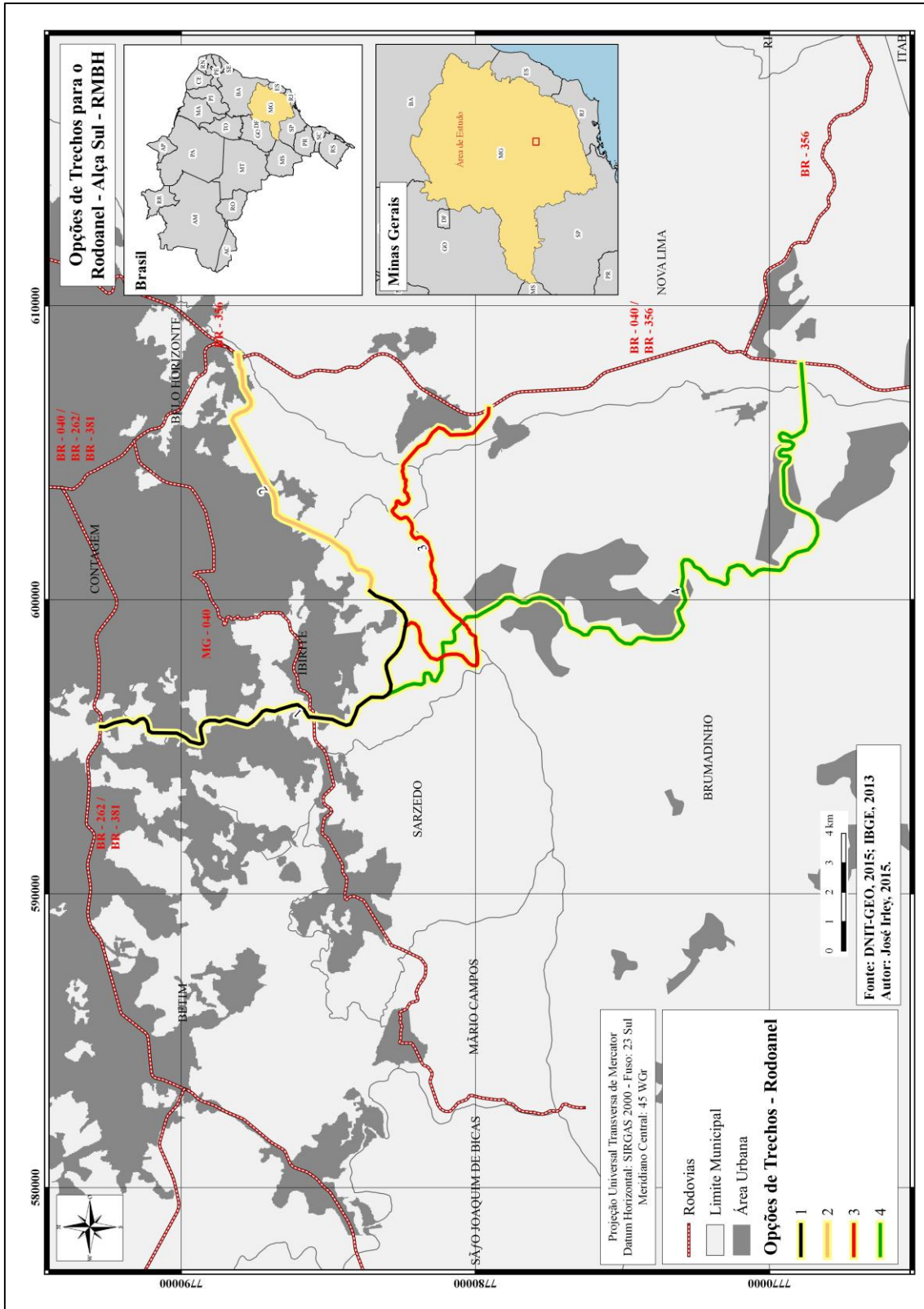


Figura 26: Localização da área de estudo e opções de trecho Anel Sul
Fonte: DNIT-GEO (2015); IBGE (2013).

Pela **Figura 26** que ilustra os trechos propostos para o Anel Sul, verifica-se que existem áreas urbanas conurbadas e isoladas. Entre os limites dos municípios Brumadinho, Sarzedo, Ibirité e Belo Horizonte, encontram-se Unidades de Conservação como o Parque Estadual do Rola Moça, Estação Ecológica Fechos e Áreas de Proteção Especial. Uma análise preliminar indica que todos os trechos também estão na Área de Proteção Ambiental Sul (APA Sul). Contudo, existem outras condicionantes envolvidas, como a presença dos trechos na área do Quadrilátero Ferrífero. Salienta-se que tais condicionantes não impedem, porém dificultam substancialmente a adequação do projeto viário frente as políticas ambientais vigentes.

No entanto, é válido ressaltar que, embora a perspectiva ambiental seja talvez a mais lembrada atualmente no que se refere a corredores de transporte, as demandas mercadológicas, logísticas e socioeconômicas impulsionam a construção da infraestrutura viária. Desta maneira, é necessário o envolvimento multidisciplinar para atender aos requisitos atuais do planejamento de transportes. A integração de distintas perspectivas, através da opinião (em geral divergentes) de *expertises*, é um dos principais desafios enfrentado na gestão pública referente ao planejamento de transportes. Tal perspectiva pode ser modelada em um sistema de suporte à decisão através de técnicas de geoprocessamento e análise multicritério, sendo esta a justificativa e o motivação maior do presente trabalho.

5. METODOLOGIA

5.1.Dados e Construção de Base de Dados

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram necessários a coleta e construção de base de dados tanto tabulares quanto geoespaciais.No que tange à documentação técnica, foram utilizados como norteador para a modelagem de corredores os “Termos de Referência para o Estudo do Traçado e Elaboração do Projeto Executivo de Engenharia para o Contorno Rodoviário Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte BR-040/MG”. Este documento se caracteriza como Anexo I – Projeto Básico para contratação de serviço segundo a alínea I § 2º Art. 7º da Lei 8.666 de 21/06/93 cujo número de processo é o 50600.032686/2011-78 (DNIT, 2011).

Este Termo de Referência é composto por seis capítulos que caracterizam a área de estudo e abordam sobre os aspectos preliminares e executivos do projeto. Todo os termos foram avaliados, todavia os capítulos 2 – Estudo de Traçados Alternativos, 3 – Identificação dos Serviços a Serem Executados e 6 – Detalhamento dos Serviços foram mais explorados por conterem informações relevantes para a definição das variáveis a serem utilizadas e respectivas regras aplicadas.

Os termos de referência orientaram enquanto a determinação de variáveis em seu próprio texto assim como indicam demais manuais e documentos técnicos para consulta como as Instruções de Serviço (IS) e Escopos Básicos (EB) do DNIT.Salienta-se a Publicação IPR – 726 – Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – Escopos Básicos / Instruções de Serviços. Segundo o DNIT (2006), este documento é “fundamental para a atuação do próprio órgão gestor do sistema rodoviário federal e de órgãos similares de esferas (estadual, municipal) por todo o país.”As principais Instruções consultadas foram:

- EB – 101: Estudos de Viabilidade Técnica-Econômica-Ambiental de Rodovias;
- EB – 102: Projeto Básico de Engenharia para Construção de Rodovias Rurais;
- EB – 103: Projeto Executivo de Engenharia para Construção de Rodovias Rurais;
- IS – 202: Estudos Geológicos;
- IS – 204: Estudos Topográficos para Projeto Executivo de Engenharia;

- IS – 206: Estudos Geotécnicos;
- IS – 207: Estudos Preliminares de Engenharia para Rodovias (Estudos de Traçado);
- IS – 208: Projeto Geométrico;
- IS – 226: Levantamento Aerofotogramétrico para Projetos Básicos de Rodovias;
- IS – 227: Levantamento Aerofotogramétrico para Projetos Executivos de Rodovias;
- IS – 238: Estudos Topográficos para Projetos Executivos de Engenharia para Construção de Rodovias Vicinais;
- IS – 246: Componente Ambiental dos Projetos de Engenharia Rodoviária.

Sendo assim, ocorreu o subsídio para busca de dados geográficos junto aos órgãos e instituições responsáveis.

As bases geográficas que compõem o estudo foram adquiridas mediante a contatos telefônicas e visitas. Para facilitar a organização destes dados, os mesmos foram separados em subconjuntos, conforme descrição dos termos de referência do Anel Sul – Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) que diz que o estudo de traçado deverá considerar simultaneamente “questões ambientais, culturais, sociais, engenharia, comunitária, geográficas e financeiras envolvidas no estudo do empreendimento” (DNIT, 2011, p. 82) e orientação bibliográfica (NÓBREGA, 2014, p. 5). A **Tabela 5** detalha os dados constantes da Base de dados e as características da informação necessária.

Tabela 5: Organização da base de dados

Dado	Escala	Fonte	Data	Tipo	Subconjunto
Áreas Urbanizadas	1:50000	ZEE-MG (2009)	2009	Vetor	
População	1:500000	IBGE (2010)	2010	Tabela	
Assentamentos Rurais	1:10000	INCRA (2015)	2015	Vetor	Socioeconômico
Patrimônio arqueológico - Distância	1:50000	IPHAN (2015)	2015	Tabela	
Patrimônio histórico, artísticos e cultural - Distância	1:50000	Prefeituras (2015)	2015	Tabela	
Rodovias - Densidade	1:10000	DNIT-GEO/Vetorização	2015	Vetor	
Vias urbanas - Densidade	1:50000	Open Street Map	2015	Vetor	
Redes de Gás - Distância	1:10000	GASMIG	2015	Vetor	Mercadológico e Suporte Logístico
Linhas de Transmissão - Distância	1:10000	CEMIG	2015	Vetor	
Recursos Minerais	1:1000000	Geodiversidade - CPRM	2010	Vetor	
Interesse Mineral	1:1000000	DNPM - SIGMINE	2015	Vetor	
Vegetação remanescente	1:150000	Landsat 8 - NDVI	2015	Raster	
Nascentes - Distância das nascentes	1:1000000	IGAM	2014	Vetor	
Hidrografia - Densidade e distância da hidrografia	1:1000000	IGAM	2014	Vetor	
MDS - Modelo Digital de Terreno (Declividade)	1:10000	IGTEC	2009	Raster	Biofísico
Vulnerabilidade a Erosão	1:1500000	ZEE-MG	2009	Vetor	
Risco de erosão - filito, carstico e movimento de massa	1:1000000	Geodiversidade - CPRM	2010	Vetor	
Espelho D'Água	1:1000000	Vetorização	2015	Vetor	
Unidade de Conservação - Proteção Integral	1:50000	ZEE-MG	2009	Vetor	Restrições Ambientais
Unidade de Conservação - Uso Sustentável	1:50000	ZEE-MG	2009	Vetor	
Cavernas - Distância	1:50000	SECAV	2015	Vetor	

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Praticamente todos as bases foram coletadas em órgãos e instituições públicas. Em grande parte, foram obtidas por meio das Infraestrutura de Dados Espaciais (IDEs) como, por exemplo: Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), Instituto de Geotecnologia de Minas Gerais (IGTEC) e o Zoneamento Ecológico Econômico de Minas Gerais (ZEE-MG). A obtenção destes dados demonstra a preocupação crescente dos órgãos em disponibilizar publicamente a informação geográfica produzida.

Em termos de processamento dos dados, foram utilizados os seguintes aplicativos:

- Planilha eletrônica Excel: tratamento e organização tabular;
- Sistema de Informação Geográfica (SIG) - QGIS: Tratamento de dados vetoriais;
- SIG –ESRI ArcGIS: Geração de base matricial;

- SPRING: Geração complementar de base matricial;
- Dinamica EGO: Construção do modelo de corredor com a aplicação da AHP.

Vale destacar que dentre os programas utilizados, dois deles são gratuitos, sendo o QGIS e o Dinamica EGO. É importante dizer que o Excel e o ArcGIS também poderiam ser substituídos por programas Open Source, todavia devido a questões de tempo de aprendizagem, estes *softwares* foram mantidos. Considerando a acensão de uso dos programas gratuitos, em especial em instituições governamentais, o presente trabalho teve como preocupação fornecer uma solução real e passível de ser absorvida e futuramente replicada por gestores de transportes.

Em relação a infraestrutura de máquina, foi empregado um microcomputador com processador Intel I7 de 1ª geração, com 2.2 GHz de frequência, 6 GB de RAM em Sistema Operacional Windows Professional 64 bits. Esta máquina, de configuração trivial, se mostrou útil na maioria do processamento de dados, contudo encontrou dificuldade no momento de gerar bases matriciais com volumes elevados de linhas e colunas. A dificuldade de processamento decorreu do cálculo de matriz, especificamente mapa de custo, justificado pelas inúmeras iterações até a obtenção da solução ótima, e por processamentos em números reais de 32-bit.

5.2. Etapas do Procedimento Metodológico

Para a realização deste trabalho foram necessárias 4 etapas, sendo: (i) Avaliação dos Termos de Referência do Anel Sul; (ii) Organização das variáveis e regras de decisão; (iii) Processamento de base cartográfica; (iv) Construção do modelo e avaliação de cenários, ilustrado no fluxograma da **Figura 27**.

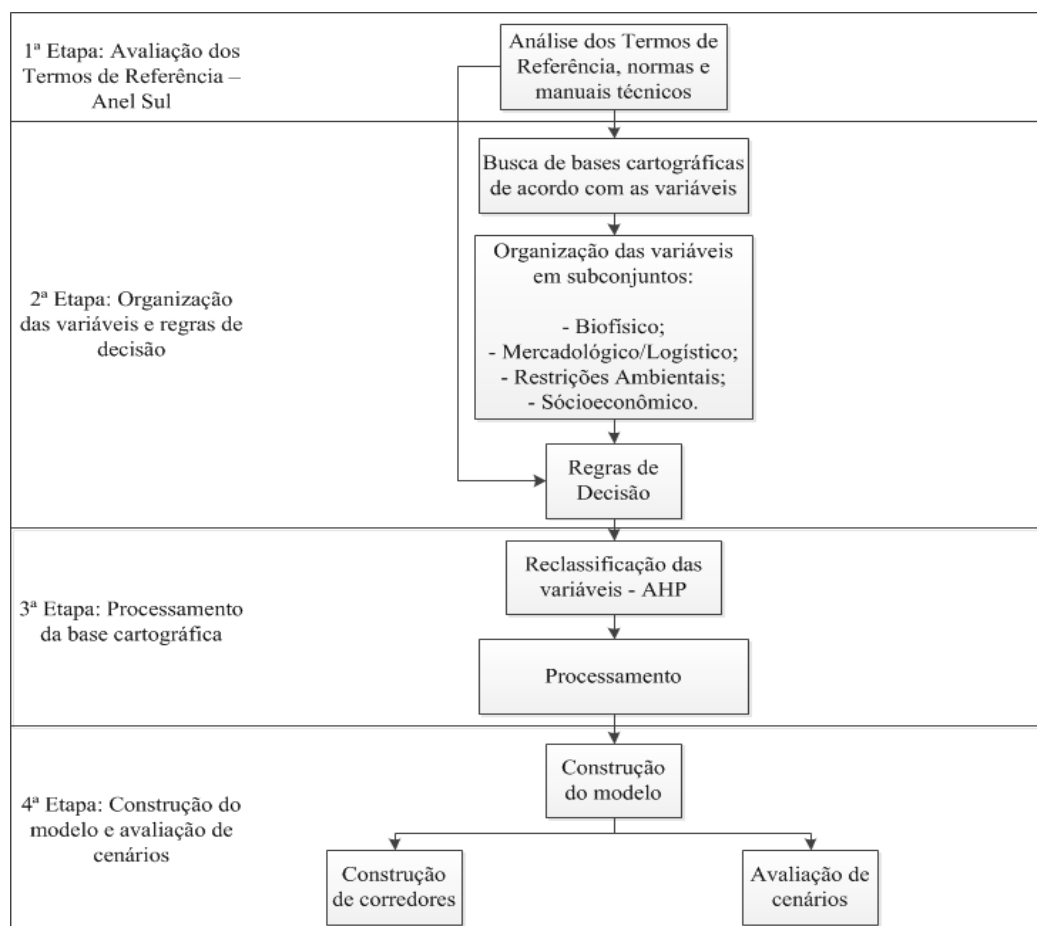


Figura 27: Fluxograma metodológico
Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

A primeira e segunda etapas se constituem a fase inicial do trabalho com a busca, organização e processamento preliminar das variáveis. Nestas etapas foram importantes as interpretações dos Termos de Referência assim como a documentação técnica indicada para que ocorresse a separação dos subconjuntos e definição das regras de decisão. Uma dificuldade desta etapa é que no Termo de Referência, diretriz do Projeto de planejamento do Rodoanel, não existe um capítulo específico que relate ou ilustre as variáveis que serão presentes no estudo. Neste caso fez-se necessário uma avaliação criteriosa dos documentos contando com a participação de profissionais de diferentes áreas.

Para tanto, técnicos de órgãos públicos foram consultados a respeito da usabilidade de determinadas variáveis em um projeto de estradas. Entretanto, também obteve-se falta de comunicação com alguns órgãos que não responderam ao envio de e-mails e telefonemas. A aquisição das bases cartográficas também foi um desafio dada as barreiras impostas pela burocracia.

O processamento, terceira etapa, constituiu em transformar toda a base tabular e vetorial em estrutura matricial para se adaptar em formato do programa utilizado na construção do modelo de corredor, o Dinâmica EGO. Prosseguiu-se para a reclassificação dos *rasters* conforme técnica de suporte a decisão AHP para que todas as bases tivessem a mesma grandeza de pesos.

A construção do modelo, quarta etapa, fundamentou-se na elaboração do fluxograma que recebeu a base cartográfica e teve por finalidade gerar novos dados matriciais das superfícies de esforço, esforço acumulado, custos e cenários, no caso em estudo. Estas superfícies foram geradas considerando o subconjunto a que pertenciam. Estes passos possibilitaram a definição dos corredores de transporte e avaliação dos cenários. Os detalhes do processo serão apresentados na seções seguintes. Importante ressaltar que se pretende detalhar os estágios deste trabalho, todavia não pretende-se apresentar um tutorial, mas sim um texto objetivo e claro do procedimento adotado e das dificuldades e desafios enfrentados em termos do processamento de dados.

5.3. Preparação Base Cartográfica

Preparar a base de dados é quase sempre uma das tarefas mais árduas em um SIG. Investigar sobre a disponibilidade de dados geográficos na área de estudo, compreender o material obtido no contexto da proposta do trabalho, e analisá-lo de forma qualitativa e quantitativa são tarefas que demandam tempo, conhecimento sobre o assunto e elevado senso crítico.

Nos primórdios dos SIG, quando os dados geográficos eram muito escassos, a coleta de dados era a principal tarefa do projeto e, normalmente, consumia a maior parte dos recursos disponíveis. Ainda hoje, a coleta de dados continua a ser um processo demorado, tedioso e caro. (LONGLEY, GOODCHILD, *et al.*, 2013, p. 231).

Neste sentido, a tarefa de se organizar os dados geográficos é um desafio, mesmo em dias atuais, sendo a realidade experimentada neste estudo. As bases cartográficas foram adquiridas em formatos tabulares, vetoriais, matriciais, PDF entre outros. Inicialmente, todos os dados tabulares e em documentos de texto, foram convertidos em formato vetorial ESRI (.shp) para depois serem transformadas em *raster* com o uso dos programas ArcGIS, Spring e QGIS. Salienta-se que todas as bases obedeceram um limite (poligonal)

determinado como área de estudo. Os detalhes da organização é relatada a seguir de acordo com o subconjunto das variáveis, sendo classificados em cenário biofísico, cenário mercadológico/suporte logístico, cenário socioeconômico e cenário de restrições ambientais. As bases cartográficas podem ser visualizadas nos **Apêndices A a D**.

5.3.1. Variáveis do Cenário Biofísico

Declividade: Aquisição dos dados de declividade através do Modelo Digital de Superfície (MDS) gerada através da composição de Ortofotos provenientes do projeto IGTEC / Fototerra Atividades de Aerolevantamentos Ltda (Contrato 092/2013, de 14/10/2013) (MINAS GERAIS, 2015). As informações possuem resolução espacial de 0,4m, articuladas em imagens correspondendo a uma dimensão territorial de 3,0 X 3,0 km cada. Estas ortofotos cobrem os seguintes municípios de Belo Horizonte, Betim, Brumadinho, Caeté, Contagem, Florestal, Ibirité, Igarapé, Itatiaiuçu, Juatuba, Mário Campos, Mateus Leme, Nova Lima, Raposos, Rio Acima, Sarzedo, Rio Manso e Sabará, sendo utilizadas as ortofotos dos municípios com grifo. Para a geração da declividade, utilizou-se o *software* ArcGIS através da ferramenta ArcToolbox => Spatial Analyst Tools => Surface => Slope. Os valores dos pixels foram padronizados em porcentual. O raster de saída se configurou em uma matriz de 29.995 colunas e 26.175 linhas. Como o dado de declividade é o de maior resolução espacial, este foi mantido como padrão para a geração dos demais rasters, ou seja, todos terão o mesmo número de linhas e colunas. Este MDS não foi filtrado para exclusão da vegetação, edificações ou outros alvos que não fossem o relevo, pois entendeu-se que estes “ruídos” seriam diluídos no processo de álgebra de mapas.

Densidade Hidrográfica: Esta camada foi gerada através da base cartográfica de Hidrografia Ottocodificada (IGAM, 2014) da bacia hidrográfica do rio São Francisco, fornecida pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas. O *software* utilizado para gerar esta variável foi o ArcGIS em ArcToolbox => Spatial Analyst Tools => Kernel Density. O raio utilizado para o operador Kernel foi a distância média entre as feições. O produto de saída já se caracteriza em formato raster sendo necessário apenas padronizar o número de colunas e linhas. Portanto todos os raster gerados terão de ser padronizados, conforme o dado de declividade.

Distância da Hidrografia: Dado matricial elaborado a partir da mesma camada de origem da densidade hidrográfica. Foi usada a ferramenta “*Distance*” do *software* ArcGIS.

Distância de Nascentes: Este dado matricial foi gerado usando a ferramenta “*Distance*” do ArcGIS. A base cartográfica de origem se caracteriza em um arquivo vetorial do tipo ponto criado através da Hidrografia Ottocodificada. Para gerar as nascentes, foi utilizada a ferramenta “*Flow Trace*” do *software* QGIS. Este recurso reconhece o ponto inicial da drenagem resultando no arquivo de ponto.

Espelho D’Água: Gerado a partir da vetorização de imagem de satélite *Google Hybrid* proveniente do plugin *Open Layers* disponível no *software* QGIS. Posteriormente o arquivo foi rasterizado no *software* ArcGIS utilizando a ferramenta presente no ArcToolbox chamada “*Polygon to Raster*”. É importante ressaltar que este dado se caracteriza como discreto, ou seja, somente onde o mesmo está presente é que possui a existência do dado. Neste caso, todas as camadas vetoriais discretas, no momento da rasterização, utilizaram uma camada máscara para que toda a área de estudo possuísse um valor não nulo.

Risco de erosão - filito, cárstico e movimento de massa: Estas variáveis foram geradas tendo como origem os dados vetoriais de riscos, disponibilizados pelo CPRM através do mapeamento da Geodiversidade de Minas Gerais. Como os arquivos se caracterizam como polígonos, os mesmos foram convertidos em rasters.

Vegetação: Este dado foi gerado de forma primária. Utilizou-se uma imagem Landsat-8 de 31 de Agosto de 2015 cujo identificador é LC82180742015243LGN00. O intuito foi gerar um produto chamado NDVI – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*). Segundo Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012, p. 90) “trata-se de um índice amplamente utilizado até os dias atuais, tendo sido explorado com diferentes abordagens em estudos climáticos e de culturas agrícolas e florestais”. Este índice normaliza a razão simples para o intervalo de -1 a +1. Para se chegar a um raster com os pixels neste valores, utilizou-se as bandas 4 (Vermelho - *Red*) e 5 (Infravermelho Próximo – NIR – *Near Infrared*). A normalização é feita pela seguinte equação:

$$NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red)$$

Equação 10

O resultado é uma imagem em níveis de cinza em que os pixels mais claros significam maior presença da vegetação e mais escuros, menor recorrência. Este raster foi classificado utilizando o *Software Spring* e o algoritmo KMedias sendo necessário informações, *a priori*, como o número de Temas e Iterações, neste caso, 1 e 10 respectivamente. O produto desta classificação é uma imagem demonstrando os locais com a presença de vegetação exuberante com o valor de pixel 1 e não vegetação igual a 0.

Vulnerabilidade a erosão: Este dado foi adquirido através do ZEE-MG. Se caracteriza em estrutura matricial composta de pixels que possuem cinco valores com respectivos descritivos: 1 – Muito baixa; 2 – Baixa; 3 – Média; 4 – Alta; 5 – Muito alta.

5.3.2. Variáveis do Cenário Mercadológico e Suporte Logístico

Densidades de rodovias e vias urbanas: A densidade de rodovias e de vias urbanas foram geradas com a ferramenta “*Density Kernel*”. O dado de rodovias foi extraído do DNITGeo e a base de vias urbanas foi adquirida através da iniciativa *Open Street Map*, a partir do *software QGIS*.

Distâncias de Infraestruturas de redes e recursos minerais: A ferramenta aplicada foi “*Distance*” do *software ArcGIS*. As infraestruturas utilizadas foram de gás e linhas de transmissão de energia. Os dados de recursos minerais se classificam como do tipo ponto e foram extraídos do mapeamento da Geodiversidade de Minas Gerais (MACHADO & SILVA, 2010). Não foi utilizado nenhum tipo de ponderação respeitando classe hierárquica das redes selecionadas ou dos tipos de recursos minerais.

Interesse Mineral: Esta camada se originou do mapeamento da Geodiversidade de Minas Gerais. Inicialmente, como vetor, foi verificada a tabela de atributos das feições aproveitando-se a coluna “LEGENDA” que constitui em três classes:

- A – Aproveitamento Mineração Comprovado;
- B – Áreas Indicativas de Aproveitamento Mineral;

- C – Áreas com Potencial de Aproveitamento Mineral.

Este atributo foi usado para a conversão do arquivo em raster designando o valor 1 a “A”, 2 a “B” e 3 a “C”.

5.3.3. Variáveis do Cenário de Restrições Ambientais

As restrições ambientais se apoiaram em Unidades de Conservação (UCs), tanto de Proteção Integral quanto de Uso Sustentável. Foram usados os dados do ZEE-MG – Zoneamento Ecológico Econômico de Minas Gerais.

Proteção Integral: Foram consideradas Estação Ecológica (ESEC), Monumento Natural (MONA), Parque Estadual (PAR) e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN).

Uso Sustentável: Foram consideradas Área Proteção Ambiental (APA) e Área de Proteção Especial (APE).

Todos os dados vetoriais das UCs foram transformados em raster considerando como valor do pixel igual a 1 onde havia área da unidade e 0 em situação contrária.

Outra variável utilizada neste cenário foram a localização das cavidades obtidas através do site do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV). Se caracterizam em dados pontuais que serviram para criar um dado matricial de distância.

5.3.4. Variáveis do Cenário Socioeconômico

Área Urbana e Assentamentos Rurais: O primeiro dado foi adquirido pelo ZEE-MG e o segundo através do Geo-INCRA (INCRA, 2015). A rasterização aconteceu com a mesma metodologia do dado ambiental.

Bens tombados (registrados) e arqueologia: A primeira base foi adquirida através de visitas as prefeituras de Brumadinho, Ibirité, Sarzedo, Nova Lima, Contagem e Betim. Inicialmente, foram dados tabulares que posteriormente foram convertidos em

coordenadas, em seguida para camada vetorial do tipo ponto. Os dados de arqueologia foram disponibilizados pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) por meio da localização em coordenadas em formato .xlsx. A transformação vetorial ocorreu idêntica aos bens tombados. As duas bases vetoriais foram utilizadas para gerar o mapa de distâncias no formato matricial.

População: Esta camada foi gerada a partir dos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) por meio da base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário. Ocorreu a junção do dado vetorial do setor com a tabela “Basico.xls” através da coluna “V002”- Moradores em domicílios particulares permanentes ou população residente em domicílios particulares permanentes. Subsequente a este processo, a base foi transformada em raster usando a coluna “V002” para compor os valores dos pixels.

5.4. Regras de Decisão Intravariáveis

A partir do momento que obteve-se o conhecimento das variáveis a serem utilizadas, parte-se para o processo de reclassificação das mesmas utilizando regras de decisão, de acordo com a documentação técnica consultada, com o apoio da técnica AHP. Esta etapa é necessária, pois os dados são constituídos de atributos assimétricos, ou seja, cada um com respectiva grandeza. Neste sentido, a reclassificação é primordial para se obter simetria em seus pesos.

Este processo foi feito inicialmente intravariável e intervariáveis de mesmo subconjunto. Posteriormente, a AHP foi aplicada para os subconjuntos no intuito de se gerar cenários. Alguns dados foram reclassificados e comparados com o apoio de documentações técnicas do DNIT e legislações específicas. Contudo, ocorreram casos em que não haviam legislação, manual, relatório ou qualquer regra para estabelecer um norteador para atribuição de pesos. Portanto, técnicos de alguns órgãos e instituições foram consultados para se alcançar bom senso nesta determinação. O procedimento inicial foi feito em estrutura tabular para subsidiar, em etapa posterior, a reclassificação de cada base cartográfica no modelo.

5.4.1. Regras de Decisão no Contexto Biofísico

No contexto biofísico, as variáveis que tiveram melhor embasamento técnico foram a declividade, distância das nascentes e distância da hidrografia. A primeira se apoiou no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais – 1999 do até então Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) atual Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. A referência consta na página 124 do manual, especificamente no Quadro 5.5.2.1 – Rampas máximas, onde descreve a classe do projeto e caracterização do relevo, ilustrado na **Figura 28**.

Classe do projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	3%	4%	5%
Classe I	3%	4,5%	6%
Classe II	3%	5%	7%
Classe III	4%	6%	8%
Classe IV-A	4%	6%	8%
Classe IV-B	6%	8%	10% *

* A extensão de rampas acima de 8% será desejavelmente limitada a 300m contínuos

Figura 28: Referência de rampas –(DNER) DNIT

Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais – DNER (1999, p. 124)

Foi feito a média dos valores das rampas entre as classes de relevo encontrando-se para o plano – 4%, ondulado – 6% e montanhoso – 7%. Além disso, foram adicionadas os valores de 8%, 10% e maior que 10% para maior fragmentação da reclassificação e possibilidade de alternativas.

A pergunta “quanto que variável X tem mais esforço em relação a Y ?” foi feita para conhecer a proporcionalidade entre as medidas vertical e horizontal das rampas. Por exemplo, 4% possui um esforço de 0,66 em relação a 6%, conforme comparação AHP. Esta metodologia foi utilizada para todos os dados quantitativos buscando imparcialidade na análise dos mesmos. Por meio das comparações, os pesos foram gerados em formato de números reais.

Referente a atribuição de pesos das distâncias entre as nascentes, utilizou-se como referencial a lei 12.651 que institui o Novo Código Florestal Brasileiro. O Capítulo II (Das Áreas de Preservação Permanente), Seção I (Da Delimitação das Áreas de Preservação Permanente), Art. 4º, Parágrafo IV diz: “as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d’água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio de 50 (cinquenta metros);”(BRASIL, 2012). Esta distância citada na legislação foi a base utilizada para o intervalo das classes de comparação.

As distâncias referente a hidrografia foi realizada tendo como referência a mesma legislação das distâncias das nascentes, baseando-seno Parágrafo I, que diz:

I - as faixas marginais de qualquer curso d’água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d’água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d’água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- c) 100 (cem) metros, para os cursos d’água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d’água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
- e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d’água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros.

As demais variáveis utilizadas não tiveram como base alguma documentação técnica para apoio se valendo de consulta a terceiros.

A densidade hidrográfica considerou que quanto maior a densidade, maior o peso. Estes valores foram dados pelo *software* ArcGIS através da classificação pelo método de Quebra Natural (*Natural Breaks*).

As demais variáveis (Espelho D’Água; Risco de Movimento de Massa – Filito; Risco de Subsidência Cárstica e Vegetação) tiveram seus pesos atribuídos considerando suas características binárias, ou seja, na área de estudo haverá regiões que possuem, ou não, sua existência.

As tabelas geradas referente à este subconjunto estão disponíveis no **Apêndice E**.

5.4.2. Regras de Decisão no Contexto Mercadológico/ Suporte Logístico

A reclassificação das seis variáveis deste cenário se baseou, principalmente, nas distâncias e densidades. Referente as variáveis redes de transmissão, redes de gás e recursos minerais, técnicos da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), Companhia de Gás de Minas Gerais (GASMIG) e Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) auxiliaram no estabelecimento das classes dos dados para a comparação. Os três órgãos afirmaram que não existem nenhuma recomendação técnica formal em relação as distâncias de infraestruturas para as redes ou recurso mineral. Ainda segundo os órgãos consultados, em cada projeto é feito um estudo que melhor se adapta a realidade que se deseja atingir. Desta forma, a modelagem adotada neste trabalho considerou que quanto mais próxima a distância em relação ao elemento, maior será o peso.

As classes dos dados de densidade, rodovias e vias urbanas foram obtidas com a mesma metodologia da variável Densidade Hidrográfica. Concernente a variável densidade de rodovias, considerou que quanto maior esta densidade, menor será o peso, caracterizando-se em um elemento de atração. Em relação a densidade vias urbanas, este aspecto se mostra em situação inversa, ou seja, quanto maior a densidade maior será o seu poder de expulsão. Com relação a variável Interesse Mineral, considerou-se que quanto maior o interesse, maior será o peso, valorizando-se o potencial mercadológico da área. As tabelas geradas referente a este subconjunto podem ser conferidas no **Apêndice F**.

5.4.3. Regras de Decisão para Restrições Ambientais

As regras aplicadas a este subconjunto foram arbitrárias. Utilizou-se como parâmetro o tipo de Unidade de Conservação (UC). Sendo assim, atribuiu-se a UC de Proteção Integral maior peso do que a de Uso Sustentável.

As distâncias das cavidades não possuem documentação técnica ou legislação para embasamento. Neste caso foi feito um contato junto ao CECAV que informou que este tipo de variável deve ser de expulsão, ou seja, quanto mais próximo, maior será o peso.

A tabela gerada referente a este subconjunto pode ser conferida no **Apêndice G**.

5.4.4. Regras de Decisão no Contexto Socioeconômico

As variáveis socioeconômicas também não tiveram referencial técnico documental de apoio. Em relação a distância de bens arqueológicos, o IPHAN – Belo Horizonte foi consultado. O órgão informou que quanto mais próximo do bem, maior será o peso, isto é, se caracteriza em uma variável de expulsão. Os bens históricos tombados (registrados) na área de estudo, também se apoiam nesta ideia

Referente ao dado de população, os mesmos foram classificados em nove classes através do método de Quebra Natural. Considerou-se que quanto maior a população, maior será o peso. As demais variáveis deste cenário tiveram pesos aplicados devido ao aspecto binário. As tabelas geradas referente a este subconjunto podem ser conferidas no **Apêndice H**.

5.5. Regras de Decisão das Intervariáveis

Após a equalização dos pesos das bases de dados dentro de cada variável, procedeu-se com a comparação entre as variáveis de mesmo subconjunto. Não ocorreu subsídio documental formal para aplicar as notas para comparação. Neste caso, somente foi usado o senso do autor, isto é, arbitrou-se as notas de comparação acordo com o cenário foco. As tabelas geradas referente a este subconjunto podem ser conferidas no **Apêndice I**.

5.6.Regras de Decisão dos Cenários

Os subconjuntos também foram comparados enfocando um por vez. Por exemplo, quando se projetou evidenciar o subconjunto biofísico, este foi confrontado com maior esforço em relação aos outros. Este processo foi repetido quatro vezes produzindo os cenários.O estabelecimento das notas par a par foram feitas pelo autor com a mesma metodologia citada na seção anterior. (**Apêndice J**).

5.7.Implementação do Modelo

Com os pesos atribuídos em todas as etapas, prosseguiu-se para a implementação do modelo de corredor no *software* Dinâmica EGO. É importante frisara existênciade certa complexidade uma vez que é preciso desenvolver cálculos de dados quando estes estão dispostos em formato matricial. Portanto, o modelo não foi desenvolvido em sua plenitude, isto é, com todos os passos em uma só fluxo de trabalho, sendo necessário fragmentá-lo para obter os resultados desejados. Isso foi fundamental, pois a configuração computacional da máquina disponível não suportou todas as etapas do modelo feita apenas em um processamento.O fluxograma de sua implementação aplicado a todos os subconjuntos está ilustrado na **Figura 29**.



Figura 29: Fluxograma simplificado do modelo aplicado
Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

5.7.1. Reclassificação

A etapa de Reclassificação refere-se a atribuição de pesos aos pixels de cada raster gerado, de acordo com o subconjunto. Conforme comentado, esta etapa é essencial para que todos os rasters tenham a mesma grandeza em valores e viabilize a álgebra de mapas. Nota-se que os pesos, segundo tabelas apresentadas, foram concebidos em formato decimal. Entretanto, estes são conhecidos no *software* como dados *Floating*(números reais). No processamento da informação, este tempo foi relevantemente maior em relação ao dado

Integer(números inteiros). Assim, os dados foram transformados para inteiros para otimizar o tempo de processamento, conforme o exemplo: 0,5 => 50

No *software* usou-se os chamados *Functores* para o desempenho das funções. Nesta fase foram empregados (**Figura 30**):

- **Load Map**: Carrega o raster em estado bruto;
- **Calculate Map**: Reclassifica o raster obedecendo os pesos obtidos pelo método AHP;
- **Number Map**: Recebe o mapa e designa uma identificação;
- **Save Map**: Salva o raster em diretório específico.

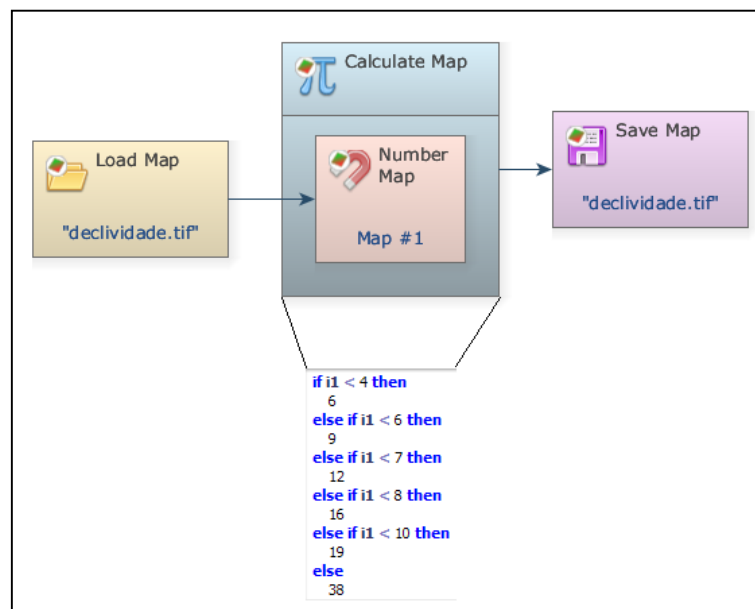


Figura 30: Exemplos de *functores* e reclassificação utilizados
Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

A **Figura 30** também ilustra a composição da linha de comando presente no *functor* “*Calculate Map*” para realizar a reclassificação. Este procedimento foi feito para todas as variáveis em respectivos subconjuntos. O functor “*Save Map*” foi usado nesta etapa para que o *raster* gerado nesta etapa fosse implementado em momento posterior devido ao fato do modelo ter sido desenvolvido em partes.

5.7.2. Superfícies de Esforço Acumulado

No contexto das superfícies de esforço e esforço acumulado (mapa de fricção), foram geradas o total de oito, uma para cada subconjunto e uma para cada enfoque desejado. Caracteriza-se como superfície de esforço aquela gerada a partir do cálculo entre as variáveis de mesmo subconjunto. Já a superfície de esforço acumulado é concebida a partir do cálculo entre as superfícies de esforço. A **Figura 31** demonstra o processo adotado.

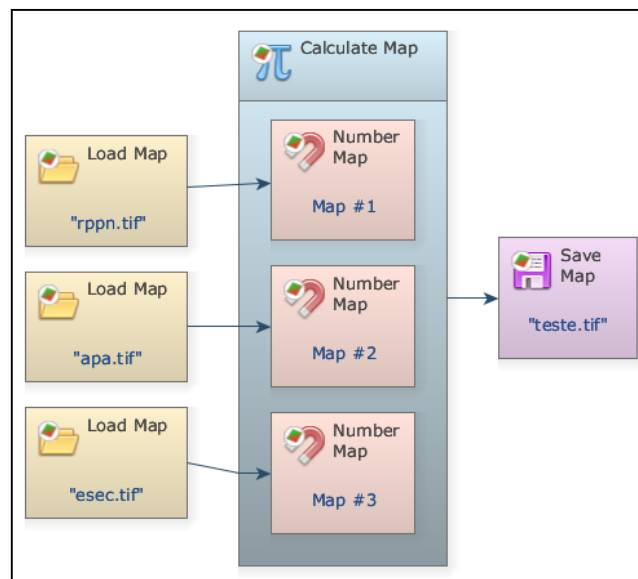


Figura 31: Exemplo do modelo de esforço aplicável ao esforço acumulado
Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Nesta fase, o cálculo *functor* “*Calculate Map*” também considera a nota obtida pela AHP. Um exemplo utilizado na **Figura 29**, onde os números após a identificação do mapa são os pesos, pode ser assim descrito:

$$i1 * 40 + i2 * 30 + i3 * 30$$

Equação 11

Supondo que no cálculo da **Equação 11** o foco fosse maior na variável $i3$, procede-se apenas com a mudança do peso, segundo o método AHP, e executa-se processamento dos dados novamente. As superfícies se encontram no **Apêndices K e L**.

5.7.3. Superfícies de Custo

A criação das superfícies de esforço acumulado foram necessárias, pois foram base para o cálculo das superfícies de custo. A partir de uma origem, o aplicativo calcula o custo (ou esforço) para cada pixel. O principal functor utilizado para esta operação foi o “*Calc Cost Map*” A **Figura 32** demonstra a implementação deste modelo.

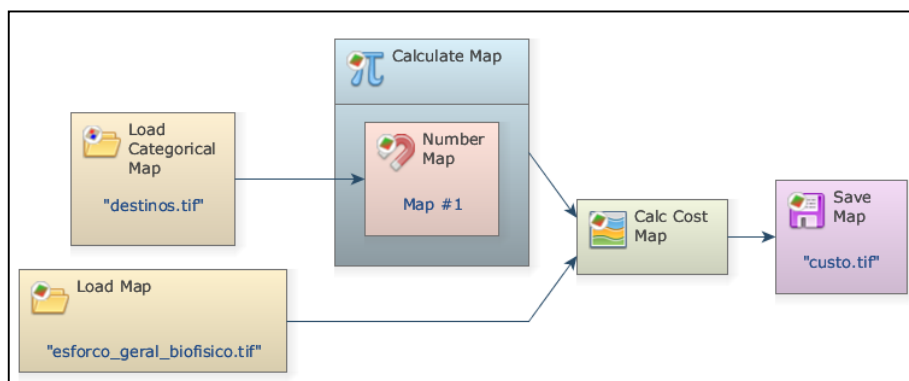


Figura 32: Exemplo da implementação do modelo de cálculo de mapa de custo

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

O “*Load Categorical Map*” categoriza o mapa e faz com que os valores das células sejam tratados como identificadores de classes do mapa. Referente ao “*Calculate Map*”, foi usado para selecionar o pixel que continha o valor correspondente a origem do mapa de custo. Neste caso, foi empregada a seguinte equação exemplo:

if $i1 = 1$ **then** $i1$ **else** null

Equação 12

Esta equação exemplo transforma o pixel selecionado, igual a “1”, no mapa cujo identificador é “ $i1$ ”. O resultado é usado no functor “*Calc Cost Map*” como origem (Porto *Source*) do cálculo de custo. Este functor utiliza um algoritmo heurístico que varre repetidas vezes um mapa até que a melhor superfície de custo seja obtida (SOARES FILHO, RODRIGUES e COSTA, 2009, p. 33). Esta varredura é feita na superfície proveniente do *functor* “*Load Map*” ligada ao porto “*Friction*” do *functor* “*Calc Cost Map*”. Três funções usadas, presentes na guia “*Advanced*” deste *functor*, foram: “*Diagonal Cost More*” que penaliza movimentos diagonais nas células; “*Maximum Number of Passes*”, se ativada, realiza cálculos até encontrar o menor custo sendo necessário informar o número de vezes que serão feitas as varreduras (neste trabalho

utilizou-se “3” para testes e “0” para o custo ótimo); “*Friction is Relative*”, que define a resolução do mapa.

Os passos para o cálculo da superfície de custo foram feitos nas quatro superfícies de esforço acumulado referentes aos subconjuntos. As origens utilizadas estão de acordo com os termos de teferência, sendo o Contorno de Betim, em município de mesmo nome, e BR-040 no município de Nova Lima, entre os bairros Jardim Canadá e o condomínio Retiro das Pedras (**Figura 33**). Também foi feita uma superfície de custo para os cenários biofísico e socioeconômico tendo como origem o alinhamento da BR-040, entre Belo Horizonte e Nova Lima, no intuito de não considerar um ponto específico de destino. Todas as superfícies se encontram nos **Apêndices M a P** deste trabalho.

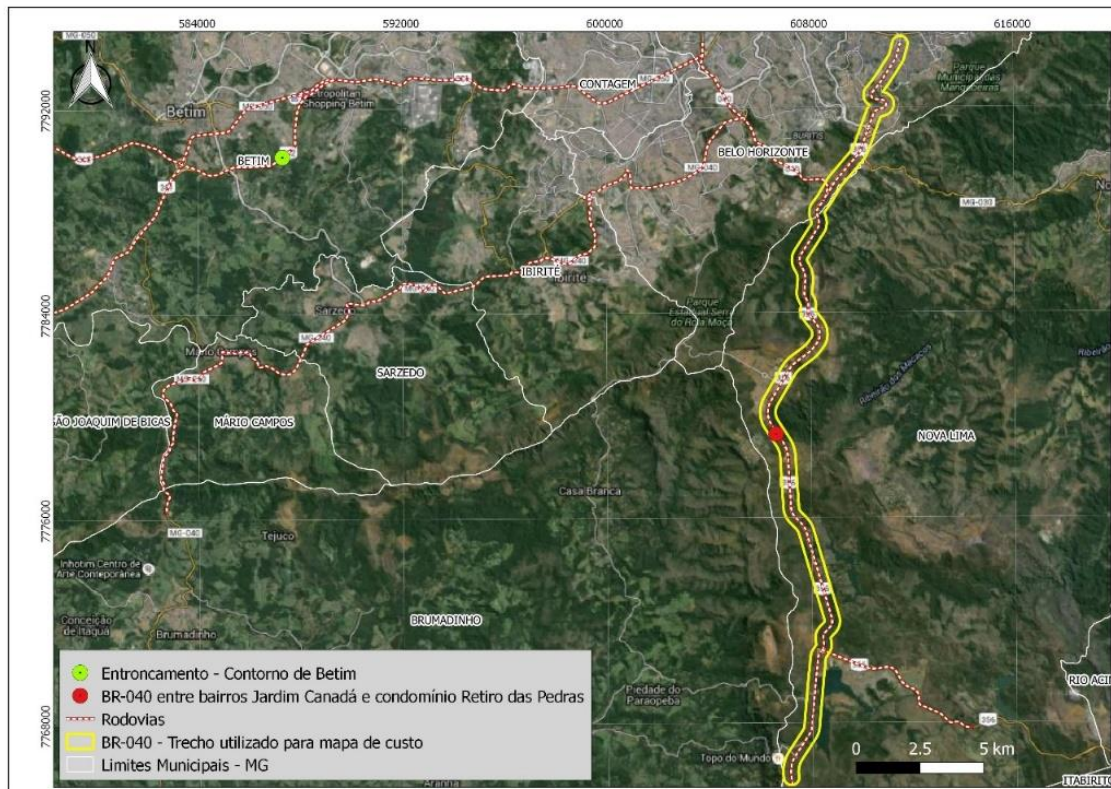


Figura 33: Localização dos pontos de origem para mapas de custo

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

5.7.4. Corredor

A etapa de geração do corredor teve como base as superfícies de custo elaboradas. Esta fase foi desenvolvida no *software* Dinamica EGO utilizando o *functor* “*Calculate Map*”.

A fórmula a ser aplicada é simples, conforme **Figura 34** e **Equação 13** a seguir:

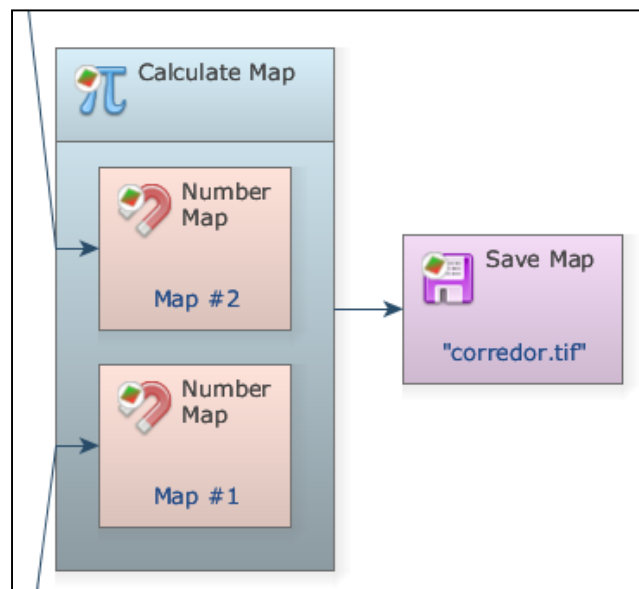


Figura 34: Funtores para geração do corredor

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

$i1 + i2$

Equação 13

O procedimento considerou o mapa $i1$ como a superfície de custo em relação ao Contorno de Betim e $i2$ ao ponto referente a BR-040. Como também foram geradas duas superfícies de custo para o alinhamento da BR-040, estas foram incorporadas ao modelo.

As superfícies dos corredores foram carregadas no *software* ArcGIS para que fossem categorizadas e assim visualizar o corredor. Esta classificação ocorreu pelo método *Natural Breaks* com o total de 100 classes.

6. RESULTADOS

Todo o desenvolvimento metodológico teve como objetivo a geração de corredores de transporte. Portanto, foram produzidos quatro cenários, sendo para biofísico, socioeconômico, restrições ambientais e mercadológico. Estes cenários respeitaram a origem e destino presentes nos termos de referência. Outras duas propostas foram desenvolvidas considerando o cenário biofísico e socioeconômico, respectivamente, tendo como origem o ponto instituído pelo DNIT e o destino, um alinhamento específico da BR-040. Com estas duas propostas pretende-se verificar a adequabilidade do ponto de destino e avaliar se o estabelecido pelos termos de referência é o mais conveniente de acordo com o cenário considerado.

Algumas variáveis (*layers*) de diferentes subconjuntos serão sobrepostas aos corredores para se ter ideia do menor custo elaborado pelo *software*. Evita-se com isso a poluição do mapa com excesso de informação. Primeiramente serão mostrados os resultados de corredores gerados correspondente a origem e destino citados nos termos de referência do Anel Sul. As cores que tendem ao branco são locais que possuem menor custo e cores que tendem ao vermelho são as de maior custo. Os mapas podem ser visualizados em tamanhos maiores no **Apêndice Q**.

6.1. Proposta de Corredor considerando o Cenário Biofísico

O primeiro corredor elaborado para o cenário biofísico (**Figura 35**) pretendeu recriar os pontos de início e destino informados no Termo de Referência. Indica que as áreas mais claras contornam Unidades de Conservação assim como evitam áreas mais vegetadas, mesmo estando fragmentadas. Pelo adensamento urbano, percebe-se que são obstadas mesmo o cenário tendo como foco questões ligadas às características físicas da área de estudo.

Em relação a movimentação de terra, pensa-se no papel que a declividade possui referente a alternativa do corredor, neste caso, esquivar-se de áreas que possuem maior declividade é importante para reduzir custos. O Anel Sul está inserido no chamado Quadrilátero Ferrífero, cujo relevo é acidentado e possui várias regiões de instabilidades no que diz

respeito a movimentos de massa. O corredor resultante revelou a opção pelas áreas em que o modelo julgou ter menos esforço para sua passagem (**Figura 36**).

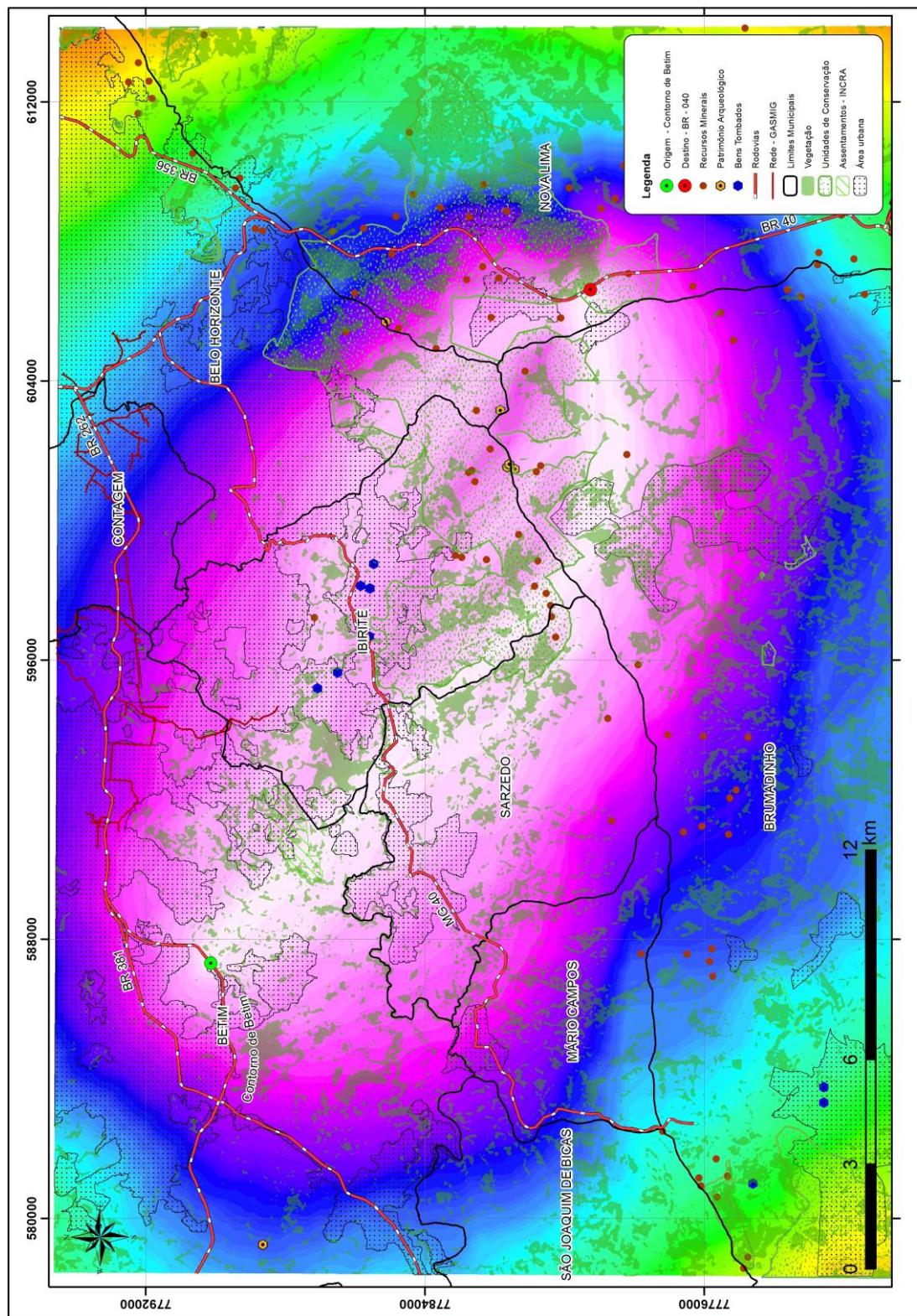


Figura 35: Proposta de corredor considerando o Cenário Biofísico
Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

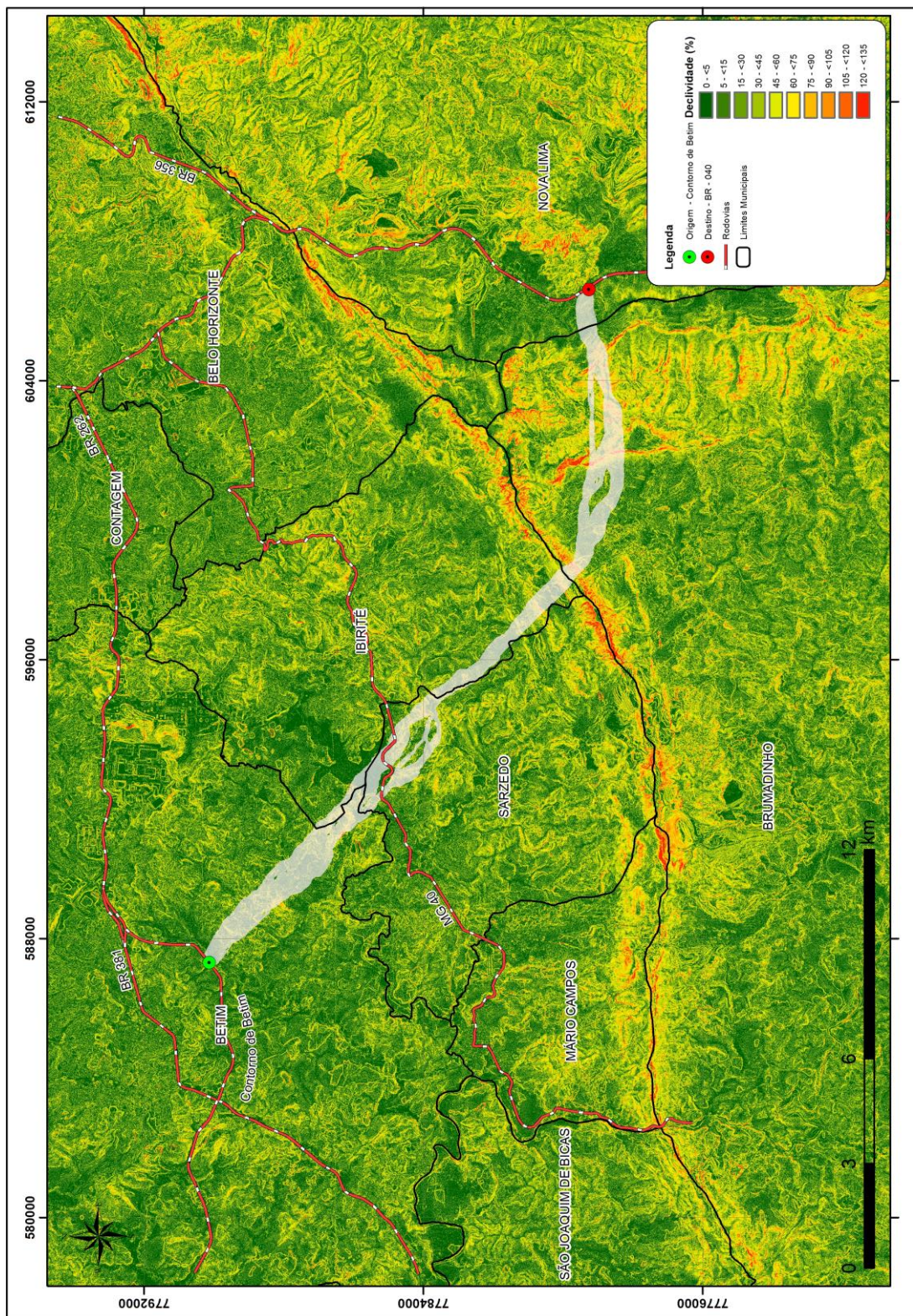


Figura 36: Corredor extraído do cenário biofísico sobreposto a declividade
Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

As áreas ao norte do ponto de destino (BR-040) também se apresentaram como alternativa por possuírem menor custo no âmbito biofísico (menor impacto ambiental).

6.2. Proposta de Corredor considerando o Cenário Mercadológico/Suporte Logístico

O corredor correspondente a este cenário não obteve mudanças significativas referente ao cenário biofísico, pois grande parte das variáveis são discretas no espaço, gerando diferenças pontuais. Todavia existem dados contínuos como interesse mineral e densidades de vias urbanas, sendo o segundo com maior peso neste grupo. Isto fez com que áreas com maior número de vias fossem evitadas.

Observa-se uma desigualdade entre as coordenadas (retângulo envolvente) Este-596000; Norte-7748000 – Este-604000; Norte-7792000, onde não existem, como no cenário biofísico, condições favoráveis para a passagem do corredor por esta região. **(Figura 37)**.

6.3. Proposta de Corredor considerando o Cenário de Restrições Ambientais

Este cenário considerou as Unidades de Conservação e distância das cavidades como aspectos de expulsão. As áreas das UCs são identificadas pelas cores mais escuras, caracterizando regiões de maior custo (maior peso na análise hierárquica). Entretanto, o aspecto biofísico teve influência relevante, pois na comparação AHP, suas notas foram próximas fazendo com que os resultados entre estes dois cenários fossem semelhantes **(Figura 38)**.

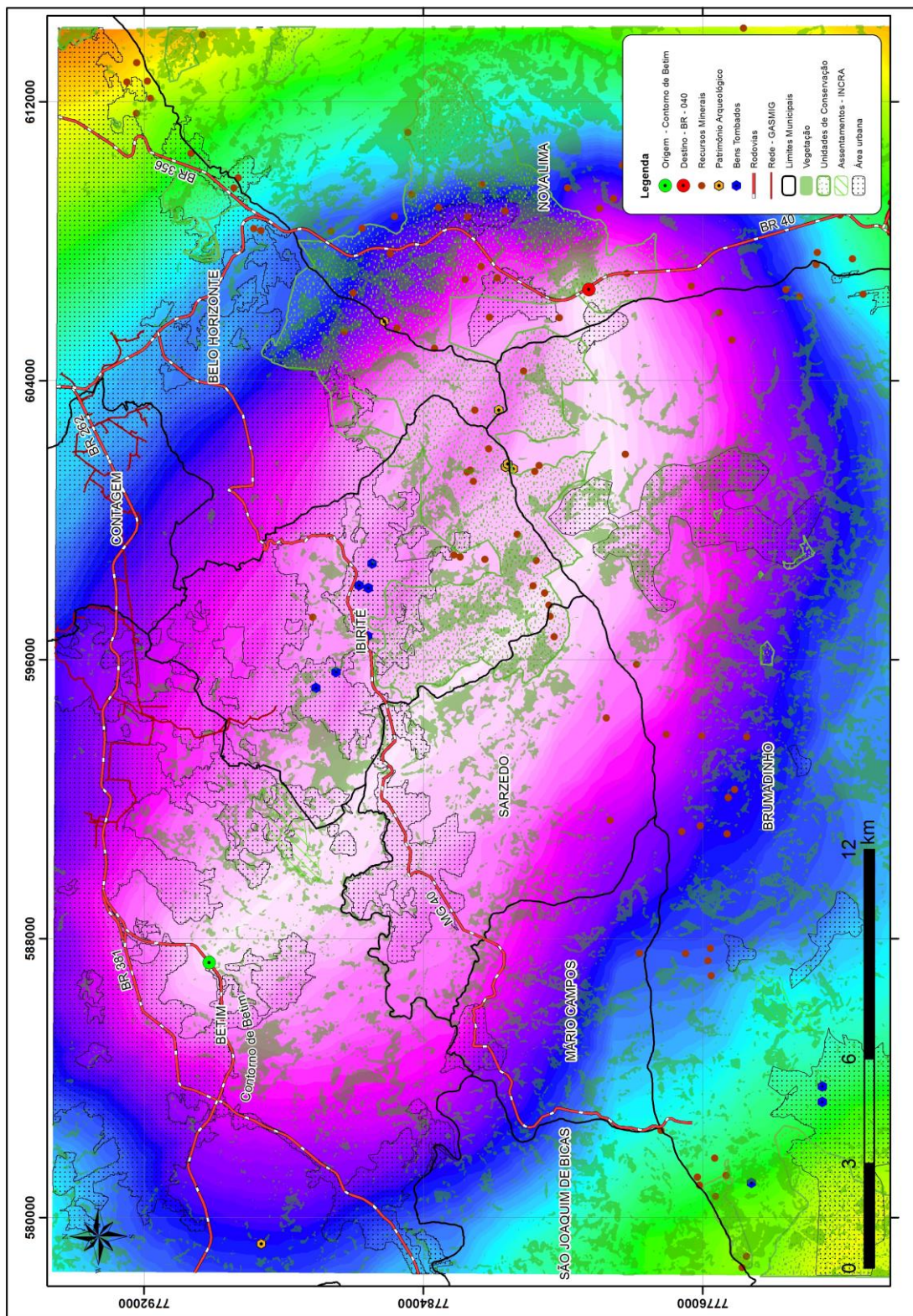


Figura 37: Corredor – Cenário Mercadológico / Logístico
Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

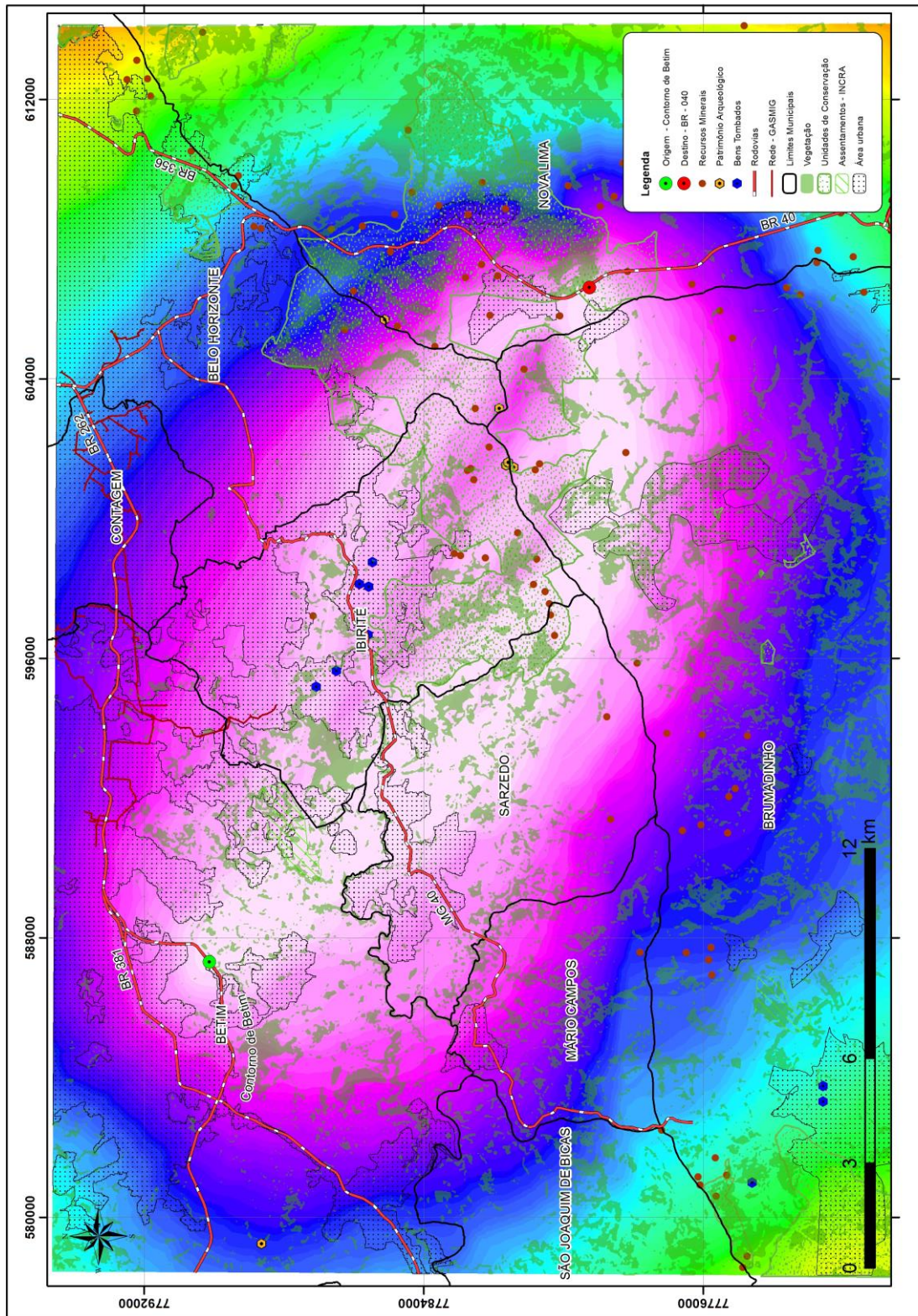


Figura 38: Corredor – Cenário Restrições Ambientais
Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

6.4. Proposta de Corredor considerando o Cenário Socioeconômico

O corredor resultante da análise do cenário socioeconômico está ilustrado na **Figura 39**. Acredita-se que este cenário socioeconômico foi o que apresentou maior diferença entre os demais. A área urbana e a densidade populacional tiveram influência significativa na determinação de corredor, pois foram estas as de maiores pesos no subconjunto. Os contextos biofísico e ambiental foram menos relevantes neste cenário. Diferentemente dos outros cenários, observa-se que o socioeconômico apontou ramificações em seu corredor com pesos atribuídos semelhantes, proporcionando margem de escolha de traçado.

6.5. Propostas de Corredores considerando Cenários Alternativos

No intuito de gerar uma proposta de corredor de transporte que não considerasse um ponto específico de destino, procedeu-se uma análise considerando como destino um alinhamento da BR-040, isto é, o local de destino do modelo foi atribuído a esta rodovia, sem a definição de um ponto específico de chegada. Com isso, o sistema ficou flexível para definir o corredor sem a necessidade da escolha de pontos obrigatórios de passagem, aspecto que frequentemente ocorre em editais de obras de infraestrutura viária. Os resultados, apresentados na **Figura 40**, indicam que para o cenário biofísico, o local definido pelos termos de referência não proporciona menor custo para interligação do rodoanel, todavia, dificilmente este cenário seria escolhido como uma alternativa pelo fato de atravessar um perímetro significativo de área urbana, neste caso, gerando elevado número de desapropriações.

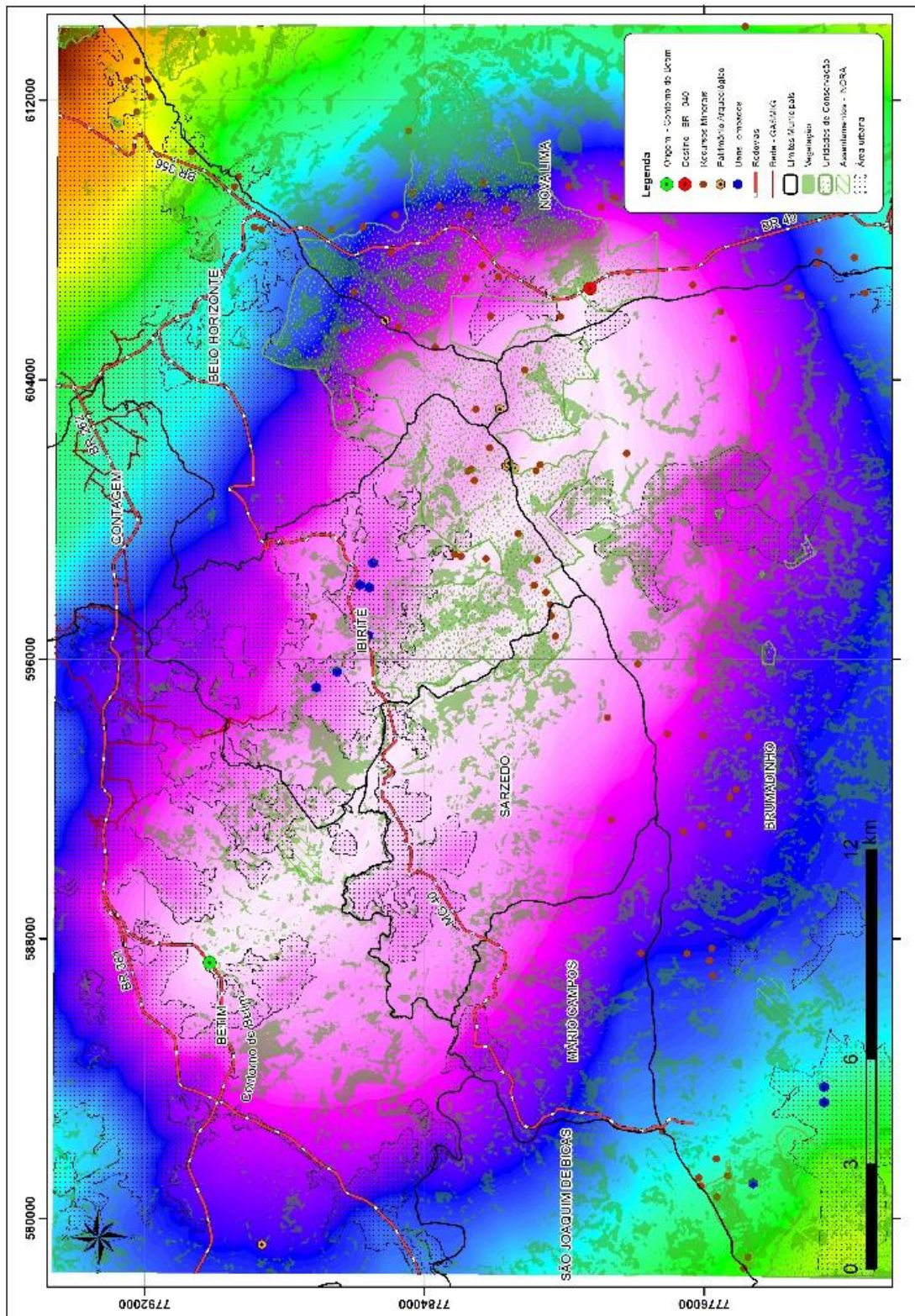


Figura 39: Corredor – Cenário Socioeconômico
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

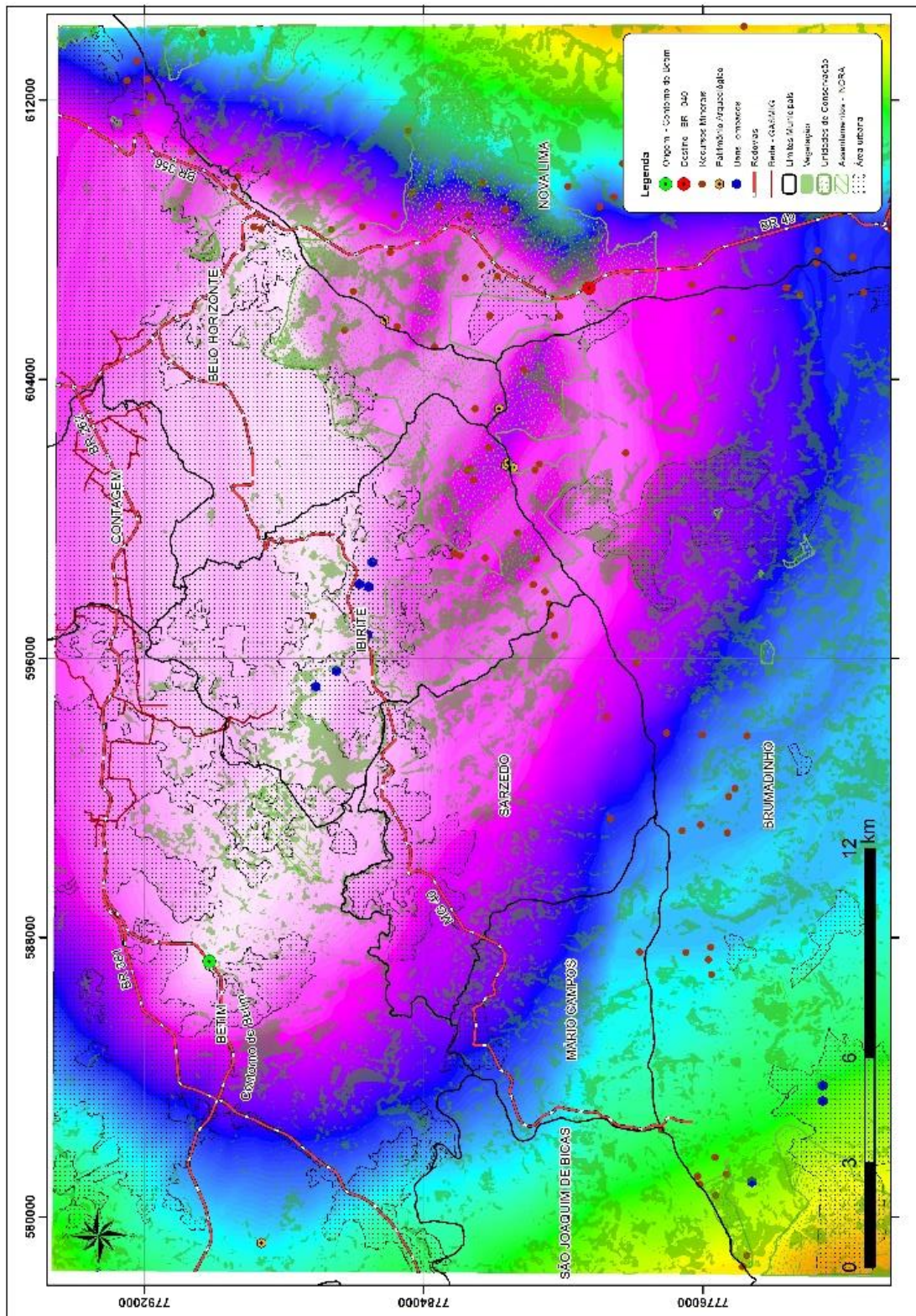


Figura 40: Corredor – Cenário Biofísico (Alinhamento da BR-040)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

No cenário socioeconômico, observa-se que o ponto de destino praticamente coincide com o definido pelo DNIT, demonstrando coesão aos termos de referência (**Figura 41**).

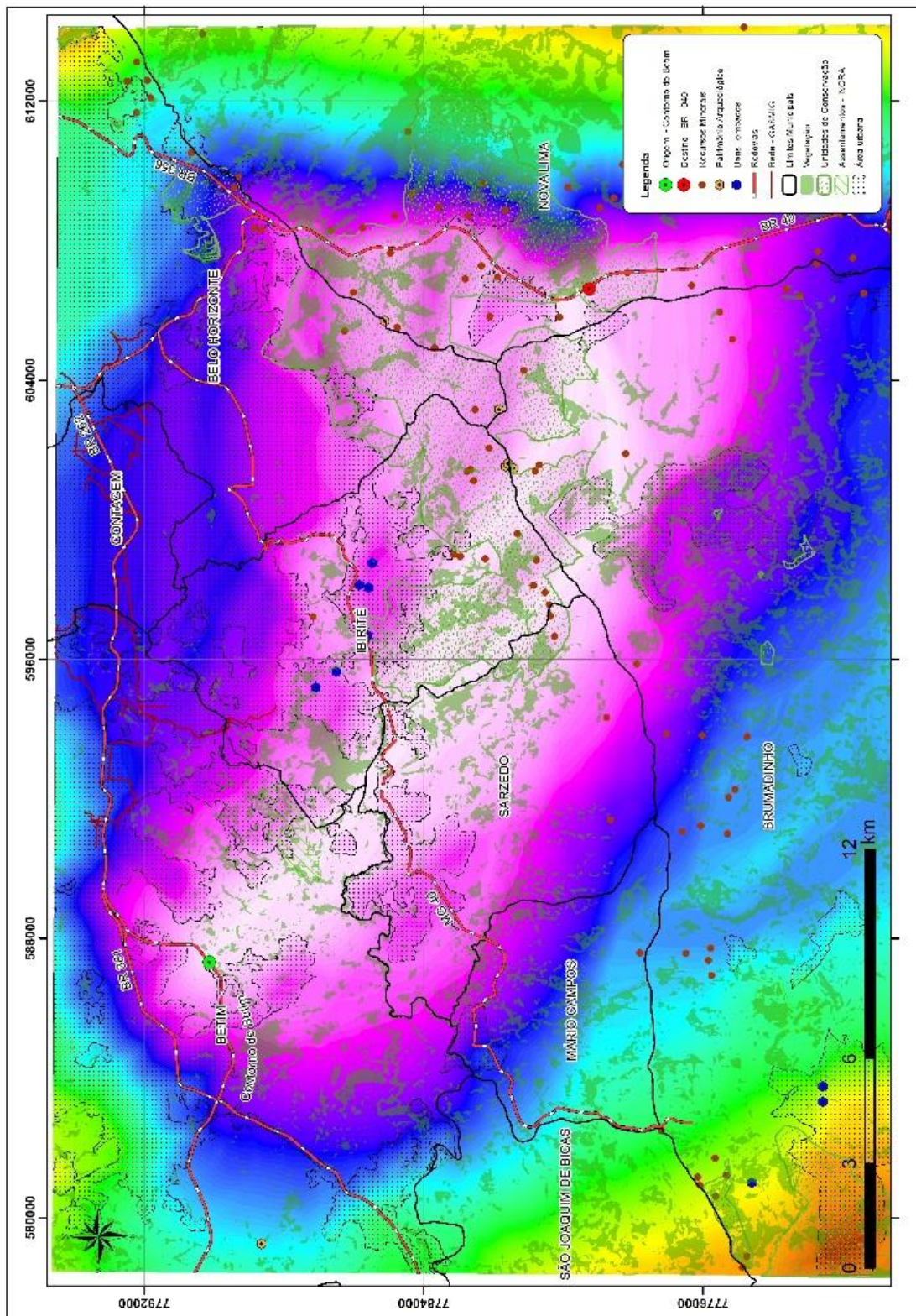


Figura 41: Corredor – Cenário Socioeconômico (Alinhamento da BR-040)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

6.6. Análise de sensibilidade

A partir do momento que os corredores foram gerados em formato matricial, é praticável o isolamento das áreas que obtiveram menores pesos para a visualização do corredor propriamente dito, neste caso, em formato vetorial. Este passo permitiu a comparação com outras bases de dados no intuito de identificar quantitativamente áreas afetadas pelo empreendimento. Devido as inúmeras variáveis, considerou-se quatro: declividade, área urbana, unidades de conservação e vegetação.

Em relação a movimentação de terra, pensa-se no papel que a declividade possui referente a alternativa do corredor, neste caso, esquivar-se de áreas que possuem maior porcentual de rampas. O Anel Sul está inserido no chamado Quadrilátero Ferrífero, cujo relevo é acidentado e possui várias regiões de instabilidades no que diz respeito a movimentos de massa. A região também é alvo de políticas de conservação ambiental devido a presença de vários elementos naturais e suas funções. Os resultados mostraram que inevitavelmente áreas com muita declividade serão atingidas, entretanto o modelo se preocupa com tal variável na construção do corredor. Sabe-se que foram elaborados modelos no qual a origem e destino obedeceram aos termos de referência e em segundo momento, modelos onde o destino se tornou uma alternativa flexível. Sendo assim, foram computadas as médias de declividade frente a áreas dos corredores, em relação a cada cenário. Os resultados são ilustrados da **Figura 42** e **43**.

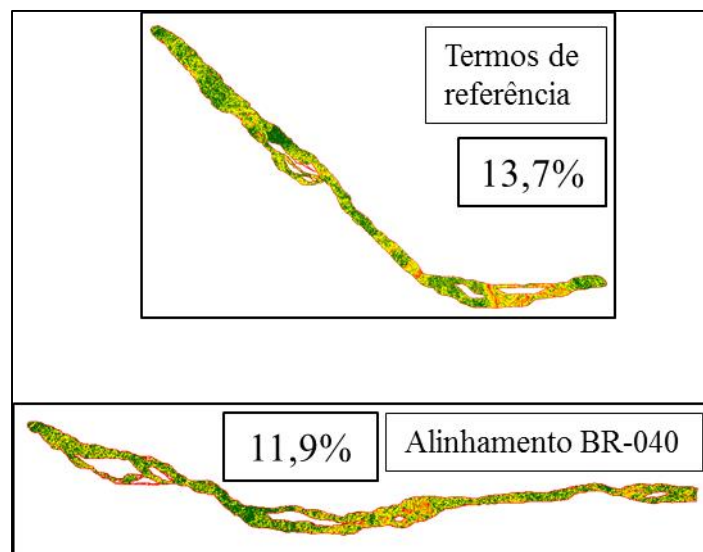


Figura 42: Corredor versus Declividade – Cenário Biofísico
Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

A Figura 40 demonstra que na origem e destino, estabelecidos pelos termos de referência, a média de declividade atingiu 13,7% enquanto que no corredor gerado tendo o destino como o alinhamento da BR-040, o resultado foi de 11,9%. Atestou-se que quando se proporciona liberdade para o modelo construir o corredor, considerando a declividade, a solução encontrada é melhor. Esta realidade também foi percebida na **Figura 43**.

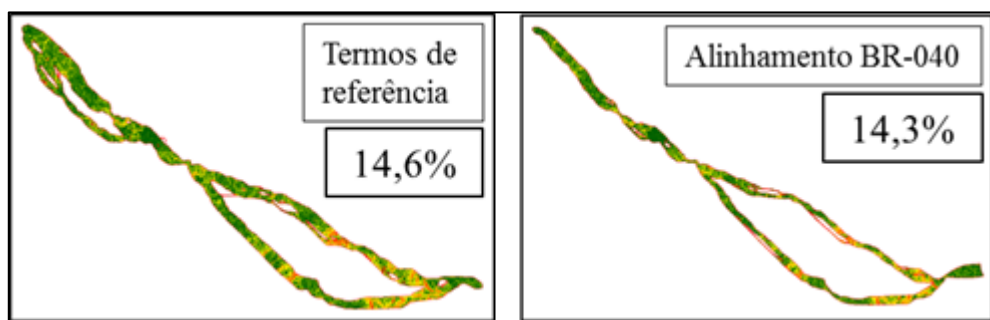


Figura 43: Corredor versus Declividade – Cenário Biofísico – Cenário Socioeconômico
Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

O subconjunto Socioeconômico também apresentou um resultado mais favorável referente a declividade quando se oportunizou flexibilidade ao modelo. Todavia, já se esperava que as médias fossem maiores pelo fato de a variável declividade não ser a de maior peso neste cenário. Os cenários de Restrições Ambientais – a) e Mercadológico/Suporte Logístico – b) compreenderam os seguintes resultados (**Figura 44**)

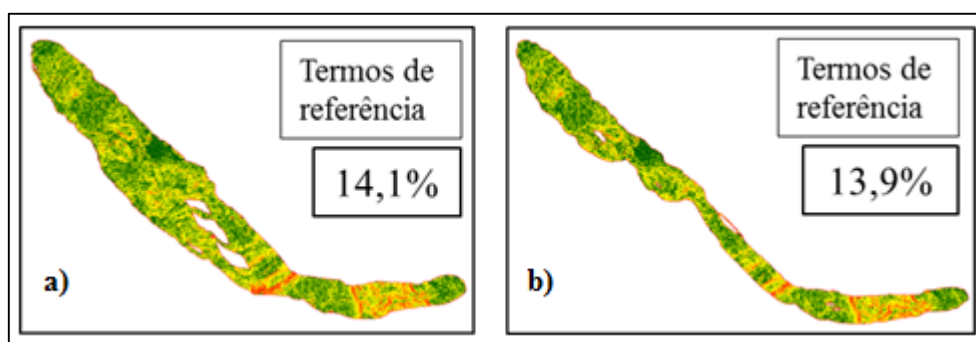


Figura 44: Corredor X Declividade – Cenários de Restrições Ambientais – a) e Mercadológico/Suporte Logístico – b)
Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

No tocante as variáveis área urbana, unidades de conservação e vegetação, as áreas afetadas podem ser visualizadas na **Figura 45 e 46**.

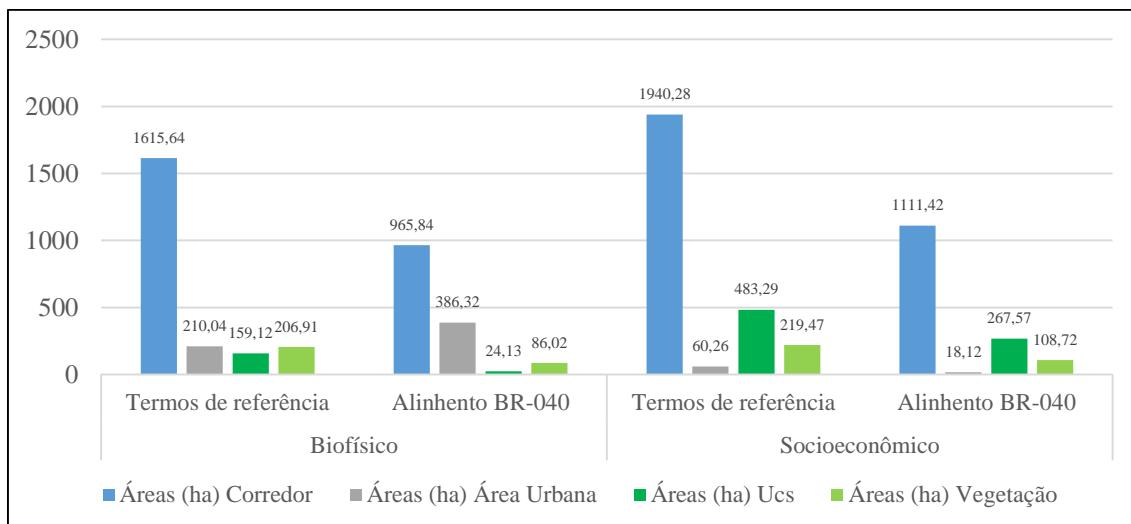


Figura 45: Corredores X Variáveis (Área Urbana, Ucs e Vegetação) – Biofísico e Socioeconômico

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

A **Figura 45** ilustra o gráfico com as variáveis tratadas nos cenários Biofísico e Socioeconômico. Em relação ao subconjunto Biofísico, que tinha peso maior nas variáveis Vegetação e Unidades de Conservação, observou-se que quando se proporcionou liberdade ao modelo para construir o corredor, os resultados se mostraram melhores. Considerando os pontos de origem e destino dos Termos de Referência, a área afetada em Ucs seria de 158,12 ha enquanto que no outro cenário constando o alinhamento da BR-040 como destino, a área afetada seria de 24,13 ha. Esta realidade também foi observada na variável Vegetação que obteve menos área afetada quando se atribuiu ao modelo maior flexibilidade. No subconjunto Socioeconômico, que possui a variável Área urbana em evidência, percebe-se que também se alcançou menor interferência em sua área quando se tem como destino o Alinhamento e não um ponto específico, característica que também foi constatada nas variáveis de Ucs e Vegetação.

A **Figura 46** a seguir demonstra as interferências nas variáveis consideradas nos cenários de Restrições Ambientais e Mercadológico/Suporte Logístico

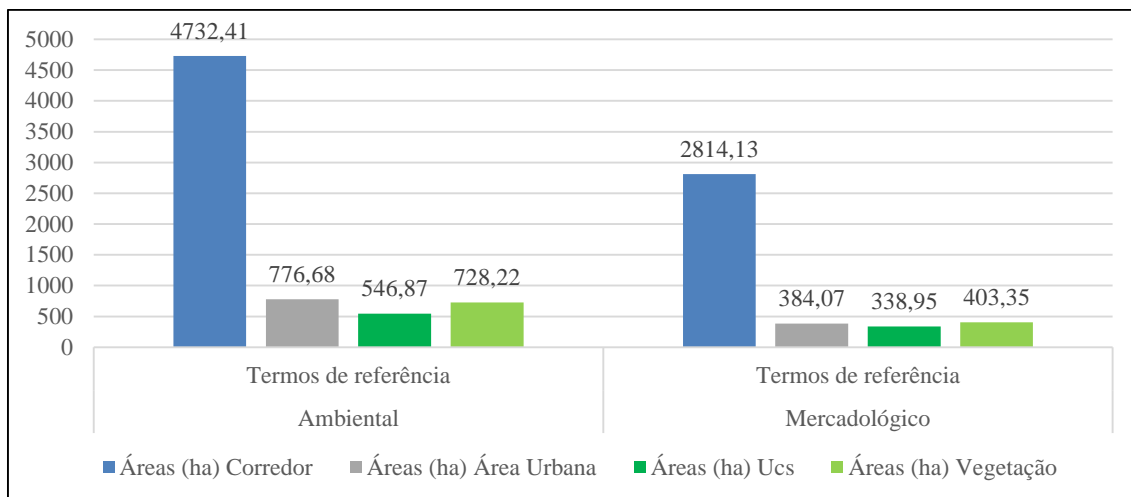


Figura 46: Corredores X Variáveis (Área Urbana, UCs e Vegetação) – Restrições Ambientais e Mercadológico/Suporte Logístico

Fonte: Elaborado pelo autor

As análises favorecidas, revelam que existem diversas possibilidades de uso quando se identifica o que sofrerá intervenção e quanto. É possível, por exemplo, preencher Matriz de Impacto Ambiental demonstrando as áreas de interferência e conseqüentemente avaliar alternativas de compensação. Existe a possibilidade do planejamento regional uma vez que se oportuniza a predição dos acontecimentos resultando em tomadas de decisão mais consistentes.

Observa-se que o modelo construído e os produtos gerados são úteis para entes públicos e privados. Os contextos trabalhados nesta seção são apenas um exemplo do que pode ser feito, sendo permitido aplicar a metodologia de análise para todas as variáveis presentes no modelo. Verifica-se que é exequível a realização de um planejamento embasado em situações quantificáveis, concedendo julgamentos transparentes, menos qualitativos e mais produtivos.

6.7. Alinhamentos hipotéticos

Considerando os corredores gerados, alinhamentos hipotéticos foram desenhados considerando os locais de menor custo nas superfícies e auxílio de imagens orbitais através da sobreposição dos corredores. Neste caso, a interpretação da imagem mostrou elementos como vegetação, adensamento urbano e áreas com maior declividade que procuraram ser esquivadas pelos alinhamentos. Acerca da extensão a ser percorrida, os termos de referência citam uma estimativa de 35,8 km. A extensão calculada nos alinhamentos gerados foram:

- Cenário Ambiental: 24,8 km
- Cenário Biofísico: 25 km
- Cenário Mercadológico/Suporte Logístico: 25,2 km
- Cenário Socioeconômico-1: 25,2 km
- Cenário Socioeconômico-2: 23,7 km

Os cenários Mercadológico/Suporte Logístico e Socioeconômico-1 tiveram a mesma extensão, pois os corredores foram semelhantes. É importante ressaltar que foram necessários dois alinhamentos para o cenário Socioeconômico devido a ramificação gerada no respectivo corredor. Observa-se que todos os traçados concebidos tiveram extensão menor em relação a esperada pelo DNIT. Os mesmos podem ser vistos na **Figura 47** a seguir.

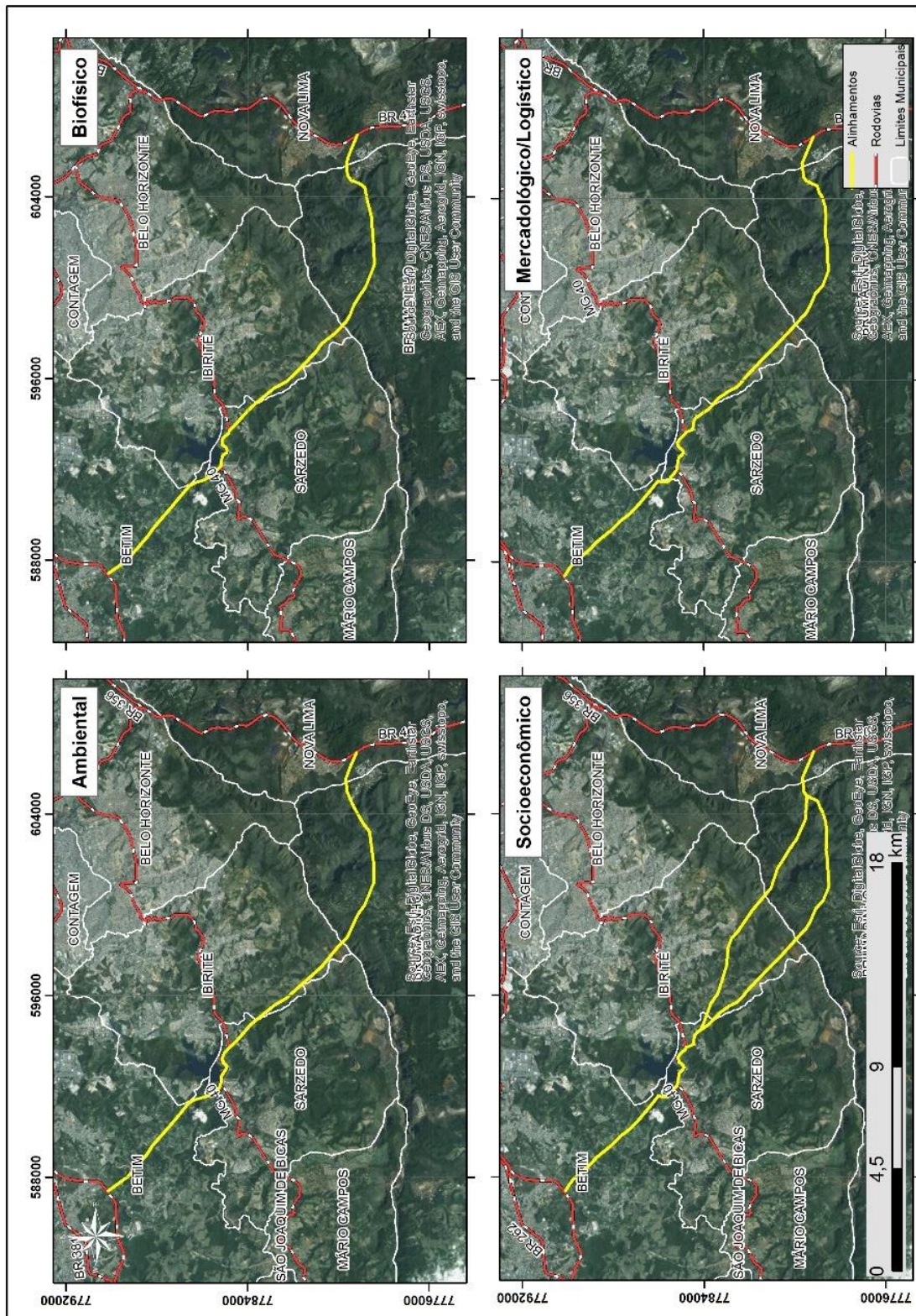


Figura 47: Alinhamentos de acordo com o cenário
Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

O termo de referência dá ênfase aos aspectos da vegetação a ser suprimida e área urbana afetada pela intervenção. Por este motivo, foi realizado um *buffer* de 40 metros a partir

de cada alinhamento, pressupondo uma faixa de domínio, e com isso calculou-se a área de intervenção em ambiente vegetado e urbano. Os resultados, apresentados na **Tabela 6**, indicam:

Tabela 6: Áreas de intervenção (m²)

Cenário	Vegetação	Urbano
Restrições Ambientais	247.184,87	205.924,60
Biofísico	255.479,57	192.659,48
Mercadológico/Suporte Logístico	169.485,40	199.806,16
Socioeconômico-1	169.485,40	199.806,16
Socioeconômico-2	191.625,88	156.934,06

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

A vegetação seria mais suprimida nos cenários que sua importância foi maior (Biofísico e Restrições Ambientais) do que em cenários que sua relevância foi menor (Socioeconômico e Mercadológico/Suporte Logístico). No caso do cenário de Restrições Ambientais, infere-se que como se buscou a passagem do corredor o mais distante possível de unidades de conservação e cavernas, o alinhamento se aproximou de áreas mais vegetadas. Em relação ao cenário Biofísico, este possui maior ponderação em áreas com declividade, o que provavelmente fez com que a área vegetada também fosse mais atingida. Os demais cenários tiveram resultados similares.

No que se refere a área urbana afetada, o cenário Socioeconômico-2, responsável por conter esta variável como preponderante, obteve a menor área atingida, cumprindo mais efetivamente o seu papel. No cenário Biofísico, a área urbana foi menos atingida que no âmbito Mercadológico/Suporte Logístico e uma ramificação do Socioeconômico, mesmo que nestes dois últimos cenários os aspectos urbanos sejam o de maior peso.

Observa-se que é possível sobrepor diversas situações que possibilitam a comparação de resultados. É viável, inclusive, saber a extensão total de vias urbanas ou de outras categorias que seriam afetadas. Se os municípios tiverem um Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) atualizado, é exequível o cálculo de áreas a serem desapropriadas de maneira exata. As aplicações são diversas propiciando um planejamento adequado das ações a serem efetuadas.

A execução deste trabalho não teve acesso ao projeto do rodoanel, inviabilizando comparações com o projeto original. Todavia, os resultados aqui obtidos indicam que investigações dessa natureza possam ser desenvolvidas tão logo o traçado final do rodoanel esteja disponível para consulta pública.

7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Embora ainda seja evidente para a população os reflexos da falta de planejamento ou planejamento inadequado da infraestrutura viária, resultado da falta de interesse de investimento, desorganização e objetivo nos projetos viários do passado, há um movimento de incentivo às boas práticas e modernização do planejamento de transportes estimulado pelo uso de geoprocessamento. Os cenários alternativos desenvolvidos para o corredor do Anel Sul da RMBH, gerados neste trabalho, exteriorizam que o aperfeiçoamento do planejamento de transportes é possível com a participação de todos os atores envolvidos e interessados.

Os resultados mostraram o quanto a utilização de variáveis de diferentes cenários é importante para se chegar a um produto consistente. De uma forma geral, os estudos de rodoanéis revelaram maior preocupação do desvio do fluxo ligado ao comércio e pessoas e não manifestaram a aplicação de modelos de Análise Multicritério. Entretanto, ao analisar a necessidade de integrar e coordenar ações que refletem diferentes perspectivas e diferentes interesses, aquele que mais se aproximou desta ideia foi o Rodoanel Mário Covas.

Em relação aos aspectos ambientais, ponto com bastantes entraves, os estudos feitos para os trechos do Rodoanel Mário Covas corroboram com os princípios acreditados neste trabalho, isto é, as componentes ambientais não fazem parte de um início de projeto de intervenção de trecho rodoviário, mas constituem elementos que interferem na concepção deste. Os estudos feitos para o Rodoanel Mário Covas ainda incluem a aplicação de modelos para a tomada de decisão.

Acerca do uso do geoprocessamento, este se mostrou eficiente para aplicação do modelo de análise multicritério. Foi possível manipular dados vetoriais e matriciais com presteza, todavia, conforme descrito por Câmara, Davis e Monteiro (2001), na análise, simulação e modelagem, o formato matricial representou melhor os fenômenos com variação contínua no espaço. A informação do “onde” manifesta o fenômeno geográfico inserido nas variáveis concedendo a possibilidade de estabelecer relações espaciais no intuito de se encontrar soluções, algo experimentado neste trabalho. No caso do corredor, a aplicação do SIG e respectivo geoprocessamento, foi primordial para os resultados

encontrados confirmando a fala do órgão de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte – BHTRANS e PRODABEL quando dizem que o SIG é uma ferramenta facilitadora nas atividades de planejamento.

No que tange ao processo de modelagem dos corredores gerados, a disponibilidade de empregar os termos de referência do projeto do Rodoanel, embora este não descreva as variáveis e regras de uso, norteia a concepção do modelo e otimiza o processo. A documentação técnica forneceu suporte para decisão relacionado aos pesos de comparação. É interessante ressaltar que essa facilidade permite que modelos similares incorporando análises multicritério apoiada por SIG possam ser desenvolvidos para utilização em projetos viários similares e de outras naturezas.

Os modelos tiveram diferenças significantes considerando a escala do trabalho. Observa-se que o cenário Ambiental demonstrou maior abrangência em seu corredor enquanto o cenário Socioeconômico obteve ramificações no mesmo (**Figura 48**). Os cenários abaixo foram adquiridos a partir da superfície de corredores classificadas pelo método de Quebra Natural deixando visíveis apenas as três primeiras classes, ou seja, caminhos de menor custo.

As cores dos corredores representam os subconjuntos:

- Cor rosa – Cenário Biofísico;
- Cor marrom – Cenário Mercadológico/Suporte Logístico;
- Cor verde – Cenário Socioeconômico;
- Cor amarela – Cenário Ambiental.

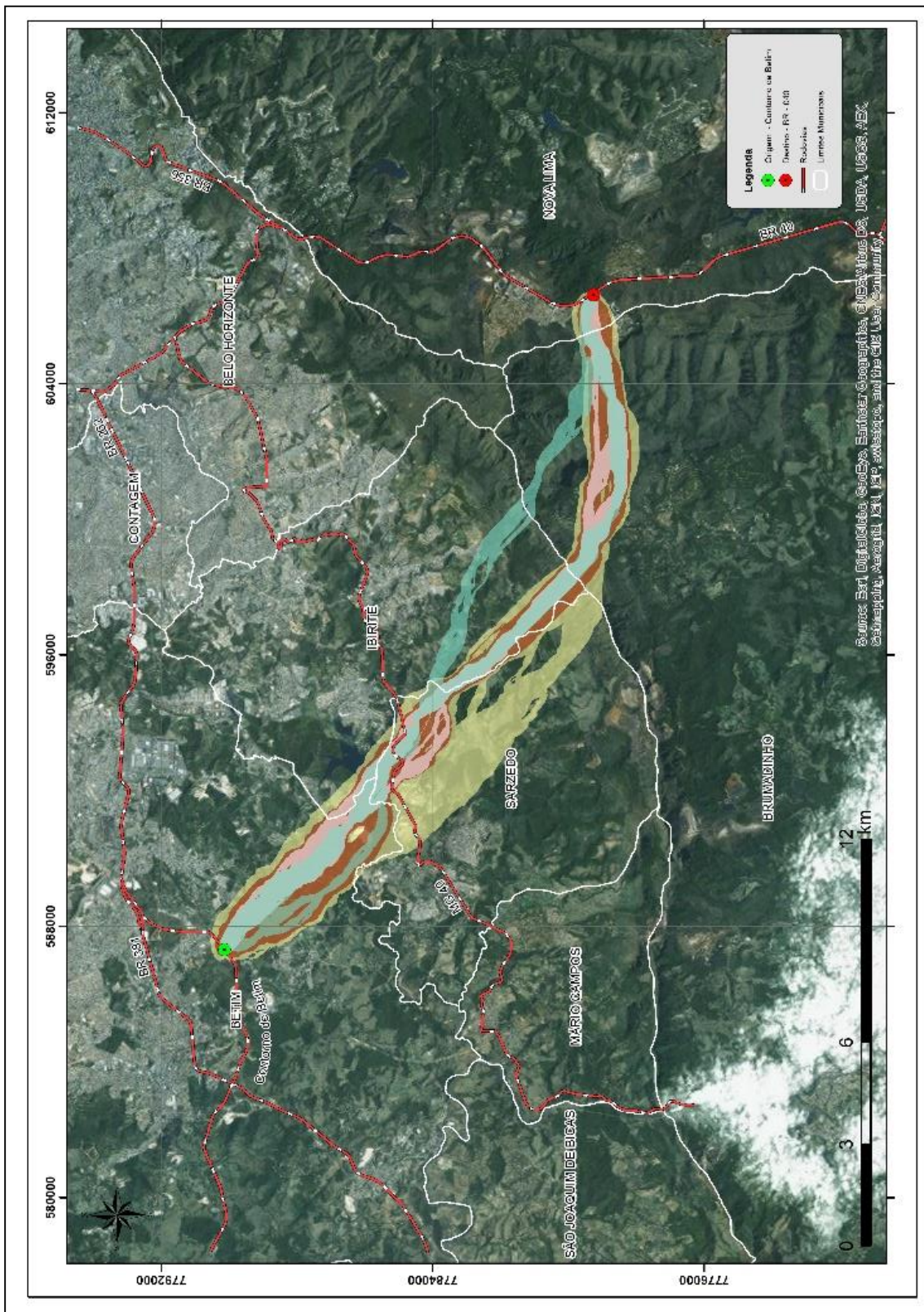


Figura 48: Diferença entre os corredores (Legenda na próxima página)
Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Uma das principais variáveis com impacto no traçado final é a área urbana, elemento considerado em vários outros projetos. Realmente, os termos de referência se preocupam com o número de desapropriações e demais impactos sociais advindos da intervenção. Entretanto, se não for definido um ponto de destino específico, ou até de origem, mas atribuir flexibilidade ao modelo, conforme resultados alternativos, os corredores respeitam os pesos atribuídos ao cenário em sua construção para encontrar o resultado ótimo (**Figura 49**).

As cores dos corredores representam os subconjuntos:

- Cor Vermelha – Cenário Biofísico;
- Cor Amarela – Cenário Socioeconômico.

Com os testes feitos (tendo como destino o alinhamento da BR-040) nos dois cenários observa-se que no Biofísico, as questões ligadas a engenharia e construção foram mais enfatizadas e por isso o corredor criado procurou situações mais favoráveis ao seu prosseguimento, não desconsiderando demais variáveis, todavia as mesmas tiveram importância reduzida. Contudo, no cenário Socioeconômico, todos os subconjuntos alcançaram maior balanceamento resultando em desvios da área urbana, unidades de conservação, entre outros aspectos importantes.

Com os resultados obtidos e considerando suas diferenças, compreende-se que a participação dos vários autores é essencial para o alcance de uma solução consistente. Não basta enxergar o problema à luz de pensamentos verticalizados, ou seja, à revelia de profissionais específicos. É preciso vislumbrar todo o desenvolvimento de um projeto a partir da multiplicidade de ideias e abstrações e atingir a proposta do modelo de análise multicritério, que é alcançar soluções ligadas a fatores tangíveis e intangíveis.

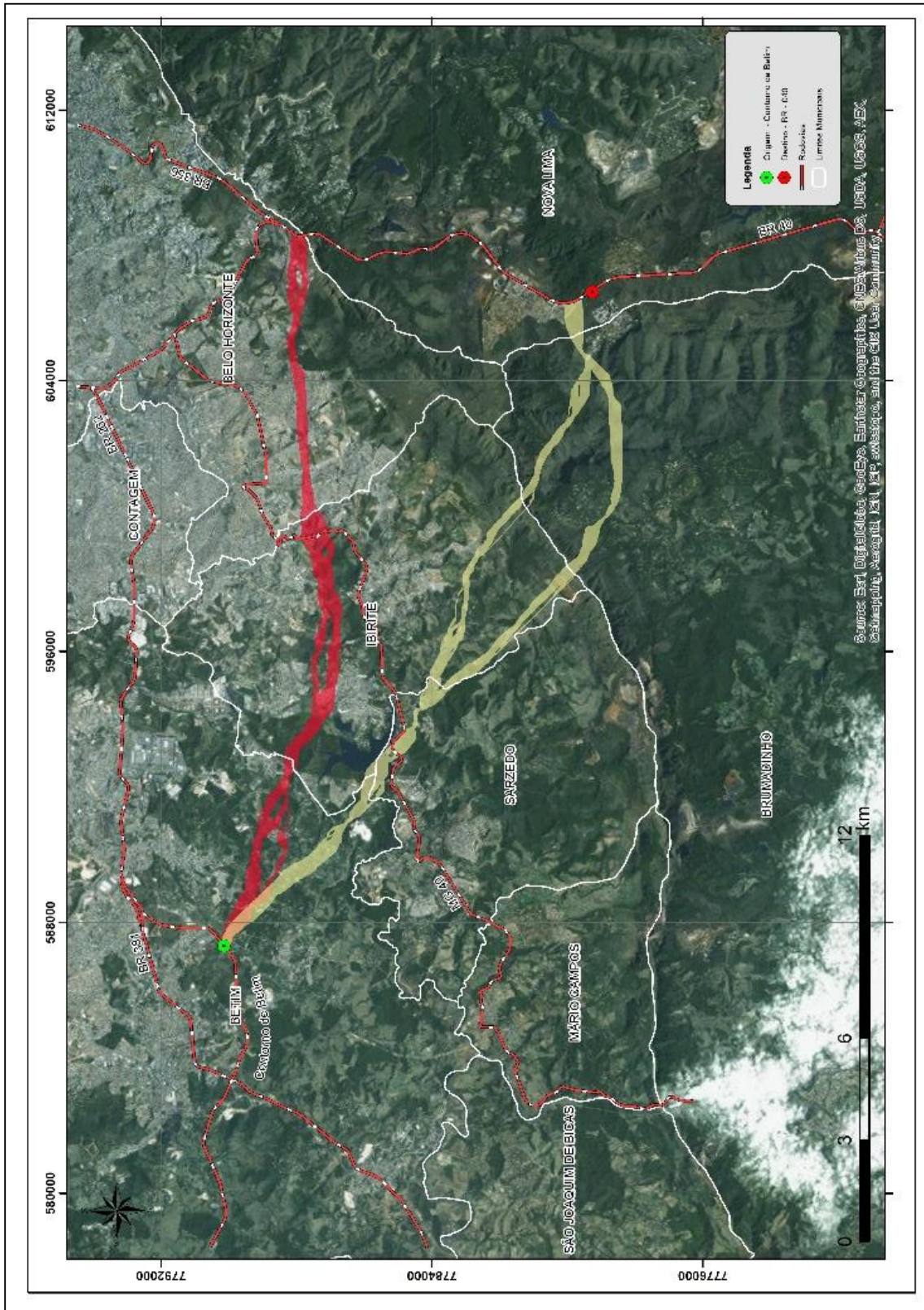


Figura 49: Corredores alternativos com início no Contorno de Betim e fim na BR-040
Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

8. CONCLUSÃO

Na realização do trabalho, deparou-se com diversos desafios a respeito de interpretação do termo de referência e documentação técnica e processamento de dados. Todavia, acredita-se que o objetivo principal de obter traçados para o Rodoanel Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte foi atingindo. Foram gerados corredores considerando diferentes variáveis, baseado no modelo de Análise Multicritério. Os resultados permitiram perceber uma interação harmônica com a aplicação desta técnica junto a modelagem de dados geográficos.

O SIG se apresentou como importante ferramenta no âmbito de projetos rodoviários. A geração de produtos cartográficos realmente se mostrou essencial em projetos de engenharia e constata o quanto a informação espacial é significativa para a tomada de decisão. Foi possível realizar o verdadeiro geoprocessamento possibilitando a coleta, visualização, manipulação e principalmente análise dos dados na intenção de se obter o melhor produto. A viabilidade de se estabelecer relações espaciais foi interessante para se chegar a resultados consistentes e através do SIG percebe-se que os pensamentos sistêmicos das multi-disciplinas envolvidas em um projeto rodoviário agem de maneira efetiva e colaborativa.

O termo de referência do Rodoanel Sul trouxe perspectivas enquanto as variáveis a serem utilizadas na modelagem. Entretanto, a partir de análises mais detalhadas de documentos técnicos e consultas a terceiros, foi possível identificar dados que poderiam ser incorporados ao modelo além dos indicados. Por exemplo: movimentos de massa agregados a materiais específicos, recursos minerais, interesse mineral, assentamentos rurais, dentre outros. Foi preciso bom senso neste momento de escolha das variáveis, pois a cada momento que existia a possibilidade de incorporação de um novo dado, este levava a outro, havendo a necessidade de estabelecer limites da importância de determinada variável para o modelo.

A partir dos estudos abordados no âmbito da modelagem geográfica utilizando Análise Multicritério, os estudos de corredores rodoviários obtiveram mais uma fonte de consulta bibliográfica. Em nenhum momento objetivou-se o esgotamento do assunto, mas sim contribuir para o uso da informação espacial em projetos rodoviários. Esta visão ainda é

incipiente no Brasil e acredita-se que este deve ser um caminho a ser trilhado no planejamento de transportes. Foi possível perceber que a utilização correta da metodologia possibilita construir cenários por múltiplas concepções servindo o presente com a ótica para o futuro.

REFERÊNCIAS

BERBERIAN, C. F. Q. et al. O uso de geotecnologias como uma nova ferramenta para o controle externo. **Revista do TCU. Tribunal de Contas da União**, Brasília, n. 132, 2015.

BIELENKI JÚNIOR, C.; RAIÁ JÚNIOR, A. A.; SILVA, A. N. R. D. O uso do geoprocessamento no planejamento de pesquisa Origem-Destino no município de São Carlos. **PLURIS - 3º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável**, Santos, 01 - 03 Outubro 2008. 13.

BITTENCOURT, G. A. Detalhe de Projeto Individual. **IIRSA - Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Suramericana**, 2013. Disponível em: <http://www.iirsa.org/proyectos/detalle_proyecto.aspx?h=135&x=9&idioma=PO>. Acesso em: 10 Dezembro 2015.

BRASIL, P. D. R. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Casa Civil - Subchefia para Assuntos Jurídicos**, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 20 Setembro 2015.

BRASIL, R. F. D. Decreto nº 15.093, de 20 de Março de 1944. **Câmara dos Deputados**, 1944. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1940-1949/decreto-15093-20-marco-1944-460172-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 18 Novembro 2015.

BRASIL, R. F. D. Lei Nº 2.975, de 27 de Novembro de 1956. **Presidência da República**, 1957. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L2975.htm>. Acesso em: 20 Novembro 2015.

BRASIL, R. F. D. Lei Nº 5917, de 10 de Setembro de 1973. **Presidência da República**, 1973. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L5917.htm>. Acesso em: 10 Dezembro 2015.

BRASIL, R. F. D. Lei Nº 12.129, de 17 de Dezembro de 2009. **Câmara dos Deputados**, 2009. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2009/lei-12129-17-dezembro-2009-598612-publicacaooriginal-121081-pl.html>>. Acesso em: 22 Novembro 2015.

BRASIL, R. F. D. Planalto. **Decreto 12.129, de 17 de Dezembro de 2009**, 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12129.htm>. Acesso em: 04 Dezembro 2015.

BRASIL, R. F. D. Lei Nº 10.257, de 10 de Julho de 2011. **Presidência da República**, 2011. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em: 15 Dezembro 2015.

BRASIL, R. F. D. Lei N° 12.379, de 6 de Janeiro de 2011. **Presidência da República**, 2011. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Lei/L12379.htm>. Acesso em: 20 Novembro 2015.

BRASIL, R. F. D. B. Lei N° 12.651, de 25 de Dezembro de 2012. **Presidência da República**, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 16 Dezembro 2015.

BRONKHORST, A. E. O Plano nacional de Viação de 1973 e o Plano Nacional de Logística e transporte: a mudança no planejamento viário Brasileiro., São Paulo, 2010. Disponível em:<.>. Acesso em: 15 Fevereiro 2015.

CAMARA, G. et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: [s.n.], 1996.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. Introdução a Ciência da Geoinformação. **Departamento de Processamento de Imagens**, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. Acesso em: 16 Novembro 2015.

CETESB, C. A. D. E. D. S. P. **Parecer Técnico**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo, p. 102. 2012.

COIMBRA, C. **Visão Histórica e Análise Conceitual dos Transportes no Brasil**. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes, 1974.

DER-RJ, D. D. E. E. R. D. R. D. J. **RIMA - Projeto de Implantação do Arco Metropolitano do Rio de Janeiro**. DER-RJ. Rio de Janeiro, p. 58. 2007.

DERSA, D. R. S. A. **Programa Rodoanel Mário Covas - Trecho Leste. Estudo de Impacto Ambiental - EIA**. Secretaria dos Transportes do Estado de São Paulo. São Paulo, p. 286. 2009.

DERSA, D. R. S. A. **Programa Rodoanel Mário Covas - Estudo de Impacto Ambiental**. Secretaria de Transportes do Estado de São Paulo. São Paulo, p. 146. 2010.

DNER, D. N. D. E. D. R. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. [S.l.]: DNER, 1999.

DNIT, D. N. D. I. D. T. **Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários - Escopos Básicos / Instruções de Serviço**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, p. 487. 2006.

DNIT, D. N. D. I. D. T. **Termos de Referência para o Estudo do Traçado e Elaboração do Projeto Executivo de Engenharia para o Contorno Rodoviário Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte BR-040/MG**. DNIT. Belo Horizonte, p. 79. 2011.

DNIT, D. N. D. I. D. T. DNIT-GEO. **DNIT**, 2015. Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>>. Acesso em: 20 Setembro 2015.

DNIT, D. N. D. I. D. T. **Infraestrutura de Dados Espaciais - DNIT**, 2015. Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>>. Acesso em: 20 Setembro 2015.

- DNIT, D. N. D. I. D. T. Planejamento dos Sistemas de Transportes. **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes**, 2015. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/planejamento/planejamento-dos-sistemas-de-transportes>>. Acesso em: 4 Janeiro 2016.
- DNIT, D. N. D. I. D. T. Sistema Nacional de Viação. **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes**, 2015. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao>>. Acesso em: 09 Novembro 2015.
- DNIT, D. N. D. I. D. T. Transporte no Brasil - Síntese Histórica. **Ministério dos Transportes**, 2015. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/conteudo/136-transportes-no-brasil-sintese-historica.html>>. Acesso em: 03 Novembro 2015.
- EM, J. E. D. M. Dilma em BH: mais um capítulo da novela do Anel Rodoviário. **Jornal Estado de Minas**, 2012. Disponível em: <http://www.em.com.br/app/noticia/politica/2012/06/12/interna_politica,299522/dilma-em-bh-mais-um-capitulo-da-novela-do-anel-rodoviario.shtml>. Acesso em: 15 Dezembro 2015.
- ESTADO DE MINAS, J. Política. **Estado de Minas**, 2012. Disponível em: <http://www.em.com.br/app/noticia/politica/2012/06/12/interna_politica,299522/dilma-em-bh-mais-um-capitulo-da-novela-do-anel-rodoviario.shtml>. Acesso em: 2 Dezembro 2015.
- FAUUSP, L. D. H. E. A. H. **Impactos Urbanísticos do Trecho Oeste do Rodoanel Mário Covas**. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 163. 2005.
- FERREIRA, D. **Rodovia Perimetral Norte**. Feira de Santana, p. 10. 2013.
- FESPSP, F. E. D. S. E. P. D. S. P. **Programa Rodoanel Mário Covas - Estudo de Impacto Ambiental**. Secretaria dos Transportes do Estado de São Paulo. São Paulo, p. 282. 2004.
- FLETCHER, D. **The role of geospatial technology in critical transportation infrastructure protection**. In National Consortium on Remote Sensing in Transportation - Infrastructure, Report of U.S. Department of transportation, research and Special Programs Administration.. [S.l.].
- GRAEML, A. R.; EHRLICH, P. J. Aplicação de um Modelo Multicritério Simples de Apoio à Decisão. **Anais do II Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Industriais, EAESP-FGV**, São Paulo, Outubro 1999.
- IBGE, I. B. D. G. E. E. Resultados - CENSO 2010. **IBGE**, 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>>. Acesso em: 21 Dezembro 2015.
- IBGE, I. B. D. G. E. E. Geociências. **IBGE**, 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtml>>. Acesso em: 21 Outubro 2015.
- IGAM, I. M. D. G. D. Á. Mapoteca. **Portal Info Hidro**, 2014. Disponível em: <[117](http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/downloads/mapoteca/bases-</p></div><div data-bbox=)

cartograficas/ottocodificada/7739-hidrografia?start=10>. Acesso em: 21 Setembro 2015.

INCRA, I. N. D. R. E. C. A., 2015. Disponível em: <<http://acervofundiario.incra.gov.br/i3geo/interface/incra.html?ve636tcbk7pgchm6pr677vei6>>. Acesso em: 20 Setembro 2015.

JUCÁ, R. Publicação e Documentação. **Diário Oficial do Senado**, 2007. Disponível em: <<http://legis.senado.gov.br/diarios/BuscaPaginasDiario?codDiario=921&seqPaginaInicial=39&seqPaginaFinal=39>>. Acesso em: 04 Dezembro 2015.

LONGLEY, P. A. et al. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. 3ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

MACHADO, M. F.; SILVA, S. F. D. **Geodiversidade do Estado de Minas Gerais - Programa Geologia do Brasil - Levantamentos da Geodiversidade**. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Belo Horizonte, p. 136. 2010.

MACIEL, V. F. **Dando voltas: efeitos econômicos da implantação de uma nova rodovia - o caso do Rodoanel metropolitano de São Paulo - Tese de Doutorado**. São Paulo: [s.n.], 2011.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. D. O.; BARROS, M. D. S. O uso do Método de Análise Hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais - Um estudo de caso. **XLI SBPO 2009**, Porto Seguro, 1 a 4 Setembro 2009. 1778 - 1788.

MCHARG, I. **Design with nature**. **Gerden City, NY**: Published for the American Museum of Natural History by the Natural History Press. New York: Willey, 1992.

MILLER, H. J. Potential Contributions of Spatial Analysis to Geographic Information Systems for Transportation (GIS-T). **Geographical Analysis**, v. 31, n. 4, p. 339-373, 1999.

MINAS GERAIS, G. D. E. D. Abrangência das ortofotos Área Sul RMBH. **IEDE - MG Infraestrutura de Dados Espaciais de Minas Gerais**, 2015. Disponível em: <<http://www.iga.mg.gov.br/IEDE/>>. Acesso em: 21 Outubro 2015.

NOAA, N. W. S. W. F. O. Geographic Information System. **NOAA**, 2015. Disponível em: <<http://www.srh.noaa.gov/bmx/?n=gis>>. Acesso em: 14 Março 2016.

NOBREGA, R. A. A. Ferrovia Norte-Sul: estudo dos traçados alternativos para escoamento eficiente da produção. **II Encontro Regional da 3ª Câmara de Coordenação e Revisão do Ministério Público Federal**, Florianópolis, 17 de Outubro de 2013.

NÓBREGA, R. A. D. A. **Relatório de Fechamento de Projeto de Extensão: Ligação Pato Branco/PR - Cruz Alta/RS**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 30. 2014.

PARANÁ, E. D. **Croqui de Localização dos Trechos**. Secretaria de Infraestrutura e Logística do Estado do Paraná. [S.l.]. 2014.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

PORTOGENTE. Sistemas de Informações Geográficas - Tipos de Variáveis Visuais (Formatos). **Portogente**, 2012. Disponível em: <<https://portogente.com.br/colunistas/edesio-elias-lopes/sistemas-de-informacoes-geograficas-tipos-de-variaveis-visuais-formatos-53117>>. Acesso em: 17 Novembro 2015.

RIO DE JANEIRO, E. D. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro. **Decreto 45.137 de 23 de Maio de 2015**, 2015. Disponível em: <http://www.ioerj.com.br/portal/modules/conteudoonline/view_pdf.php?ie=MjE2NjU=&ip=MQ==&s=ZWI3NmYwYWVhMmM4OWQ5YTQ1MDgzYWw0NTFjM2ViZDE=>>. Acesso em: 04 Dezembro 2015.

RODRIGUES, P. H.; COMTOIS, C.; SLACK, B. **The geography of transport systems**. New York: Routledge, 2006.

SADASIVUNI, R. et al. A Transportation Corridor Case Study For Multi-Criteria Decision Analysis. **ASPRS Annual Conference**, Maryland, 9 - 13 March 2009.

SANTO, S. M. O Desenvolvimento Urbano em Feira de Santana (BA). **Sitientibus**, Feira de Santana, Janeiro-Junho 2003. 9-20.

SEMAN, C. **Breve Histórico Sobre a Evolução do Planejamento Nacional de Transportes**. DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Belo Horizonte, p. 33. 2010.

SOARES FILHO, B. S.; RODRIGUES, H. O.; COSTA, W. L. **Modelagem de Dinâmica Ambiental com Dinâmica EGO**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 116. 2009.

STICH, B. et al. Using multi-criteria decision making to highlight stakeholders' values in the corridor planning process. **The Journal of Transport and Land Use**, v. 4, n. 3, p. 105-118, 2011.

TRANSPORTES, M. D. Conheça o PNL. **Ministério dos Transportes**, 2014. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/conteudo/56-acoes-e-programas/2815-conheca-o-pnlt.html>>. Acesso em: 08 Janeiro 2016.

UFF, U. F. F. Universidade Federal Fluminense. **Estudo Dirigido em SIG**, 2015. Disponível em: <<http://www.professores.uff.br/cristiane/Estudodirigido/SIG.htm#IntrodSIG>>. Acesso em: 18 Novembro 2015.

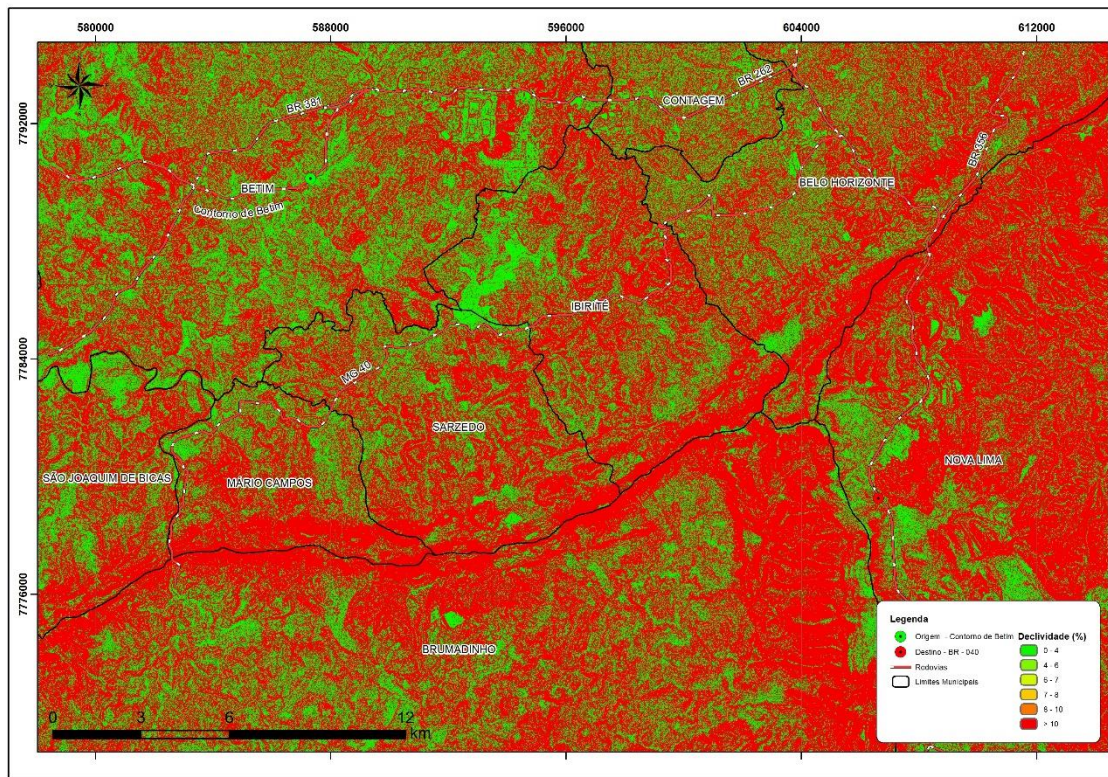
VALEC, V. E. C. E. F. S. A. Plano Diretor de Geoprocessamento 2013-2015. Ministério dos Transportes, Brasília. Disponível em: <<http://www.valec.gov.br/download/pdgeo/DocumentoPDGEOVALEC.pdf>>. Acesso em: 27 Dezembro 2015.

ZHANG, J.; ATKINSON, P. M.; GOODCHILD, M. F. **Scale in spatial information and analysis**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2014.

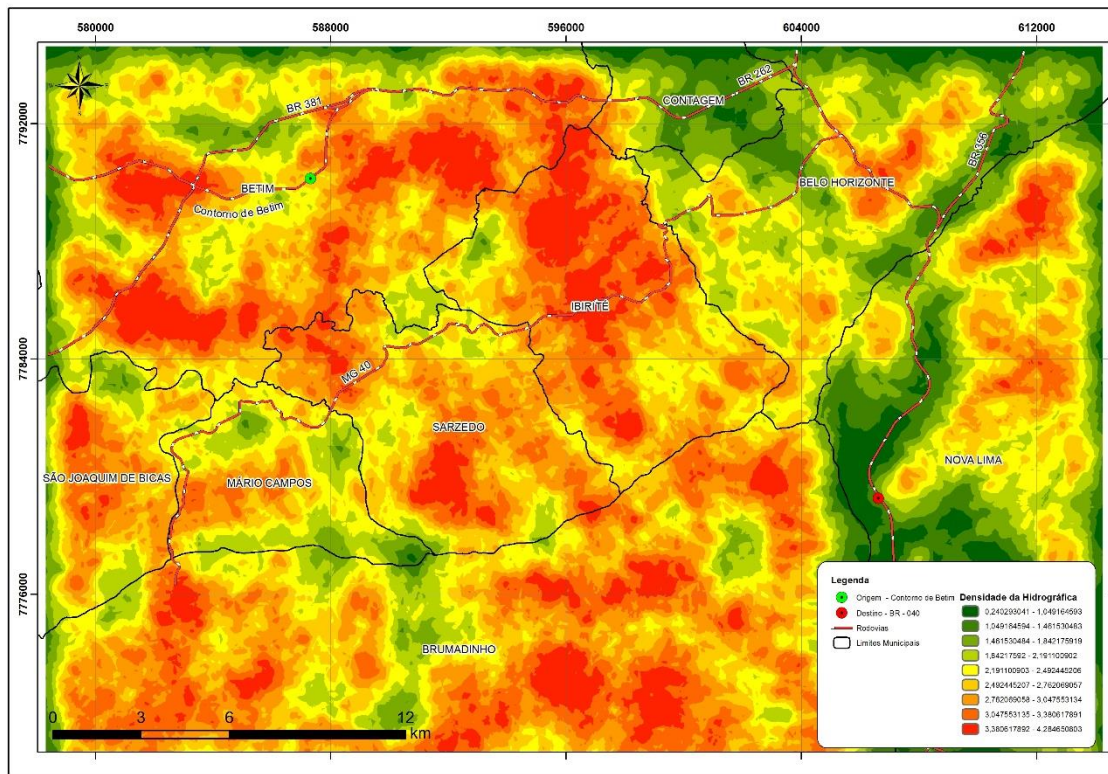
ZUPPO, C. A.; DAVIS JR, C. A.; MEIRELLES, A. A. C. Geoprocessamento no Sistema de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte. **Departamento de Ciência da Computação - DCC/UFMG**, Belo Horizonte, Maio 2000. 12.

APÊNDICES

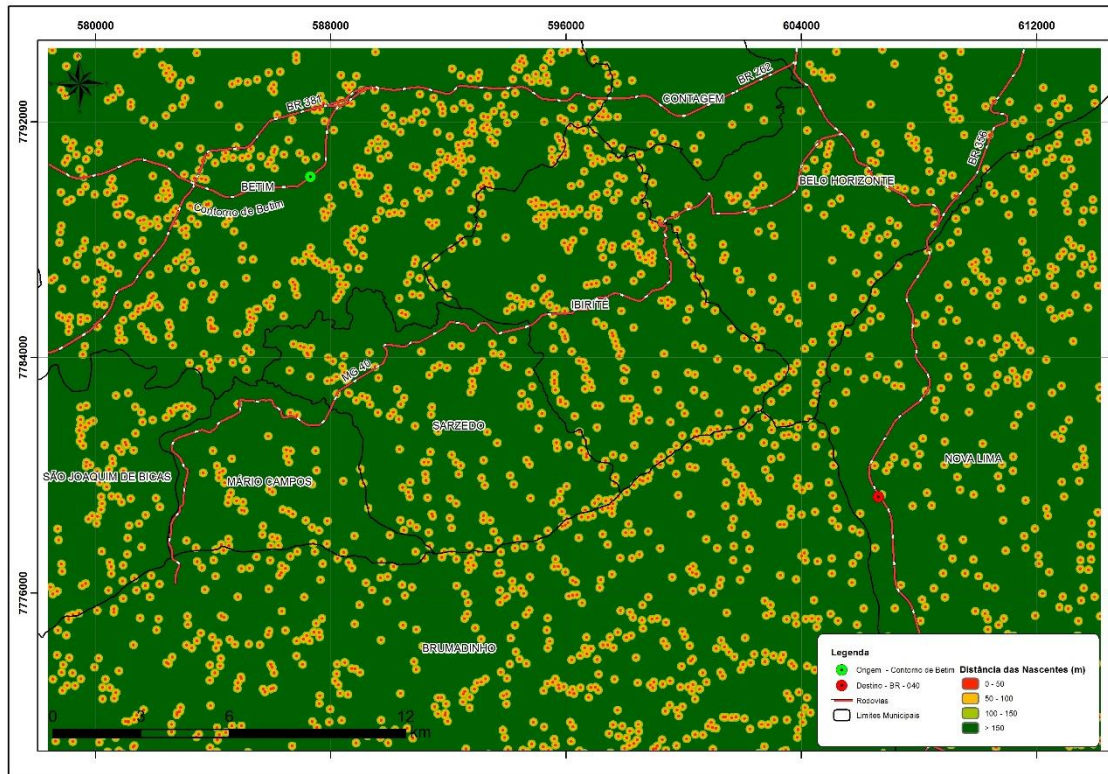
APÊNDICE A: Espacialização dos dados produzidos - Biofísico



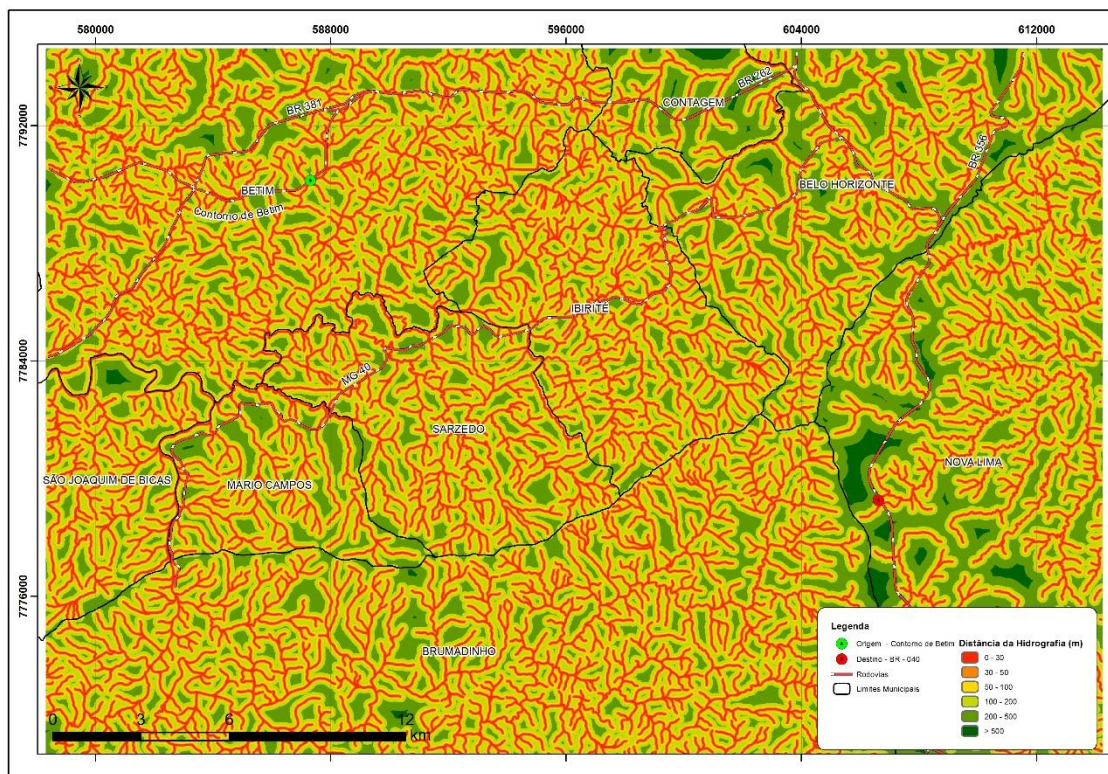
Declividade



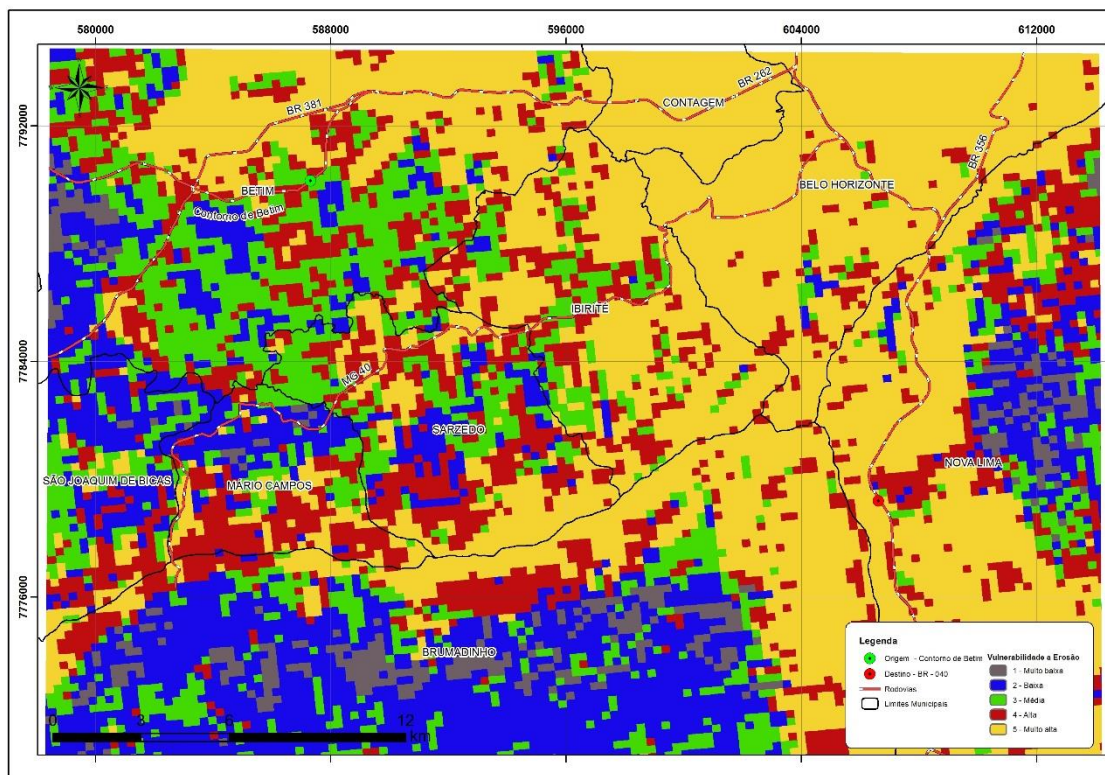
Densidade Hidrográfica



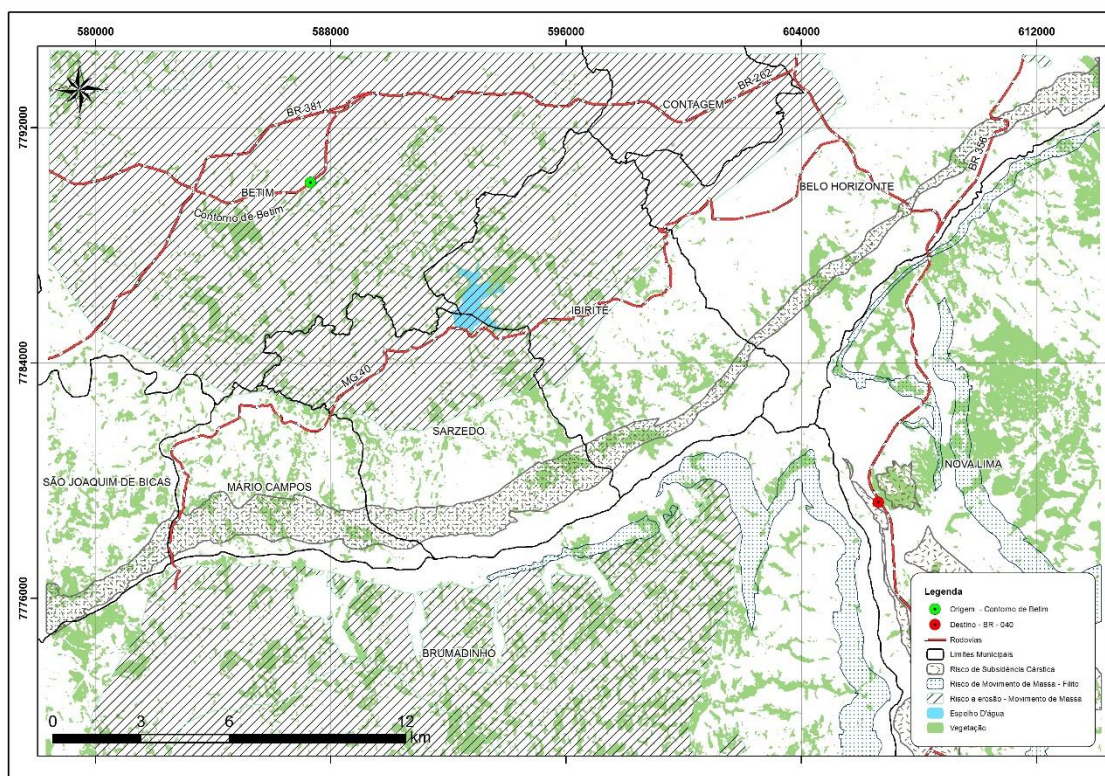
Distância das Nascentes



Distância da Hidrografia

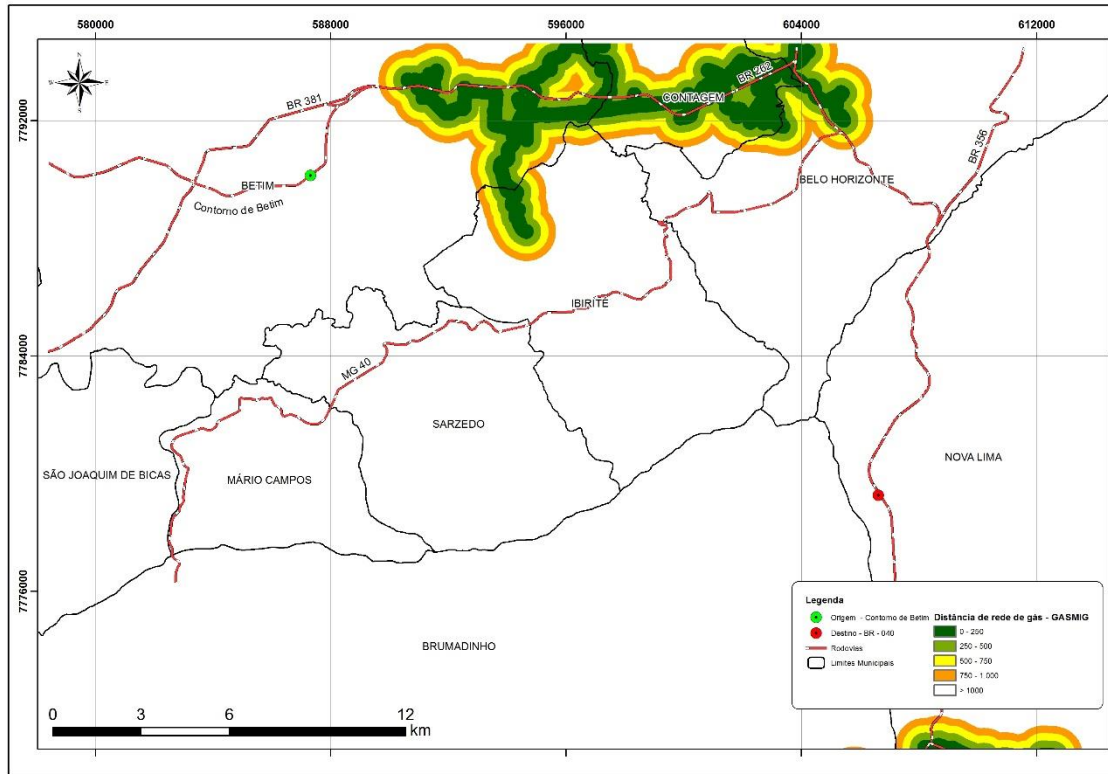


Vulnerabilidade a erosão

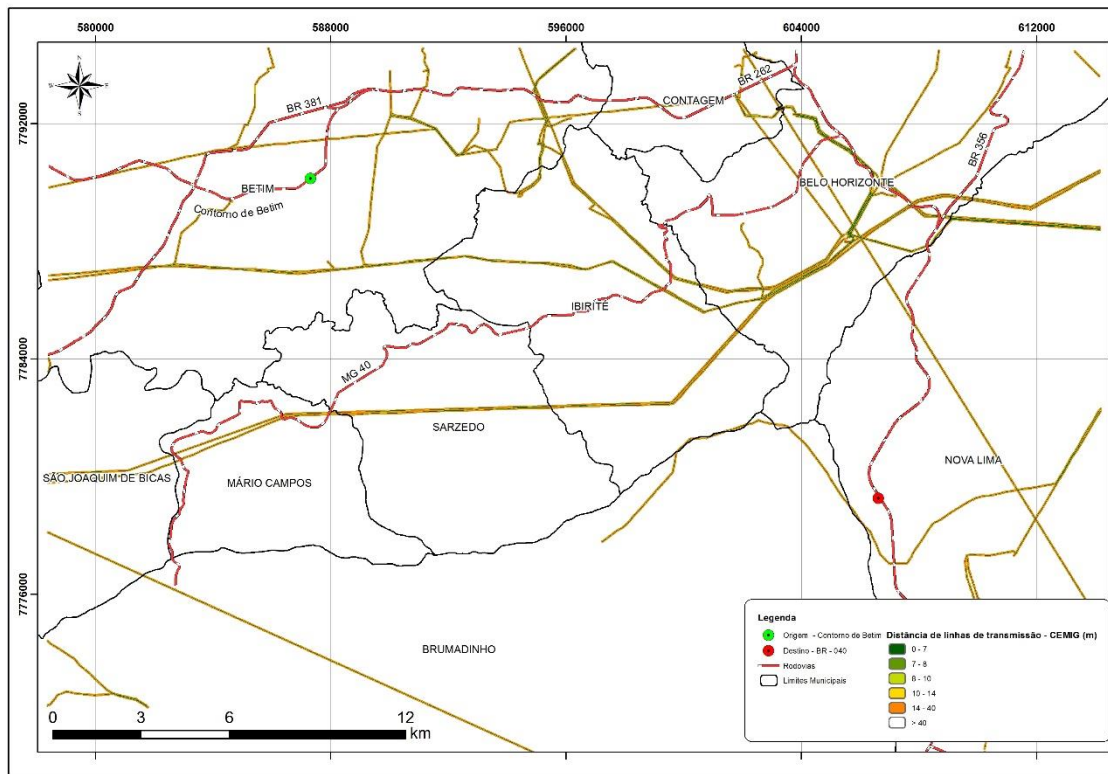


Espelho D'água; Risco de Movimento de Massa – Filto; Risco de Subsidência Cárstica; Vegetação

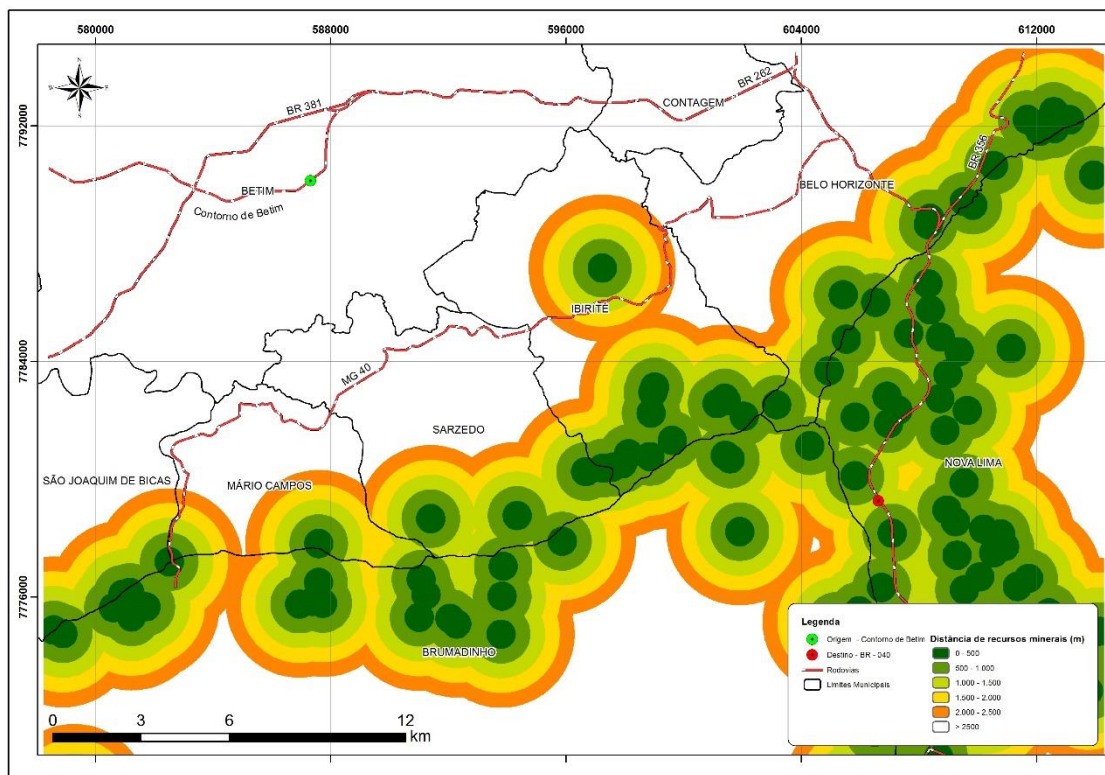
Apêndice B:Espacialização dos dados produzidos – Mercadológico / Suporte Logístico



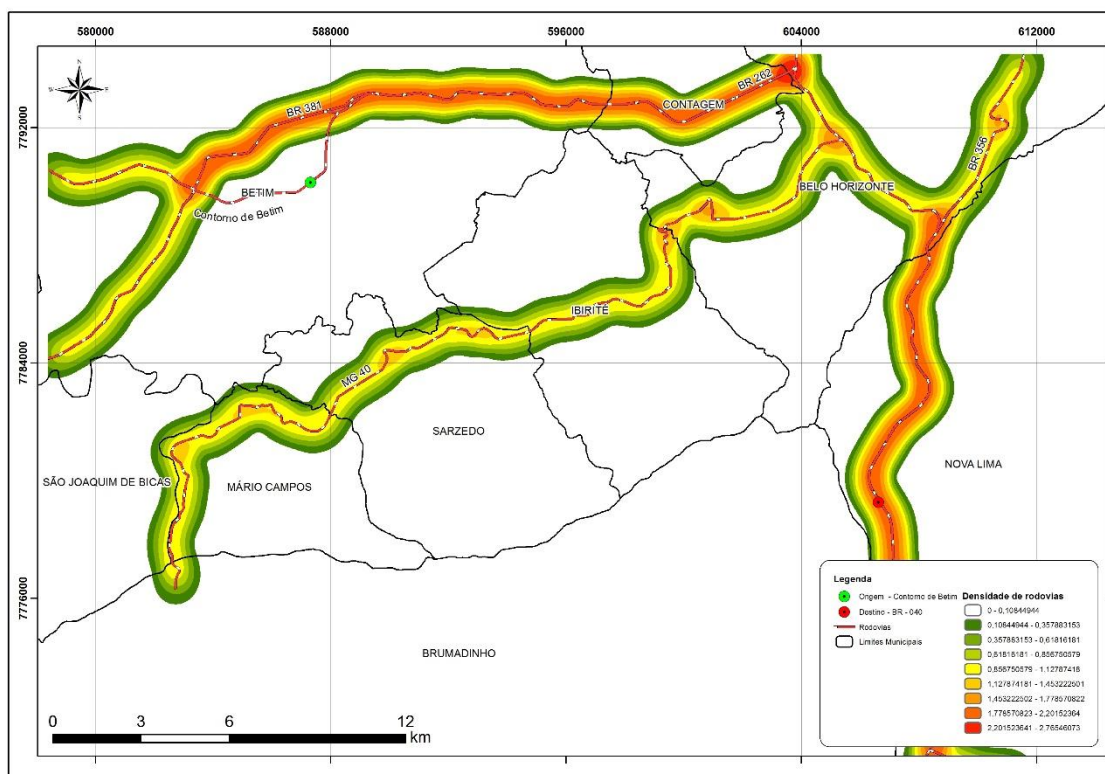
Distância de redes de gás – GASMIG



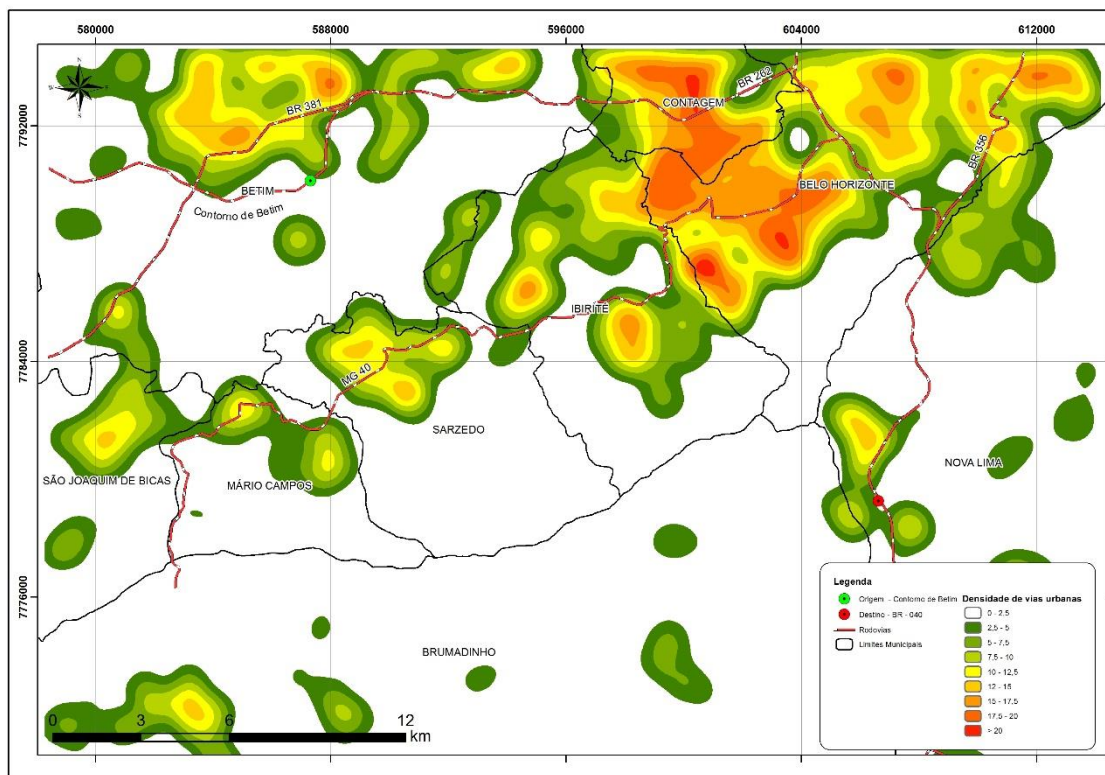
Distância de linhas de transmissão



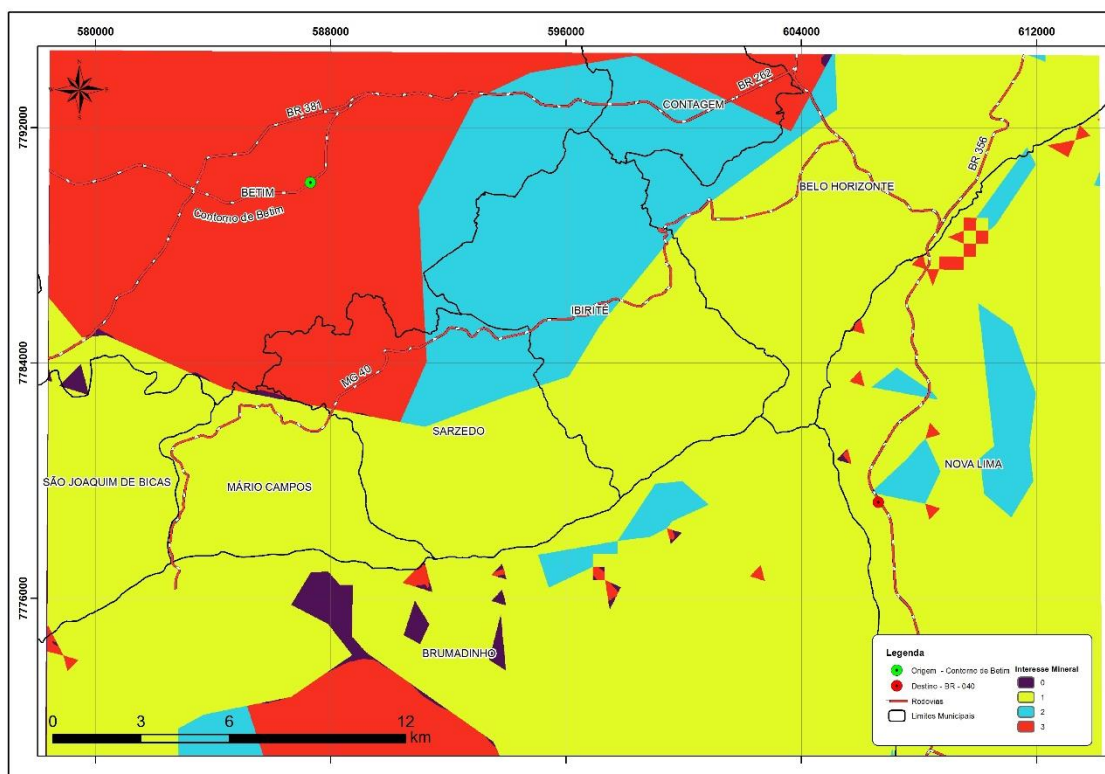
Distância de recursos minerais



Densidade de rodovias

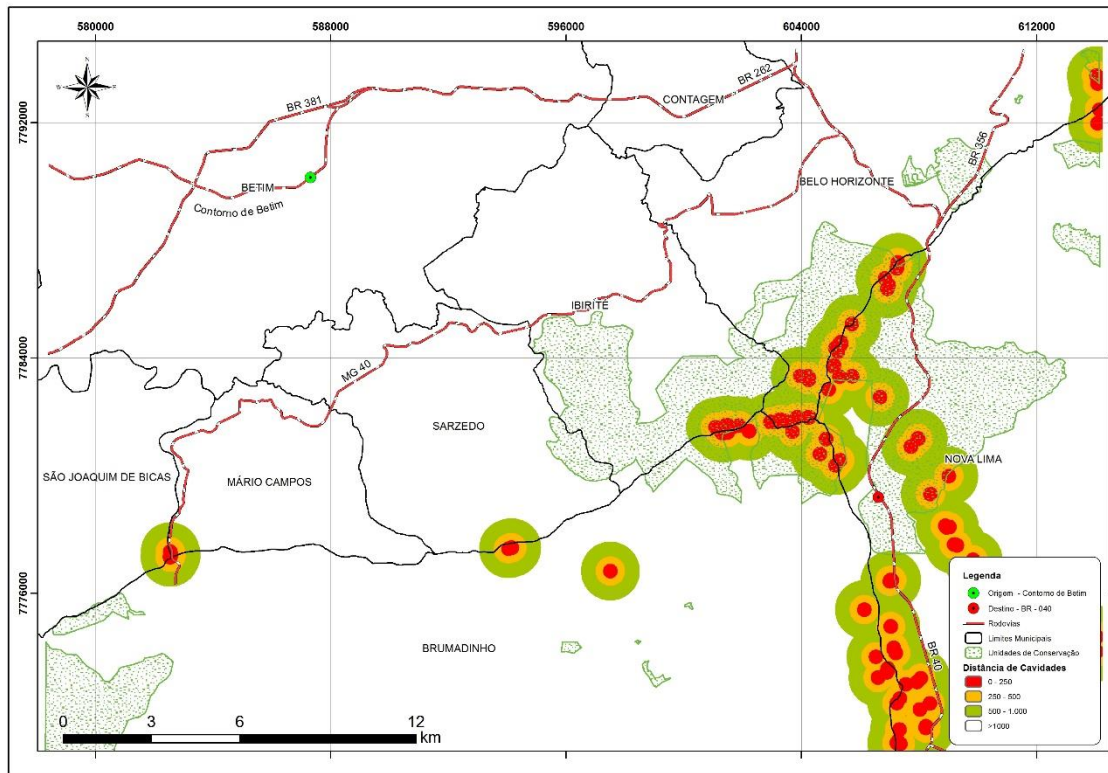


Densidade de vias urbanas



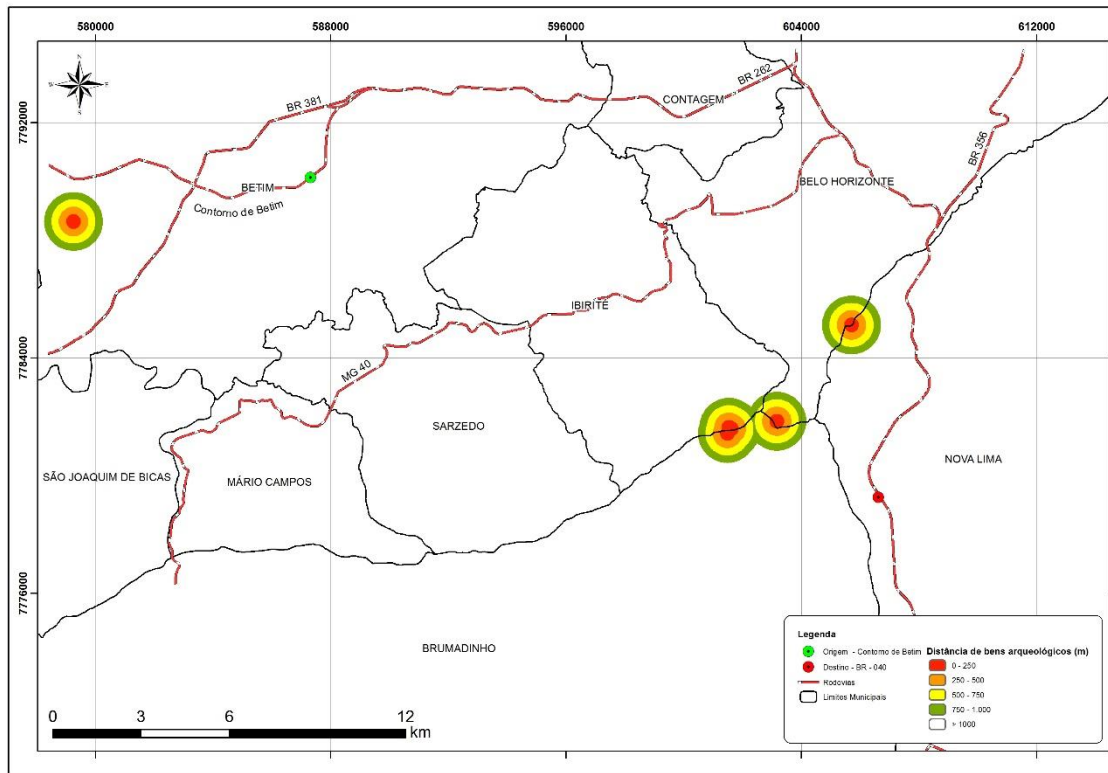
Áreas de interesse mineral

Apêndice C:Espacialização dos dados produzidos – Restrições Ambientais

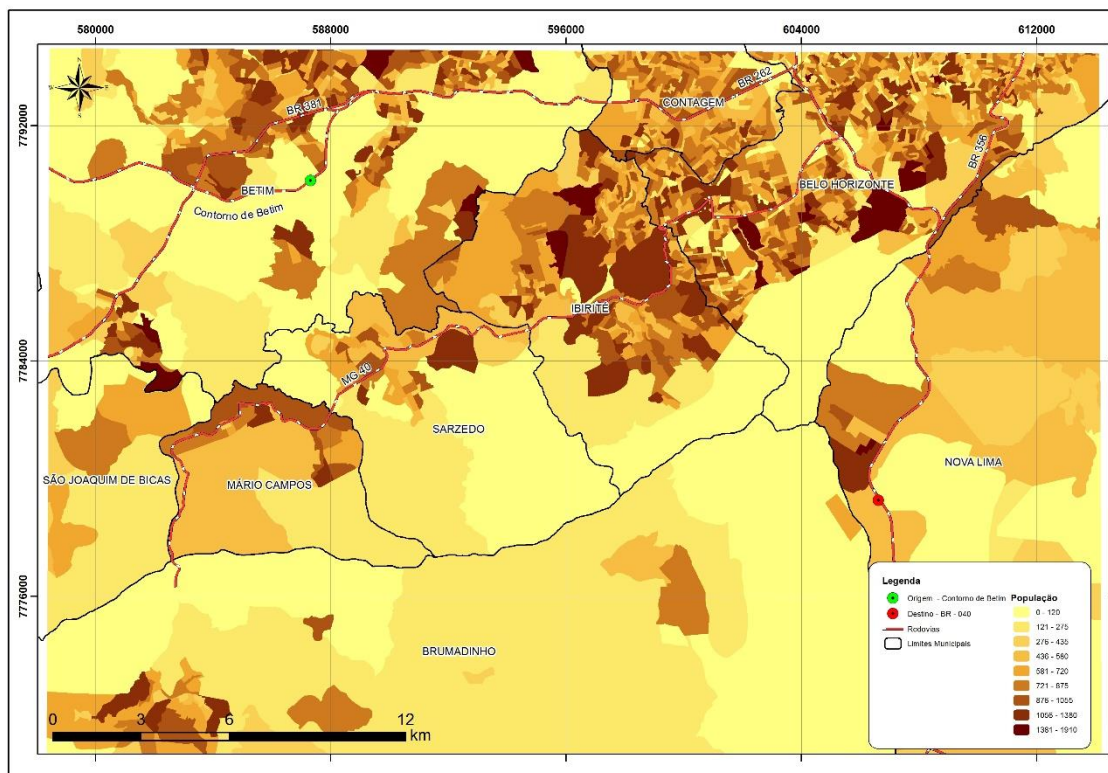


Unidades de Conservação e Distância de Cavidades

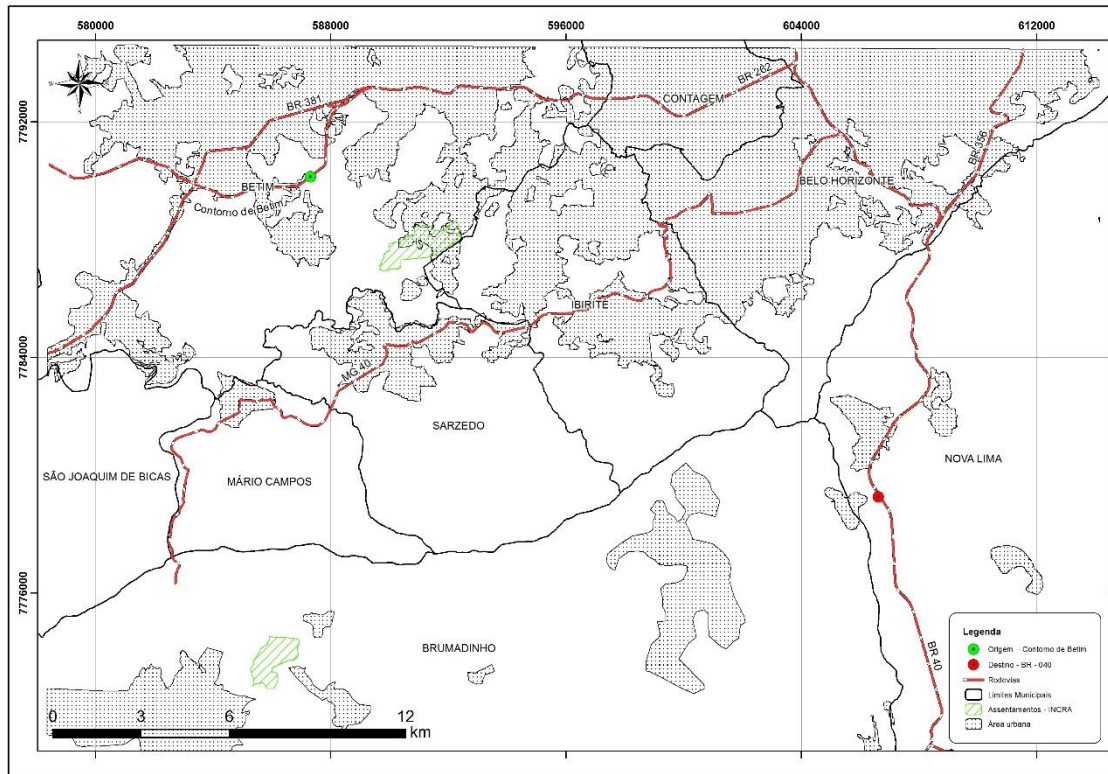
Apêndice D:Espacialização dos dados produzidos – Socioeconômico



Distância de bens arqueológicos tombados



População



Área urbana e Assentamentos - IN CRA

APÊNDICE E: Tabelas de comparação par a par das variáveis - Biofísico

Comparação e pesos da variável declividade

Item		1	2	3	4	5	6	Pesos
	Descrição	4	6	7	8	10	> 10	
1	4	1,00	0,70	0,60	0,50	0,30	0,11	0,06
2	6	1,43	1,00	0,90	0,50	0,60	0,20	0,09
3	7	1,67	1,11	1,00	0,80	0,70	0,40	0,12
4	8	2,00	2,00	1,25	1,00	0,80	0,50	0,16
5	10	3,33	1,67	1,43	1,25	1,00	0,60	0,19
6	> 10	9,09	5,00	2,50	2,00	1,67	1,00	0,38

Comparação e pesos da variável Distâncias das Nascentes

Item		1	2	3	4	Pesos
	Descrição	50	100	150	>150	
1	50	1,00	2,00	3,00	9,00	0,51
2	100	0,50	1,00	2,00	5,00	0,28
3	150	0,33	0,50	1,00	3,00	0,16
4	>150	0,11	0,20	0,33	1,00	0,05

Comparação e peso da variável Distância da Hidrografia

Número do item		1	2	3	4	5	Pesos
	Descrição	30	50	100	200	500	
1	30	1,00	2,00	3,00	7,00	9,00	0,45
2	50	0,50	1,00	2,00	4,00	9,00	0,28
3	100	0,33	0,50	1,00	2,00	5,00	0,15
4	200	0,14	0,25	0,50	1,00	3,00	0,08
5	500	0,11	0,11	0,20	0,33	1,00	0,03

Comparação e pesos da variável Vulnerabilidade a Erosão

Ítem		1	2	3	4	5	Pesos
	Descrição	5	4	3	2	1	
1	5	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00	0,50
2	4	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00	0,26
3	3	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00	0,13
4	2	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00	0,07
5	1	0,11	0,14	0,20	0,33	1,00	0,03

Comparação e pesos da variável Densidade Hidrográfica

Número do item	Descrição	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pesos
		4,28465	3,779105	3,273561	2,768016	2,262471	1,756927	1,251382	0,745838	0,240293	
1	4,28465	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	0,31
2	3,779105	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	0,22
3	3,273561	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	0,15
4	2,768016	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	0,11
5	2,262471	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	0,08
6	1,756927	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	0,05
7	1,251382	0,14	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	0,04
8	0,745838	0,13	0,14	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	0,03
9	0,240293	0,11	0,13	0,14	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	0,02

Atribuição de Pesos

Variável	Pesos
Espelho D'Água	0,99
Risco de Movimento de Massa - Filito	0,50
Risco de Subsidência Cárstica	0,50
Vegetação	0,70

APÊNDICE F:

Tabelas de comparação par a par das variáveis – Mercadológico / Suporte Logístico

Comparação e peso da variável Distância de redes de gás - GASMIG

Número do item	Descrição	1	2	3	4	Pesos
		250	500	750	1000	
1	250	1,00	2,00	3,00	4,00	0,47
2	500	0,50	1,00	2,00	3,00	0,28
3	750	0,33	0,50	1,00	2,00	0,16
4	1000	0,25	0,33	0,50	1,00	0,10

Comparação e peso da variável Distância de redes de transmissão - CEMIG

Item	Descrição	1	2	3	4	5	6	Pesos
		7	8	10	14	40	>40	
1	7	1,00	1,00	2,00	3,00	7,00	9,00	0,31
2	8	1,00	1,00	1,00	2,00	5,00	9,00	0,24
3	10	0,50	1,00	1,00	2,00	5,00	9,00	0,22
4	14	0,33	0,50	0,50	1,00	5,00	9,00	0,15
5	40	0,14	0,20	0,20	0,20	1,00	7,00	0,06
6	>40	0,11	0,11	0,11	0,11	0,14	1,00	0,02

Comparação e peso da variável Distância de recursos minerais

Item		1	2	3	4	5	Pesos
	Descrição	500	1000	1500	2000	2500	
1	500	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	0,42
2	1000	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	0,26
3	1500	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	0,16
4	2000	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	0,10
5	2500	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	0,06

Comparação e peso da variável Densidade de rodovias

Item		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pesos
	Descrição	0	0,345683	0,691365	1,037047	1,38273	1,728413	2,074095	2,419778	2,76546	
1	0,000000	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	0,29
2	0,345683	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	0,20
3	0,691365	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	6,00	45,00	6,00	7,00	0,22
4	1,037047	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	0,10
5	1,382730	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	0,07
6	1,728413	0,17	0,20	0,17	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	0,05
7	2,074095	0,14	0,17	0,02	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	0,03
8	2,419778	0,13	0,14	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	0,02
9	2,765460	0,11	0,13	0,14	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	0,02

Comparação e Peso da variável Densidade de vias urbanas

Item		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pesos
	Descrição	20	17,5	15	12,5	10	7,5	5	2,5	0	
1	20	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	0,31
2	17,5	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	0,22
3	15	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	0,15
4	12,5	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	0,11
5	10	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	0,08
6	7,5	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	0,05
7	5	0,14	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	0,04
8	2,5	0,13	0,14	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	0,03
9	0	0,11	0,13	0,14	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	0,02

Comparação e Peso da variável Interesse Mineral

Item		1	2	3	Pesos
	Descrição	1	2	3	
1	1	1,00	5,00	7,00	0,70
2	2	0,20	1,00	5,00	0,23
3	3	0,14	0,20	1,00	0,07

APÊNDICE G: Tabelas de comparação par a par das variáveis – Restrições Ambientais

Pesos adotados para as variáveis – Unidades de Conservação

Variável	Tipo	Peso
ESEC	Proteção Integral	0,9
MONA	Proteção Integral	0,9
PAR	Proteção Integral	0,9
RPPN	Proteção Integral	0,9
APA	Uso Sustentável	0,7
APE	Uso Sustentável	0,7

Pesos adotados para variáveis – distância de cavidades

Item	Descrição	1	2	3	Pesos
		<250	500	1000	
1	<250	1,00	7,00	9,00	0,73
2	500	0,14	1,00	7,00	0,22
3	1000	0,11	0,314	1,00	0,05

APÊNDICE H: Tabelas de comparação par a par das variáveis – Socioeconômico

Comparação e Pesos das variáveis – Distância de bens arqueológicos e tombados

Item	Descrição	1	2	3	4	Pesos
		250	500	750	1000	
1	250	1,00	3,00	5,00	7,00	0,56
2	500	0,33	1,00	3,00	5,00	0,26
3	750	0,20	0,33	1,00	3,00	0,12
4	1000	0,14	0,20	0,33	1,00	0,06

Comparação e Pesos da variável População

Item	Descrição	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pesos
		120	275	435	580	720	875	1055	1380	1910	
1	120	1,00	0,44	0,28	0,21	0,17	0,14	0,12	0,11	0,11	0,02
2	275	2,27	1,00	0,63	0,47	0,38	0,31	0,26	0,20	0,14	0,04
3	435	3,57	1,59	1,00	0,75	0,60	0,50	0,41	0,32	0,23	0,06
4	580	4,76	2,13	1,33	1,00	0,81	0,66	0,55	0,42	0,30	0,08
5	720	5,88	2,63	1,67	1,23	1,00	0,82	0,68	0,52	0,38	0,10
6	875	7,14	3,23	2,00	1,52	1,22	1,00	0,83	0,63	0,46	0,12
7	1055	8,33	3,85	2,44	1,82	1,47	1,20	1,00	0,76	0,55	0,15
8	1380	9,09	5,00	3,13	2,38	1,92	1,59	1,32	1,00	0,72	0,19
9	1910	9,09	7,14	4,35	3,33	2,63	2,17	1,82	1,39	1,00	0,25

Pesos atribuídos – Área Urbana e Assentamentos

Variável	Peso
Área Urbana	0,9
Assentamentos Rurais	0,5

APÊNDICE I: Tabelas de comparação par a par das variáveis – entre as variáveis

Comparação e Pesos – Subconjunto Biofísico

Item		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Pesos
	Descrição	dens_hidro	risc_mov_fil	dist_hidro	risc_sub_cars	dec.	espelho_dagua	veget.	dist_nasc	risc_movmas	vulner_erosao	
1	dens_hidro	1,00	2,00	1,00	2,00	0,30	5,00	0,50	1,00	2,00	0,70	0,09
2	risc_mov_fil	0,50	1,00	3,00	1,00	0,30	5,00	0,50	0,50	1,00	0,70	0,08
3	dist_hidro	1,00	0,33	1,00	3,00	0,30	5,00	1,00	1,00	3,00	1,00	0,10
4	risc_sub_cars	0,50	1,00	0,33	1,00	0,30	5,00	0,70	0,50	1,00	0,50	0,06
5	dec.	3,33	3,33	3,33	3,33	1,00	9,00	2,00	3,00	5,00	3,00	0,25
6	espelho_dagua	0,20	0,20	0,20	0,20	0,11	1,00	0,11	0,11	0,11	0,11	0,01
7	veget.	2,00	2,00	1,00	1,43	0,50	9,09	1,00	3,00	2,00	2,00	0,14
8	dist_nasc	1,00	2,00	1,00	2,00	0,33	9,09	0,33	1,00	1,00	1,00	0,09
9	risc_movmas	0,50	1,00	0,33	1,00	0,20	9,09	0,50	1,00	1,00	1,00	0,07
10	vulner_erosao	1,43	1,43	1,00	2,00	0,33	9,09	0,50	1,00	1,00	1,00	0,10

Seguem descritivos dos dados acima.

- 1 – dens_hidro => Densidade Hidrográfica;
- 2 – risc_mov_fil => Risco de movimento de massa – filito;
- 3 – dist_hidro => Distância de hidrografia;
- 4 – risc_sub_cars => Risco de subsidência cárstica;
- 5 – dec. => Declividade;
- 6 – espelho_dagua => Espelho d'água;
- 7 – veget. => Vegetação;
- 8 – dist_nasc => Distância das nascentes;
- 9 – risc_movmas => Risco de movimento de massa;
- 10 – vulner_erosao => Vulnerabilidade a erosão.

Comparação e Pesos – Subconjunto Mercadológico / Suporte Logístico

Item		1	2	3	4	5	6	Pesos
	Descrição	dens_rodovias	dist_lin_tran	dens_urbanas	dist_rec_min	inter_min	dist_gasmig	
1	dens_rodovias	1,00	2,00	0,50	1,00	1,00	2,00	0,17
2	dist_lin_tran	0,50	1,00	0,50	0,50	0,30	1,00	0,09
3	dens_urbanas	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	3,00	0,29
4	dist_rec_min	1,00	2,00	0,50	1,00	1,00	2,00	0,17
5	inter_min	1,00	3,33	0,50	1,00	1,00	0,50	0,16
6	dist_gasmig	0,50	1,00	0,33	0,50	2,00	1,00	0,12

Seguem descritivos dos dados acima.

1 – dens_rodovias => Densidade de rodovias;

2 – dist_lin_tran => Distância de linhas de transmissão;

3 – dens_urbanas => Densidade de vias urbanas;

4 – dist_rec_min => Distância de recursos minerais;

5 – inter_min => Áreas de interesse mineral;

6 – dist_gasmig => Distância de redes de distribuição de gás da GASMIG.

Comparação e Pesos – Subconjunto de Restrições Ambientais

Item		1	2	3	4	5	6	7	Pesos
	Descrição	rppn	par	mona	esec	dist_cav	apa	ape	
1	rppn	1,00	1,00	1,00	2,00	0,50	2,00	2,00	0,16
2	par	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	2,00	2,00	0,15
3	mona	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	2,00	2,00	0,15
4	esec	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,09
5	dist_cav	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	0,23
6	apa	0,50	0,50	0,50	2,00	0,50	1,00	1,00	0,10
7	ape	0,50	0,50	0,50	2,00	1,00	1,00	1,00	0,12

Seguem descritivos dos dados acima.

1 – rppn => Reserva Particular do Patrimônio Natural;

2 – par => Parque Ecológico;

3 – mona => Monumento Natural;

4 – esec => Estação Ecológica;

5 – dist_cav => Distância de cavernas;

6 – apa => Área de Proteção Ambiental;

7 – ape => Área de Proteção Ambiental.

Comparação e Pesos – Subconjunto Socioeconômico

Item		1	2	3	4	5	Pesos
	Descrição	assent_incra	bens_tomb	setor_pop	dist_arqueo	area_urbana	
1	assent_incra	1,00	0,50	0,30	0,30	0,60	0,09
2	bens_tomb	2,00	1,00	0,80	0,80	1,00	0,19
3	setor_pop	3,33	1,25	1,00	3,00	0,50	0,27
4	dist_arqueo	3,33	1,25	0,33	1,00	0,50	0,18
5	area_urbana	1,67	1,00	2,00	2,00	1,00	0,27

Seguem descritivos dos dados acima.

1 – assente_incra => Assentamentos de imóveis rurais do INCRA;

2 – bens_tomb => Bens históricos tombados (registrados);

3 – setor_pop => Quantidade de população em setores censitários;

4 – dist_arqueo => Distância de bens arqueológicos;

5 – área_urbana => Área Urbana.

APÊNDICE J: Tabelas de comparação par a par dos cenários

Comparação e Pesos – Cenário Biofísico

Item		1	2	3	4	Pesos
	Descrição	biofísico	merc. Log.	rest. Amb.	socioec.	
1	biofísico	1,00	3,00	1,00	3,00	0,38
2	merc. Log.	0,33	1,00	0,50	3,00	0,19
3	rest. Amb.	1,00	2,00	1,00	3,00	0,34
4	socioec.	0,33	0,33	0,33	1,00	0,10

Comparação e Pesos – Cenário Mercadológico / Suporte Logístico

Item		1	2	3	4	Pesos
	Descrição	biofísico	merc. Log.	rest. Amb.	socioec.	
1	biofísico	1,00	1,00	1,00	0,80	0,23
2	merc. Log.	1,00	1,00	2,00	3,00	0,36
3	rest. Amb.	1,00	0,50	1,00	3,00	0,26
4	socioec.	1,25	0,33	0,33	1,00	0,15

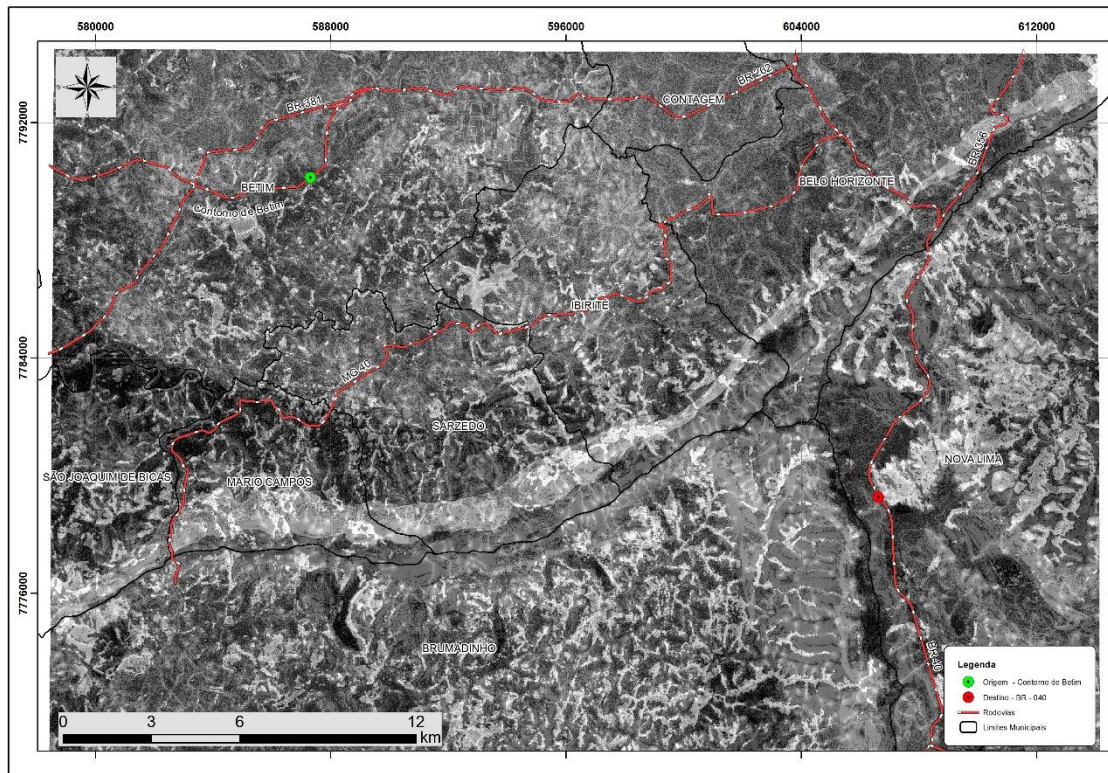
Comparação e Pesos – Cenário de Restrições Ambientais

Item	Descrição	1	2	3	4	Pesos
		biofísico	merc. Log.	rest. Amb.	socioec.	
1	biofísico	1,00	3,00	0,50	3,00	0,32
2	merc. Log.	0,33	1,00	0,50	3,00	0,19
3	rest. Amb.	2,00	2,00	1,00	3,00	0,40
4	socioec.	0,33	0,33	0,33	1,00	0,10

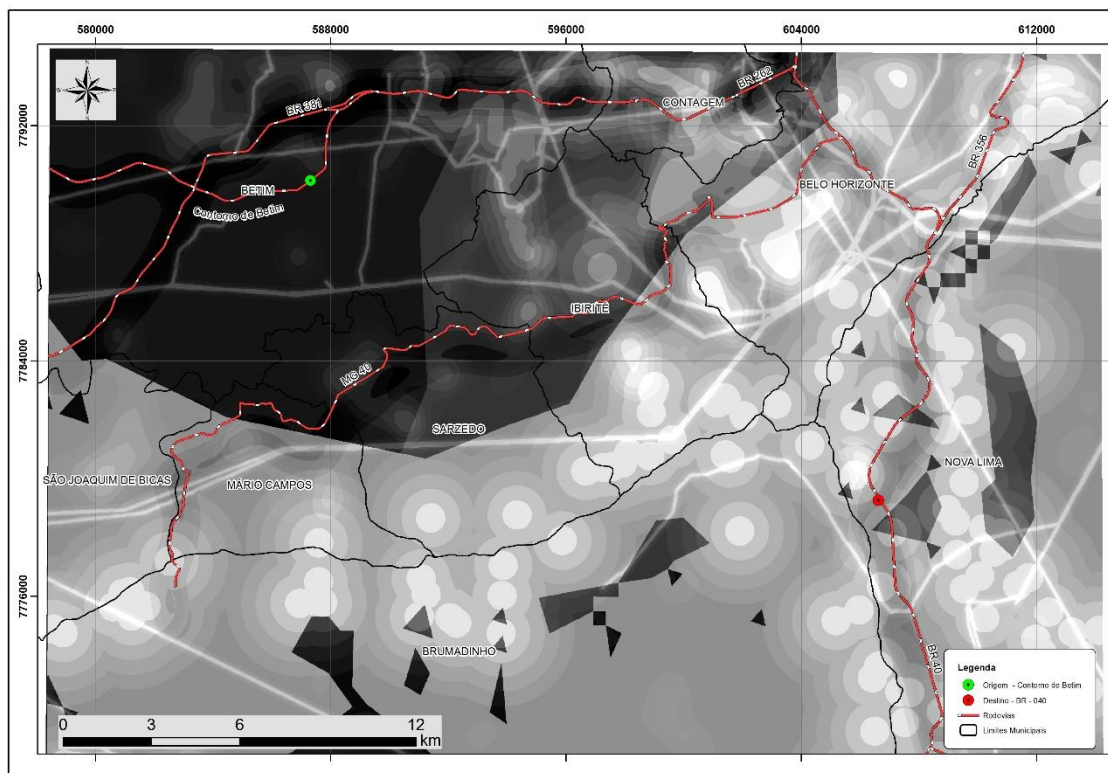
Comparação e Pesos – Cenário Socioeconômico

Item	Descrição	1	2	3	4	Pesos
		biofísico	merc. Log.	rest. Amb.	socioec.	
1	biofísico	1,00	1,00	1,00	0,80	0,23
2	merc. Log.	1,00	1,00	2,00	0,50	0,25
3	rest. Amb.	1,00	0,50	1,00	0,80	0,20
4	socioec.	1,25	2,00	1,25	1,00	0,32

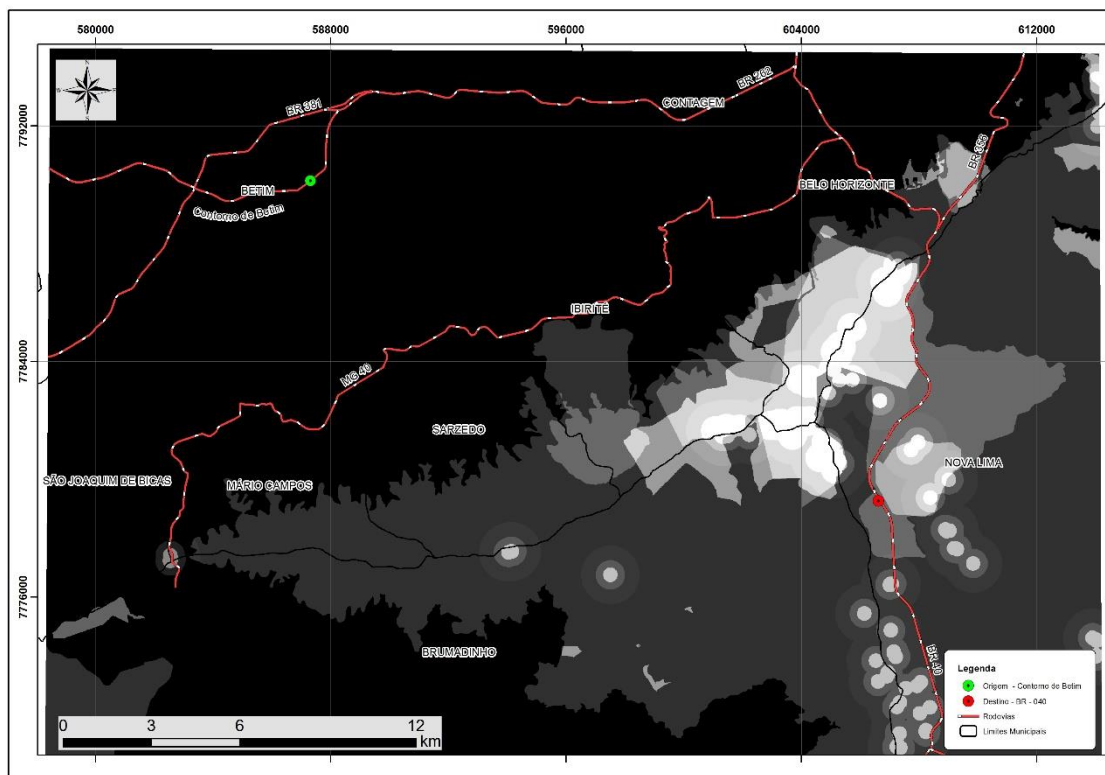
APÊNDICE K: Superfícies de esforço acumulado intragrupos.



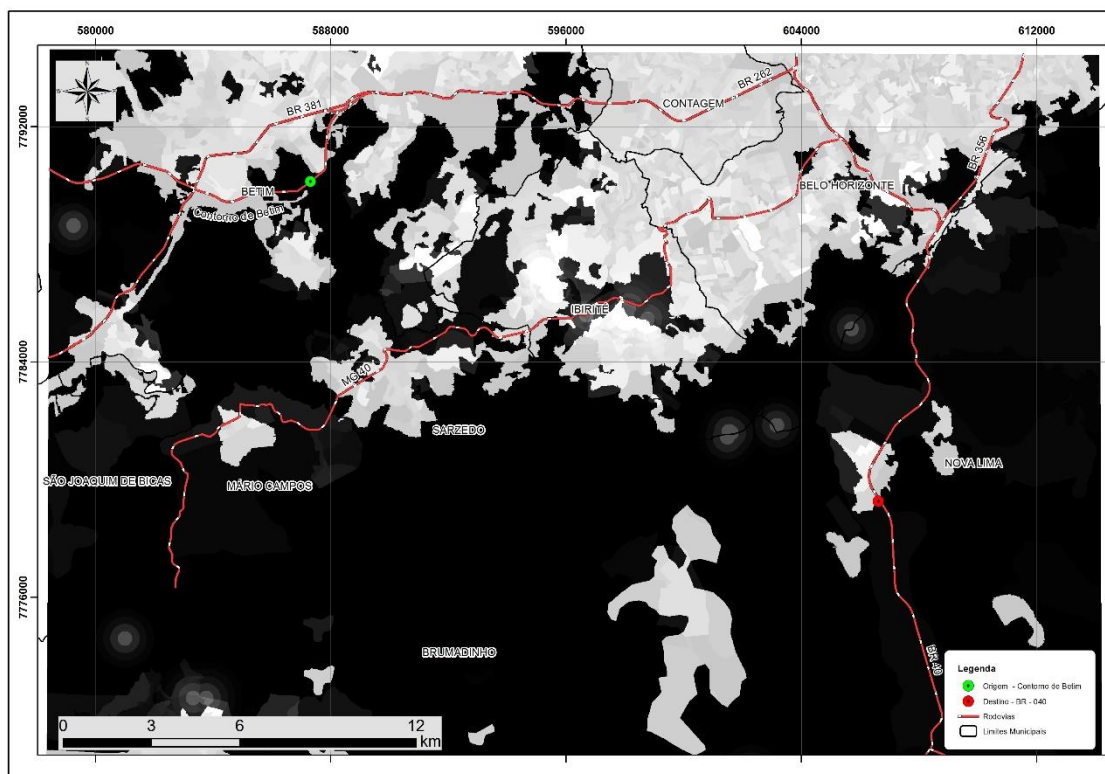
Variáveis Biofísico



Variáveis Mercadológico/Suporte Logístico

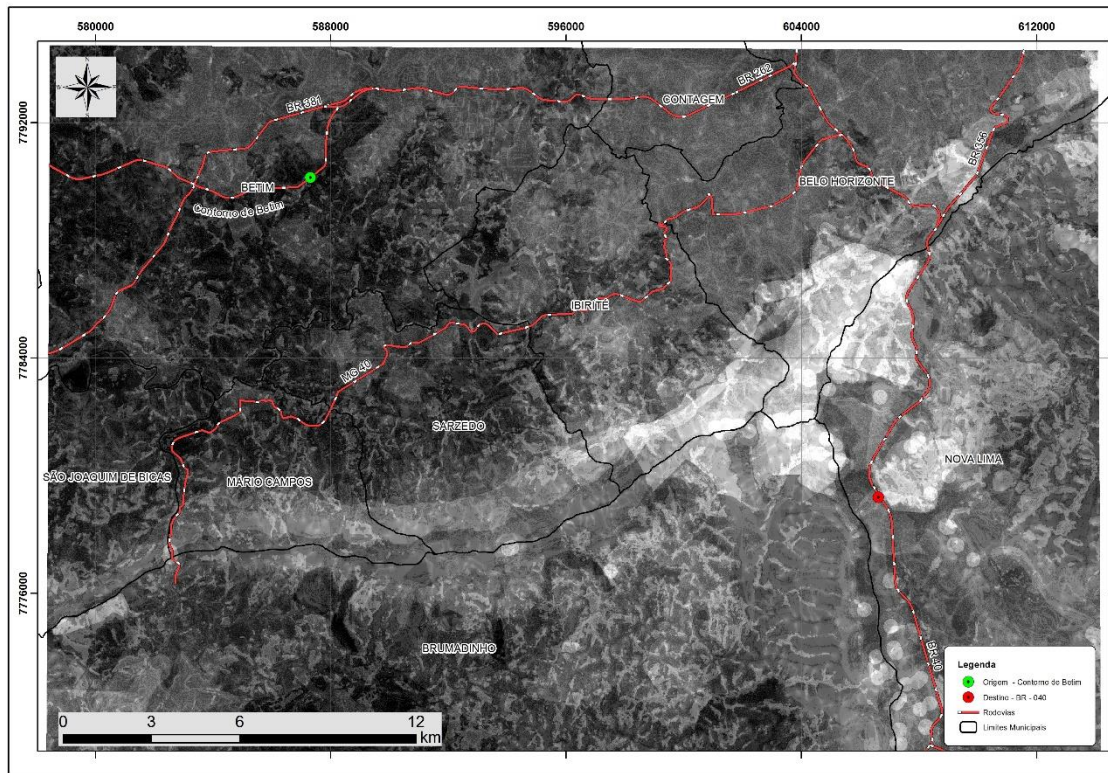


Variáveis Restrições Ambientais

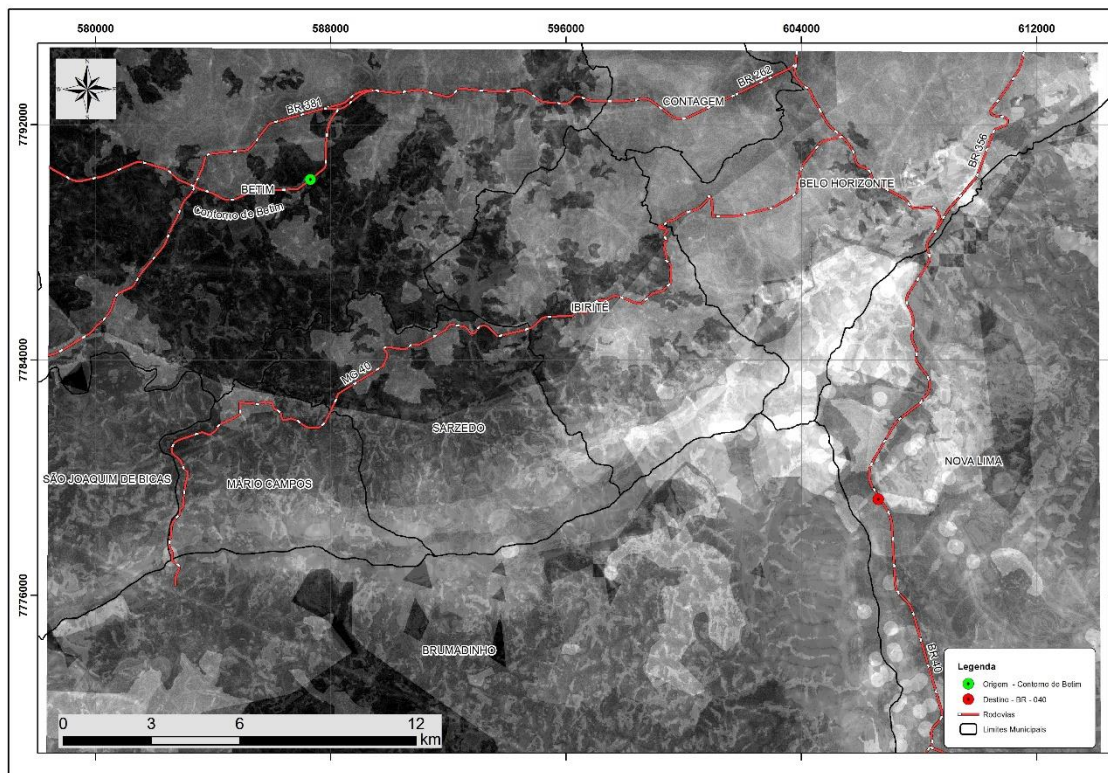


Variáveis Socioeconômicas

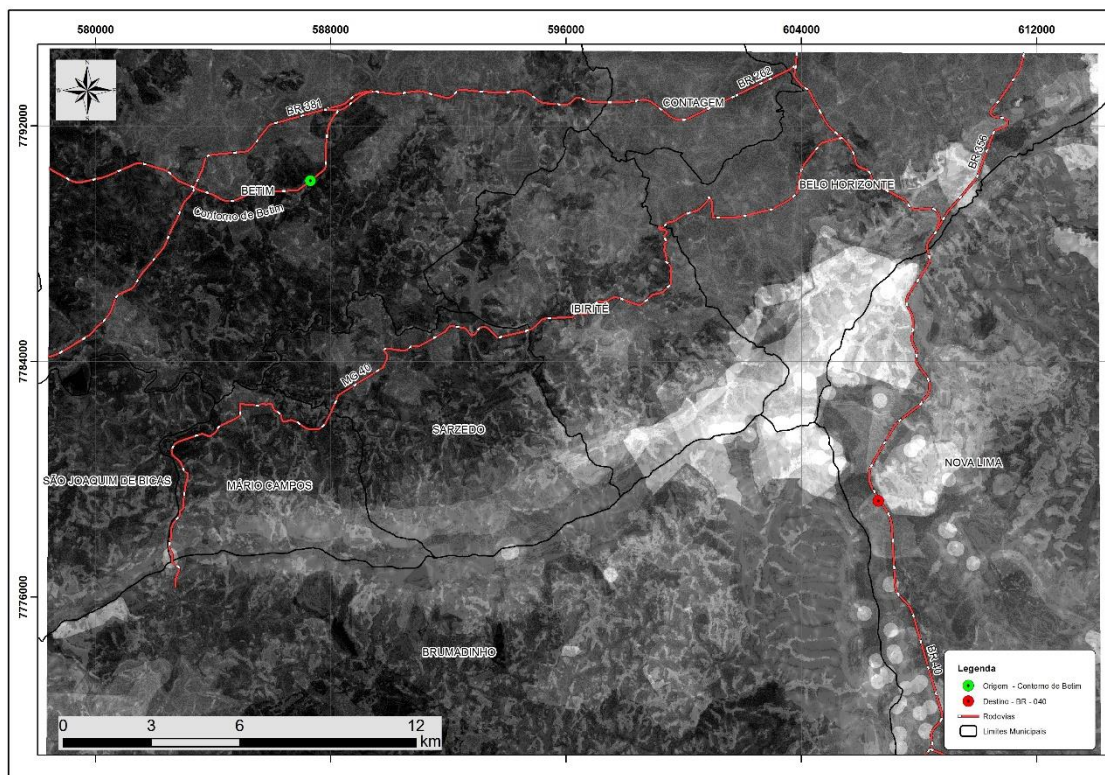
APÊNDICE L: Superfície de esforço acumulado de acordo com a ênfase do subconjunto



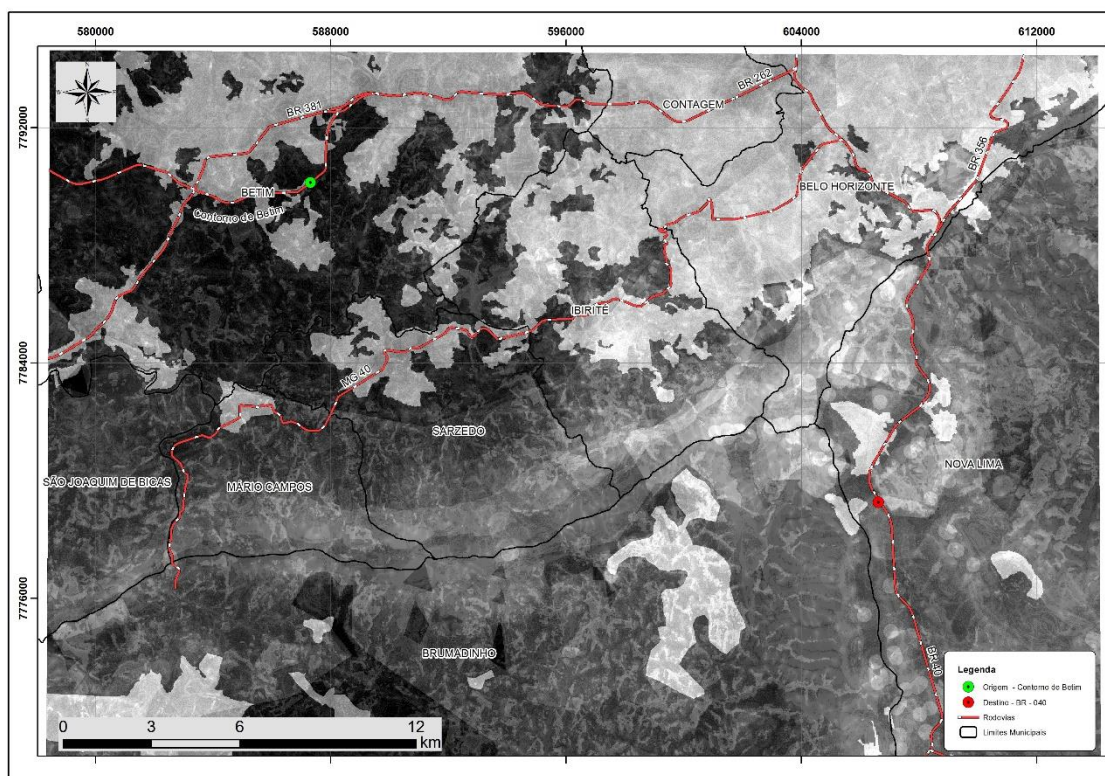
Cenário Biofísico



Cenário Mercadológico/Suporte Logístico

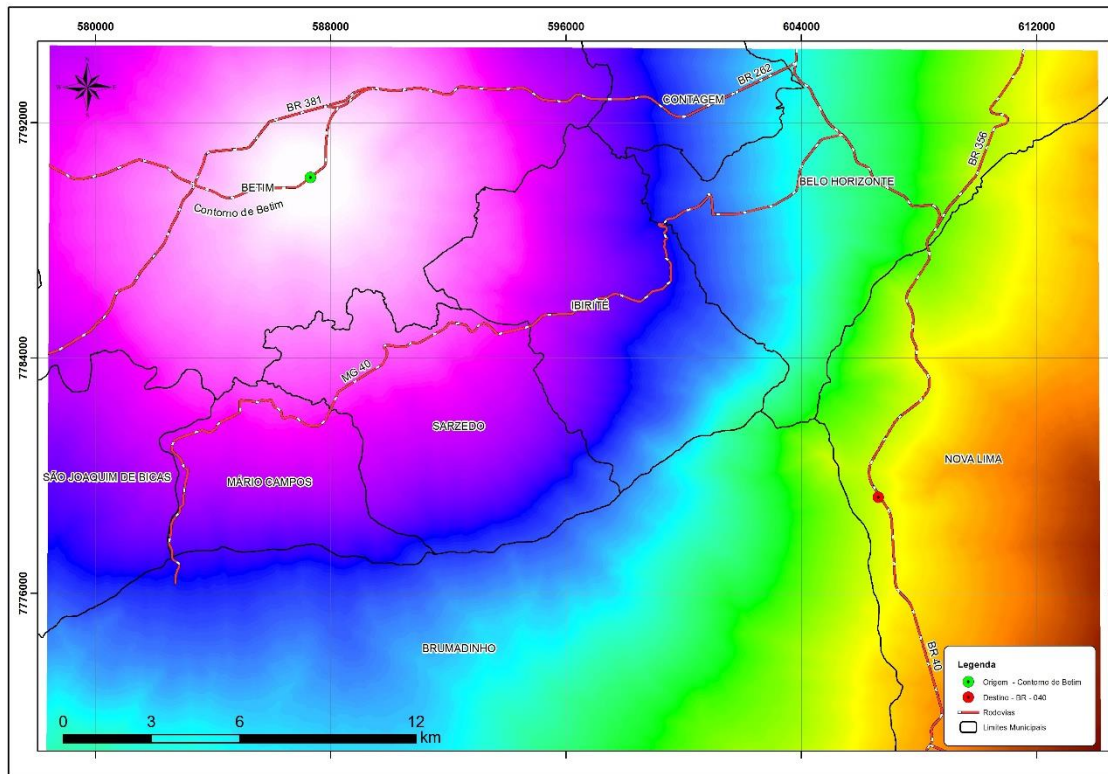


Cenário de Restrições Ambientais

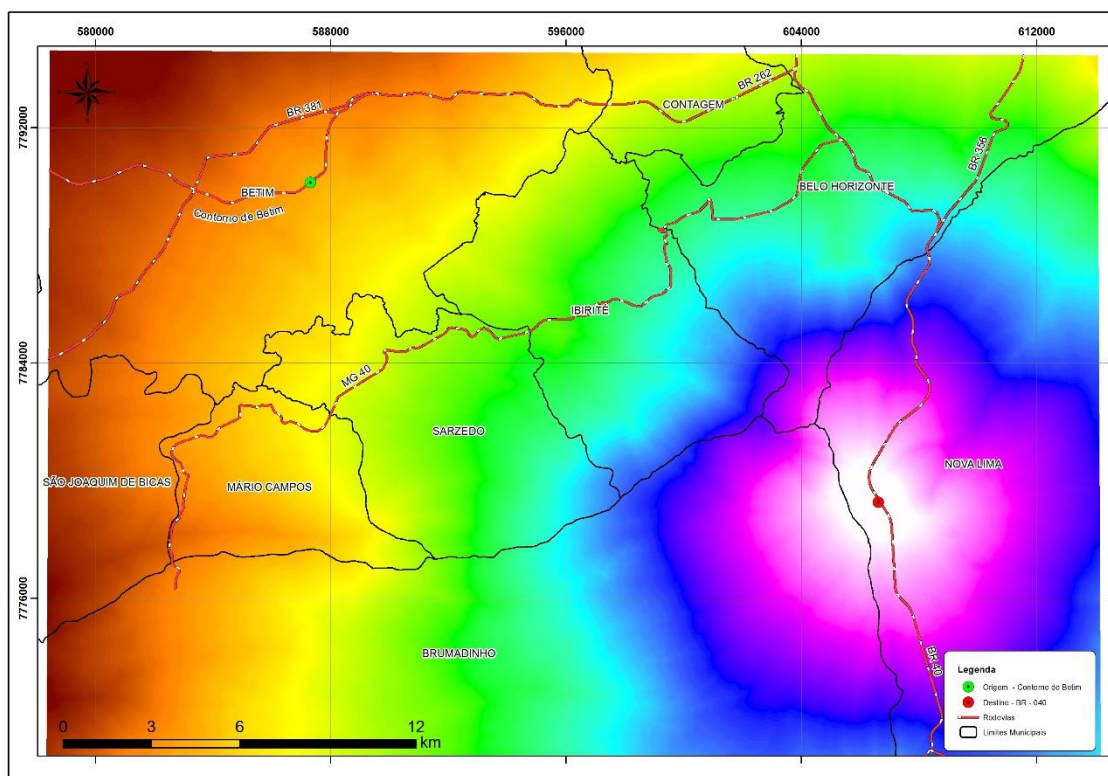


Cenário Socioeconômico

APÊNDICE M: Custos – origens dos corredores do cenário de Restrições Ambientais

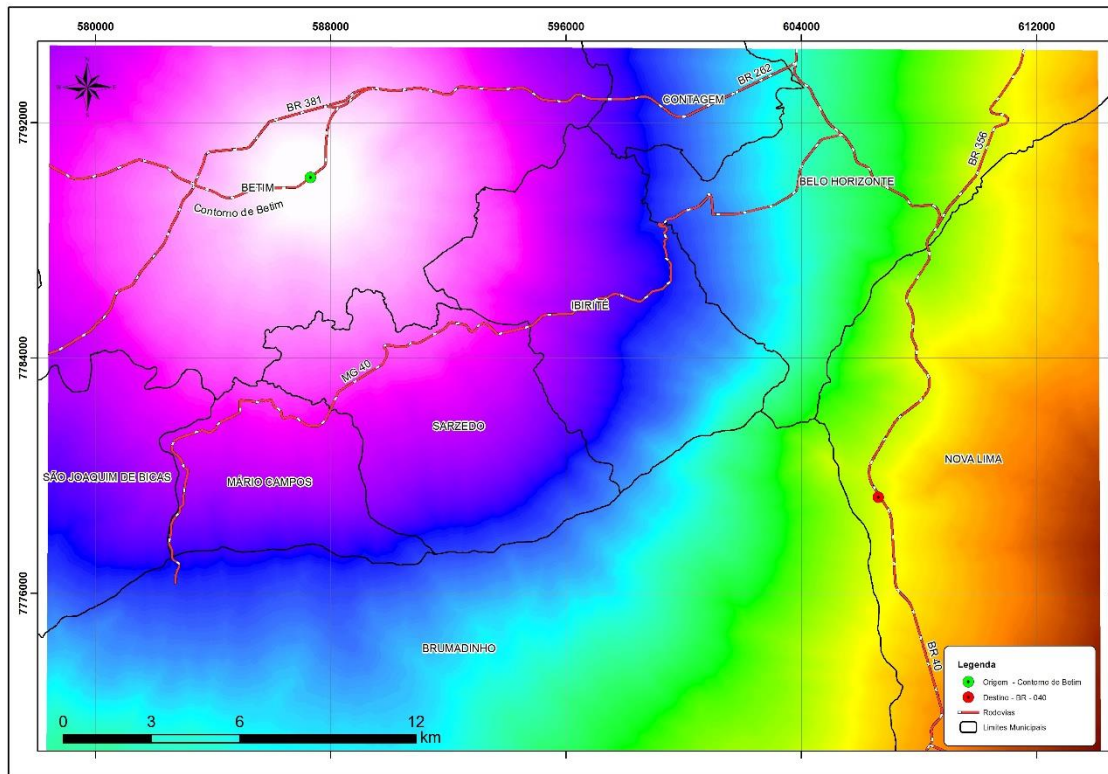


Contorno de Betim

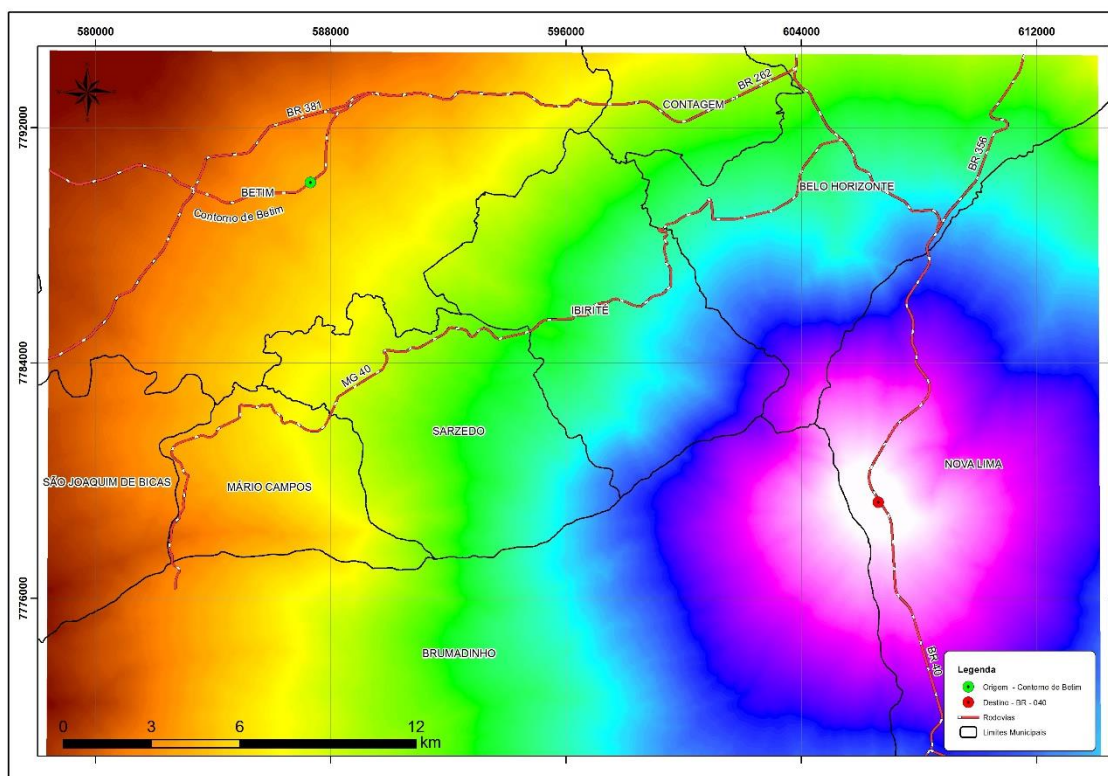


BR-040

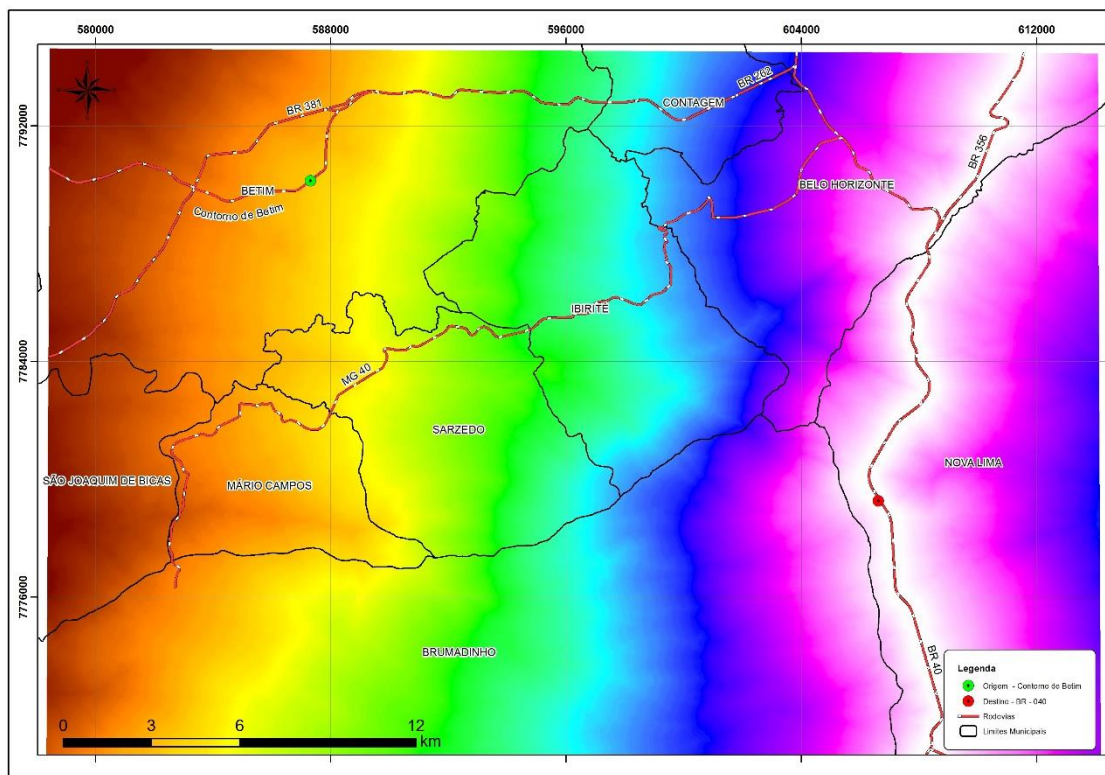
APÊNDICE N: Custos – origens dos corredores do cenário Biofísico



Contorno de Betim

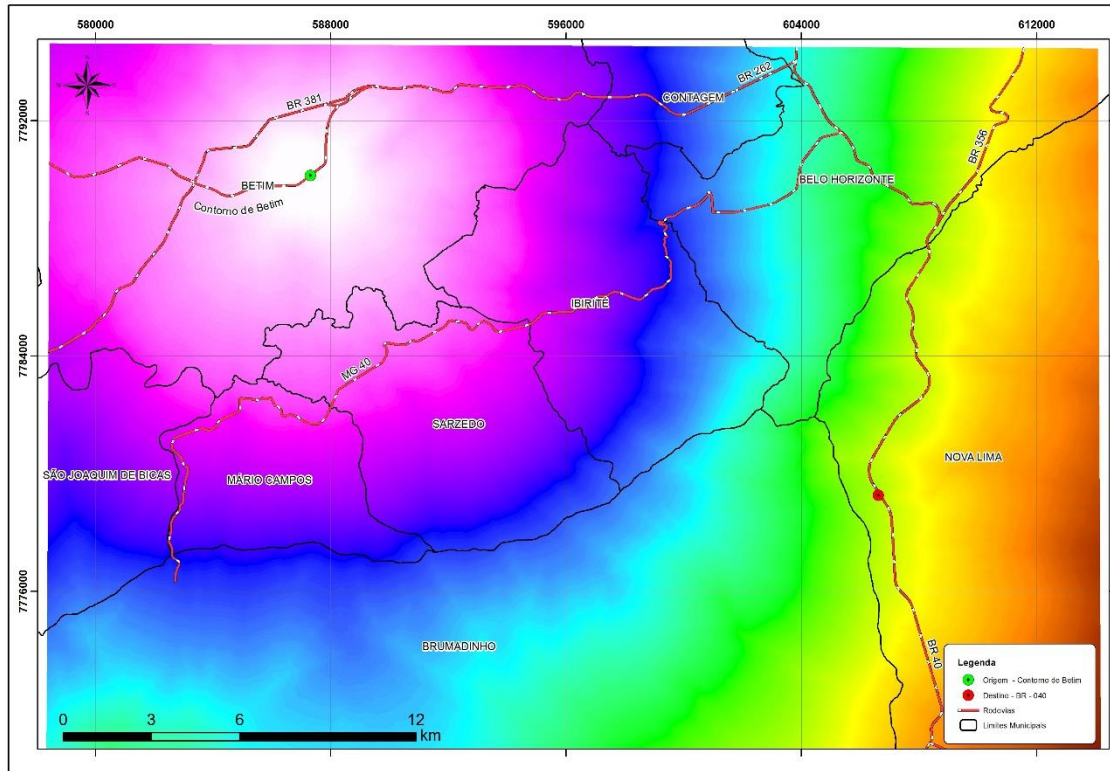


BR-040

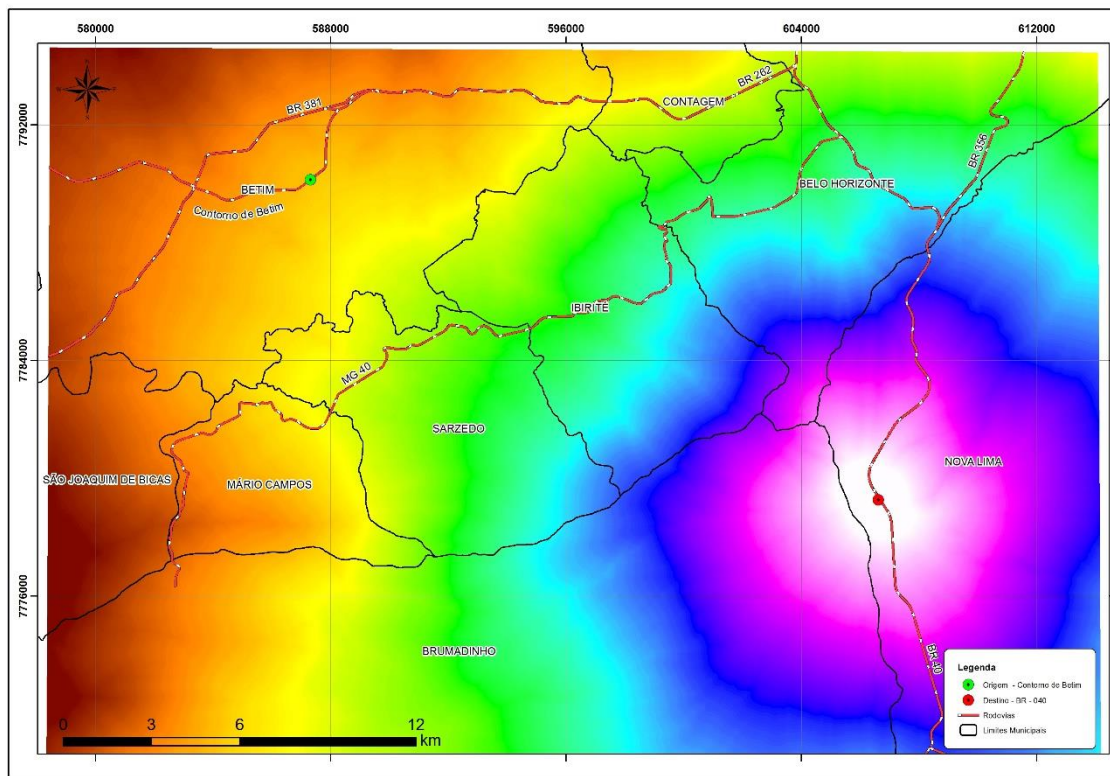


BR-040 – Alinhamento

APÊNDICE O: Custos – origens dos corredores do cenário Mercadológico/Suporte Logístico

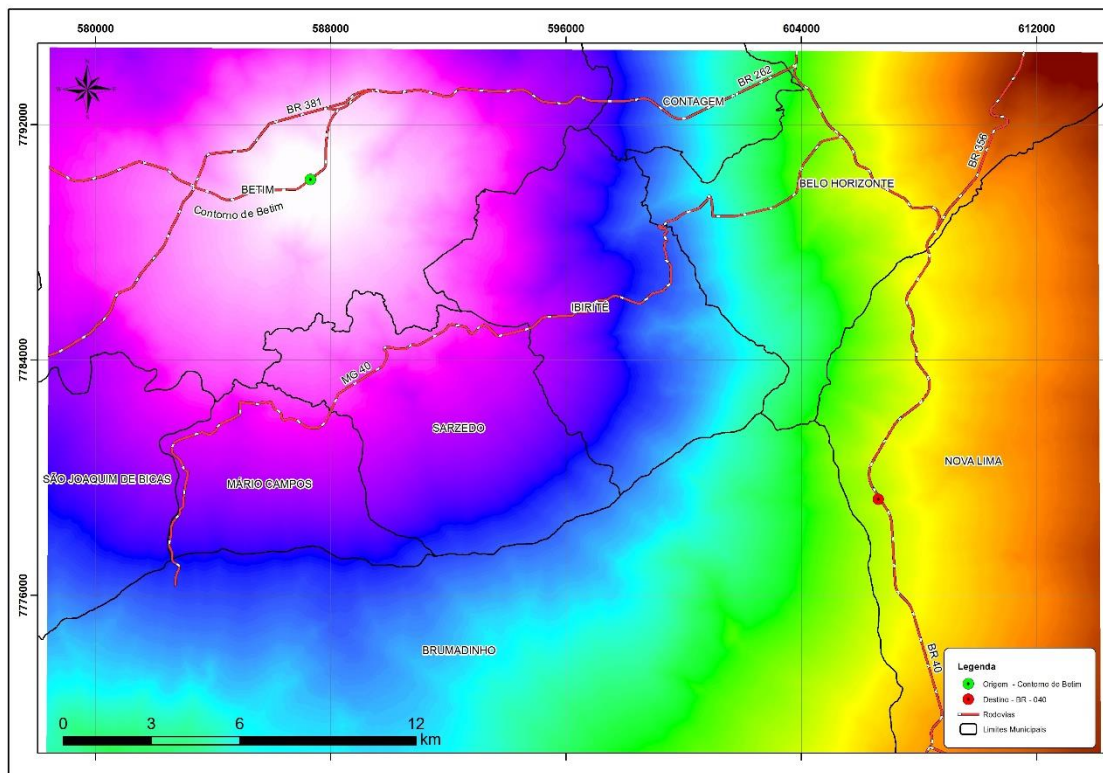


Contorno de Betim

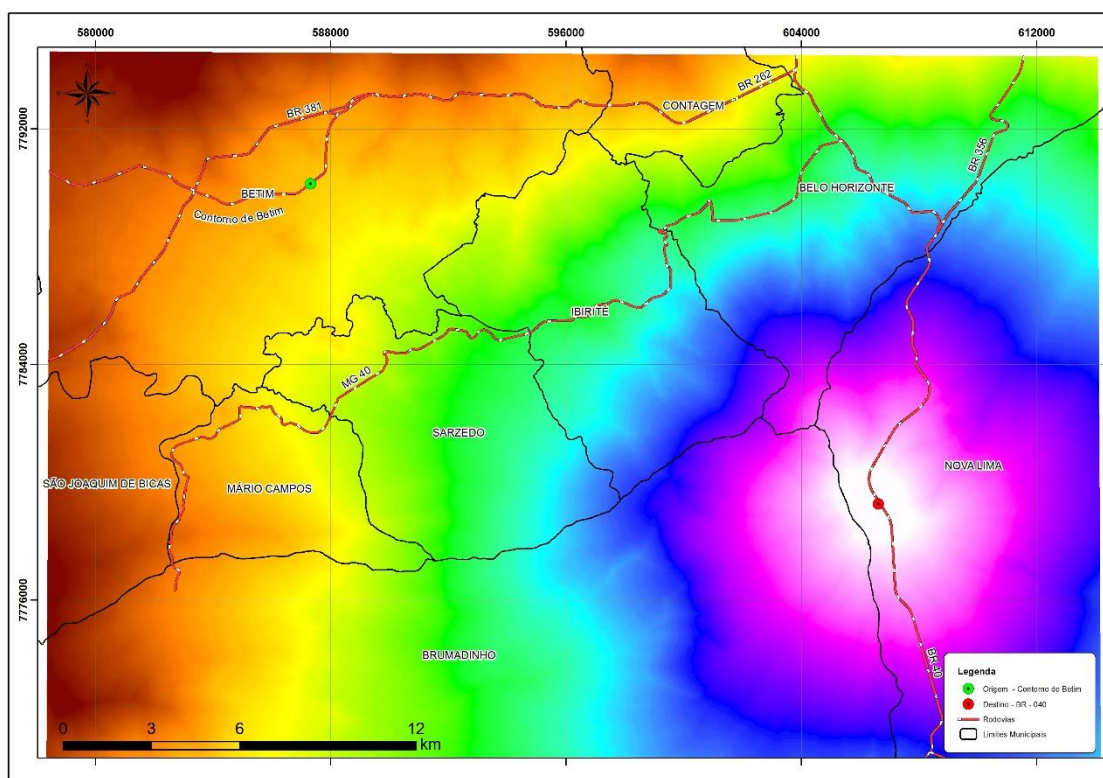


BR-040

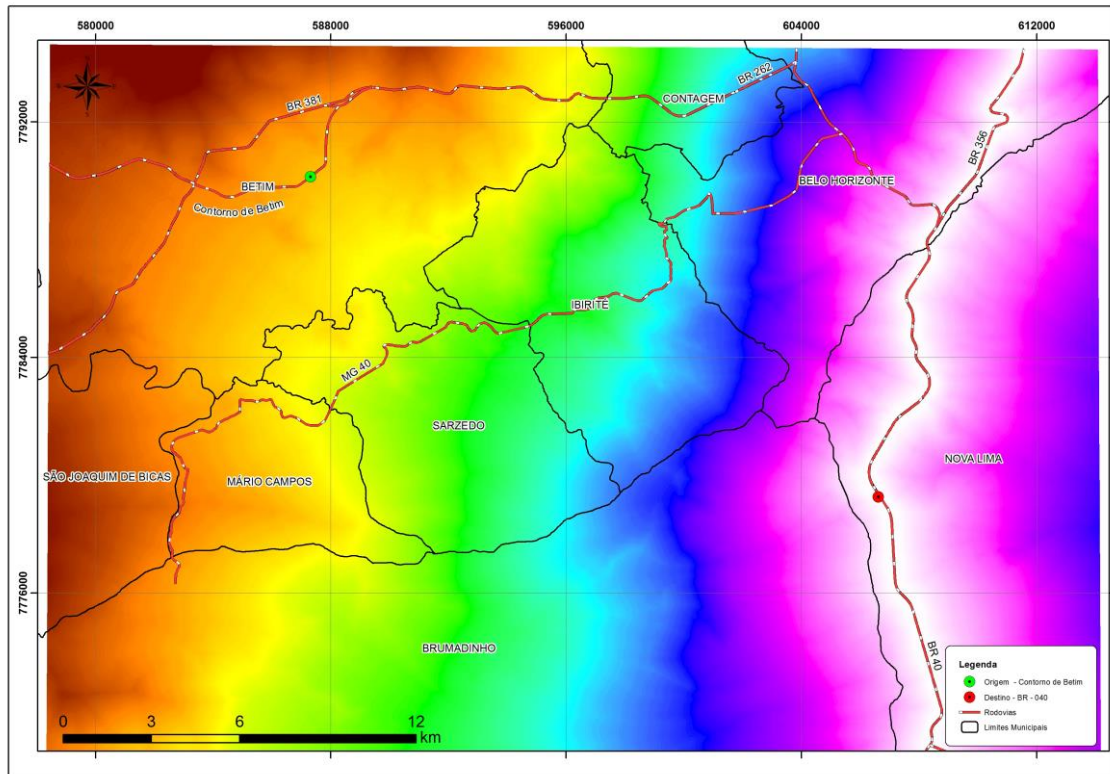
APÊNDICE P: Custos – origens dos corredores do cenário Socioeconômico



Contorno de Betim



BR-040



BR-040 – Alinhamento