

# Uso de imagens Rapideye e análise multicritério na construção de traçados para o contorno sul do rodoanel de Belo Horizonte

Giovanni Candido Miranda  
Mestrando em Análise e Modelagem de  
Sistemas Ambientais  
IGC/UFGM

Marcilla Silva Pena  
Mestranda em Análise e Modelagem de  
Sistemas Ambientais  
IGC/UFGM

Julio Ramissés Ladeia Ramos  
Mestrando em Análise e Modelagem de  
Sistemas Ambientais  
IGC/UFGM

Marcos Antônio Timbó Elmiro  
Professor Adjunto no Departamento de  
Cartografia da UFGM  
Doutor em Computação Aplicada pelo INPE

## Resumo

O presente artigo busca demonstrar a importância do uso de imagens orbitais de média resolução aliadas a análise multicritério (AMC) no auxílio à tomada de decisão e análises de impactos decorrentes de projetos de infraestrutura viária. A utilização de imagens RapidEye na construção de mapas de cobertura do solo com um maior nível de detalhamento se justifica pela sua resolução espacial de 6,5 metros (nadir) e pixel de 5 metros (ortorretificado), o que se mostrou fundamental na construção de um modelo voltado à avaliação de possíveis traçados para o Rodoanel Sul de Belo Horizonte. Foi testado no modelo o método de classificação de imagem supervisionada MaxVer, aliado à classificação por árvore de decisão, além de um mapa de declividade gerado a partir de um modelo digital de elevação (SRTM 30 metros). Foi construído, ao final, um modelo baseado em análise multicritério que recebe a atribuição de diferentes pesos para as classes de uso do solo e declividade, gerando assim diferentes traçados para o Rodoanel Sul de Belo Horizonte.

**Palavras-chave:** Análise Multicritério, RapidEye, Planejamento Rodoviário

## Abstract:

*This article aims at demonstrating the importance of using medium resolution orbital images combined with multi-criteria analysis (MCA) in the decision-making process and in the transport infrastructure projects impact assessment. Using RapidEye images in the construction of land cover maps with a greater level of detail is justified by their spatial resolution of 6.5 meters (nadir) and pixel 5 meters (orthorectified), which made possible the construction of a model for assessing the possible routes for the beltway southern of Belo Horizonte. It has been tested the supervised image classification method MaxVer combined with the decision tree classification in addition to a slope map generated from a digital elevation model (SRTM 30 meters). Finally, it has been built a multi-criteria analysis model that has assigned different weights to the land use classes and slopes, which made possible the generation of two different routes for the Ring Road southern of Belo Horizonte.*

**Key-Words:** Multi-criteria Analysis, RapidEye, Road Planning

giovannimiranda@yahoo.com.br  
julioramisses@hotmail.com  
marcillapena@gmail.com  
mtimbo@ufmg.br

## Introdução

A Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) é atualmente a terceira mais populosa região metropolitana do Brasil (OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES, 2010, p.4) e um dos mais importantes polos industriais e comerciais do país. Aliada a isso, sua localização entre as duas mais importantes regiões metropolitanas do país (São Paulo e Rio de Janeiro), faz com que a RMBH seja recortada por várias rodovias federais, resultando em um fluxo rodoviário intenso, nem sempre direcionado aos municípios metropolitanos. O Anel Rodoviário de Belo Horizonte, via com 27 quilômetros de extensão, responsável por efetuar a ligação entre as rodovias que cortam a capital, recebe o fluxo rodoviário de passagem com o acréscimo de trânsito urbano, resultando em um alto número de acidentes, retenção de fluxo e aumento de custos de transporte.

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, antigo DNER e atual DNIT (BRASIL, 2002, p.2), um anel rodoviário é caracterizado como um “trecho de rodovia destinado à circulação de veículos na periferia das áreas urbanas, de modo a evitar ou minimizar o tráfego no seu interior, circundando completamente a localidade”. Por sua vez, o contorno rodoviário é definido como um “trecho de rodovia destinado à circulação de veículos na periferia das áreas urbanas, de modo a evitar ou minimizar o tráfego no seu interior, sem circular completamente a localidade”.

De acordo com o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da RMBH (UFMG/PUCMINAS/UEMG, 2010, p.374), o projeto chamado Rodoanel de Belo Horizonte é uma das mais importantes soluções relacionados à infraestrutura rodoviária da RMBH, e tem como objetivo redirecionar o tráfego rodoviário de passagem e proporcionar uma maior integração entre os municípios metropolitanos. O projeto original prevê três alças de contorno: o Anel Viário de Contorno Norte, que interligará a BR 381 em Betim à mesma rodovia em Sabará (saída para Vitória), cruzando a BR 040, saída para Brasília; o Anel Viário de Contorno Leste, que efetuará a conexão entre a BR 040 (saída para o Rio de Janeiro) e a BR 381 (saída para Vitória); e o Anel Viário de Contorno Sul, que interligará a BR 381, em Betim, à BR 040, saída para o Rio de Janeiro.

De acordo com o projeto inicial, apresentado como parte do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), o traçado do Contorno Sul do Rodoanel de Belo Horizonte deve perpassar os municípios de Betim, Ibirité, Mario Campos, Sarzedo, Brumadinho e Nova Lima. O traçado proposto pelo DNIT coincide com áreas de acentuada declividade e de relevante importância ambiental para a região, incluindo o Parque Estadual da Serra do Rola Moça (BRASIL, 2016), justificando assim maiores estudos a respeito da viabilidade ambiental do projeto.

O presente estudo busca demonstrar a importância de uso de imagens orbitais de média resolução aliadas à técnicas de geoprocessamento na construção de possíveis traçados para o Contorno Sul do Rodoanel de Belo Horizonte (neste trabalho denominado Rodoanel Sul). Foi construído um modelo baseado em análise multicritério onde diferentes pesos são atribuídos às variáveis relacionadas à cobertura do solo e declividade do terreno, com a finalidade de apresentar diferentes traçados para a rodovia.

## Área de estudo, materiais e métodos

A área de estudo compreende os municípios de Betim, Contagem, Igarapé, São Joaquim de Bicas, Ibirité, Mario Campos, Sarzedo, Brumadinho, Nova Lima e Belo Horizonte, todos integrantes da Região Metropolitana de Belo Horizonte (figura 1). A escolha dos municípios se justifica na tentativa de ampliar as possibilidades de traçados para o Rodoanel Sul, tendo como ponto de partida o trevo da BR381/262 no município de Betim, e ponto de destino a BR040 no município de Nova Lima em dois pontos: saída de Belo Horizonte e trevo para Ouro Preto.

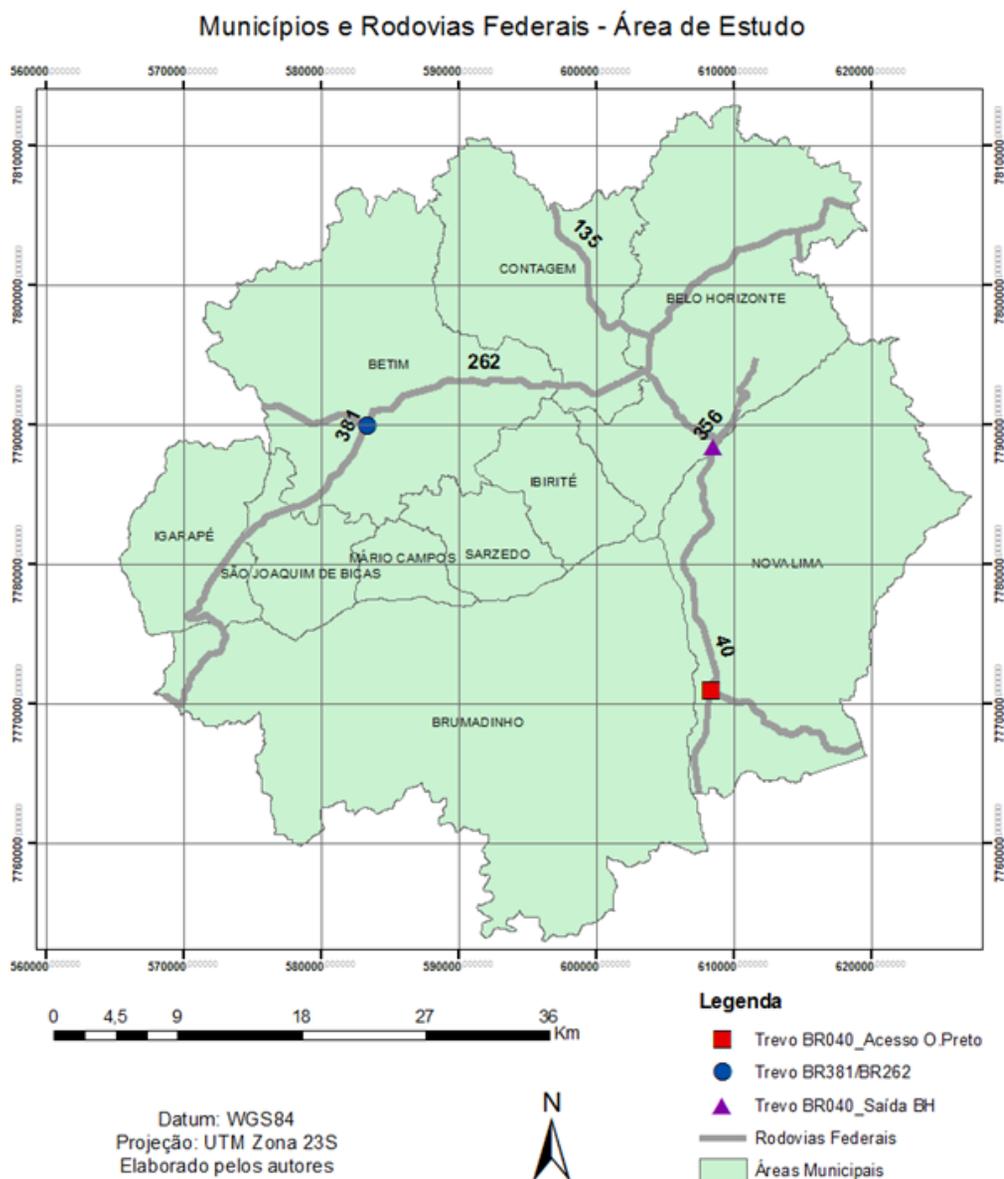


Figura 1: Área de Estudo e Rodovias Federais

Fonte: os autores

O RapidEye é um sistema composto por cinco satélites de sensoriamento remoto idênticos e em mesma órbita. A faixa de coleta de imagens é de 77 km de largura e 1500 km de extensão (RapidEye, 2016). O presente estudo se utiliza de seis imagens RapidEye, com resolução espacial de 5 metros, disponibilizadas para instituições públicas pelo Ministério do Meio Ambiente. Foram obtidas cinco imagens com data de 27/07/2013 e uma imagem datada de 27/04/2013. A partir dessas imagens, foi construído um mosaico da área de estudo com a utilização do software ENVI 5.1 Classic. As imagens adquiridas já possuem registro e ortorretificação. Foi feita ainda a conversão das imagens para o sistema de coordenadas UTM 23S, datum WGS84.

Tabela 1: Especificações técnicas gerais dos satélites do sistema RapidEye (adaptado de Felix et al, 2009)

Número de Satélites	5
Altitude da Órbita	630 km, órbita síncrona com o Sol
Hora de Passagem no Equador	11:00 hs (aproximadamente)
Velocidade	27.000 km/h
Largura da Imagem	77 km
Tempo de Revisita	Diariamente (off-nadir); 5,5 dias (nadir)
Capacidade de Coleta	4,5 milhões de km <sup>2</sup> /dia
Tipo de sensor	Multiespectral ( <i>pushbroom imager</i> )
Bandas espectrais	5(Red, Green, Blue, Red-Edge, Near IR)
Resolução Espacial ( <i>nadir</i> )	6,5m
Tamanho do <i>pixel</i> (ortorretificado)	5 metros
Resolução Radiométrica	12 bits

Fonte: FELIX et al, 2009

Para identificar a declividade da região, foram obtidos por meio do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) modelos digitais de elevação da missão SRTM, com resolução de 30 metros, relativos à área estudada. O modelo demandou ainda os arquivos vetoriais referentes às áreas dos municípios estudados, construídos a partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Para a demarcação dos pontos de início e destino das rotas, foi efetuado o uso de arquivos vetoriais das rodovias federais que cortam a região, adquiridos junto ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Inicialmente, foi efetuada a classificação do mosaico construído a partir das imagens RapidEye com o auxílio do software ENVI 5.1 Classic. A classificação é entendida como o processo de atribuição de significado a um pixel em função de suas propriedades numéricas. Essa classificação pode ser não supervisionada – onde pixels da imagem são alocados em classes, sem que o usuário tenha conhecimento prévio de sua existência, com a classe do terreno sendo definida posteriormente pelo analista – ou supervisionada – em que cada classe espectral é definida a partir de amostras fornecidas previamente pelo analista, o que é chamado de treinamento (NOVO, 2010, p.313).

O método de classificação escolhido foi a classificação supervisionada por máxima verossimilhança - MaxVer. As amostras foram coletadas do mosaico com a composição de bandas 5R4G2B do RapidEye, totalizando as classes Água, Urbano, Floresta e Vegetação Rala. O resultado revelou algumas dificuldades no uso dessa classificação, dado o elevado número de objetos provenientes da resolução espacial de 5 metros. A técnica de classificação por árvore de decisão foi utilizada para melhor diferenciar áreas de afloramento rochoso, de áreas urbanas e áreas degradadas por atividade de mineração, dada a similaridade de reflectância entre essas classes, em especial nas áreas elevadas da Serra do Rola Moça, Serra dos Três Irmãos, Serra do Curral e Serra da Moeda. Essa classificação foi efetuada no software ENVI 5.1 Classic tomando como base a imagem já classificada por máxima verossimilhança, o modelo digital de elevação e uma banda adicional, obtida por meio do NDVI das bandas 5 (IR) e 3 (RED) do RapidEye.

As classes de uso e cobertura do solo obtidas foram Água, Floresta, Vegetação Rala, Urbano Denso, Urbano Disperso e Área Degradada (figura 2). Salienta-se que um pequeno trecho a oeste do município de Brumadinho e a leste do município de Nova Lima não foram cobertos pelas imagens RapidEye obtidas junto ao Ministério do Meio Ambiente, o que não prejudica o modelo por estarem fora da área de possíveis traçados do Rodoanel Sul, entre as Rodovias BR381 e BR040.

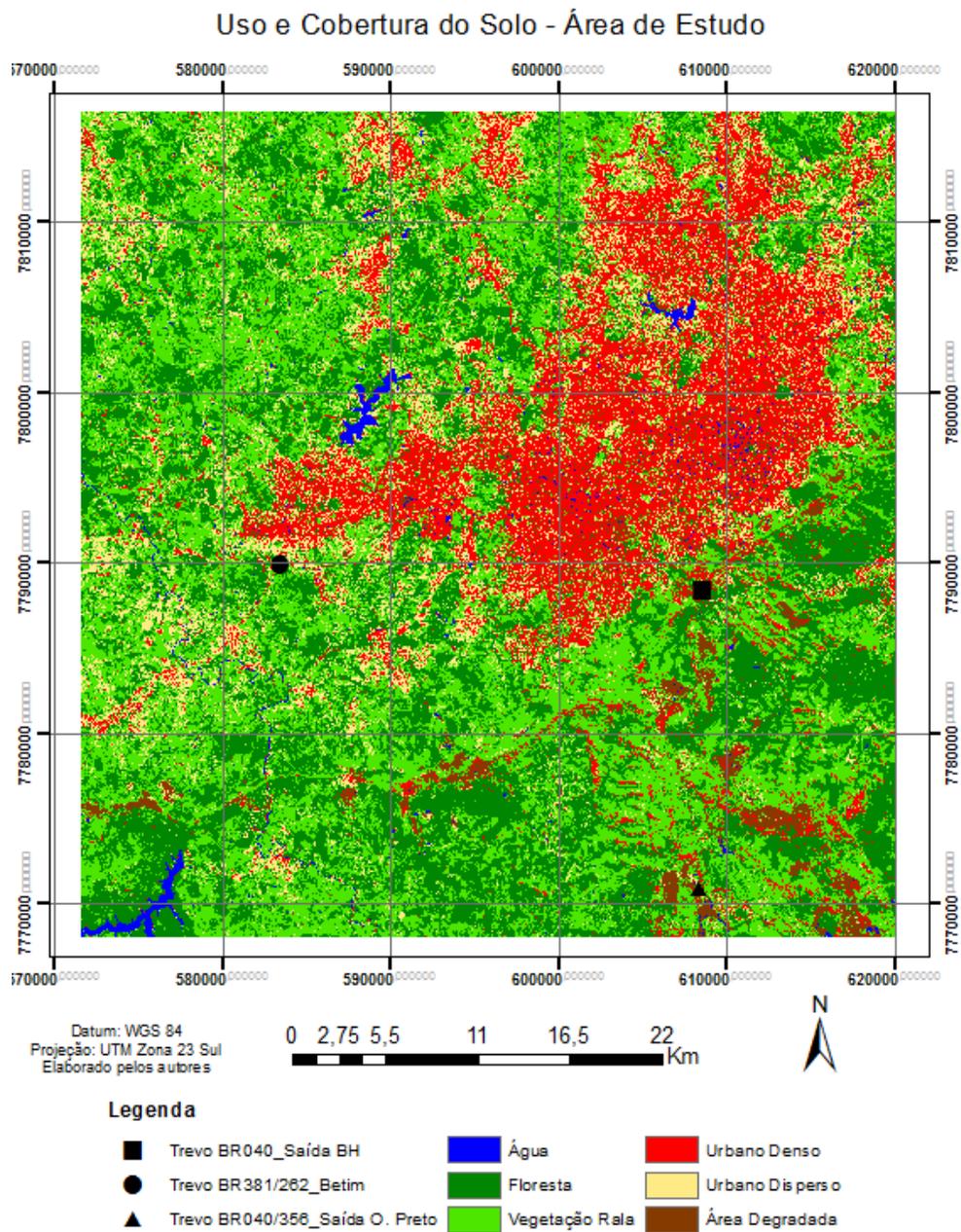


Figura 2: Cobertura do solo da área de estudo obtido a partir das imagens RapidEye  
 Fonte: os autores

A partir do modelo digital de elevação (SRTM 30 metros) foi construído um mapa de declividade classificado de acordo com a normalização do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (BRASIL, 1999, p.124), que define o valor máximo de declividade para rodovias classe 0 (vias expressas) em 5% (cerca de 3°) e as rodovias classe IV com inclinação máxima em 9% (cerca de 5°). A partir dessas declividades, entende-se a necessidade de maiores intervenções, acarretando maiores custos. O mapa de declividade é apresentado na Figura 3.

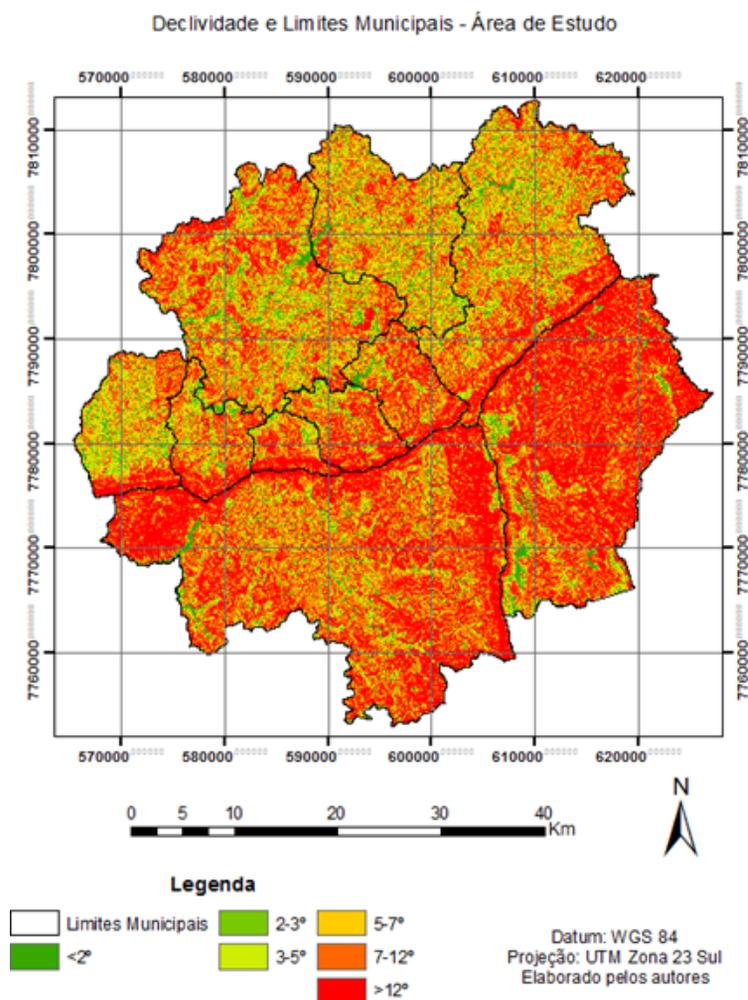


Figura 3: Mapa de declividade da área de estudo  
Fonte: os autores

Para permitir a avaliação dos critérios, foi construído um modelo baseado em análise multicritério na plataforma ArcGis 10.1, com a utilização da ferramenta Model Buidier (figura 4). A análise multicritério é uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes alternativas (ou cenários), fundamentada em vários critérios, com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha mais ponderada (ROY, 1996, p.4). Com isso, foi possível atribuir diferentes pesos às classes de cobertura e uso do solo e à declividade do terreno, tendo o mapa de cobertura do solo e de declividade como dados de entrada.

O modelo se utiliza dessa tabela de pesos e calcula o vizinho mais próximo de cada pixel baseado nos critérios informados, atribuindo valores de 0 a 8 para cada célula do raster resultante (backlink), de acordo com o custo de travessia dessa célula. Por sua vez, um outro arquivo raster é gerado com o cálculo de custo de distância em relação ao ponto de origem (costdist). Ao final, o modelo efetua a interligação entre o ponto de origem e destino, com base nos dois raster gerados com as informações do custo de distância e custo de travessia de cada célula, convertendo para o formato vetorial para assim facilitar a visualização dos resultados.



Figura 4: Modelo baseado em análise multicritério, construído através da ferramenta Model Builder do software ArcGis 10.1

Fonte: os autores

## Resultados e discussão

Em conformidade com os projetos até então propostos pelo Plano Diretor Integrado da RMBH (UFMG/PUCMINAS/UEMG, 2010. p.294) e pelo DNIT (BRASIL, 2016), foi utilizado como ponto inicial o trevo da BR381/262 em Betim, MG e como ponto de destino do trevo da BR040/356 na saída de Belo Horizonte, no Bairro Olhos D'Água (traçado 1). Para testar o modelo e averiguar a possibilidade de outro traçado, foi incluído como ponto de destino o trevo da BR 040/356 em Nova Lima, na saída para Ouro Preto (traçado 2).

Tabela 2: Traçado 1 - Trevo BR381/262 Betim – Trevo BR040\_Saída BH

Cobertura do Solo – Peso 60		Declividade – Peso 40	
Classe	Peso atribuído	Classe	Peso atribuído
1 - Água	6	< 2°	1
2 - Floresta	9	2 - 3°	1
3 - Vegetação Rala	1	3 - 5°	4
4 - Urbano Denso	9	5 - 7°	5
5 - Urbano Disperso	3	7 - 12°	7
6 - Área degradada	2	>12°	9

Fonte: os autores

Com a atribuição dos pesos acima, o resultado do traçado 1 (figura 5) apresenta uma menor distância de áreas industriais de Betim e Contagem e evita a travessia da Serra do Rola Moça, Serra do Curral e Serra da Moeda, o que aumentaria demasiadamente os custos do projeto. O início do trajeto se aproveita do atual contorno rodoviário de Betim, atravessando os municípios de Ibirité e a região do Barreiro, em Belo Horizonte. Porém, esse trajeto se aproxima de áreas urbanas da periferia de Belo Horizonte e Ibirité, o que poderia favorecer uma rápida expansão urbana, comprometendo o objetivo inicial do contorno rodoviário. O traçado 1 (figura 5) se assemelha ao proposto pelo DNIT no planejamento da obra (BRASIL, 2016).

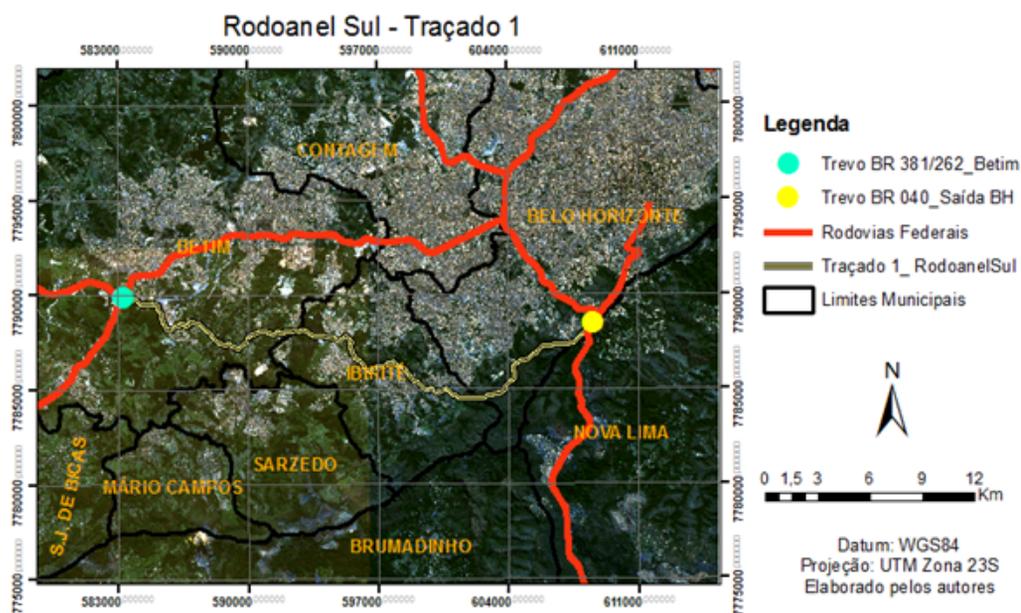


Figura 5: Traçado 1 - BR381/262 Betim – BR 040 saída de Belo Horizonte

Fonte: os autores

O traçado 2 (figura 6) visa evitar a supressão de florestas, a passagem em áreas próximas ao Parque Estadual da Serra do Rola Moça e regiões de elevada declividade, além de propor um maior distanciamento de áreas urbanas densamente povoadas. Sendo assim, optou-se em utilizar o entroncamento da BR040/356 como destino, de maneira que o Rodoanel Sul permitiria a ligação da BR381 à saída para o Rio de Janeiro e Ouro Preto sem passar por Belo Horizonte.

Tabela 3: Traçado 2 - Trevo BR381/262 Betim – Trevo BR040/356 – Saída para Ouro Preto

<b>Cobertura do Solo – Peso 60</b>		<b>Declividade – Peso 40</b>	
<b>Classe</b>	<b>Peso atribuído</b>	<b>Classe</b>	<b>Peso atribuído</b>
1 - Água	<b>4</b>	< 2°	<b>1</b>
2 - Floresta	<b>9</b>	2 - 3°	<b>1</b>
3 - Vegetação Rala	<b>1</b>	3 - 5°	<b>4</b>
4 - Urbano Denso	<b>9</b>	5 - 7°	<b>6</b>
5 - Urbano Disperso	<b>2</b>	7 - 12°	<b>9</b>
6 - Área degradada	<b>6</b>	>12°	<b>Restrição</b>

Fonte: os autores

O traçado 2 (figura 6) segue na direção sul até São Joaquim de Bicas, e efetua a passagem pela Serra dos Três Irmãos às margens do Rio Paraopeba em Brumadinho, utilizando do mesmo traçado da rodovia MG040, evitando assim obras em áreas de grande declividade. Porém, esse traçado segue próximo às importantes áreas de mananciais da RMBH, além de que a saída na BR040 exige a transposição da Serra da Moeda, próximo à região do Bairro Retiro das Pedras, em Nova Lima, área de relevante importância ambiental.

## Rodoanel Sul - Traçado 2

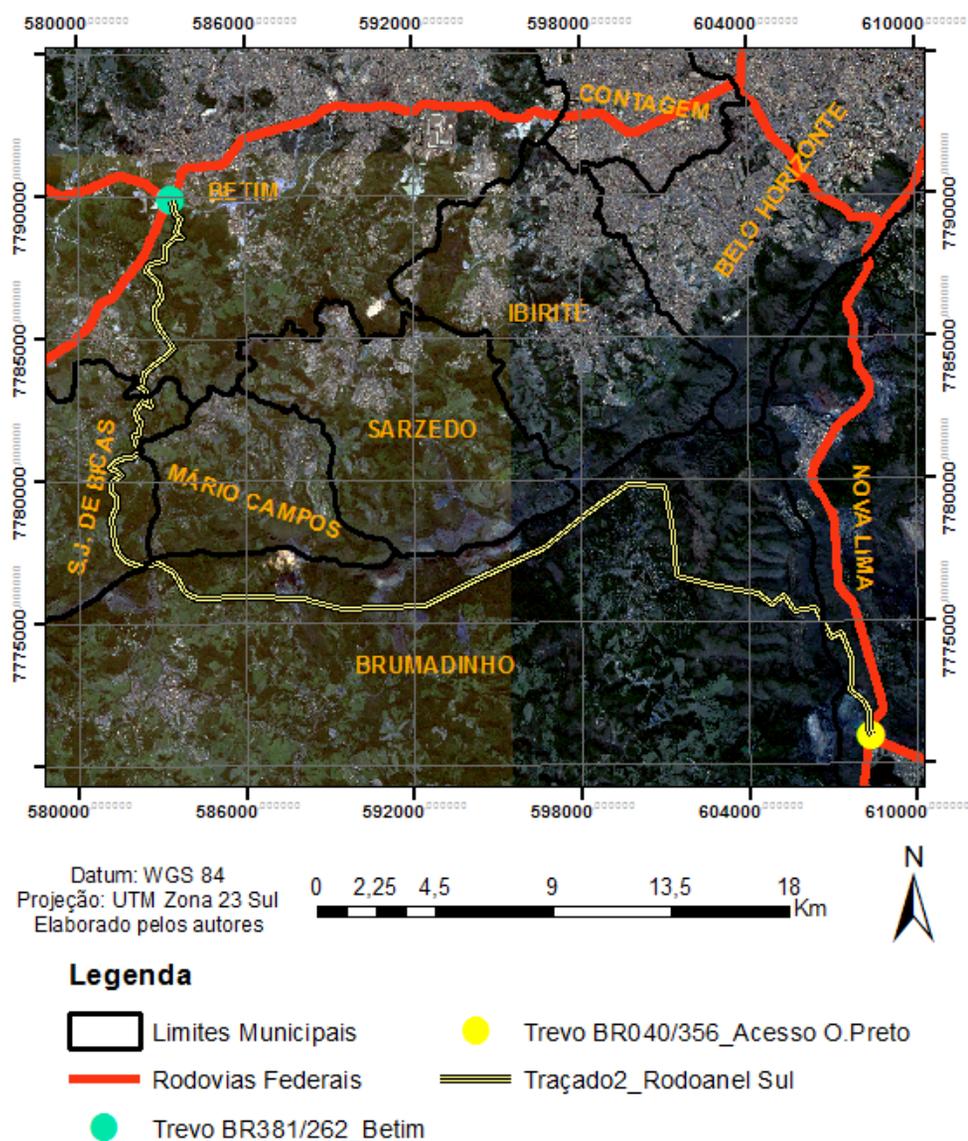


Figura 6: Traçado 2 BR381/262 Betim - BR040/356 – Nova Lima (saída para Ouro Preto)

Fonte: os autores

### Conclusões

Foi verificada fundamental importância do uso de imagens obtidas por sensoriamento remoto, aliado às técnicas de classificação de imagem e aos sistemas de informação geográfica, na produção de análises para tomada de decisão no que se refere aos projetos de rodovias. O uso das imagens RapidEye se mostrou eficaz para tal tipo de estudo, em especial pelo maior nível de detalhamento dos objetos, se comparado às imagens Landsat, por exemplo.

Espera-se no futuro tornar o modelo construído mais robusto, incluindo outras técnicas de classificação, como a classificação orientada a objetos, para assim detectar uma maior diversidade de classes de uso e cobertura do solo. Além disso, verifica-se a necessidade de no futuro propor como parâmetros uma maior ou menor interligação com outras vias e o distanciamento de áreas de interesse prioritário.

É importante salientar que não foi objetivo do trabalho propor um traçado final para o Rodoanel Sul, já que a construção de rodovias semelhantes à apresentada demanda grande volume de estudos socioambientais e estudos relacionados à engenharia de transportes, assim como uma maior discussão a respeito da viabilidade do projeto.

## Referências Bibliográficas

- BRASIL - DNER. Manual de projeto geométrico de rodovias rurais. Rio de Janeiro: IPR Publicações, 1999.
- BRASIL - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Criação e Cadastro de Anel ou Contorno Rodoviário. Norma 003/2002, 2002.
- BRASIL - MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO. Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). Disponível em < <http://www.pac.gov.br/obra/7956> >, acesso em 04/07/2016.
- FELIX, I.M; ZAZMIERCZA, M.L; ESPINDOLA, G.M. RapidEye: a nova geração de satélites de observação da Terra. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Abril 2009.
- NOVO, Evlyn M.L. Sensoriamento Remoto – Princípios e Aplicações. 4ª Edição. São Paulo: Blucher, 2011.
- OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES – IPPUR/FASE/IPARDES. Regiões Metropolitanas do Brasil, 2010. Disponível em: < [http://www.observatoriodasmetropoles.net/download/observatorio\\_RMs2010.pdf](http://www.observatoriodasmetropoles.net/download/observatorio_RMs2010.pdf) >, acesso em 04/07/2016.
- RAPIDEYE. Satellite Imagery Product Specifications. Disponível em: < [www.rapideye.com](http://www.rapideye.com) >. Acesso em 18 de nov. 2012.
- ROY, B. Multicriteria methodology for decision aiding. Dordrecht. Kluwer Academic, 1996.
- UFMG/PUCMINAS/UEMG, Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte – PDDI-RMBH – Produto 2. Belo Horizonte, 2010.