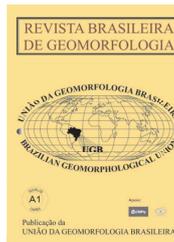


www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 21, nº 1 (2020)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i1.1662>



# ÍNDICE DE RISCO GEOLÓGICO UTILIZADO COMO APOIO AO PLANEJAMENTO URBANO E TERRITORIAL: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE NOVA LIMA, MG

## GEOLOGICAL RISK INDEX USED AS SUPPORT TO URBAN AND TERRITORIAL PLANNING: CASE STUDY OF NOVA LIMA, MG

**Pedro Benedito Casagrande**

*Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos 6627, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 31270-901. Brasil  
ORCID: 0000-0003-4515-1630  
E-mail: pedrobcasagrande@gmail.com*

**Maria Giovana Parisi**

*Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos 6627, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 31270-901. Brasil  
ORCID: 0000-0001-5616-9540  
E-mail: mgparizzi18@gmail.com*

**Ana Clara Mourão Moura**

*Departamento de Urbanismo, Universidade Federal de Minas Gerais  
Rua Paraíba 697, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 30130-140. Brasil  
ORCID: 0000-0001-6823-1938  
E-mail: anaclaramoura@yahoo.com.br*

**Ítalo Sousa de Sena**

*Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos 6627, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 31270-901. Brasil  
ORCID: 0000-0002-6500-5609  
E-mail: italosena@gmail.com*

**Paula Márcia Brasil Garcia**

*Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos 6627, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 31270-901. Brasil  
ORCID: 0000-0002-7883-7594  
E-mail: paulabrasilgarcia@yahoo.com.br*

### Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):  
06/06/2019  
Aceito (Accepted):  
12/10/2019

### Resumo:

O município de Nova Lima, em Minas Gerais, está localizado em área de grandes elevações altimétricas e declives acentuados. O município compõe a franja sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte e, sendo fronteira com a capital, tornou-se território de expressivo valor imobiliário. Por outro lado, Nova Lima

**Palavras-chave:**

Ordenamento Territorial; Geoprocessamento; Gestão Territorial.

**Keywords:**

Territorial Planning; Geoprocessing; Territorial Management.

integra a região do Quadrilátero ferrífero que destaca-se no cenário nacional pela grande **riqueza mineral**, especialmente ferro, ouro e manganês. O espraiamento e a verticalização urbana encontram-se lado-a-lado com a mineração, e ambos disputam espaço com elementos de interesse ambiental e de paisagem cultural, o que motiva a melhor compreensão do território e a análise diagnóstica e prognóstica das condições de risco geológico. O Índice de Risco Geológico é apresentado no trabalho como um método aplicável por tecnologias de geoprocessamento que

tem como objetivo o subsídio para a tomada de decisões sobre a expansão urbana da região, e pode ser indicado como um modelo de análise espacial aplicável a outros estudos de caso no Brasil, como suporte ao planejamento territorial de áreas caracterizadas por relevo e substrato geológico complexo.

**Abstract:**

The municipality of Nova Lima, in Minas Gerais, is located in an area with high altitudes and steep slopes. The municipality is located at the southern edge of the metropolitan region of Belo Horizonte. Because it is bordered by the capital, it became a territory of great real estate value. On the other hand, Nova Lima is located in the region known as Quadrilátero Ferrífero, that stands out in the national scenario for the great mineral richness, especially iron, gold and manganese. The spreading and the urban verticalization are side-by-side with mining, and both dispute space with elements of environmental interest and cultural landscape, which motivates the better understanding of the territory, especially on analysis diagnostic and prognostic conditions of geological risk. The Geological Risk Index is presented in the work as a method applicable by Geoprocessing technologies that aims to guide decisions on urban expansion, and can be applied as a model of spatial analysis for studies of other areas of Brazil as a support

**Introdução**

A formação da rede urbana no Brasil remonta ao período colonial, tendo o processo de ocupação no interior do continente iniciado pelas bandeiras, organizadas por colonos que desejavam ter maior quantidade de terras (TAUNAY, 1981). Em Minas Gerais este fenômeno foi motivado principalmente pela mineração, tendo como eixo dos acontecimentos os caminhos que ligavam o Quadrilátero Ferrífero (QF) e a Serra do Espinhaço com o litoral, favorecendo a circulação de bens e produção. A descoberta de ouro de aluvião no final do século XVII motivou entradas no território central de Minas Gerais, assim como demonstra Machado (2009, p. 18):

“Primeiro na região de Ouro Preto e Mariana, as famosas “Minas Gerais dos Cataguás” que incluíam jazidas como as de Itaverava, Itatiaia, Antônio Dias, Padre Faria, Bento Rodrigues, Ribeirão do Carmo, e logo se expandiram para Inficionado (Santa Rita Durão), Furquim, São Caetano (Monsenhor Horta), Ouro Branco, Casa Branca, Itabira do Campo (Itabirito), Catas Altas da Noruega e muitas outras. A região de Sabará caracterizou um novo grupo conhecido como “Minas do Rio das Velhas” e incluía entre outras as ricas jazidas de Congonhas do Sabará (Nova Lima), Raposos, Santo Antônio do Rio Acima (Rio Acima).”

(MACHADO, 2009, p. 18).

A busca por ouro foi intensa ao ponto da maior parte do território de Minas Gerais ter sido ocupado ainda nas primeiras décadas do século XVIII, e estabelecido uma rede urbana de abastecimento de exportação do minério, conformando uma malha que ainda é a principal existente (MACHADO, 2009).

No contexto da rede urbana mineira, o município de Nova Lima apresentava-se como uma das centralidades da época, principalmente por estar inserido na porção norte do Quadrilátero Ferrífero, local onde as bandeiras de Raposo Tavares e Fernão Dias haviam estabelecido povoados em função do ouro de aluvião. O município tem a atividade minerária historicamente como um dos motores de sua economia. A cidade, que antes era conhecida como Campos de Congonhas, após 1836 recebeu o nome de Congonhas de Sabará, e se emancipou em 1891 com a denominação de Villa Nova de Lima, recebendo o nome atual apenas em 1923 (VILLELA, 1998).

O município de Nova Lima teve papel de destaque no processo de evolução da exploração mineral no Quadrilátero Ferrífero, sendo a exploração do ouro a principal força de desenvolvimento, seguido pela diversificação da exploração, através sobretudo do minério de

ferro após declínio do Ciclo do Ouro, com a instalação da Fábrica de Ferro Patriótica, fundada pelo Barão de Eschwege no século XIX (CARRAZZONI & SOUZA, 1984). Nova Lima também foi sede da empresa MBR - Minerações Brasileiras Reunidas, instalada na década de 1960, que alcançou a segunda posição como produtora de minério de ferro no país, até sua aquisição pela Vale S.A. (FERREIRA, 2013.).

Entre o período do ciclo do ouro e o período do ciclo do ferro, a região de Nova Lima foi palco de grandes iniciativas de exploração, mas em uma época na qual os conflitos de interesse entre uso urbano do território e as atividades minerárias ainda eram incipientes e pouco representativos, assim como em relação às questões ambientais.

Cabe lembrar a origem da instalação de Belo Horizonte como a nova capital do estado em sua porção central, na borda do Quadrilátero Ferrífero. A escolha do local e o planejamento da nova capital mineira, inaugurada em 1887 (MAGALHÃES, 1989), consideraram aspectos relevantes e dentro da lógica republicana e positivista para estabelecimento de um centro urbano: em local centralizado para ampliar as conexões com a rede de municípios e em porção topográfica que favorecesse o desenho geométrico de uma cidade que traduzisse o predomínio da razão e da “ordem e progresso”. Segundo Almeida (2018), o local escolhido em comparação a Ouro Preto se justificava em função dos impedimentos de um contexto geográfico que dificultava o desenvolvimento e a logística urbana. Contudo, a previsão de Aarão Reis, engenheiro que realizou a idealização da cidade, era de que ela cresceria até os limites do anel de contorno, tendo a Serra do Curral como uma moldura no eixo sul, e receberia até 200 mil habitantes.

O forte processo de urbanização no Brasil nas décadas de 60 e 70 do século XX provocou a metropolização de polos urbanos regionais, com o desenvolvimento de grandes centros como a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), instituída em 1974. Hoje a área, segundo dados do IBGE de 2015, abriga mais de 5 milhões de habitantes e apresenta 97,5% da população em áreas urbanas.

Nesse contexto de forte crescimento da RMBH, o município de Nova Lima, que antes ficava à sombra do progresso urbanístico da capital e se mantinha apenas no setor de exploração mineral, recuperou sua importância na rede de cidades em função da expansão urbana de Belo Horizonte para os limites sul, que avançou para

o território novalimense (TONUCCI FILHO, 2012; COSTA & ARAÚJO, 2006). Observa-se, ainda, que a existência de um Plano Diretor em Belo Horizonte de caráter mais restritivo transferiu a explosão de verticalização para a borda sul, que já é território de Nova Lima (Figura 1).

Atualmente, com a desaceleração do processo de exploração mineral no município de Nova Lima, outros segmentos de mercado ganharam espaço, tal como o mercado imobiliário (TONUCCI FILHO, 2012). O interesse do crescimento em áreas com alguma infraestrutura urbana estabelecida e, principalmente, nas áreas limítrofes da capital, têm motivado a expansão urbana no território, mas sem necessária atenção à avaliação prévia das características geotécnicas e geomorfológicas, principalmente em um território com um histórico de grandes modificações na paisagem em função da atividade da mineração.

Nessa conjuntura, a urbanização do município de Nova Lima, cujos planos urbanos ainda são muito flexíveis quanto à autorização de ocupação em contextos geomorfológicos complexos, desperta a preocupação por um ordenamento territorial que considere os aspectos do meio físico local, pela orientação do processo de urbanização a fim de se evitar o surgimento ou a ampliação das áreas de risco. Cabe destacar que novas áreas edificadas podem surgir em caráter desordenado (a ocupação desordenada, não incluída no planejamento formal) e contribui para o estabelecimento de áreas de risco, comprometimento de áreas de proteção ambiental e uso inadequado dos recursos naturais (GUERRA, 2010). Estudar Nova Lima é o primeiro nó na cadeia de transformação dos conflitos do eixo sul, mas os outros municípios na sequência territorial sul certamente receberão as mesmas pressões a partir da chegada da ocupação urbana.

Dentre as questões relativas ao Plano Diretor de Nova Lima, pergunta-se de que forma os aspectos geotécnicos de uma paisagem complexa e propensa a riscos foram abordados? E como motivação para os estudos realizados, como seria incluir este tipo de abordagem como referência para uma ordenação territorial?

Entende-se a geologia como uma componente síntese do meio físico, ou seja, como a base que suporta o meio em que se estabelecem as atividades ligadas ao homem, como substrato de essencial importância, não apenas na etapa de planejamento das cidades, mas também na gestão do território. O que se observa atualmente

é a negligência dos elementos naturais como orientadores da ocupação urbana, que se restringe a pensar o desenvolvimento sustentável apenas segundo a ótica da instalação da infraestrutura e relegando a segundo plano os aspectos de geomorfologia e geologia.

Aspectos geológicos em geral, quando são contemplados, são associados às abordagens de recursos econômicos ou de restrições à ocupação em função de riscos. Contudo, raramente se associa a geologia ao potencial cultural, relacionado ao reconhecimento da paisagem que deu origem ao assentamento humano no território e que é de interesse de reconhecimento, valorização e visitação. Com isso, seria importante que a avaliação geológica incluísse também a abordagem da história local e sobre os marcos referenciais na paisagem, os processos aos quais o meio foi submetido, pois desta maneira podem ser reveladas as dimensões das alterações ambientais no território (FUJIMOTO, 2001). O estudo sobre risco não deve ser entendido apenas como fragilidade à vida humana, mas também de perda da valores culturais, o que sugere a ampliação dos estudos futuros sobre a temática.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como foco o desenvolvimento de um índice espacial capaz de representar o contexto quanto ao risco geológico urbano para o município de Nova Lima, levando em consideração os aspectos relativos à geologia local. O presente estudo utilizará o método desenvolvido por Casagrande *et al.* (2017) que propõe um Índice de Risco Geológico aplicável não somente a uma determinada área, mas passível de reprodução para qualquer área de estudo e a partir de critérios defensáveis.

### Caracterização Geofisiográfica da Área de Estudos

A área de estudo se localiza na porção centro-sudeste do Estado e ocupa uma área de, aproximadamente, 7.000km<sup>2</sup>. A origem toponímia da porção territorial foi denominada por Gonzaga de Campos (RUCHKYS, 2007, apud DORR, 1969; SCLIAR, 1992), devido às jazidas de minério de ferro ali encontradas que ocorrem em locais delimitados nos extremos pelos municípios de Itabira, Mariana, Congonhas e Itaúna, os quais estão geograficamente arranjados de forma quadrangular no território em questão (Figura 1).

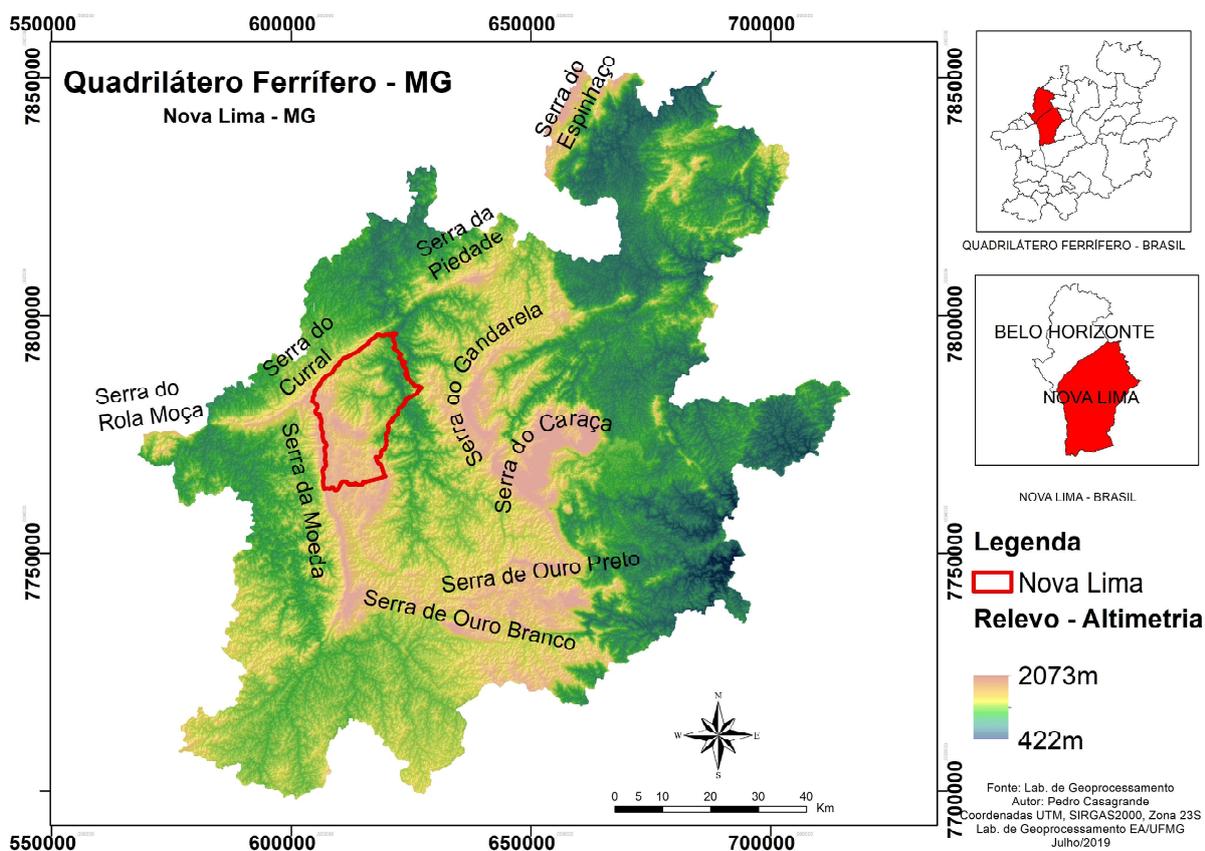


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo no Quadrilátero Ferrífero

A região, além de ser uma das duas principais províncias minerais do país, apresenta uma diversificada gama de outros fatores ambientalmente relevantes, tais como a paisagem local, fitofisionomias raras, entre as quais se destaca o campo rupestre de canga e suas espécies, como a *Ditassa monocronata* descoberta em 2001 (RAPINI *et al.*, 2002) e a *Vriesia Longistaminea* descrita em 2004 (LEME & PAULA, 2004). Registra-se a presença de rios importantes na formação da rede hidrográfica regional e nacional, como o Rio das Velhas (SILVA, 2007).

Segundo Harder & Clamberlim (1915), o relevo do Quadrilátero Ferrífero tem sua origem de estrutura associada à erosão diferencial, na qual os quartzitos e itabiritos se localizaram em áreas de elevada altimetria. Os xistos-filitos fazem parte dos substratos rochosos do terço mediano das encostas e, no terço inferior, na base do substrato geológico, a composição é de rochas granito-gnáissivas oriundas do Complexo Belo Horizonte. Assim, em uma interpretação do espaço, as elevadas altimetrias estão relacionadas a um conjunto de cristas e locais com superfícies erosivas que possuem soerguimentos compondo em seu conjunto uma forma quadrangular, associado ao fato do Itabirito ser uma rocha ferruginosa de alto teor, por isso o nome da região de “Quadrilátero Ferrífero”.

## Metodologia

Diante da importância de se considerar o substrato geológico e os riscos à ocupação indiscriminada da paisagem com complexidade geomorfológica, o estudo apresenta como método o emprego do Índice de Risco Geológico (IRG) e desenvolve explicações sobre a sua construção com o suporte de aplicativos de geoprocessamento.

O IRG tem como base a combinação de variáveis por álgebra de mapas, com vistas a criar uma avaliação que resulte em um *ranking*, numérico e quantitativo, que indique, para um determinado recorte territorial, o potencial de ocupação urbana do território em ordem crescente. Em escala relativa, são identificadas as porções territoriais mais vulneráveis ao risco e menos propícias à expansão e densificação urbana, em confronto com as porções menos vulneráveis e mais adequadas ao uso urbano.

A elaboração do Índice de Risco Geológico (IRG)

resulta da combinação das seguintes variáveis: Geomorfologia, Características Geológicas e Geotécnicas, Índice de Concentração da Rugosidade (ICR), Índice de Hack, Cavas de Mineração.

Para cada variável é necessário que estas estejam apresentadas segundo suas características principais, entendidas como componentes de legenda. O primeiro passo, obtidos os mapas, é classificar os componentes de legenda segundo o grau de pertinência daquela tipologia para os objetivos de análise, aplicando valores normalizados de 0 a 10. O zero é considerado a pior condição para o uso urbano e, respectivamente, o 10 é a condição ideal. Isto significa fazer a normalização das variáveis, tendo em vista que cada uma delas apresenta uma escala de valores específicos que, para serem combinados, carecem de serem trabalhados de forma relativa e não como valores absolutos, segundo a indicação de adequabilidade à ocupação urbana (MOURA e JANKOWSKI, 2016).

O segundo passo é a definição da importância de cada variável no contexto da combinação do conjunto de variáveis. Isto significa aplicar o modelo de Análise de Multicritérios por Pesos de Evidência, hierarquizando o conjunto de fatores envolvidos, de modo que a eles sejam associados valores em percentuais de importância cuja soma seja 100% (ROCHA *et al.*, 2018).

Assim, a integração das variáveis irá considerar o valor de cada componente de legenda de cada variável ou tema (passo 1, normalizados de 0 a 10 segundo a adequabilidade ao motivo de investigação - no exemplo ocupação urbana) multiplicado pelo peso de cada variável ou tema no conjunto de variáveis (passo 2, definição dos pesos relativos que devem somar 100%). O processo, assim, é uma Álgebra de Mapas com o emprego da média ponderada das variáveis ou temas de investigação (MALCZEWSKI, 2000; MALCZEWSKI, 2006).

A Análise Multicritérios é um método baseado na Álgebra de Mapas, termo proposto por Tomlin (1990), no qual se realiza a associação de valores numéricos (quantitativos) à informações espaciais, proporcionando a realização de operações matemáticas. A aplicação deste método tem como objetivo a identificação do potencial da paisagem através de seus usos e valores a partir dos mapas temáticos ligados ao meio físico, sendo todo o procedimento realizado por técnicas de geoprocessamento (MOURA, 2005; MAGALHÃES, 2013; ROCHA *et al.*, 2018).

A síntese por multicritérios é caracterizada pela composição de um índice resultante da soma ponderada de componentes principais que respondem por um motivo de investigação. O grau de importância de cada variável, entendido como o “peso”, deve ser decidido por critério defensável, seja segundo referencial bibliográfico, seja por consulta a um conjunto de especialistas, ou mesmo por medições de tendências reconhecidas no território. Os processos de obtenção de pesos são classificados por Bonham-Carter (1994) em dois grupos: *knowledge-driven evaluation* (quando se consultam especialistas que dão suas opiniões) ou *data-driven evaluation* (quando se trabalham com dados resultantes de mensuração de tendências observadas).

No presente estudo optou-se por definir os pesos das variáveis por *knowledge-driven evaluation*, através do emprego de um método de escuta e construção de consenso: o método Delphi. O método Delphi, segundo Moura (2007), consiste na decisão compartilhada entre especialista a respeito da importância de cada componente, por maximização de consenso de opiniões. Segundo Xavier-da-Silva e Souza (1988) estas estimativas de valores, quando realizadas por discussões organizadas entre os *experts*, tornam-se criteriosas e são aceitas como apoio a tomada de decisão. Este método foi usado pela primeira vez por Dalkey e Helmer (1963) no Rand Corporation, ainda nos anos 50.

Nas consultas Delphi foi pedido a 23 especialistas que hierarquizassem as variáveis segundo a ordem de

importância para o fenômeno estudado, a partir da menos adequada para a mais adequada para a ocupação. Uma vez recebidas todas as opiniões foi realizado o cálculo da média das respostas, que foi apresentada aos participantes que tiveram o direito de rever suas opiniões em um segunda rodada, quando finalmente foi gerada a média final contendo os valores utilizados.

Uma vez compostos todos os mapas parciais, tendo suas unidades classificadas segundo o grau de pertinência ao uso urbano, e decididas as importâncias relativas de cada variável, foi promovido o processo de composição final, o qual pode ser resumido segundo as seguintes etapas de trabalho (Figura 2).

Posto isto, o fluxograma metodológico seguiu a tabela geral de valores empregados (Tabela 1) para a síntese do procedimento.

**Tabela 1: Pesos das variáveis que compõe o índice de risco geológico**

ÍNDICE RISCO GEOLOGICO	
Variáveis	Pesos
Características Geológicas e Geotécnicas	25%
Geomorfologia	35%
Índice de Hack	10%
Índice de Concentração da Rugosidade	20%
Área Mineraria	10%

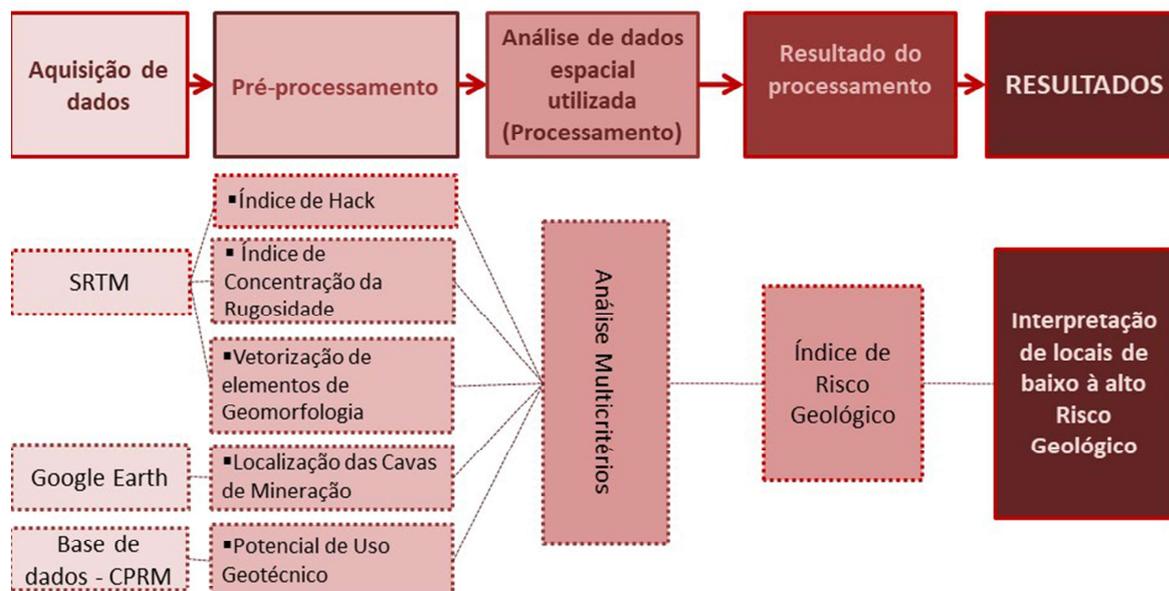


Figura 2 - Fluxograma Metodológico

### Elaboração de cada variável

As variáveis contempladas na elaboração do índice foram geomorfologia, potencial de uso geotécnico, índice de Hack, índice de concentração da rugosidade e áreas de mineração. A hierarquia deste conjunto de variáveis foi guiada pelas opiniões dos especialistas consultados, indicadas como as principais variáveis que se correlacionam com a situação do meio físico local.

Os primeiros mapas elaborados foram os de hipsometria e de declividade, pois eles seriam utilizados na composição de outras variáveis. Eles foram trabalhados a partir de imagens que apresentam dados de relevo resultantes de captura por interferometria, no caso as imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, disponibilizadas gratuitamente pelo serviço geológico americano - USGS) que apresentam resolução em grid de 90 metros contendo cotas altimétricas. Tendo esses mapas de relevo e utilizando imagens de satélite para visualização e conferência de informações, a geomorfologia foi elaborada em escala 1:25.000, a partir da interpretação de elementos físicos do território. Com estes dados, foi possível observar as grandes unidades estruturais (ROBERTSON, 2013).

Na composição dos pesos para análise de multicri-

térios, esta variável recebeu peso de 35% do resultado final, sendo a de maior peso. As unidades identificadas no mapa foram (Figura 3):

a) Superfícies Residuais Elevadas - unidade representada na altimetria elevada, com presença de quartzitos e itabiritos dobrados e sinclinais remanescentes de estruturas geológicas antigas invertidas devido a processos tectônicos (BARBOSA, 1980). O Sinclinal Moeda é seu exemplo.

b) Nível Intermediário de Topo Achatado - localizado no terço médio do relevo, onde predominam os xistos e filitos, modelado pela incisão da drenagem nas encostas.

c) Nível Residual Dissecado - relevo residual localizado no terço médio do relevo porém com alta densidade de drenagem que diseca (BARBOSA, 1980) o relevo, gerando elevado índice de erosão.

d) Superfície Dissecada Rebaixada - localizada no terço inferior e com presença de vales encaixados e já bastante intemperizada.

e) Vale Fluvial Preenchido - localizada nos arredores das principais drenagens da área, com grande quantidade de sedimentos, proveniente das litologias do terço inferior (ALKMIM e MARSHAK, 1998).

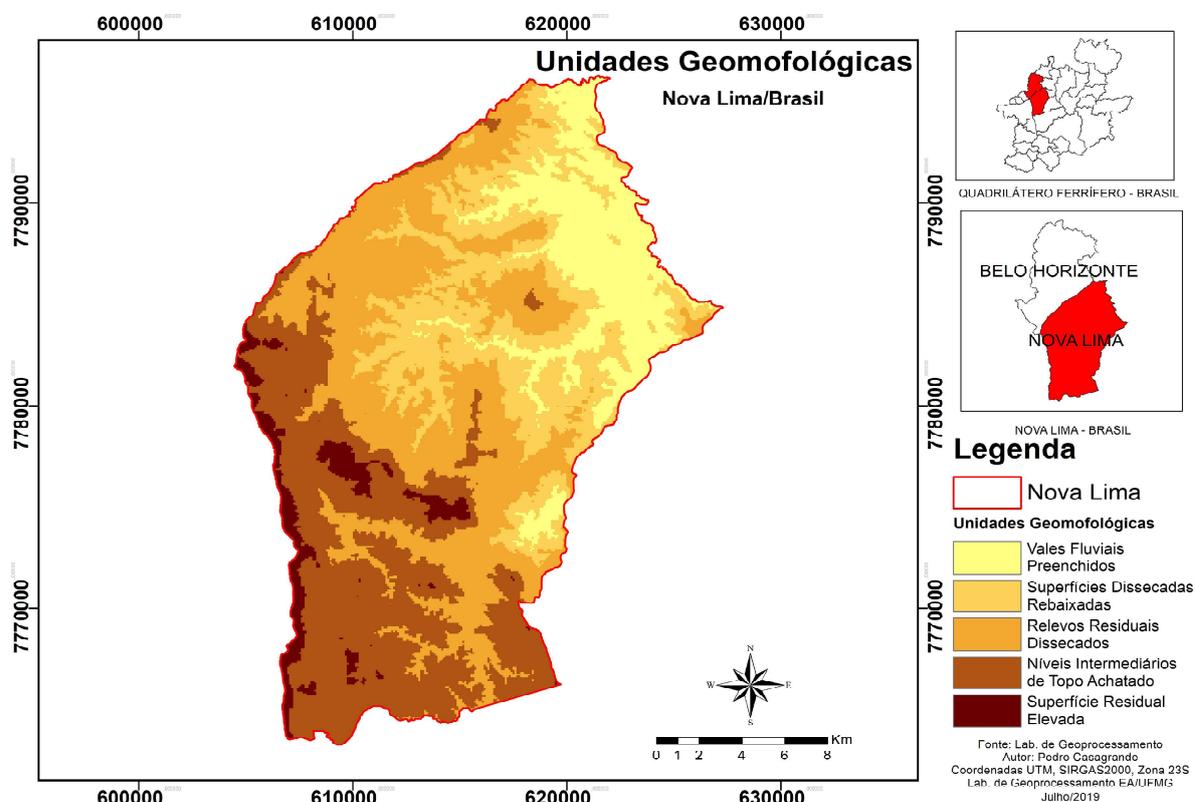


Figura 3 - Mapa das unidades geomorfológicas do Município de Nova Lima

As unidades geomorfológicas foram então classificadas em notas de 0 a 10 segundo a lógica de que quanto maior a nota maior o potencial de uso antrópico, sobretudo urbano. A Tabela 2 apresenta as notas referentes aos componentes de legenda do mapa geomorfológico:

**Tabela 2: Notas referentes às unidades geomorfológicas.**

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	
Componentes de Legenda	Notas
Superfície Residual Elevada	1
Nível Intermediário de Topo Achatado	4
Relevo Residual Dissecado	7
Superfície Dissecada Rebaixada	8
Vale Fluvial Preenchido	5

Na sequência, para a classificação das características geológicas e geotécnicas foi escolhido como material de trabalho o Mapa de Potencial de Uso Geotécnico, desenvolvido por Parizzi *et al.* (2010) para o PDDI - Plano Diretor Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte. No caso de emprego da metodologia proposta no presente artigo para outras áreas de estudo, será necessário realizar processo semelhante feito pela autora, que avalia o conjunto de litotipos de acordo com seu comportamento geotécnico e, conseqüentemente, segundo o grau de pertinência ao uso urbano. Dessa forma o propositor poderá se basear na classificação já existente caso em sua área existam litotipos semelhantes, acrescentando novos julgamentos.

A atribuição de notas de 0 a 10 aos componentes geológicos seguiram as indicações da legenda do Mapa de Unidades Geotécnicas, de Parizzi *et al.* (2010), ressaltando que na área não há um litotipo perfeito e sem riscos, o que resultaria em nota 10, ou um tão problemático ao ponto de se obter nota 0, uma vez que são elementos naturais passíveis de alteração pelo intemperismo (Tabela 3). Sendo assim, pela classificação de Parizzi *et al.* (2010), o Grupo 1, com nota 8, é composto por rochas de origem ígneas ácidas a intermediárias e suas correspondentes metamórficas. As rochas mais representativas deste grupo são os granitos e os gnais. O Grupo 2 é composto, por sua vez, com rochas de origem sedimentares folheadas e de granulometria fina, com sua nota final 5,5. Há ocorrência do Grupo 4, representados por rochas metamórficas foliadas como

filitos com presença de lentes de dolomitos, que apresentam baixa resistência da parte foliada, estimulando o escorregamento e queda de blocos, e para este grupo foi atribuído nota 5.

O Grupo 5 tem sua composição exclusivamente pelo dolomito, que possuem, em certos locais possuem processos de carstificação, com nota atribuída de 4. Por sua vez, o Grupo 7 é composto por rochas fraturadas e com alta propensão ao intemperismo. As rochas que compõe este grupo são, majoritariamente, xistos e tiveram a nota 7 atribuída. O Grupo 8 é formado por depósitos geológicos muito conhecidos, devido a sua forma de ocorrência, geralmente como depósitos lateríticos, e teve sua nota atribuída de 2. Por último, o Grupo 9, que são rochas com baixo nível de metamorfismo e que podem estar ligados a processos de erosão devido ao estado de alteração elevado, sendo a nota 6 atribuída para este grupo.

**Tabela 3: Notas referentes às unidades litológicas.**

UNIDADES LITOLÓGICAS	
Componentes de legenda	Notas
Lateritas	2
Dolomito	4
Filito, dolomito	5
Filito	5,5
Metarenito	6
Xisto	7
Granito	8

Em geral, o itabirito ocupa o topo das serras da região, devido à sua resistência à erosão, o que a coloca como de altíssima relevância na composição da paisagem local. Esta rocha pode ser maciça ou pulverulenta (friável), e quando são maciças apresentam elevada resistência mecânica. Por estarem em áreas de topografia elevada e alta declividade, as áreas deste litotipo, usualmente, são menos densamente ocupadas (PARIZZI *et al.*, 2010).

Ainda de acordo com Parizzi *et al.* (2010), os topos de serra da área de estudo contêm litotipos de quartzitos e metaconglomerados. Estes litotipos são considerados bons aquíferos e requerem a recomendação de preservação destas áreas e o impedimento de sua impermeabilização (SILVA, 2008). Nesses ambientes,

deve-se ter cautela ao executar cortes, terraplanagens e desmatamentos, cujas consequências são a exposição à ação das águas pluviais, sobretudo em regiões de relevo colinoso com superfícies côncavas e bem drenadas, uma

vez que estas rochas são susceptíveis à erosão. Neste sentido, estes aspectos foram expressos conforme exposto na Figura 4. Esta variável recebeu peso de 20% para a análise.

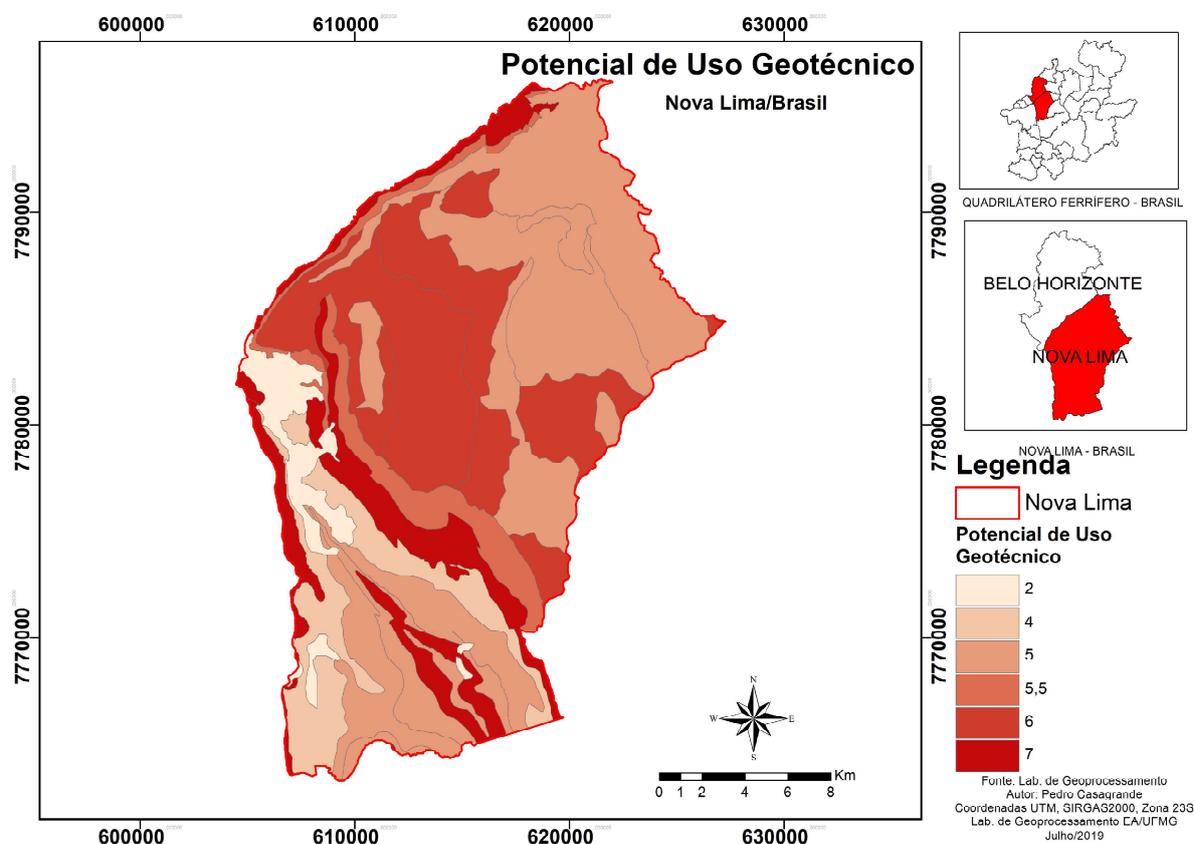


Figura 4 - Mapa de Unidades Geotécnicas (Parizzi, et al 2010).

Outro mapa elaborado como variável de investigação foi o Índice de Concentração da Rugosidade - ICR (Figura 5). O ICR consiste em uma análise a partir de um modelo de geoprocessamento que identifica características específicas da morfologia do território facilitando a compreensão da distribuição da declividade do relevo e sua interpretação segundo padrões de rugosidade (SAMPAIO, 2008; SAMPAIO e AUGUSTIN, 2014). Como resultado, são identificados os locais mais planos e os locais de maior diversidade de altos ângulos de inclinação. Assim, esta variável recebeu o peso 20%, pois locais onde a declividade é muito acentuada podem se transformar em áreas de risco uma vez ocupados.

Foi também composto o mapa de Índice de Hack (Figura 6), que é a análise do gradiente de energia das feições de drenagem presentes no território segundo

análise proposta por Hack (1973) como um componente morfométrico. O peso atribuído foi de 15% na Análise de Multicritérios.

O mapa de Cavas de Mineração foi elaborado considerando a alta concentração da atividade mineral em alguns setores do município (Figura 7), sobretudo em sua porção leste, nos flancos da Serra da Moeda, onde estão as minas de maior extensão, nas superfícies dominadas pelas colinas cujas altitudes são de aproximadamente 1000 metros. Sua identificação ocorreu por classificação supervisionada de imagem de satélite, seguida de correções por vetorização com o uso de softwares de geoprocessamento. As cavas em estudo estão ativas atualmente e esta variável recebeu peso de 10%. Uma vez mapeadas as cavas, foram aplicadas notas referentes aos componentes de legenda da variável, segundo a Tabela 4.

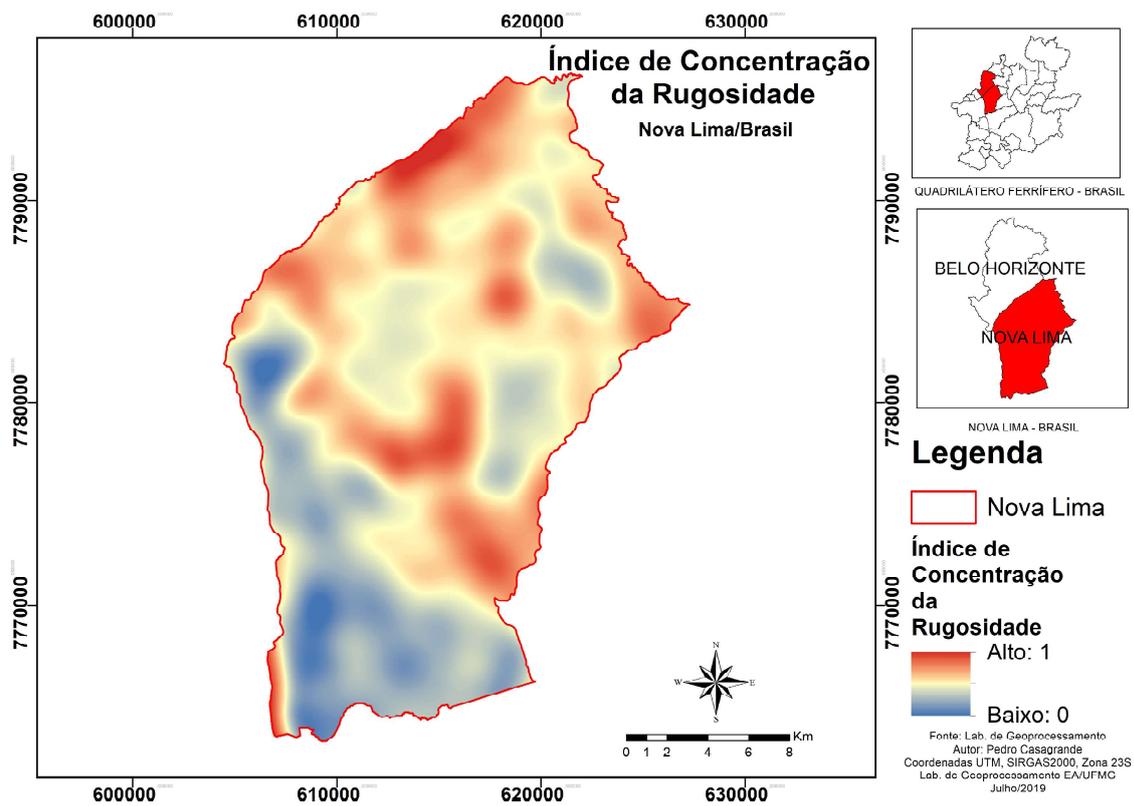


Figura 5 - Mapa do Índice de Concentração da Rugosidade.

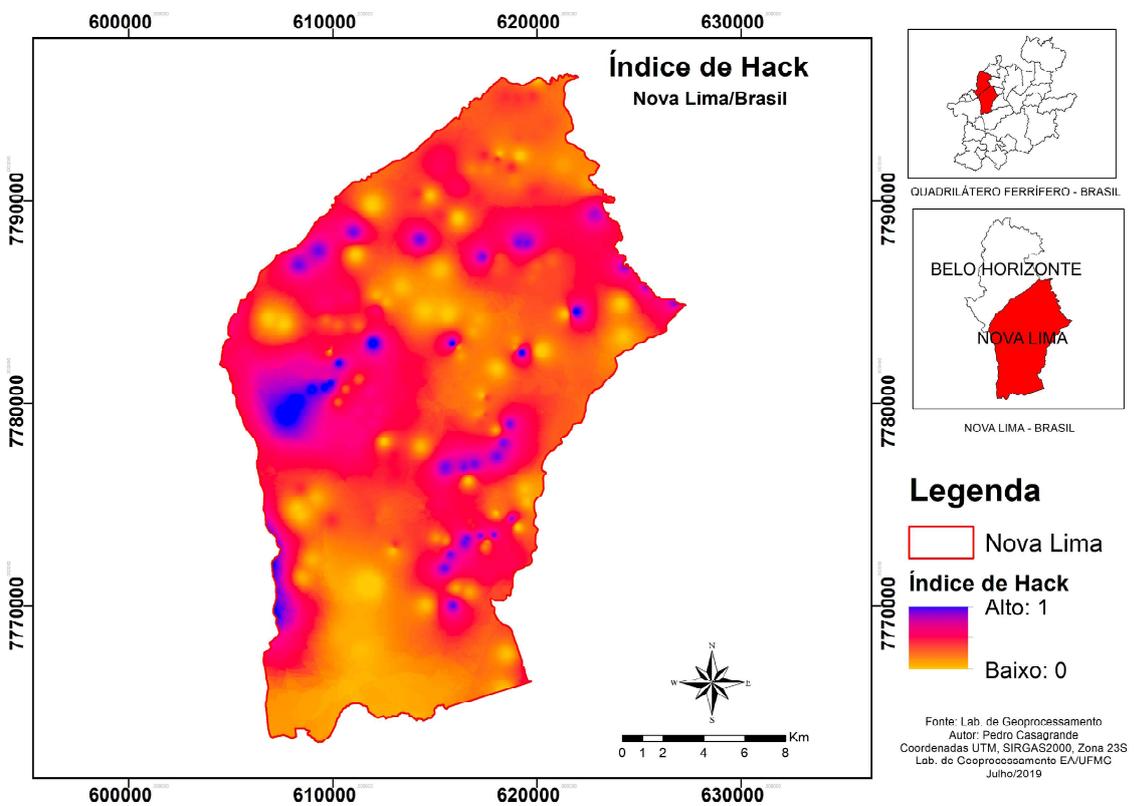


Figura 6 - Mapa do índice de Hack

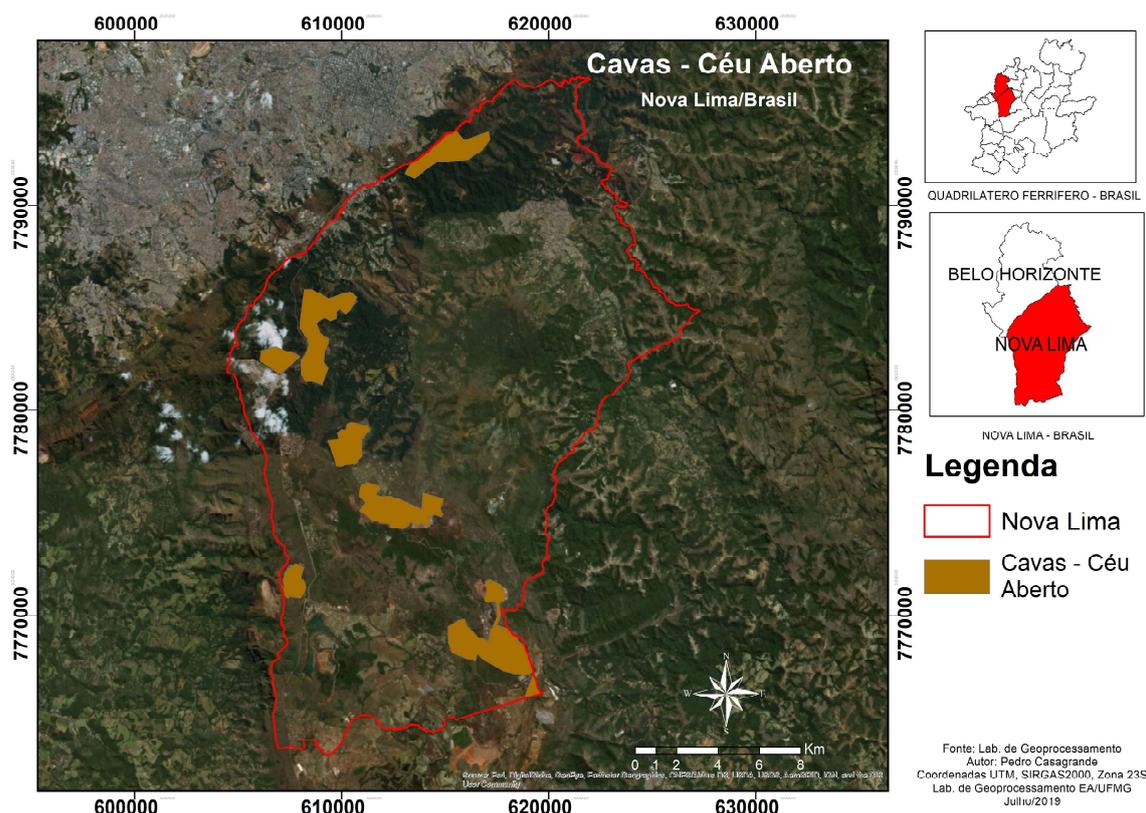


Figura 7 - Localização das áreas com atividade de exploração mineral.

Tabela 4: Notas referentes às cavas.

CAVAS	
Componentes de Legenda	Notas
Presença de Cava	0
Ausência de Cava	10

### Resultados e Discussões

As cinco variáveis elaboradas, uma vez normalizadas, dão suporte para a elaboração do Índice de Risco Geológico, representado territorialmente na Figura 8. Assim, o local com maior potencial de risco encontra-se na Serra do Curral, fronteira com o município de Belo Horizonte, onde a expansão urbana verticalizada avança de forma acelerada. Nesta porção também é possível verificar o índice de risco geológico (IRG), assim como o elevado risco no eixo da Serra da Moeda, no limite oeste do município, devido, principalmente, ao contexto topográfico da área, apresentando declividades acentuadas. Destaca-se a faixa leste-oeste, na porção norte da área do Distrito sede e de Honório Bicalho e na porção centro-leste, onde se concentram as minerações no município.

Os locais com baixo risco, localizadas na porção norte, sudoeste e em uma faixa centro-oeste, embora apresentem rochas com potencial geotécnico médio, são áreas nas quais não há ainda elementos de ocupação urbana ou mineração. Colocado o Índice de Risco Geológico em prática, será possível condicionar os eixos de crescimento urbano para as direções onde há menor risco, de modo a garantir que o crescimento urbano tenha uma evolução sustentável e de menor impacto ao meio físico.

### Conclusão

O Poder Público tem como instrumento para a gestão de seu território os Planos Diretores, mas que em muitos casos não contemplam devidamente as variáveis ambientais, salvo no que diz respeito às APPs (áreas de proteção permanente) sobre os recursos de cobertura vegetal e recursos hídricos. Contudo, aspectos específicos relacionados à base da ocupação, como a geologia, são ainda muito negligenciados. Ter conhecimento sobre esta variável do meio físico auxilia, com elevado nível de assertividade, a previsão e prevenção de problemas relacionados ao risco, uma vez que a ocupação urbana em locais inadequados repercute, na maioria das vezes, em sérios problemas para os agentes públicos.

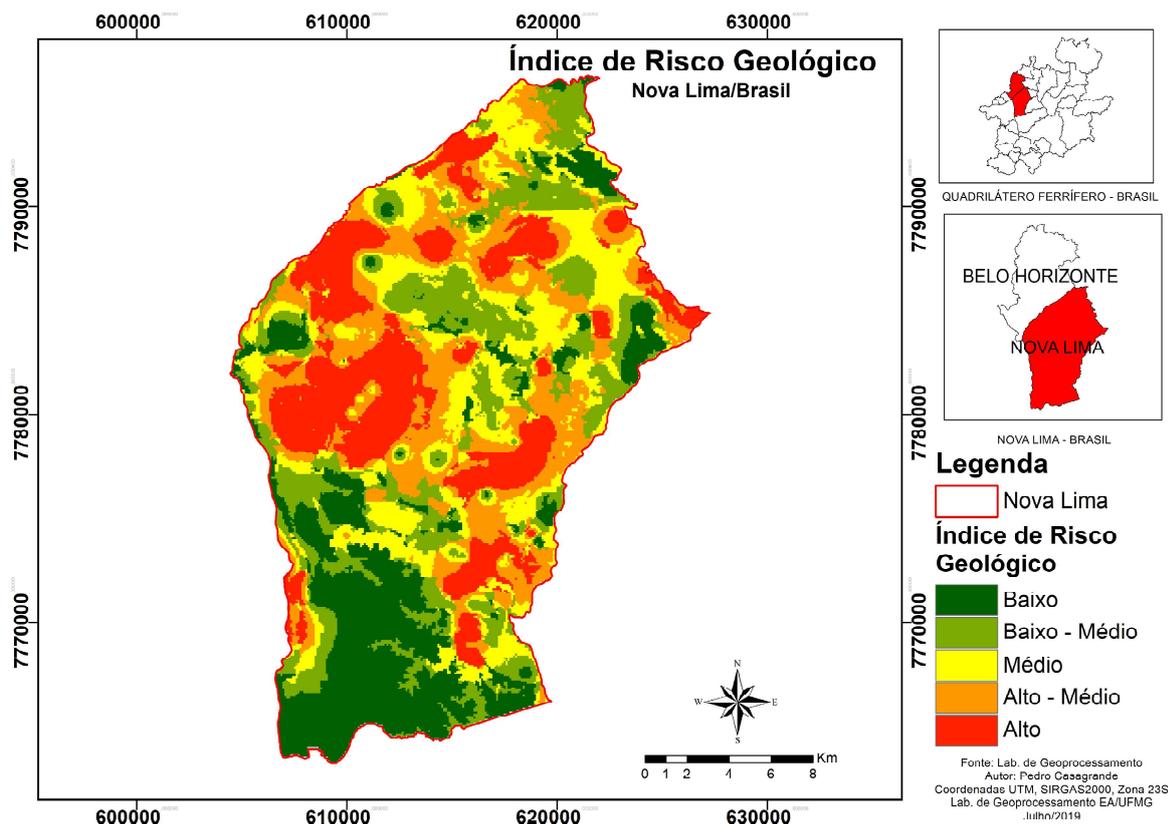


Figura 8 - Mapa Índice de Risco Geológico.

No estudo de caso em específico, observa-se uma “terceira onda” de transformações no território de Nova Lima, que acontece sobretudo na borda com a capital Belo Horizonte, mas se espalha em várias porções do município em virtude de sua posição estratégica no Quadrilátero Ferrífero: a onda econômica da urbanização. A primeira onda no território foi da exploração do ouro no século XVIII, que colocou a que era chamada de “Campos de Congonhas” no centro da rede urbana brasileira, caminho da Estrada Real e de expressiva produção aurífera. A segunda onda é do século XX, iniciada nos anos de 1960 e teve como foco a produção do minério de ferro, que ainda é a principal base econômica de Nova Lima, do Quadrilátero Ferrífero e de Minas Gerais. Contudo, observa-se a terceira onda no município, que é motivada pelo crescimento urbano em função da posição estratégica do município e da beleza natural de suas paisagens. Nesse sentido, estudos relativos à adequabilidade para a escolha das posições de ocupação, assim como os estudos preditivos de identificação de riscos serão fundamentais, caso contrário os problemas afetarão não só a vida humana, como também a paisagem cultural e os valores ambientais.

Cabe dizer que será necessário observar não só as áreas de urbanização legalizadas, autorizadas pelos Planos Diretores, como também o risco de ocupações ilegais que vão atrás de áreas já urbanizadas e com infraestrutura, e se instalam justamente em áreas consideradas não edificáveis. Destaca-se, ainda, que Nova Lima é um exemplo que se repete na realidade brasileira, de modo que o presente estudo contribui para reflexões desta natureza que possam acontecer em outras porções do território.

Com acesso a dados públicos, gratuitos e disponibilizados por órgãos públicos, é possível para a gestão municipal conhecer seu território e produzir as citadas variáveis para a elaboração do Índice de Risco Geológico. O presente estudo demonstra que é totalmente possível para a administração municipal conhecer as características de seu território do ponto de vista do substrato geológico, identificando potencialidades e fragilidades. Este conhecimento seria uma base mínima para se gerenciar o uso e ocupação do solo, indicando níveis de possibilidades de expansão e adensamento urbano.

Reconhecida a pressão por áreas de ocupação ur-

ba e o caráter irremediavelmente urbano do país, cabe pré-definir áreas de expansão urbana (sobretudo para as habitações de interesse social) antes que a ocupação aconteça em áreas inadequadas. Este tipo de informação precisa ser compartilhado, para que técnicos e população tomem decisões acertadas sobre um Plano Diretor capaz de prever os cenários que causam problemas que hoje geram grandes riscos à vida humana, aos valores ambientais e aos interesses de paisagem cultural.

### **Agradecimentos**

Contribuição ao projeto CNPq: “Geodesign e Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial: Geoprocessamento para a proposição de um Plano Diretor da Paisagem para a região do Quadrilátero Ferrífero-MG”, Processo 401066/2016-9, Chamada Universal 1/2016.

### **Referências Bibliográficas**

ALKMIM F.F., Marshak S., The Transamazonian orogeny in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil: Paleoproterozoic collision and collapse in the Southern São Francisco Craton region. **Precambrian Res.**, 90: 29-58. 1998.

ALMEIDA, Danilo de Carvalho Botelho - **Belo Horizonte underground: os sistemas de saneamento e as canalizações dos cursos d'água da Nova Capital de Minas Gerais**, Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 259p. 2018.

BARBOSA, G.V. Superfícies de erosão no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, vol. 10:89-101, 1980.

BONHAM-CARTER, G.F. Geographic Information Systems for Geo-scientists: Modelling with GIS. New York, **Pergamon/Elsevier**, 398 p. 1994.

CARRAZZONI, M. E.; SOUZA, W. A. Guia dos Bens Tombados. Minas Gerais. **IPHAN**. 1984.

CASAGRANDE, Pedro Benedito; FONZINO, Francesco; LANFRANCHI, Emil; FONSECA, Bráulio Magalhães; DE SENA, Ítalo Sousa. PROPOSTA DE ÍNDICE DE RISCO GEOLÓGICO: ESTUDO DE CASO PARA O MUNICÍPIO DE NORCIA, ITÁLIA. **XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia**, -Rio de Janeiro, Brasil. 2017.

COSTA, G. M.; ARAÚJO, C. E. A expressão sócio-econômica e espacial da dinâmica ocupacional na Região Metropolitana

de Belo Horizonte. In: COSTA, H. S. M. et al. (Org.). **Novas periferias metropolitanas. A expansão metropolitana em Belo Horizonte: dinâmica e especificidades no Eixo Sul. Belo Horizonte**: Editora C/Arte, p. 35-46, 2006.

DALKEY, N. C., & HELMER, O. 1963. An **experimental application of the Delphi method to the use of experts**. **Management Science**, 9(3):458-467.

DORR, John Van N. Physiographic, stratigraphic and structural development of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Geological Survey Professional Paper 641-A**, 2. ed., USGS/DNPM, 1969.

FERREIRA, P. A. **A Evolução do Valor Econômico Gerado e Distribuído pela Empresa Vale S/A: Análise comparativa do Relatório Anual de Sustentabilidade no período de 2007 a 2011**. Dissertação de mestrado. Fundação Pedro Leopoldo. 2013.

FUJIMOTO, N.S.V.M. **Análise Ambiental Urbana na Área Metropolitana de Porto Alegre-RS: Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio**. Tese de Doutorado, Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 2001. 236p.

GUERRA, Antonio José Teixeira; MARÇAL, Mônica dos Santos. (ORG.). **Geomorfologia ambiental**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 189 p.

HACK, John T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. **Journal of Research of the United States Geological Survey**, 1(4):421-429, 1973.

HARDER, E.C. & CHAMBERLIN, R.T. The geology of Central Minas Gerais. **J. Geol.**, 23:341-424, 1915.

LEME, E.M.C. & PAULA, C.C. 2004. Two new species of Brazilian Bromeliaceae. **Vidalia 2**: 21-29

MACHADO, Maria Marcia Magela. **Construindo a Imagem Geológica do Quadrilátero Ferrífero: conceitos e Representações**. Tese (Doutorado em Geologia). Programa de Pós-graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 256p. 2009.

MAGALHÃES, Beatriz de Almeida; ANDRADE, Rodrigo Ferreira. Belo Horizonte, um espaço para a República. **Editora da UFMG**, 1989.

MAGALHÃES, Danilo Marques. **Análise dos espaços verdes remanescentes na mancha urbana conurbada de Belo Horizonte - MG apoiada por métricas de paisagem**. **Dissertação de mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFMG. 2013.

- MALCZEWSKI, Jacek. Review Article On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS : Common and Best Practice Approaches. **Transactions in GIS** 4(1), 2000.
- MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science** 20(7) :703–726, 2006.
- MOURA, Ana Clara Mourão. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 21-26 abr. 2007, Florianópolis. Anais, Florianópolis: INPE, p. 2899-2906. 2007.
- MOURA, Ana Clara Mourão. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Belo Horizonte: ACMM, 294 p. 2005.
- MOURA, Ana Clara M., JANKOWSKI, Piotr. 2016. Contribuições aos estudos de análises de incertezas como complementação às análises multicritérios - “Sensitivity Analysis to Suitability Evaluation”. **Revista Brasileira de Cartografia** (2016), 68(4):665-684.
- PARIZZI, M.G, MOURA, A. C. M, MEMÓRIA, E. M, MAGALHÃES, D. M., Mapa de Unidades Geotécnicas da Região Metropolitana de Belo Horizonte. **Regulação Metropolitana de Belo Horizonte**, Belo Horizonte. 2010.
- RAPINI, A., R. Mello-Silva & M.L. Kawasaki. 2002. Richness and endemism in Asclepiadoideae (Apocynaceae) from the Espinhaço Range of Minas Gerais, Brazil – a conservationist view. **Biodiversity and Conservation** 11: 1733-1746
- ROBERTSON, KIM; JARAMILLO, OMAR; CASTIBLANCO, MIGUEL; Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales – **Ideam Subdirección De Ecosistemas E Información Ambiental Guía Metodológica Para La Elaboración De Mapas Geomorfológicos A Escala 1:100.000**. BOGOTÁ D.C., 2013
- ROCHA, A. R., CASAGRANDE, B. P., MOURA, A. C. M. Análise Combinatória e Pesos de Evidência na Produção de Análise de Multicritérios em Modelos de Avaliação. **Revista Geografía y Sistemas de Información Geográfica**. Argentina, Volume Especial, 10:37-61, 2018.
- RUCHKYS, Úrsula de Azevedo. A. **Patrimônio Geológico e Geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Potencial para a Criação de um Geoparque da UNESCO**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 233 f. 2007.
- SAMPAIO, T.V.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 15(1):1–14 , 2014.
- SAMPAIO, T.V.M. **Parâmetros morfométricos para melhoria da acurácia do mapeamento da rede de drenagem – uma proposta baseada na análise da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente – ES** . 2008. Tese (Doutorado em Geografia). IGCUFG. Belo Horizonte, 147 p. 2008.
- SCLIAR, C. Geologia da Serra da Piedade. In: Horta, R. D. (Org.). Serra da Piedade. Belo Horizonte: **CEMIG**, 1992.
- SILVA, Cassio Roberto da (Ed.). Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: **CPRM**, 2008.
- SILVA, Fabiano Reis. **A Paisagem do Quadrilátero Ferrífero, MG: Potencial Para o Uso Turístico da sua Geologia e Geomorfologia**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 144p. 2007.
- TAUNAY, Afonso d’Escrangolle. **Relatos Sertanista**. Belo Horizonte-São Paulo: Itatiaia-Edusp, 1981.
- TONUCCI FILHO, João Bosco Moura. **Dois momentos do planejamento metropolitano em Belo Horizonte: um estudo das experiências do PAMBEL e do PDDI-RMBH**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 236p. 2012.
- VICHAS, Robert P. Complete Handbook of Profitable Marketing Research Techniques. New Jersey: Englewood Cliffs and Prentice-Hall, 1982.
- VILLELA, Bráulio Carsalade. Nova Lima – Formação Histórica. **Ed. Cultura**, Belo Horizonte 1998.
- XAVIER-DA-SILVA, J.; SOUZA, M. J. L. **Análise Ambiental**. Rio de Janeiro: ed. UFRJ, 196p. 1988.