

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PAULA MÁRCIA BRASIL GARCIA

**GEOMORFOLOGIA COMO BASE DE ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA PARA
O PLANEJAMENTO MUNICIPAL: ESTUDO DE CASO DE ITABIRITO-MG**

BELO HORIZONTE

2019

Paula Márcia Brasil Garcia

**GEOMORFOLOGIA COMO BASE DE ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA PARA
O PLANEJAMENTO MUNICIPAL: ESTUDO DE CASO DE ITABIRITO-MG**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental

Orientadora: Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin

Belo Horizonte

2019

G216g Garcia, Paula Márcia Brasil.
2019 Geomorfologia como base de análise ambiental integrada para o planejamento municipal [manuscrito] : estudo de caso de Itabirito-MG / Paula Márcia Brasil Garcia. – 2019.
144 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientadora: Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin .
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia, 2019.

Área de concentração: Análise Ambiental.
Bibliografia: f. 131-144.

1. Geomorfologia – Itabirito (MG) – Teses. 2. Planejamento urbano – Itabirito (MG) – Teses. 3. Geotecnologia ambiental – Teses.. I. Augustin, Cristina Helena Ribeiro Rocha. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Geografia. III. Título.

CDU: 551.4(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



FOLHA DE APROVAÇÃO

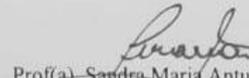
GEOMORFOLOGIA COMO BASE DE ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA PARA O PLANEJAMENTO MUNICIPAL - ESTUDO DE CASO DE ITABIRITO - MG.

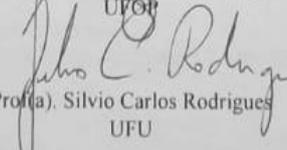
PAULA MÁRCIA BRASIL GARCIA

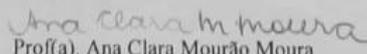
Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOGRAFIA, como requisito para obtenção do grau de Doutor em GEOGRAFIA, área de concentração ANÁLISE AMBIENTAL.

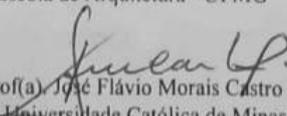
Aprovada em 23 de agosto de 2019, pela banca constituída pelos membros:


Prof(a). Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin - Orientador
UFMG


Prof(a). Sandra Maria Antunes Nogueira
UFOP


Prof(a). Silvio Carlos Rodrigues
UFU


Prof(a). Ana Clara Mourão Moura
Escola de Arquitetura - UFMG


Prof(a). José Flávio Morais Castro
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Belo Horizonte, 23 de agosto de 2019.

*Dedico esta tese ao meu pai, José Dalmo, pelo eterno incentivo a sempre seguir em
frente;
à minha mãe Jussara pelo apoio incondicional;
e ao meu filho André, a força motivadora.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, à minha orientadora Cristina Augustin, pelas enriquecedoras e inestimáveis orientações.

Agradeço aos queridos amigos Pedro Casagrande, Rosyelle Corteletti e Alfredo Costa cujas contribuições foram fundamentais para elaboração deste trabalho.

Agradeço às queridas amigas de jornada, Carla Wstane e Izabella Galera, pela parceria e amizade nesse caminho tão intenso em nossas vidas.

RESUMO

O crescimento sem planejamento adequado das cidades pode acarretar áreas potencialmente de risco a movimentos de massa e à erosão acelerada, além de vários níveis de problemas, como vem acontecendo em porções consideráveis de áreas urbanas do mundo subdesenvolvido e em desenvolvimento. Isto sugere que a questão ambiental não recebe a devida atenção nos vários tipos e níveis de planejamentos territoriais. O município de Itabirito se insere nesta perspectiva. Localizado na Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte – MG integra junto com outros três municípios, Mariana, Diogo de Vasconcelos e Ouro Preto, a Microrregião de Ouro Preto. O objetivo do presente trabalho é apresentar abordagens a partir de análises ambientais, tendo como enfoque a geomorfologia, aliadas às geotecnologias para orientar e subsidiar o desenvolvimento de Planos Diretores e de outros instrumentos de planejamento territorial. As análises geomorfológicas permitiram compreender alguns dos efeitos e respostas do meio físico decorrentes do processo de urbanização do município, processo este no qual as variáveis ambientais não foram adequadamente consideradas. Foi possível observar em vários locais que, aliado às condições naturais de suscetibilidade, a ação antropogenênica vem alterando a dinâmica natural da área de estudo, contribuindo para a intensificação dos processos de vertentes (escoamento concentrado), levando à erosão acelerada e afetando a dinâmica fluvial. As técnicas de análise de multicritérios foram utilizadas para análise do zoneamento municipal no que tange a áreas de expansão urbana e identificação dos vetores de crescimento. A partir da identificação dos locais aptos para ocupação do ponto de vista geomorfológico e ambiental, foi possível proceder com a análise das zonas bem como suas diretrizes de uso e ocupação, uma vez que, locais apontados como de baixa aptidão pra ocupação, se referem que, uma vez ocupados, passam a oferecer riscos tanto para a vida, como para o meio ambiente em geral, também elevando as possibilidades de perdas materiais, relacionadas às construções civis.

Palavras chave: Geomorfologia, Planejamento Territorial, Geotecnologias, Município de Itabirito -MG

ABSTRACT

The growth of cities without adequate planning can lead to áreas potentially at risk for mass movements and accelerated erosion, in addition to vários level of problems, as is happening in considerable portions of urban areas in the underdeveloped and developing world. This suggests that the environmental issue does not receive due attention in the vários types and levels of territorial planning. The municipality of Itabirito is part of this perspective. Located in the Metropolitan Mesoregion of Belo Horizonte – MG, it integrates, together with three Other municipalities, Mariana, Diogo de Vasconcelos and Ouro Preto, the Microregion of Ouro Preto. The objective of this work is to presente approaches based on environmental analysis, focusing on geomorphology, combined with geotechnologies to guide and support the development of Master Plans and Other instruments of territorial planning. The geomorphological analyzes allowed us to understand some of the effects and responses of the physical environment resulting from the city's urabnization process in wich the environmental variables were not adequately considered. It was possible to observe in several places that, combined with the natural conditions of susceptibility, the anthropogenic action has been changing the natural dynamics of the study área, contributing to the intensification of slope processes (concentrated runoff), leading to accelerated erosion and affecting river dynamics. The multicriteria analysis techniques were used to analyze the municipal zoning regarding urban expansion areas and identification of growth vectors. From the identification of suitable places for occupation from de geomorphological and enviromental point of view, it was possible to proceed with the delimitation of the zones as well as their guidelines for use and occupation, since places identified as having low aptitude for occupation, refer that, onde occupied, start to pose risks both to life and the environment in general, also increasing the possibilities of material losses related to civil construction.

Key words: Geomorphology, Territorial Planning, Geotechnologies, Municipality of Itabirito-MG

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação das etapas para obtenção do ICR com área de	57
Figura 2 - Integração das variáveis consideradas na análise por Pesos de Evidências	61
Figura 3 - Diagrama da integração das variáveis	63
Figura 4 - Localização das tribos indígenas no território de Itabirito no século XVI ..	65
Figura 5 - Croqui do arruamento da cidade de Itabirito – séc. XVIII.....	67
Figura 6 - Croqui do arruamento da cidade de Itabirito - 1929	69
Figura 7 - Croqui do arruamento da cidade de Itabirito - 2005	70
Figura 8 - Empreendimento minerário inserido em área urbanizada - Água Limpa / BR 040	90

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Rua do Rosário (antiga Rua Direita) e a Rua Sete de Setembro	66
Fotografia 2 - Abertura de loteamento localizado na margem esquerda da BR 356, sentido Ouro Preto	73
Fotografia 3 - Condomínios de médio e alto padrão localizados na margem esquerda	74
Fotografia 4 - Edificações encaixadas em encostas que se configuram área de risco, na margem esquerda da rodovia BR-356.....	75
Fotografia 5 - Empreendimento minerário em área urbanizada - Água Limpa / BR 040	91
Fotografia 6 - Voçoroca localizada próxima ao distrito de São Gonçalo do Baçõ e edificações	107
Fotografia 7 - Região próxima ao distrito de São Gonçalo do Baçõ, cujos resultados indicam baixa aptidão para ocupação urbana, devido à alta concentração de processos erosivos acelerados	121
Fotografia 8 - Residências próximas a curso d'água, sujeitas à inundação	121

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Mapa de Localização do Município de Itabirito – MG.....	37
Mapa 2 - Limite municipal do Quadrilátero Ferrífero	42
Mapa 3 - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero.....	44
Mapa 4 - Mapa Hipsométrico do Quadrilátero Ferrífero, considerando como limite, os municípios contidos na região	47
Mapa 5 - Mapa das bacias hidrográficas do Quadrilátero Ferrífero	49
Mapa 6 - Mapa hidrográfico do município de Itabirito – MG.....	51
Mapa 7 - Mapa de uso e cobertura da terra	53
Mapa 8 - Crescimento da mancha urbana de 1980 a 1990 / 1990 a 2000.....	71
Mapa 9 - Crescimento da mancha urbana de 2000 a 2010 / 2010 a 2016.....	72
Mapa 10 - Mapa das manchas urbanas dos Municípios de Itabirito, Ouro Preto e Mariana	77
Mapa 11 - Mapa da ocupação Água Limpa.....	80
Mapa 12 - Mapa das áreas urbana, rural e de Proteção Ambiental do município de Itabirito – MG.....	83
Mapa 13 - Limites da Zona Minerária e das Unidades de Conservação	87
Mapa 14 - Limites da ZM sobrepostos a Zona Urbana BR 040.....	92
Mapa 15 - Mapa das unidades Geológico-Geotécnicas do município de Itabirito – MG	96
Mapa 16 - Índice de Rugosidade, município de Itabirito - MG.....	99
Mapa 17 - Mapa do Índice de Hack, Município de Itabirito - MG.....	102
Mapa 18 - Mapa de densidade de voçorocas, Município de Itabirito - MG.....	105
Mapa 19 - Mapa das Unidades Geomorfológicas do Município de Itabirito – MG...	109
Mapa 20 - Análise Combinatória para avaliação do Potencial de uso e ocupação da terra, município de Itabirito – MG	120
Mapa 21 - Pesos de Evidências na indicação de áreas potenciais para ocupação urbana, município de Itabirito - MG	124

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - População total e população rural/urbana nos anos de 1991, 2000 e 2010. Município de Itabirito - MG	38
Tabela 2 - Renda, pobreza e desigualdade no Município de Itabirito – MG	39
Tabela 3 - Atividades econômicas e valor adicionado bruto a preços correntes em Itabirito – MG.....	40
Tabela 4 - Notas referentes a resistências das rochas	94
Tabela 5 - Valores do Índice de Concentração da Rugosidade	98
Tabela 6 - Valores obtidos do Índice de Hack.....	101
Tabela 7 - Integração das variáveis do Índice de Concentração da Rugosidade e Índice de Hack.	117
Tabela 8 - Integração das variáveis Geomorfologia e Geologia/Geotecnia	118
Tabela 9 - Cruzamento do produto gerado entre Índice de Hack e Índice de Rugosidade com Geomorfologia/Geologia, com a variável Processos de Erosão Acelerada (voçorocamento)	118
Tabela 10 - Notas referentes às Unidades Geomorfológicas	122
Tabela 11 - Notas referentes às Unidades Geológicas/geotécnicas	122
Tabela 12 - Pesos das variáveis consideradas	123
Quadro 1 - Processos antrópicos diretos e indiretos no relevo	30
Quadro 2 - Síntese das características do meio físico por unidades geomorfológicas do município de Itabirito-MG	116

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Analytical Hierarchy Process
BIF	Formações ferríferas bandadas
CF	Constituição Federal
CGIS	Canadian Geographic Systems
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICR	Índice de Concentração de Rugosidade
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
EEA	Estação Ecológica de Arêdes
MDE	Modelo Digital de Elevação
ONU	Organização das Nações Unidas
ONU HABITAT	Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos
OWA	Ordered Weighted Average
PDDI	Plano Diretor Integrado
PBI	Produto Interno Bruto
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
QF	Quadrilátero Ferrífero
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UC	Unidade de Conservação
USGS	United States Geological Survey
VAB	Valor Adicionado Bruto
WLC	Weighted Linear Combination
ZA - IT	Zona de Proteção Ambiental Integral

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Hipóteses	18
1.2 Objetivos	18
1.2.1 Objetivo geral.....	18
1.2.2 Objetivos específicos	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 Impactos ambientais da urbanização	20
2.2 A questão ambiental urbana e os instrumentos de planejamento	23
2.3 Geomorfologia aplicada e o planejamento territorial	27
2.4 Sistemas de Informações Geográficas e Modelos	31
2.4.1 Álgebra de mapas e Análise de Multicritérios	34
3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO.....	37
3.1 Localização	37
3.2 Aspectos socioeconômicos	38
3.3 Contextualização regional do meio biofísico no qual o município de Itabirito está inserido	41
3.3.1 Geologia	42
3.3.2 Clima.....	44
3.3.3 Geomorfologia	45
3.3.4 Hidrografia	48
3.3.5 Uso e cobertura da terra	52
4. MÉTODOS E TÉCNICAS	54

4.1 Levantamentos bibliográfico e cartográfico	54
4.1.1 Trabalho de campo para reconhecimento da área e validação dos dados produzidos pela pesquisa.....	54
4.1.2 Elaboração de mapas que subsidiaram as análises geomorfológicas do município.....	55
4.2 Aplicação de técnicas de multicritérios na indicação de áreas potenciais para ocupação urbana a partir de variáveis geomorfológicas.....	58
4.2.1 Pesos de Evidências.....	58
4.2.2 Análise Combinatória.....	61
4.2.3 Análise do processo de formação do município de Itabirito e dos atuais vetores de crescimento da mancha urbana	63
4.2.4 Análise do Plano Diretor do ponto de vista do atendimento dos aspectos ambientais do município	63
5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	64
5.1 Histórico de formação do território de Itabirito.....	64
5.2 Urbanização de Itabirito.....	70
5.2.1 Mudanças e tendências do crescimento urbano de Itabirito	70
5.3 Análise do Plano Diretor do ponto de vista do atendimento dos aspectos ambientais do município	81
5.3.1 Zona Rural e Zona Minerária	84
5.3.2 Zona minerária e zona urbana.....	88
5.4 Abordagem geomorfológica voltada para planejamento territorial	93
5.4.1 A importância da geomorfologia no planejamento territorial	93
5.4.2 As variáveis Geomorfológicas	94
5.4.2.1. Variáveis Geológicas/Geotécnicas	94
5.4.2.2. Índice de Concentração de Rugosidade - ICR (Variável Geomorfológica direta)	98
5.4.2.3. Índice de Hack (Variável Geomorfológica direta).....	100
5.4.2.4. Processos erosivos acelerados - Voçorocamentos	103

5.4.2.5. Unidades Geomorfológicas	108
5.4.3. Aplicação de técnicas de multicritérios na integração, sumarização e espacialização das variáveis geomorfológicas.....	115
5.4.3.1 Análise Combinatória.....	117
5.4.3.2. Pesos de Evidências	122
5.4.4 Considerações sobre os resultados da aplicação das técnicas de integração sumarização e espacialização dos dados	125
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	127
REFERÊNCIAS	131

1. INTRODUÇÃO

O processo de crescimento acelerado das cidades aliado à ausência de infraestrutura básica, acarretam o mau uso do meio físico, cujos reflexos são os impactos sobre a qualidade e segurança da população e dos equipamentos urbanos. De acordo com Bathrellos (2007), mais de 70% da população mundial vive em áreas urbanas sendo que em cerca de vinte grandes cidades do mundo como a cidade do México (31% da população do país), Buenos Aires (42%), Cairo (36%), dentre outras, contêm mais de 10% todo total da população dos seus respectivos países habitando nelas.

O meio ambiente urbano é composto por dois sistemas inter-relacionados: o sistema natural, constituído pelo meio físico e biológico, e o antrópico, pelo homem e suas atividades. Constitui, assim, a porção da superfície terrestre onde o impacto das atividades humanas se faz sentir de maneira mais intensa, direta, variada e rápida não possibilitando, muitas vezes, que a natureza se recupere normalmente dos efeitos negativos das transformações produzidas (MOTA, 2003).

Nos países latino-americanos, e de outros, à margem do desenvolvimento econômico, é possível afirmar que a institucionalização da pauta ambiental urbana não se refletiu em ações concretas nas cidades. Existe uma distância entre o discurso contido nas agendas e documentos, e a realidade socioambiental das cidades. Isto resulta na incapacidade da concepção de políticas públicas que considerem não apenas os efeitos (degradação ambiental, social e urbana), mas que também contemplem suas causas, como por exemplo, ocupações de áreas de risco devido à falta ou ausência de políticas públicas habitacionais, ausência de saneamento básico universal, dentre outros (SILVA; TRAVASSOS, 2008).

Uma das mais importantes e problemáticas questões dos impactos ambientais negativos decorrentes da ocupação urbana refere-se ao fato de que a proposição e condução de políticas públicas serem realizadas usando apenas o recorte espacial dos “limites administrativos” dos municípios. No entanto, arranjos das feições naturais, como nascentes, canais dos cursos de água e formas do relevo, por exemplo, ultrapassam os limites político-administrativos adotados como base de planejamento dos municípios no país. Outro fator que contribui para a relativa ineficiência das políticas ambientais urbanas no nível municipal decorre da maneira como as ações ambientais são tratadas frente a outras demandas e, ainda, à quase ausência de avaliações sobre se as medidas efetivadas foram exitosas ou não, e por que. Estudos realizados em cidades, como por exemplo em São Paulo (AFONSO DA SILVA, 2012) indicam a inobservância, ou atenção secundária, dos elementos naturais nos planos voltados para o direcionamento da ocupação urbana embora, dada a sua importância, devessem ser considerados condição *sine qua non* para o a proposição do desenvolvimento equilibrado das cidades.

O município de Itabirito se insere nesta perspectiva. Localizado na Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, integra com outros três municípios Mariana, Diogo de Vasconcelos e Ouro Preto, a Microrregião de Ouro Preto. Por não fazer parte da Região Metropolitana propriamente dita de Belo Horizonte (RMBH), Itabirito não faz parte do planejamento metropolitano, apresentando outros instrumentos de planejamento, como o Plano Diretor, que foi elaborado no ano de 2005 e que passou por uma revisão no ano de 2017.

A escolha do município como objeto de pesquisa ocorreu tendo em vista seu histórico de uso e ocupação aparentemente inadequados, no qual se inclui os efeitos da atividade minerária, cujos reflexos apontam indícios de que aspectos ambientais importantes não foram considerados nos instrumentos de planejamento e gestão. O Plano Diretor do município, implantado há quatorze anos, apresenta tempo suficiente para que sejam possam ser analisados os efeitos decorrentes da implantação de suas diretrizes na qualidade ambiental do município. Para isto, é importante levar em

consideração elementos analíticos que induzam e facilitem a avaliação dos efeitos do uso e ocupação da terra previstos neste tipo de legislação, de maneira a prevenir e mitigar os problemas ambientais futuros, decorrentes da ocupação desordenada ou inadequada da terra (COATES, 1976; COOKE, 1976; SEAR; NEWSON; BROOKES, 1995; HUDSON; GOUDIE; ASRAT, 2015).

Uma das abordagens da análise ambiental é fornecida pela geomorfologia. As formas naturais do relevo, mesmo quando afetadas pela atividade humana, constituem elementos da paisagem natural que integra, em sua estrutura, fatores, elementos e características relativas à sua gênese e dinâmica. Isto permite assumir que as formas de relevo constituem um tipo de síntese da atuação dos fatores climáticos, da fauna e da flora sobre as rochas, tendo como instrumentos a água e outros agentes (KIRKBY, 1978; THORNE; NEWSON; HEY, 1997; SOULSBY et al., 2006).

A Geomorfologia, que possui como objeto de estudo as formas de relevo em suas diferentes dimensões, desde a gênese até sua dinâmica e evolução, fornece uma base teórico-metodológica consistente para a análise do modelado da superfície terrestre, uma vez que estas constituem estruturas mais ou menos permanentes da paisagem física natural (AUGUSTIN, 1979). Estas estruturas amalgamam características semelhantes em termos de variabilidade geológica, das geocoberturas das vertentes, das coberturas vegetais, dos processos de superfície e subsuperfície, incluindo os fluviais e dos níveis freáticos (COOKE; DOORNKAMP, 1974; BROWN, 1996). Dessa maneira, a análise do relevo, seus componentes e dinâmicas, permite a avaliação dos potenciais de uso das diversas áreas que compõem uma região.

A utilização da geomorfologia como base da análise integrada do meio ambiente pode ser usada não apenas na etapa de planejamento das cidades, como também da sua gestão, uma vez que as dinâmicas da superfície e subsuperfície constituem o fundamento das transformações pelas quais o município passa, tornando-se uma ferramenta de fundamental importância para o estabelecimento de planos de ação envolvendo o desenvolvimento sustentável dessas áreas (DOUGLAS, 1988; GUPTA;

AHMAD, 1999; WILCOCK et al., 2003; MOHAPATRA; PANI; SHARMA 2014). Portanto, espera-se que as metodologias aplicadas neste trabalho, possam contribuir na elaboração de planos diretores e demais ferramentas de planejamento e gestão de territórios.

1.1 Hipóteses

- Problemas urbano-ambientais em Itabirito são decorrentes da inobservância das variáveis ambientais, com destaque para os aspectos geomorfológicos, na etapa de planejamento.
- A partir de critérios geomorfológicos é possível construir uma análise que contemple aspectos ambientais nem sempre presentes de maneira adequada nos instrumentos de planejamento de uso e ocupação da terra.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo do presente trabalho é o aplicar novas metodologias que possibilitem orientar e subsidiar o desenvolvimento de planejamentos urbano ambientais no âmbito do município de Itabirito, a partir de abordagem geomorfológica, de maneira a complementar as já usualmente utilizadas nas análises ambientais.

1.2.2 Objetivos específicos

- Análise do processo de formação do município de Itabirito e dos atuais vetores de crescimento da mancha urbana;
- Caracterização ambiental e Geomorfológica do município de Itabirito;
- A partir da caracterização ambiental e geomorfológica, levantar os principais aspectos ambientais, bem como as inconsistências do plano diretor na escala do macrozoneamento;

- Elaborar Análises de Multicritérios por Pesos de Evidências e Análise Combinatória com base na geomorfologia com intuito de indicar as áreas mais adequadas para fins de ocupação urbana.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Impactos ambientais da urbanização

Os assentamentos urbanos e a base na qual eles se instalam, ou seja, seu suporte físico possui uma estreita relação entre si. Isto se reflete no fato de que os impactos antrópicos gerados pelos assentamentos, tanto positivos quanto negativos, têm efeitos diretos e indiretos no meio físico. As mudanças nos padrões produtivos e nas dinâmicas populacionais alteram a natureza desses impactos e, por consequência, as condições socioambientais dos aglomerados urbanos (SILVA; TRAVASSOS, 2008).

Para Coelho Netto (1992), os problemas ambientais se propagam em escalas distintas e em espaços específicos, mas também podem abarcar áreas maiores, com extensão regional ou mesmo planetária. Em escala global, a autora chama atenção para mudanças climáticas resultantes do efeito estufa que vêm promovendo aumento na temperatura média global. A autora salienta que mesmo não sabendo ao certo as consequências desses efeitos em escalas regionais e locais, pode-se observar que dentre os problemas oriundos do Efeito Estufa, destacam-se a elevação do nível do mar por derretimento das superfícies congeladas, em altas altitudes e latitudes, que poderá ocasionar, em futuro próximo, inundações de grandes dimensões nas terras baixas de determinadas zonas costeiras.

Segundo Jacobi (1993), os debates acerca das questões ambientais contemporâneas convergem nas questões globais que ameaçam o planeta e os grandes ecossistemas, ficando relegados ao segundo plano, os efeitos desastrosos da degradação ambiental no contexto urbano. As cidades dos países não desenvolvidos representam um exemplo pungente da dinâmica da urbanização precária que gera graves problemas ambientais afetando de forma mais contundente as parcelas mais pobres da população. Para este autor, o fato da América Latina ser intensamente urbanizada, com quase 65% da população habitando as cidades, revela a urgência do urbano na

discussão e enfrentamento da questão ambiental, especialmente no tocante a relação entre degradação do meio ambiente e pobreza.

Para Thornbush (2015), as mudanças nos padrões de uso da terra modificaram o ambiente, tendo por consequência, por exemplo, o aumento das temperaturas nas cidades, associadas aos fenômenos de ilha de calor. Os impactos também são, em parte, decorrentes do desaparecimento da cobertura vegetal e o aumento da impermeabilização da superfície das vertentes, com efeitos na frequência e intensidade das inundações nos centros urbanos (COOKE; DOORNKAMP, 1974; HUDSON; GOUDIE; ASRAT et al., 2015). Cada vez mais comuns, as inundações e alagamentos associados à baixa taxa de infiltração decorrente da impermeabilização causada pelas construções, acarretam perdas econômicas relevantes nas áreas urbanas, em especial em zonas tropicais úmidas (THORNE; NEWSON; HEY, 1997; GUPTA; AHMAD 1999). Assim, cidades cortadas por cursos de água, incluindo os de pequeno e médio porte, são submetidas a enchentes periódicas levando à perda de bens materiais e de vidas humanas (MONTGOMERY; GRANT; SULLIVAN, 1995; TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009), como no caso das inundações de áreas urbanas ocorridas em Belo Horizonte e no Paraná e Santa Catarina no ano de 1983. É importante ainda destacar o uso de sistemas fluviais para a descarga de efluentes nas zonas urbanas, levando à perda da capacidade dos rios de manter os ecossistemas aquáticos, com impacto negativo real na qualidade de vida das pessoas e dificuldades, cada vez mais frequentes, da captação de rios permanentes para o fornecimento de água potável.

Como parte dos efeitos do uso inadequado da terra em áreas urbanas, estão os frequentes deslizamentos, mesmo em áreas consideradas estáveis do ponto de vista tectônico (GABET, 2007; GLADE; CROZIER, 2010). Estes movimentos de massa em grande escala têm o potencial de causar catástrofes humanas como as ocorridas na Serra do Mar, em Caraguatatuba e na Serra das Araras, no Rio de Janeiro em 1967 e 1969; em Vila Albertina, Campos do Jordão em 1972, e deslizamentos posteriores,

mas frequentes, nos morros do Rio de Janeiro, todos decorrentes, em parte, do desmatamento intensivo e das construções de estradas.

Além de comprometerem o equilíbrio ecossistêmico, as ações antrópicas, potencializadas pela densificação da população em áreas muitas vezes impróprias para edificações e construções, também causam o aumento da atuação de processos de erosão acelerada, em especial nas zonas periféricas das grandes cidades. Estes processos têm impactos não somente sobre as pessoas, como também sobre as infraestruturas de coleta de água e sobre os cursos de água, contribuindo para seu assoreamento (SALA; INBAR, 1992; AUGUSTIN; SAADI, 1985; MARANI et al., 2001; URBAN, 2002; CLARKE; BRUCE-BURGESS; WHARTON, 2003).

Como mostrado por Augustin e Saadi (1985, p. 262), os impactos negativos do uso da terra podem ser diversos gerando “problemas de cunho social - perda de moradia, destruição de ruas, asfaltamentos, estradas, pontes, poluição visual, da água, do solo e do ar”, quando não da própria vida. Esses autores chamam a atenção para o fato de que os efeitos desses impactos estão quase sempre condicionados pelas características naturais, as quais têm grande influência na dinâmica de superfície, incluindo nos tipos de processos geomorfológicos atuantes no âmbito das bacias hidrográficas das áreas urbanas.

Portanto, é pertinente assumir neste estudo, que a presença destes processos em áreas urbanas é indicativa de que a questão ambiental não recebe a devida atenção nos vários tipos de planejamentos territoriais (ALEXANDER, 1991; GUPTA; AHMAD, 1999; BOCCO; MENDOZA; VELÁZQUEZ, 2001; SKILODIMOU et al., 2003; FOOKES; LEE; MILLIGAN, 2005; MONTZ; TOBIN, 2011). O processo de urbanização constitui, assim, um dos fatores mais ativos nas transformações das cidades e seus entornos (SALA; INBAR, 1992; URBAN, 2002).

2.2 A questão ambiental urbana e os instrumentos de planejamento

O processo de produção do espaço urbano nas últimas décadas tem sido relacionado a um aprofundamento dos problemas ambientais, o que tem levado ainda que devagar, e como efeito colateral, a um aumento da consciência da população no que se refere a estes problemas.

Conforme Santos e Nascimento (1992), na história do planejamento territorial durante muito tempo, a variável ambiental foi pouco considerada, sendo que as questões urbanas e as ambientais, via de regra eram apresentadas de forma dissociada. Anterior à entrada da pauta ambiental, o planejamento era guiado, sobretudo, por fatores econômicos que atuavam como determinantes no processo de tomada de decisão. Atualmente, o planejamento territorial está subordinado a leis mais amplas, que absorveram novas exigências institucionais ou demandas da própria sociedade. Nesse cenário, emerge a questão ambiental que, se por um lado é forçada a ser contemplada pelos planejadores a partir de uma legislação mais rígida ou por pressões internacionais, por outro, apresenta embasamento técnico, científico e de instrumentalização, que auxiliam e fornecem elementos decisivos para as opções de planejamento territorial (SANTOS; NASCIMENTO, 1992).

Conforme Silva e Travassos (2008), a origem da problemática ambiental urbana ocorreu na década de 1970 no Brasil, porém, apenas na década de 1990 a temática ganhou força impulsionada pelos fóruns internacionais promovidos pelas Nações Unidas. De acordo com as autoras, na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD) promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU) no ano de 1992 no Rio de Janeiro, os problemas ambientais passaram a ser pautados pela questão do desenvolvimento sustentável e a inclusão do “humano” no conceito do meio ambiente. Até a década de 1990, as preocupações relacionadas ao meio ambiente, em âmbito mundial, concentravam-se prioritariamente nos problemas relacionados à Agenda Verde. Paulatinamente, no entanto, os problemas ambientais relacionados diretamente aos ambientes urbanos

foram trazidos para a pauta de discussão (SILVA; TRAVASSOS, 2008). Para as autoras, este processo pode ser observado com a inclusão do meio ambiente urbano em agendas e documentos que se configuram como marcos institucionais e com o surgimento de disciplinas diversas, o que apontou para a urgência do tema como área específica de investigação científica.

De acordo com Pugh (2000) a Agenda Marrom, termo adotado para o conjunto de temas a serem considerados na gestão do ambiente urbano, ganhou destaque na Conferência do Rio de Janeiro (1992), pois, de forma precursora, as questões relacionadas ao crescimento desordenado das grandes cidades receberam a mesma importância que aqueles relacionados à perda de recursos naturais. Silva e Travassos (2008) afirmam, entretanto, que a Conferência do Rio de Janeiro e os produtos dela decorrentes, tiveram pouco avanço no que diz respeito aos meios para realização dos seus objetivos, pois se materializaram apenas como uma pauta de compromissos políticos, econômicos e sociais voltados a todas as nações do mundo.

No ano de 1978, foi estabelecido o Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU-Habitat) como resultado da Conferência das Nações Unidas sobre Assentamentos Humanos (Habitat I). A partir daí, a Agenda Habitat ganhou destaque na elaboração da questão urbana, formulada na segunda Conferência sobre assentamentos urbanos, realizada na cidade de Istambul, no ano de 1996 (Habitat II). O plano de ação da Conferência enfatizou as recomendações da Agenda 21¹, expressando que a sustentabilidade do planeta passa necessariamente pela sustentabilidade de suas cidades, territorializando os temas abordados pelas conferências anteriores.

¹ A Agenda 21 é um documento que foi assinado em 14 de junho de 1992, no Rio de Janeiro, por 179 países, como resultado da “Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento” – Rio 92, definida como um “instrumento de planejamento participativo visando o desenvolvimento sustentável” (BRASIL, [s.d.]).

Em outubro de 2016, outra agenda relacionada ao tema central do trabalho da ONU-Habitat, a Nova Agenda Urbana também conhecida como Habitat III foi elaborada e adotada na Conferência das Nações Unidas sobre habitação e desenvolvimento urbano sustentável. Ela consiste em um documento orientado para a ação que definiu padrões globais para alcance do desenvolvimento urbano sustentável. No Brasil, a Agenda 21 Global e a Agenda Habitat constituíram os pilares para a elaboração da Agenda 21 brasileira², cujos objetivos dizem respeito à introdução da dimensão ambiental nas políticas urbanas existentes ou a serem elaboradas.

No ano de 2003 foi criado pelo Governo Federal, o Ministério das Cidades, a partir de demandas dos movimentos sociais de luta pela reforma urbana (BRASIL, 2004). O Ministério incorporou as questões ambientais nas pautas relacionadas a meio urbano, fato corroborado pelas secretarias de Habitação, Saneamento Ambiental, Transporte e Mobilidade e Programas Urbanos, nas quais estão situados programas específicos que tem como objetivo melhorar as condições de habitabilidade de assentamentos precários (MARICATO, 2006). No entanto, antes da criação do Ministério das Cidades, no intuito de regulamentar as formas de concepção e uso do espaço urbano, foi incorporado na Constituição Federal (CF) de 1988 (BRASIL, 1988), o Plano Diretor Municipal regulamentado pela Lei n. 10.257/2001, conhecido como Estatuto das Cidades. Esta lei tem como premissa o planejamento da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município de forma a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano. Além do Plano Diretor, consta nesse planejamento, instrumentos tais como disciplina do parcelamento do uso e da ocupação do solo; zoneamento ambiental; plano plurianual; diretrizes orçamentárias e orçamento anual; a gestão orçamentária participativa e planos, programas e projetos setoriais e planos de desenvolvimento econômico e social. Há que se destacar que ao conceber estes instrumentos, o município, pela legislação, conta com oito instrumentos de gestão

² A Agenda 21 Brasileira é um instrumento de planejamento participativo para o desenvolvimento sustentável do país. Foi coordenado pela Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e construído a partir das diretrizes da Agenda 21 Global (BRASIL, [s.d.]).

para guiar sua política pública (Lei n. 10.257/2001). Em se tratando de política pública ambiental no nível municipal, parte-se do pressuposto que estes instrumentos deveriam dialogar entre si com vistas a atingir um objetivo comum.

A definição de Plano Diretor no Brasil surgiu na década de 1950, apesar do termo já ter sido utilizado no Plano Agache³ em 1930 (FERREIRA, 2017). Entretanto, apenas após a promulgação da Constituição de 1988, nos artigos 182 e 183, é que o Plano Diretor começou a ser utilizado como instrumento de política e desenvolvimento urbano (FERREIRA, 2017). Adotado como principal instrumento de gestão territorial e municipal é no Plano Diretor que os parâmetros para o cumprimento da função social, ambiental e econômica da propriedade são definidos. Conforme expresso no Art. 182 da CF, o Plano Diretor é o instrumento básico da política municipal de desenvolvimento e expansão urbana, que tem como objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes. É obrigatório para os municípios com mais de 20 mil habitantes, integrantes de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas com áreas de especial interesse turístico, ou aquelas situadas em áreas de influência de empreendimentos, ou atividades com significativo impacto ambiental na região ou no país. Além desse conteúdo básico, é recorrente a inclusão de diretrizes sobre habitação, saneamento, sistema viário e transportes urbanos (BRAGA, 2000).

Os Planos Diretores são fundamentais para ordenar o processo de crescimento e urbanização das cidades, uma vez que este tende a atingir elevado grau de devastação e degradação do meio ambiente, sendo função da administração pública municipal, monitorar, fiscalizar, multar e incentivar o cumprimento do Plano Diretor. No entanto, pode ocorrer de o Plano conter incongruências relativas à adoção de parâmetros urbanísticos e à caracterização de determinadas zonas, o que ocorre no

³ O Plano Agache, foi elaborado para a cidade do Rio de Janeiro, pelo arquiteto francês Alfred Hubert Donat Agache, e finalizado no ano de 1930. É o primeiro Plano Diretor do Rio de Janeiro, e modelo de planejamento urbano para todo o país (ALMEIDA, 2005).

Plano de Itabirito, sobretudo, com relação aos aspectos ambientais, como analisados nesta pesquisa. Em se tratando de conservação ambiental dos municípios, é essencial que os Planos Diretores abordem não apenas as questões de ocupação das áreas e seus níveis de densidade, mas também considerar as não ocupadas que se encontram dispersas no tecido urbano, além de proteger majoritariamente os remanescentes de áreas verdes próximas a mananciais (SCHWEIGERT, 2013).

No Plano Diretor do município de Itabirito (ITABIRITO, 2005), tanto as propostas de desenvolvimento municipal, bem como de ordenamento territorial, baseiam-se nos princípios estabelecidos pela Lei Municipal nº 2.466/2005, Artigo 3º, que determina:

I. A garantia do pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade; II. A preservação do meio ambiente natural e cultural do Município; III. O desenvolvimento sustentável do Município; IV. A busca e realização da igualdade e da justiça social; V. A participação popular no processo de planejamento municipal (ITABIRITO, 2005, p. 2-3).

Os princípios supracitados apesar de abrangentes são relevantes para as cidades em geral. Itabirito conta com características peculiares, como os mais de três séculos de história, aliada a um processo de crescimento que envolve todos os setores que compõem sua economia. Estes fatores se refletiram e se refletem no processo de crescimento urbano (CONTI, 2009). Portanto, a execução das diretrizes contidas no Plano Diretor, de forma equilibrada e justa, consiste em um desafio concreto para o poder público municipal.

2.3 Geomorfologia aplicada e o planejamento territorial

Os termos Geomorfologia e Geomorfologia Aplicada, embora vistos de forma separada, são complementares. A Geomorfologia aplicada vem sendo realizada com mais frequência na interpretação, adaptação e aplicação do conhecimento geomorfológico básico produzido na Geomorfologia pura, tendo como resultado várias contribuições nos processos de planejamento territorial, regional e urbano, estudos de impacto de grandes e médios empreendimentos, zoneamentos, planos diretores, mapeamentos de risco, cartas geotécnicas, dentre outros (HOOKE, 2018). Para Hart

(1986), a Geomorfologia Aplicada possui uma longa história, marcada por inúmeros estudos de cunho aplicado desenvolvidos entre os séculos XVII e XX. Nir (1983) identificou em seus estudos de revisão, que Marsh (1864), em seu livro *Man and Nature*, foi pioneiro no tema, quando considerou a influência antrópica nos processos geomorfológicos bem como os trabalhos de Sherlock (1922) em sua abordagem quantitativa da atividade geomorfológica humana na obra *Man as a Geological Agent*. Não deve ser esquecida a grande contribuição dos clássicos da escola alemã: Ritter (1828), Rosenkranz (1850), e em especial Humboldt (1847-1849), o primeiro a se referir à paisagem como uma visão de “caráter total” de uma região (POTSCHIN, 2003; VITTE, 2009), pioneiros na integração de vários elementos, incluindo a participação antrópica, no conceito de paisagem. É importante ressaltar, ainda destacar os trabalhos dos pesquisadores franceses e soviéticos, como Bertrand (1968), Tricart (1977) e Sotchava, (1977), que, influenciados pela escola alemã, desenvolveram estudos integrados na perspectiva dos geossistemas e geoecologia.

Na década de 1980, outros pesquisadores ganharam destaque nos estudos de cunho aplicado como Verstappen (1983), Costa e Fleisher (1984), Hart (1986), Fookes e Vaughan (1986) e Hooke (2018), que organizou coletânea de ensaios salientando a função da geomorfologia no planejamento territorial.

De acordo com Christofolletti (1999), os estudos geomorfológicos aplicados enquadram-se na compreensão das estruturas espaciais, não se atendo apenas à natureza física dos processos, mas também à socioeconômica. Nesse sentido, uma das funções mais preponderantes da geomorfologia aplicada é a de gerar conhecimento relevante para o planejamento territorial. A humanidade, ao se apropriar do modelado da paisagem, que representa um tipo de uma síntese da atuação das variáveis ambientais, atua transformando e impulsionando alterações que trazem diversos tipos de consequências. Como exemplo, Casseti (2005) cita a retirada de cobertura vegetal, que inibe a infiltração da água no solo, acentua o processo de transporte de sedimentos, promovendo desagregação mecânica do solo, resultando

na ocorrência de processos erosivos acelerados que podem evoluir até mesmo, para deslizamento de terra.

Christofoletti (2007) afirma que as feições topográficas e os processos morfogenéticos atuantes em uma determinada área possuem papel fundamental na definição das categorias de uso da terra, tanto para atividades agrícolas, como para as urbanas e urbano-industriais. Devido a isso, as potencialidades das aplicações do conhecimento geomorfológico se inserem não apenas nos diagnósticos ambientais, como também contribuem para orientar a alocação e o assentamento das atividades humanas (CHRISTOFOLETTI, 2007). Conforme Saadi (1997), através do processo de identificar e descrever de que forma o relevo se organiza, evolui e suas condições de equilíbrio, com apoio da geomorfologia, pode-se traçar prognósticos referentes aos potenciais do solo urbano assim como as limitações impostas pelo mesmo.

Rodrigues (2006) agrupa em cinco áreas, temas cuja geomorfologia pode contribuir: recursos naturais, riscos naturais, desenvolvimento rural, desenvolvimento urbano e projetos de engenharia. A autora destaca ainda a contribuição da Geomorfologia para a abordagem da questão do uso agrícola e erosão do solo, uso urbano, manejo e estabilidade das vertentes, manejo de sistemas pluviais, manejo costeiro e formulação de políticas urbano ambientais, sendo esta última questão norteadora deste trabalho.

Para Girão e Correia (2004), a atuação do profissional da Geomorfologia torna-se ainda mais relevante na medida em que os trabalhos necessitam da compreensão das formas geomórficas e sua dinâmica. Nesse sentido, as aplicações da geomorfologia residem não apenas na contribuição da identificação de sistemas geomorfológicos ou padrões de unidades físicas que podem oferecer a conservação de estados de equilíbrio para a manutenção de ecossistemas, mas também para apontar o grau de singularidade e de remanescência de determinadas áreas, essenciais para o planejamento urbano adequado.

Os estudos de caráter geomorfológico empregados na identificação dos impactos ambientais são fundamentais para a compreensão do equilíbrio dinâmico dos fatores condicionantes do meio ambiente, o que resulta em pesquisas aplicadas relativas a impactos diretos e indiretos (AUGUSTIN; SAADI, 1985). Estes constituem ferramentas fundamentais para a proposição de projetos de planejamento de uso e ocupação da terra, com vistas à definição de novas áreas (GIRÃO; CORREIA, 2004).

Dentre os impactos relativos à ocupação humana Goudie e Viles (1997) elencam abaixo dois tipos de processos no relevo, os antrópicos diretos e os indiretos (Quadro 1):

Quadro 1 - Processos antrópicos diretos e indiretos no relevo

Processos antrópicos diretos	Processos antrópicos indiretos
Construção: revolvimento do solo, moldagem, aragem, terraceamento.	Aceleração da erosão e sedimentação: retirada de cobertura vegetal, atividade agrícola, obras de engenharia, especialmente construção de estradas e urbanização, modificações acidentais no regime hidrológico.
Escavação: cortes em encostas, mineração, explosão de material coerente ou não coerente, abertura de crateras.	Subsidência: colapso relativo ao estabelecimento de atividades de mineração, bombeamento de água subterrânea e derretimento de áreas de <i>permafrost</i> .
Interferência hidrológica: inundação, represamento, construção de canal, dragagem, modificação do canal, drenagem, proteção costeira.	Colapso de encosta: deslizamento, fluxo e rastejamento acelerado causado pela carga de material. Geração de tremores: carga derivada de reservatório, lubrificação ao longo de planos de blocos.

Fonte: GOUDIE; VILES, 1997.

No Brasil, a frequência de desastres naturais, como já citado, indica que as cidades, ou pelo menos parte delas, se instalaram e continuam se instalando de forma inadequada sobre o relevo. Em decorrência, os problemas oriundos da inobservância

dos aspectos geomorfológicos tendem a ocorrer, mas não afetam de forma igualitária toda a população urbana, pois, em geral, atingem, sobretudo, áreas ocupadas por pessoas das classes sociais menos favorecidas. Isto se dá porque a distribuição espacial dessa população está associada à desvalorização de áreas e terrenos causada pela proximidade de planícies de inundação dos rios, das indústrias, além de fatores associados à insalubridade, bem como áreas de declives acentuados, potencialmente susceptíveis aos fenômenos ambientais, como deslizamentos e erosão.

Destaca-se, assim, a relevância da geomorfologia aplicada ao planejamento territorial, principalmente no decorrer do diagnóstico ambiental e no auxílio à formulação de diretrizes voltadas para definição de melhores áreas a serem ocupadas, com vistas a avaliar os possíveis efeitos oriundos de respostas das feições e dos processos geomorfológicos em relação aos empreendimentos a serem efetivados.

2.4 Sistemas de Informações Geográficas e Modelos

As representações ambientais e urbanas por computadores começaram a ocorrer no fim da década de 1950 e início da década de 1960, com o surgimento dos “*personal computers*” (PCs), aliados à Revolução Quantitativa nas geociências. Para Santos (2002), a procura de uma linguagem matemática na Geografia era o resultado da uma busca de cientificismo que a Geografia já havia procurado, sob outras roupagens e em momentos distintos, partindo do pressuposto que os métodos matemáticos são considerados como mais precisos, além de serem dotados de um valor de previsão.

Os primeiros modelos computacionais surgiram nos Estados Unidos oriundos da necessidade de planejamento de transporte, uma vez que o aumento dos veículos, associado a um padrão disperso de desenvolvimento urbano, impôs novas necessidades e desafios para o ordenamento do território (ALMEIDA, 2007). Estes modelos, com o tempo, aumentaram o escopo de atuação incluindo variáveis tais como distribuição espacial de empregos e população, mobilidade residencial e

alocação de usos do solo urbano. Estes primeiros modelos computacionais não eram, entretanto, dotados de uma contraparte espacial. Conforme destacado por Almeida (2007), os primeiros modelos trabalhavam com a compartimentação do espaço urbano em zonas, ou seja, neles se obtinham resultados numéricos vinculados as respectivas zonas, que por sua vez eram identificadas por códigos.

Em síntese, estes modelos até então não eram considerados espaciais, uma vez que, seus resultados não eram visíveis espacialmente. Um modelo pode ser definido como a representação de um sistema, que pode ocorrer através de várias linguagens: matemática, lógica, física, analógica, icônica, gráfica, dentre outras, à luz de uma ou mais teorias (ALMEIDA et al., 2003). Para Baily (1978), os modelos consistem em instrumentos com abordagem sistêmica cuja função compreende representar a estrutura dos elementos de um determinado sistema. Nesse sentido, o modelo representa as características e a estrutura de um sistema, entretanto ele consiste em um recorte da realidade. Christofolletti (1999, p.1) assinala que, na perspectiva da geografia, estes podem ser considerados como um “conjunto de objetos ou atributos e de suas relações que se encontram organizados para executar uma função particular”.

A partir da década de 1970, surgiram os primeiros programas computacionais que permitiram realizar, através da computação, o cruzamento dos dados espaciais antes realizados a partir da sobreposição de mapas em transparência. Nesse período surgiram também novas tendências de tratamento dos dados geográficos utilizados para atividades de planejamento e gestão espacial, cujas contribuições conceituais e metodológicas foram oriundas de diversas áreas do conhecimento, com destaque para a Geografia (PEREIRA; SILVA, 2009). A partir de dados provenientes de diversas áreas inerentes ao planejamento e gestão do espaço, surgiu a necessidade de analisar esses dados conjuntamente, de forma integrada e multidisciplinar. Geógrafos, sobretudo os regionais, planejadores e paisagistas, foram precursores na combinação pela sobreposição de dados (mapas) através de técnicas simples como a mesa de

luz, na qual se podia localizar áreas nas quais as fronteiras de determinadas zonas eram coincidentes (PEREIRA; SILVA, 2009).

O arquiteto paisagista escocês Ian McHarg, pioneiro no movimento sobre questões ambientais, foi também um dos primeiros a utilizar essa técnica de forma aplicada, com o desenvolvimento de uma metodologia para planejamento ambiental baseada neste tipo de cruzamento de dados, o que originou uma importante linha de estudos e pesquisas que culminaram em 1969 com o lançamento do livro *Design with Nature*. Para McHarg (1969) é possível conciliar as pretensões da sociedade tecnológica com a preservação dos processos ecológicos existentes, específicos de um território, sendo que esta preservação acarreta não apenas a obtenção de uma qualidade de vida, como também a valorização das próprias características do meio físico.

A metodologia de McHarg (1969) teve início com a realização de um inventário ecológico de uma área de estudo, na qual foram apresentados fatores considerados indicadores representativos de processos naturais. A partir destes fatores, foi determinada a capacidade que o ambiente possuía para o estabelecimento das atividades humanas. Essa capacidade foi apresentada através de mapas temáticos para cada uso no qual houve a atribuição de um valor relativo às atividades humanas, ficando estas definidas em menor ou maior grau entre áreas aptas e inaptas para uma atividade específica. A partir da sobreposição dos diversos mapas temáticos, foi gerado um mapa síntese contendo dados referentes à aptidão do solo aos vários tipos de atividade, incluindo os usos múltiplos possíveis. Os mapas sínteses dos usos potenciais do solo faziam parte de uma base para a tomada de decisão e gestão política, posto que, nestes, estavam definidos critérios básicos para a ocupação urbana.

O primeiro SIG, de acordo com Almeida (2007) foi desenvolvido na metade da década de 1960, denominado *Canadian Geographic Information Systems (CGIS)*, sem finalidade comercial e as aplicações se voltavam para questões ambientais em escala regional. No fim da década de 1980, os SIGs adentraram definitivamente na esfera

dos estudos ambientais, com o advento da computação gráfica, e ganhou impulso ao longo da década de 1990. Atualmente, com a evolução do sensoriamento remoto com imagens de alta resolução espacial, os SIGs começaram a desenvolver uma atuação mais expressiva em questões urbanas. Almeida (2007) afirma que um diversificado quadro de temáticas urbanas tem sido trabalhado em ambiente SIGs, tais como questões sobre exclusão/inclusão social e segregação socioespacial têm sido tratadas a partir de medidas obtidas por métodos de estatística e análise espacial, que revelam tendências e padrões de configuração espacial não explícito nos dados de entrada, a exemplo de índices de dissimilaridade de renda.

2.4.1 Álgebra de mapas e Análise de Multicritérios

Diante do exposto, foram incorporados aos SIGs novas funções com o objetivo de possibilitar ao usuário realizar operações e análises, como por exemplo, a Álgebra de Mapas. Uma das primeiras abordagens do tema Álgebra de Mapas se deu através dos livros "*Geographic Information System*" e "*Cartographic Modeling*" (TOMLIN, 1990), nos quais se buscou explorar de uma maneira formal as propriedades dos dados representados em SIG, usualmente representados por mapas. A Álgebra de Mapas consiste em uma linguagem computacional utilizada para realizar análises espaciais, em outras palavras, se refere à matemática aplicada a mapas. A depender do modelo de dados, pode-se realizar de aritmética simples a algoritmos mais sofisticados.

Conforme Tomlin (1990) os elementos da Álgebra de Mapas consistem em mapas que associam a cada local e uma determinada área de estudo, um valor quantitativo: escalar, ordinal ou intervalar, ou qualitativo (nominal). Nesse sentido, o modelo de dados adotado por Tomlin (1990) se refere a esses dois tipos de dados, enquanto o significado das operações a eles aplicadas fica na incumbência do modelador.

As análises realizadas através da álgebra de mapas permitem modelar um sistema a partir de critérios considerados importantes para a ocorrência do fenômeno modelado.

Na bibliografia científica, autores como Moura (2007), Moura e Jankowski (2016), Almeida (2007), Santos e Ventorini (2016; 2017) entre outros, destacam a importância do cruzamento de mapas – álgebra de mapas – por meio do método da Análise de Multicritérios, cujos resultados permitem a modelagem de um sistema frente à realidade (SANTOS; VENTORINI, 2017).

A Análise de Multicritérios pode ser descrita como um método de apoio à tomada de decisão baseado na análise de alternativas para a resolução de um determinado problema (FIDALGO, 2003; VALENTE, 2005; CABRAL, 2012; ALBUQUERQUE, 2015). Consiste em um método integrado de análise espacial que possibilita a construção de modelos descritivos ou preditivos de uma determinada área para diferentes aplicações. Vilas Boas (2005) afirma que as abordagens multicritérios consistem em formas de modelar os processos de decisão, onde é necessário levantar: a decisão a ser tomada, os eventos desconhecidos que podem afetar os resultados, os possíveis cursos de ação e os próprios resultados.

Cabe destacar que estes modelos constituem, de forma bastante estável, o juízo de valores dos tomadores de decisão, tendo como objetivo o apoio a estes e aos gestores, as análises dos dados e a partir daí, buscar as melhores estratégias de gestão. Pablo e Pineda (1985) discutem a análise de multicritérios na qual afirmam que a mesma procura um entendimento global ou de conjunto, evitando a análise individualizada de temas ou aspectos físicos e sem suposições, a princípio, sobre as variáveis que exercerão papel significativo na definição das zonas de atuação identificando-se tendências de variação e grupos de variáveis espacialmente relacionadas.

As metodologias de análise de multicritérios permitem a combinação de diferentes variáveis, atribuindo-se a cada uma delas pesos específicos de ponderação. Destaca-se que as ponderações de cada variável precisam ser estabelecidas por um conjunto de profissionais, em geral especialistas nas variáveis e nos respectivos cenários em análise, os quais são em geral confrontados numericamente no sistema multicriterial

de suporte à decisão (SADASIVUNI et al., 2009). Portanto, a ponderação das variáveis tem como premissa a inclusão de uma escala de preferência ou impacto, positivo ou negativo, para cada variável. O modelo descrito por Saaty (1980) propõe uma organização hierárquica para as comparações entre as variáveis através de cenários. O modelo é denominado de Processo Analítico Hierárquico (*Analytical Hierarchy Process* - AHP) e, não obstante tenha sido desenvolvido para auxiliar decisões econômicas, tem sido também utilizado para apoio a projetos de engenharia, devido à robustez do processo e ser de fácil implementação (MUNIER, 2011; NOBREGA 2009).

Outros métodos têm sido utilizados nas análises de multicritérios, como a Combinação Linear Ponderada (*Weighted Linear Combination* – WLC) e a Média Ponderada Ordenada (*Ordered Weighted Average* – OWA). Para Voogd (1983) a Combinação Linear Ponderada é definida como o método no qual os fatores são padronizados de acordo com uma escala numérica comum os quais recebem pesos e são combinados por meio de média ponderada. O resultado é um mapa de prioridades que pode ser compartimentado em classes temáticas *fuzzy* (EASTMAN, 2001). De acordo com Torezan (2005), além de permitir reter toda a variabilidade dos dados contínuos, este método oferece também a possibilidade das variáveis ambientais compensarem-se umas as outras. Nesse sentido, um baixo valor de um determinado índice em uma variável para uma área qualquer pode ser compensado por um alto valor para outra variável.

Santos e Ventorini (2017) salientam que a facilidade do uso da Análise Multicritério para geração de modelos que apoiem à tomada de decisões, não significa que não se deva questionar o impacto das incertezas inerentes em dados utilizados na análise, que são uma parte integrante do método. Contudo, para Eastman (2001), a utilização da análise multicritério é considerada um avanço considerável em relação ao procedimento convencional de cruzamento de planos de informação para a definição de áreas de interesse, sendo uma técnica importante e das mais empregadas para a tomada de decisão.

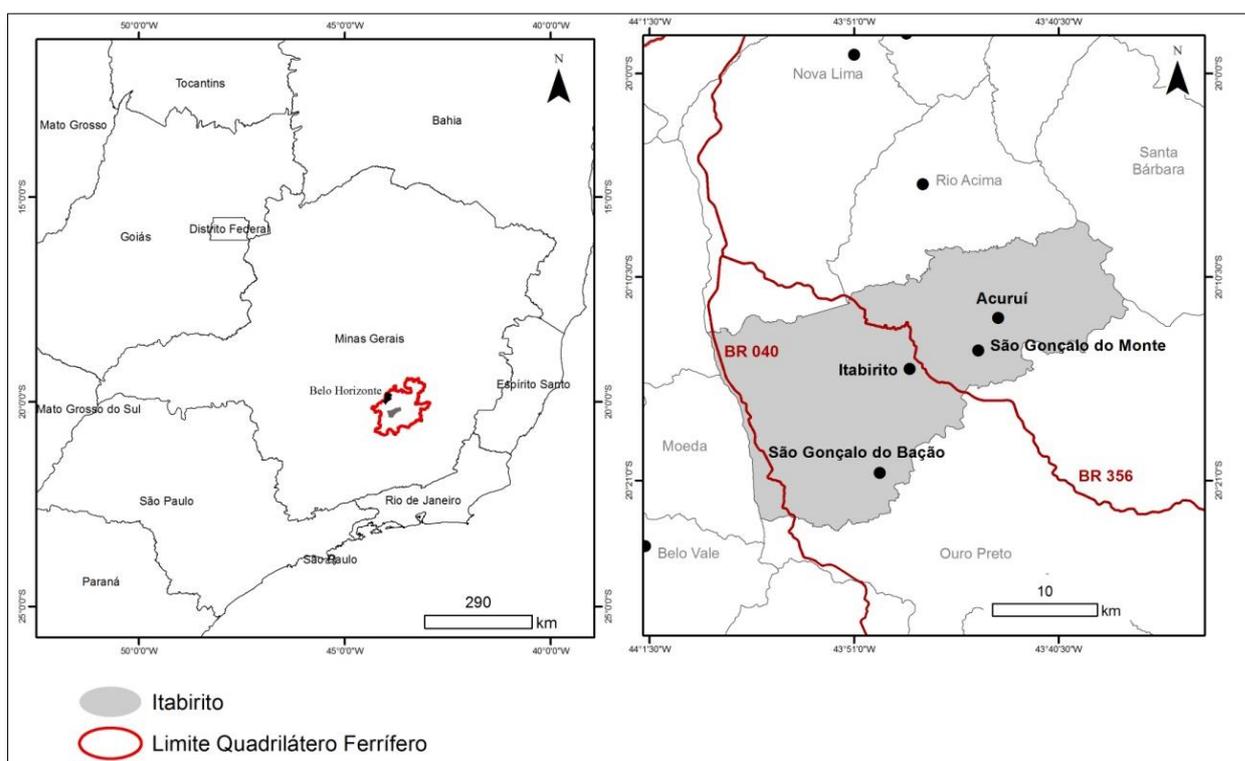
3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização

O município de Itabirito pertence à Mesorregião de Belo Horizonte e à microrregião de Ouro Preto. Além do distrito sede, possui mais três distritos, sendo eles: São Gonçalo do Monte, Acuruí e São Gonçalo do Baçõ (Mapa 1), e faz divisa com os municípios de Brumadinho, Moeda, Nova Lima, Ouro Preto, Santa Bárbara e Rio Acima.

A BR 356 (conhecida também como rodovia dos Inconfidentes) e BR 040 são consideradas eixos rodoviários radiais que passam por Belo Horizonte e cortam o município de Itabirito. A BR 040 atravessa o município de Itabirito na porção oeste em direção a Sul, acompanhando as feições da Serra da Moeda. A BR 356 corta o município no sentido noroeste sudeste e liga no sentido noroeste Itabirito com Belo Horizonte, e no sentido sudeste Itabirito com Ouro Preto e Mariana.

Mapa 1 - Mapa de Localização do Município de Itabirito – MG



3.2 Aspectos socioeconômicos

Com uma área de 542,609 km², Itabirito apresenta uma densidade demográfica de 83,76 hab/km² e população de 45.449 (IBGE, 2010), com estimativa para 2018 de 51.281 habitantes. Entre os anos de 1991 e 2000, sua população cresceu a uma taxa média anual de 1,87%, enquanto no Estado foi de 1,43% e no Brasil, de 1,63%, no mesmo período; na mesma década, a taxa de urbanização do município passou de 89,36% para 92,99%. Já entre 2000 e 2010, a população de Itabirito cresceu a uma taxa média anual de 1,83%, enquanto no País, foi de 1,17%, e a taxa de urbanização do município passou de 92,99% para 95,86% (IBGE, 2010). Pode-se observar nos dados da Tabela 1, que ao longo das décadas de 1990, 2000 e 2010, houve um declínio da população rural e aumento da população urbana, que se concentra no distrito sede.

Tabela 1 - População total e população rural/urbana nos anos de 1991, 2000 e 2010. Município de Itabirito - MG

População	População (1991)	População (2000)	População (2010)
População total	32.091	37.901	45.449
População urbana	28.678	35.245	43.566
População rural	3.413	2.656	1.883

Fonte: IBGE, 2010

Com relação ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), que mede o progresso de uma nação a partir de três dimensões: renda, saúde e educação, Itabirito apresentou o índice de 0,730, em 2010, o que o situa na faixa de Desenvolvimento Humano alto (IDHM entre 0,700 e 0,799), conforme dados do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro (2013), ocupando a 1021^a posição entre os 5.565 municípios brasileiros segundo o IDHM. A título de comparação, o município brasileiro que apresentou IDHM maior, com 0,862, foi São Caetano do Sul (São Paulo) e o menor, Melgaço (Pará), com 0,418. A dimensão que mais contribuiu para o IDHM de Itabirito foi a Longevidade, com índice de 0,828, seguida da Renda,

com índice de 0,737 e, por último, a Educação com índice de 0,638 (ÍNDICE de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro, 2013).

No que se refere à economia, a renda per capita média de Itabirito cresceu 117,22% nas últimas duas décadas, passando de R\$ 361,18, em 1991, para R\$ 500,41, em 2000, e depois, para R\$ 784,55, em 2010. Isso equivale a uma taxa de crescimento média anual nesse período de 4,17% (ÍNDICE de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro, 2013). A proporção de pessoas pobres, ou seja, com renda domiciliar per capita inferior a R\$ 140,00 (a preços de agosto de 2010), passou de 26,46%, em 1991, para 14,35%, em 2000, e para 3,08%, em 2010. A evolução da desigualdade de renda nesses dois períodos é evidenciada pelo Índice de Gini⁴, que demonstrou que o município passou de 0,49 em 1991, para 0,48 em 2000, e depois para 0,47, em 2010. Esses dados podem ser melhor visualizados na Tabela 2.

Tabela 2 - Renda, pobreza e desigualdade no Município de Itabirito – MG

	1991	2000	2010
Renda per capita	361,18	500,41	784,55
% de extremamente pobres	7,62	3,87	0,59
% de pobres	26,46	14,35	3,08
Índice de Gini	0,49	0,48	0,47

Fonte: ÍNDICE de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro, 2013

Ainda com relação aos dados da economia, utiliza-se o Valor Adicionado Bruto (VAB), que é o valor que cada setor da economia (agropecuária, indústria e serviços) acresce ao valor final de tudo que foi produzido em uma região, além do Produto Interno Bruto (PIB), ou seja, a soma dos VABs setoriais e dos impostos, sendo a principal medida

⁴ O Índice de Gini, criado pelo matemático italiano Conrado Gini, é um instrumento para medir o grau de concentração de renda em determinado grupo. Ele aponta a diferença entre os rendimentos dos mais pobres e dos mais ricos. Numericamente, varia de zero a um. O valor zero representa a situação de igualdade, ou seja, todos têm a mesma renda. O valor um está no extremo oposto, no qual uma só pessoa detém toda a riqueza (IPEA, 2004).

do tamanho total de uma economia. Itabirito produz 5,94% do total da riqueza geradas dentro da microrregião de Ouro Preto, possuindo um PIB de R\$2.660.342,93, cujo valor per capita é de R\$ 52.884,26. Conforme exposto na Tabela 3, a economia é baseada na indústria, sobretudo mineração, mas verifica-se que o setor de comércio e serviços vêm também ocupando papel de destaque (IBGE, 2010).

Tabela 3 - Atividades econômicas e valor adicionado bruto a preços correntes em Itabirito – MG

Atividade econômica	Valor adicionado bruto a preços correntes
Agropecuária	7.988,53 (x 1000) R\$
Indústria	1.355.659,14 (x 1000) R\$
Serviços	847.741,43 (x 1000) R\$
Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social	266.509,54 (x 1000) R\$

Fonte: IBGE, 2010

De acordo com Amorim Filho (2007), Itabirito é considerada na hierarquia urbana, um Centro Urbano Emergente, se situando no limite mais alto desta categoria, com perspectivas de se tornar uma Cidade Média nos próximos anos. Conforme o autor, Centros Emergentes são formados por cidades que se encontram na faixa transicional entre as cidades pequenas e as médias propriamente ditas. Quanto ao aspecto demográfico, os centros emergentes possuem menos de 50.000 habitantes na sede municipal (AMORIM FILHO, 2007), e de acordo com o autor, a economia dos municípios inclusos nesta categoria se encontra em fase de estruturação, podendo ainda apresentar desequilíbrios intersetoriais.

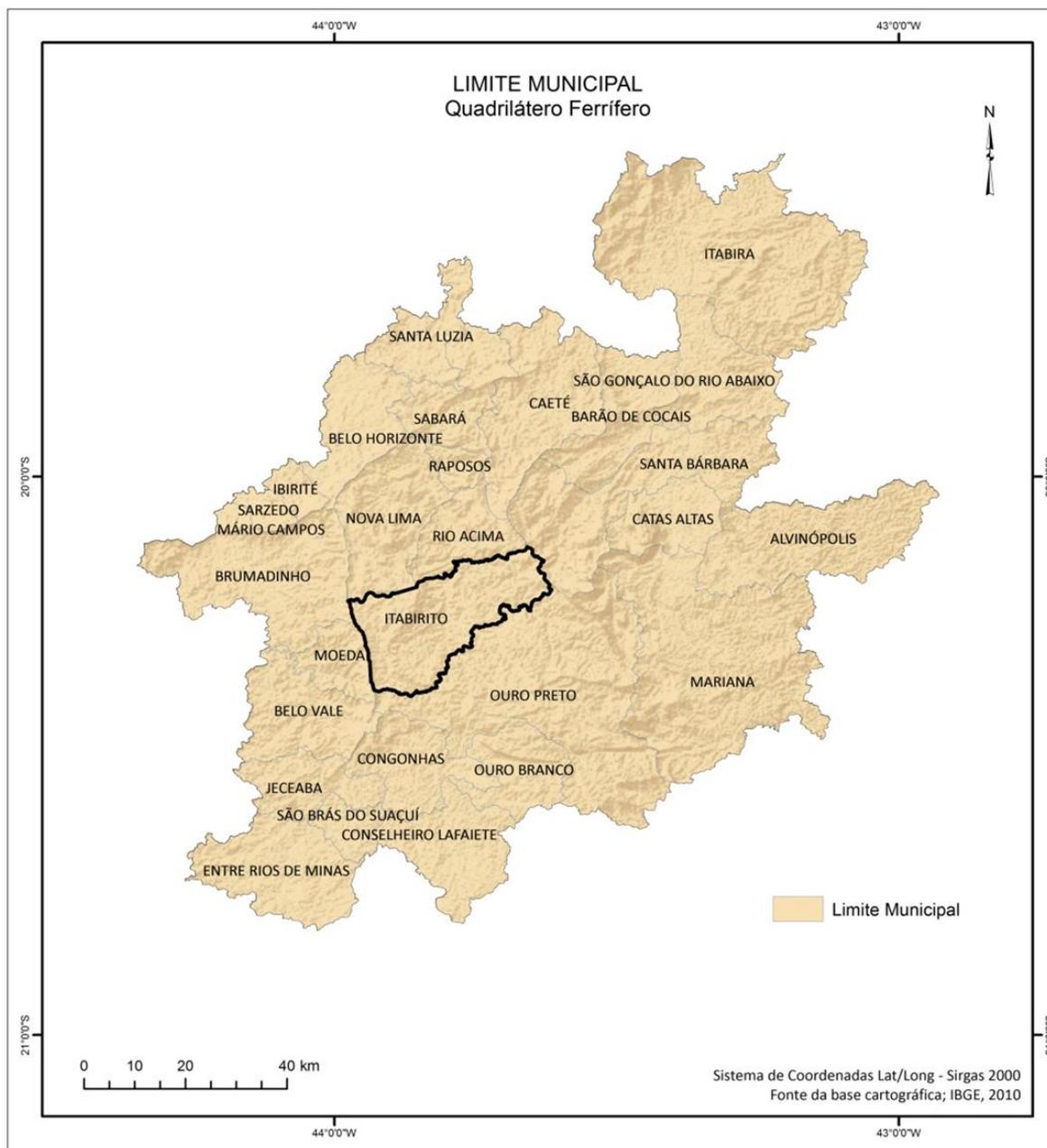
Tendo em vista sua simplicidade e comodidade, o critério de classificação baseado no tamanho demográfico tem sido o mais utilizado para identificar as cidades médias, pelo menos como primeira aproximação. Tal critério toma a população urbana como proxy do tamanho do mercado local, assim como um indicador para o nível de infraestrutura existente e grau de concentração das atividades. Desse ponto de vista, embora não haja um acordo absoluto quanto aos limiares demográficos, máximo e

mínimo que podem conter o conjunto das cidades médias, há, em cada período histórico, coincidentes patamares demográficos definidores desse conjunto de cidades nas mais variadas regiões do mundo (AMORIM FILHO, 2007). Na década de 1970, quando o problema da desconcentração espacial das atividades econômicas ocupava posição central nas agendas de políticas urbanas de diversos países, era possível identificar como limite demográfico inferior das cidades médias, populações entre 20 mil e 50 mil habitantes; já o limiar demográfico superior encontrava-se, em quase todos os países, entre 100 mil e 250 mil habitantes (AMORIM FILHO, 2007).

3.3 Contextualização regional do meio biofísico no qual o município de Itabirito está inserido

O município de Itabirito, por localizar-se na porção central do Quadrilátero Ferrífero (QF), sofre influência dos aspectos fisiográficos dessa região, que por sua vez, auxiliam na compreensão de especificidades das paisagens locais. Dessa forma, serão apresentadas as características regionais, considerando como recorte o limite municipal do QF (Mapa 2).

Mapa 2 - Limite municipal do Quadrilátero Ferrífero



Fonte: IBGE, 2010

3.3.1 Geologia

A descrição da geologia do QF teve início no século XIX através dos trabalhos de Eschwege (1818; 1821), Derby (1882), dentre outros. Durante o século XX, várias pesquisas foram desenvolvidas com vistas ao estabelecimento da coluna

estratigráfica da geologia da área, com contribuições de vários pesquisadores dentre eles, Harder e Chamberlin (1915) e a criação de um modelo da evolução geológica dos terrenos proposto por Dorr (1969), que serviu de base para vários estudos sobre o QF.

Sob a perspectiva geotectônica, o QF está inserido no limite meridional do Cráton São Francisco, de idade arqueana, e que foi retrabalhada durante o Ciclo Brasileiro (ALMEIDA, 1977). Consiste em uma das mais significativas províncias minerais do Brasil, contemplando as macro-unidades litoestratigráficas (Mapa 3) seguintes:

1) Complexo Metamórfico, que contém o embasamento cristalino constituído pelas rochas mais antigas do QF, com terrenos arqueanos com idades que variam entre 3,28 e 2,61 bilhões de anos (MACHADO; CARNEIRO, 1992).

2) Sequência metavulcanosedimentar do tipo greenstone belt, representada pelo Supergrupo Rio das Velhas, com idade aproximada entre 2,7 e 2,8 bilhões de anos e que se encontram sobrepostas em discordância com o embasamento cristalino (MACHADO; CARNEIRO, 1992). Subdivide-se em dois grupos, Nova Lima e Maquiné (DORR, 1969).

3) Sequências plataformais do Paleoproterozóico que correspondem ao Supergrupo Minas, sotoposto aos Grupos Sabará e Itacolomi. Recobrem-nas, em áreas restritas, as coberturas sedimentares mais recentes, Terciárias, das Bacias do Gandarela, Fonseca e Gongo Soco (DORR, 1969). O Supergrupo Minas é formado por metassedimentos plataformais do Proterozóico Inferior, apresentando idades que variam entre 2,5 e 1,8 bilhões de anos. A partir da gênese do material de origem, sedimentos clásticos ou químicos, o Supergrupo Minas pode ser subdividido da base para o topo em quatro grupos: Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará (ALKMIM; MARSHAK, 1998).

chuvas orográficas que geram concentrações isoladas com elevados índices pluviométricos, como exemplo, na região de Ouro Preto, que apresenta regime super úmido com aproximadamente 1800 a 2800 mm anuais (BEZERRA, 2014).

3.3.3 Geomorfologia

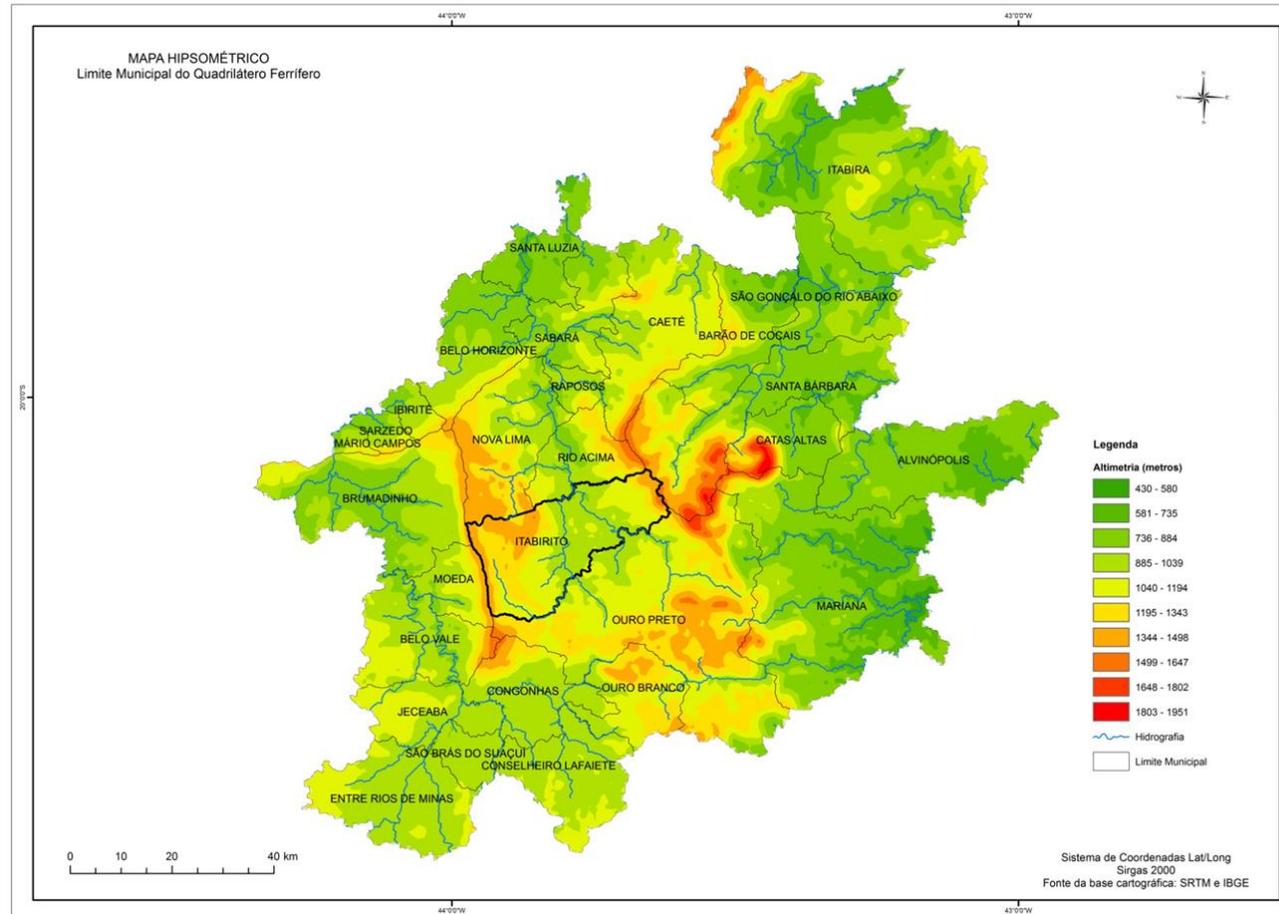
O QF ocupa uma área de aproximadamente 7.000 km² e apresenta um dos conjuntos orográficos mais importantes do estado de Minas Gerais. Constitui um prolongamento fisiográfico da Serra do Espinhaço, formando uma complexa cadeia dobrada nas quais camadas de quartzitos e itabiritos conformam um sistema quadrado de cristas localizados em cotas altimétricas mais elevadas em relação às depressões alveolares, abertas nos granitos, xistos, filitos e gnaisses (VARAJÃO, 1991). Estas cristas, que compõem as porções mais altas do relevo, configuram um conjunto de serras e superfícies erosivas soerguidas com um formato próximo ao quadrangular, circundando as terras de altitudes mais baixas por onde corre o Rio das Velhas, que constitui o nível de base da porção central do QF. Apresenta forte condicionamento litoestrutural, com uma sucessão de sinclinais suspensos e anticlinais escavados.

O QF possui um mosaico de seis províncias geomorfológicas (Mapa 4), sendo elas a Serra do Caraça, Sinclinal Moeda, Serra de Ouro Branco, Serra do Curral, Complexo do Bação e Sinclinal Gandarela (VARAJÃO, 1991). A Serra do Caraça possui as maiores altitudes do QF, chegando a atingir, aproximadamente, 2000 metros e compreende uma sucessão de sinclinais e anticlinais que, por ação da tectônica e falhamentos, transformou-se em um complexo de blocos imbricados.

A Serra do Curral, de acordo com Endo et al. (1991) consiste em uma megaestrutura de direção NE-SW, com aproximadamente 100 km, apresentando altitude média de 1200 m, com picos de até 1780 metros. O Sinclinal Moeda estende-se em direção N-S, apresentando altitude média aproximada de 1300 metros com variações nas cotas que diminuem em direção ao interior do sinclinal e se elevam posteriormente em direção ao Pico de Itabirito. Limite sul do QF, a Serra de Ouro Branco constitui uma

superfície estrutural do reverso do anticlinal escavado de São Bartolomeu. Localizado na porção central do QF, o Complexo do Bação, caracteriza-se por apresentar colinas arredondadas, vales encaixados e trechos abertos, com dissecação condicionada pelo intemperismo das rochas do embasamento cristalino. O Sinclinal Gandarela situa-se na porção NE do QF, apresentando altitudes entre 1100 a 1400 metros, com picos de 1580 metros.

Mapa 4 - Mapa Hipsométrico do Quadrilátero Ferrífero, considerando como limite, os municípios contidos na região



Fonte: SRTM, resolução 30 metros

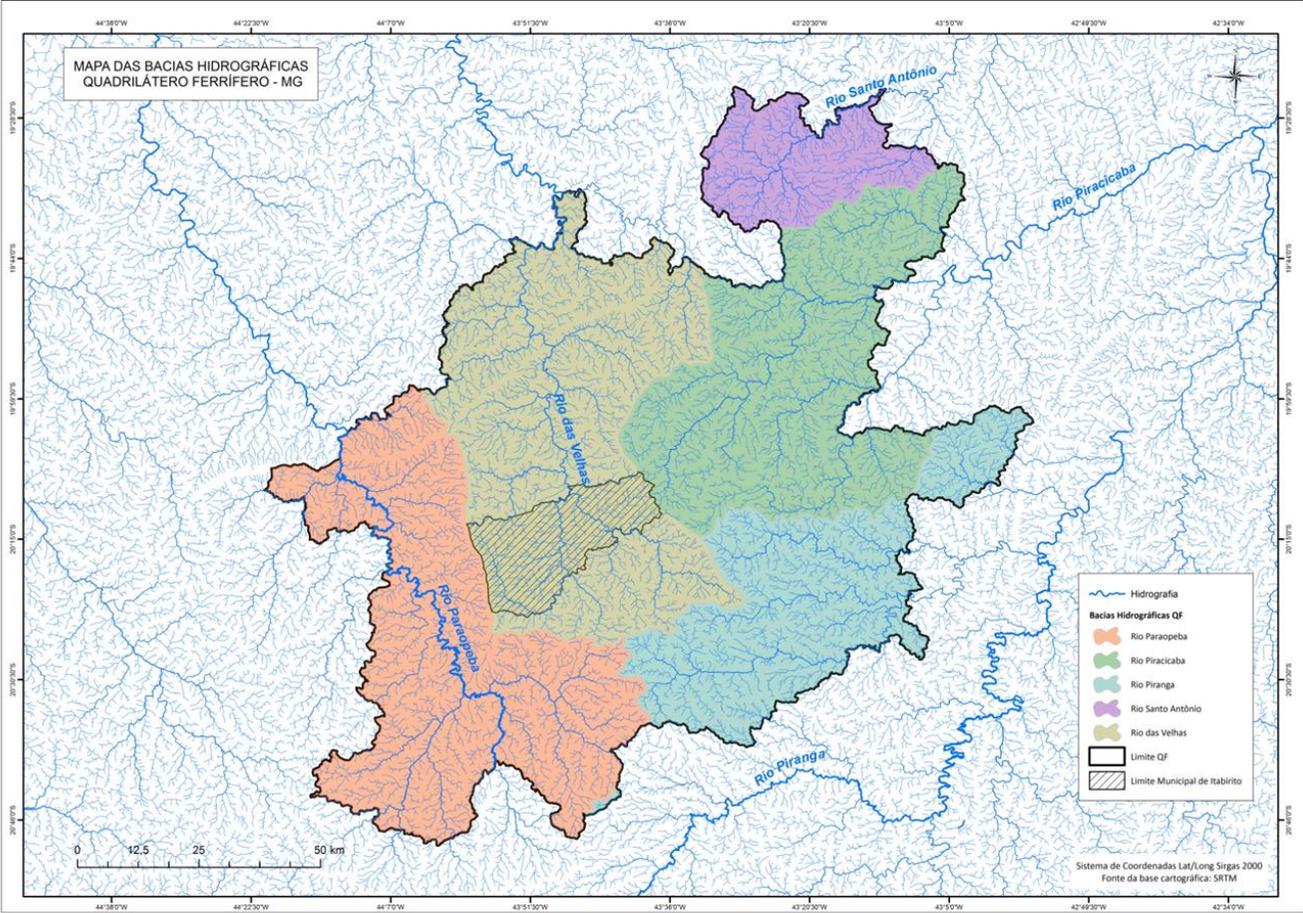
3.3.4 Hidrografia

O QF conta com duas bacias hidrográficas principais: São Francisco e Rio Doce (Mapa 5) A primeira é formada pelas bacias dos Rios das Velhas e Paraopeba e a segunda, pelas bacias dos Rios Piracicaba, Piranga e Santo Antônio (Mapa 5). A drenagem dessas bacias é bastante influenciada pela estrutura das rochas, sendo possível observar vales encaixados e profundos e trechos encachoeirados, sobretudo na região da bacia do Rio das Velhas, onde as diferenças de níveis no relevo são mais comuns. Destacam-se como principais divisores de água a Serra da Moeda a oeste, que divide as bacias do rio das Velhas e Paraopeba, e as serras do Caraça e Antônio Pereira, divisor das bacias dos rios das Velhas e Piracicaba.

Em Itabirito, a principal bacia hidrográfica é a do Rio Itabirito (Mapa 6), que abrange totalmente o município e parcialmente os municípios de Ouro Preto e Rio Acima. Um dos principais afluentes da margem esquerda do Rio das Velhas, tem suas nascentes localizadas na porção noroeste da bacia, nas cotas entre 1460 e 1520 m. O Rio Itabirito é formado pela confluência do Ribeirão Mata Porcos com o ribeirão Sardinha; o Mata Porcos nasce da confluência do córrego da Cruz com o ribeirão do Silva e drena parte do sinclinal Moeda, onde se localizam grandes atividades minerárias e ocupações antrópicas do tipo loteamentos. Também representa uma das divisas entre os municípios de Itabirito e Ouro Preto, e seu canal percorre aproximadamente 33,5 km até o encontro com o ribeirão Sardinha que nasce no município de Ouro Preto.

Destacam-se no município, outras bacias menores como as do córrego Carioca e córrego Bação (Mapa 6), que possuem relevante importância para o município, pois são utilizadas para o abastecimento da sede municipal e dos distritos da região, mas nas quais ocorrem muitos processos erosivos, como ravinas e voçorocas.

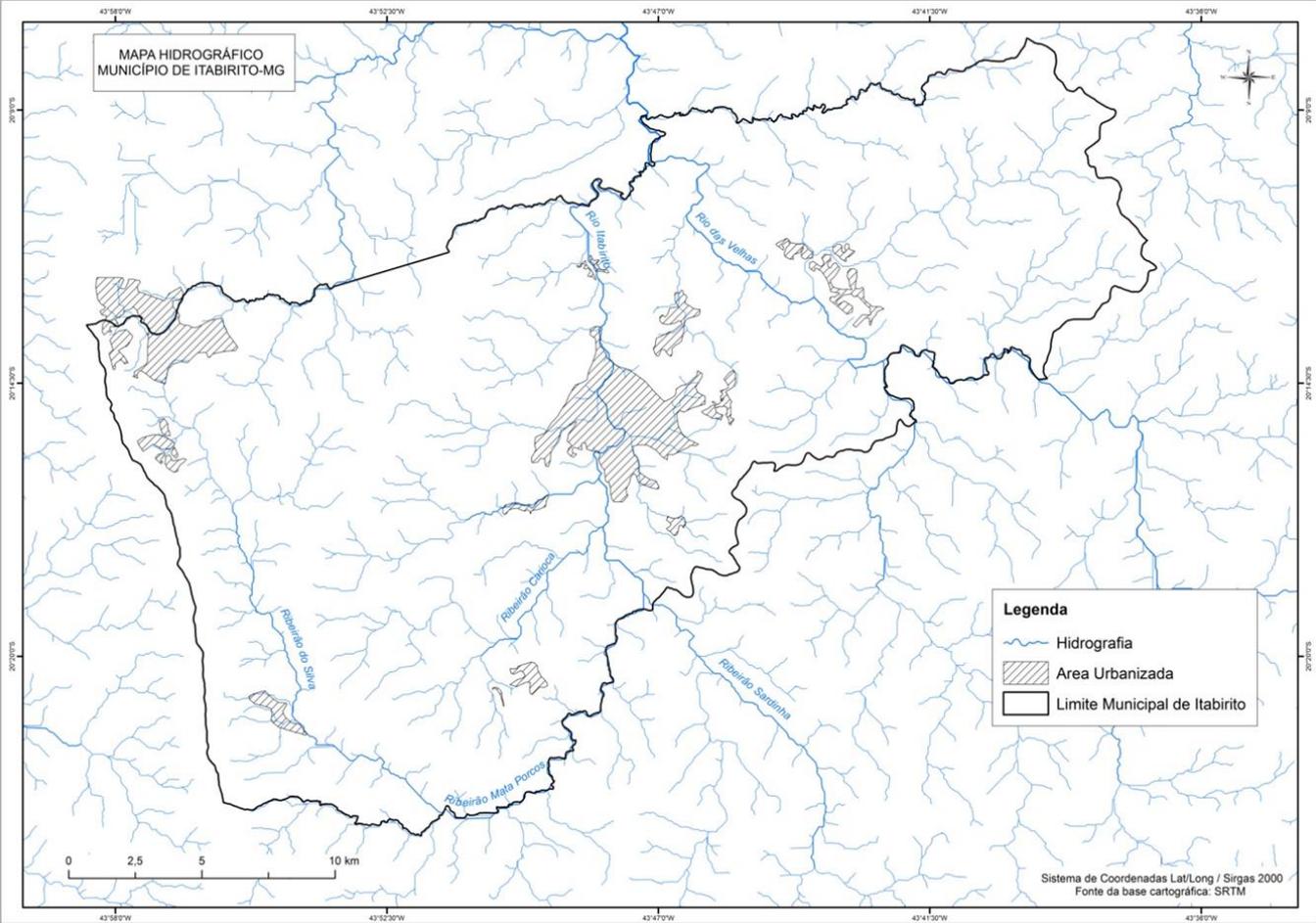
Mapa 5 - Mapa das bacias hidrográficas do Quadrilátero Ferrífero



Fonte: IGAM, 2009.

As principais atividades identificadas na bacia do rio Itabirito, como as agrosilvopastoris, mineração, extração de areia bem como a ocupação antrópica e a presença de vários processos erosivos acelerados, configuram potenciais pressões para os cursos de água da bacia, modificando suas características físicas, químicas e biológicas e, por consequência, sua qualidade.

Mapa 6 - Mapa hidrográfico do município de Itabirito – MG



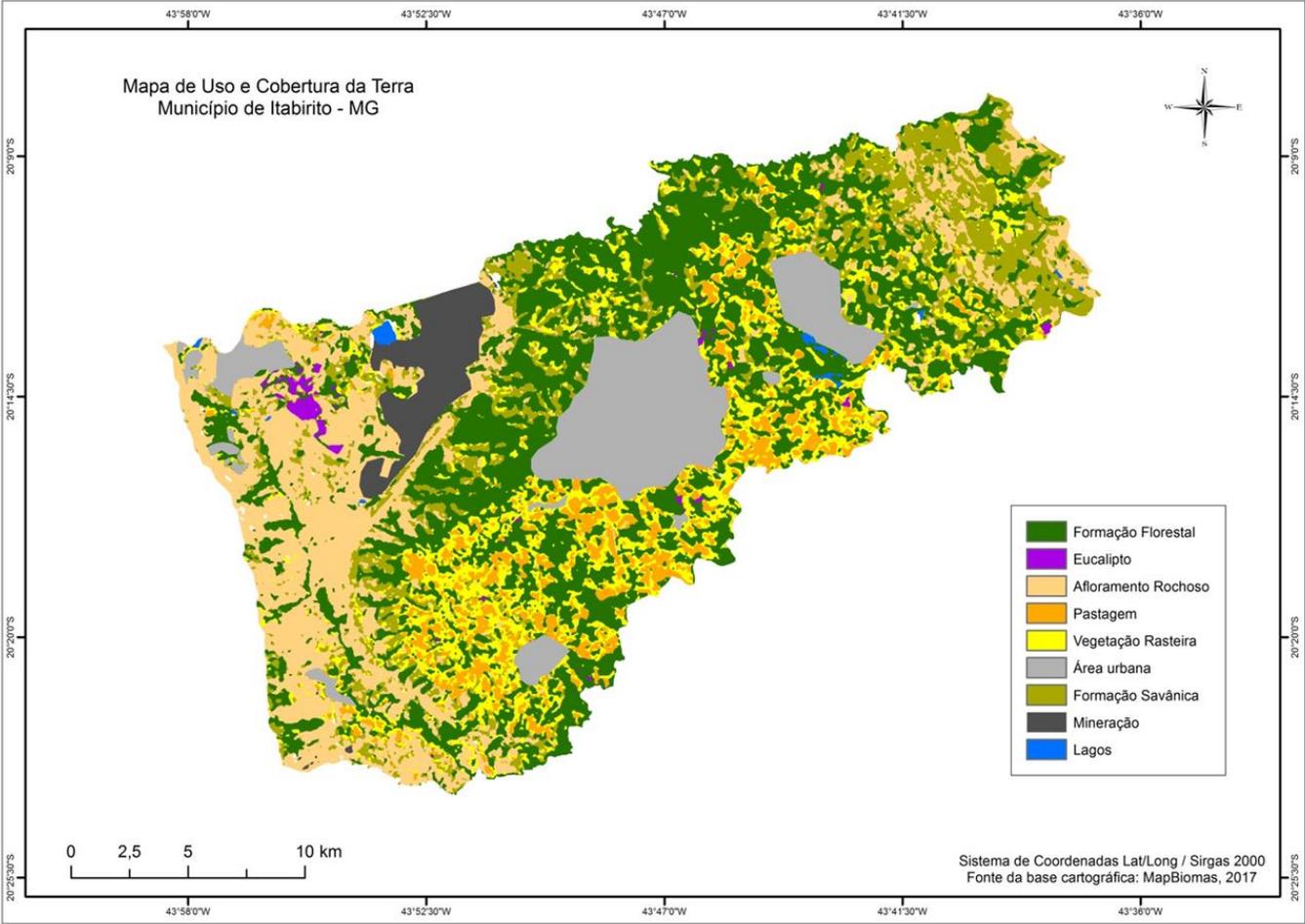
Fonte: IBGE, 1975

3.3.5 Uso e cobertura da terra

De acordo com Radambrasil (1983), ocorrem dois grandes tipos predominantes de vegetação no QF, sendo elas a Floresta Estacional Semidecidual e a áreas de transição desta para o Cerrado (l.s.). Silva (2007), ao abordar a cobertura vegetal do QF uma escala de maior detalhe, identifica outros tipos de vegetação de fisionomia campestre, sendo elas, os campos cerrados nas áreas de média vertente e os campos rupestres sobre os afloramentos rochosos e campos ferruginosos.

A cobertura vegetal do município de Itabirito se apresenta, de maneira geral, em bom estado de conservação, uma vez que ainda são frequentes grandes fragmentos relativamente agregados de várias formações vegetais, nas quais se destacam a floresta estacional semidecidual, o cerrado e suas diversas fitofisionomias, além das áreas de transição entre estas (Mapa 7). Outros tipos de fitofisionomias ainda são encontrados na área, em função da influência da geologia e da altitude, tais como, campos cerrados nas áreas de média vertente e campos rupestres sobre os afloramentos rochosos, sendo também encontrados campos ferruginosos, mas que devido à resolução da imagem utilizada não foi possível serem espacializados. O município conta também com uma extensa área protegida por unidades de conservação, embora ocorra grande área degradada pela mineração (Mapa 7).

Mapa 7 - Mapa de uso e cobertura da terra



Fonte: MAPBIOMAS, 2017.

4. MÉTODOS E TÉCNICAS

Os métodos e técnicas utilizadas na realização deste trabalho envolveram diversas etapas, nas quais foram utilizadas diferentes fontes de informação, trabalhos de campo, bem como diversos instrumentos, descritos a seguir.

4.1 Levantamentos bibliográfico e cartográfico

Para fins de produção e evolução do conhecimento científico, a etapa de levantamento e análise do material bibliográfico torna-se indispensável para a fundamentação da pesquisa. Nesse sentido, diversos autores foram pesquisados com destaque para Hack (1957), Augustin (1979), Moura (2007), McHarg (1969), Burrough (1986), Bathrellos (2007), Cooke (1976), Urban (2002), Sampaio e Augustin (2014), dentre outros. Foram levantados também dados referentes à legislação pertinente ao tema da pesquisa, tais como Constituição Federal (BRASIL, 1988), Estatuto das Cidade, Lei nº 10.257, Plano Diretor Municipal de Itabirito (ITABIRITO, 2005; 2008), além de teses, dissertações, artigos científicos e dados referentes ao último censo do IBGE (2010).

Os dados cartográficos levantados na pesquisa foram: 1- Carta topográfica do IBGE folha Itabirito SF-23-X-A-III-3, na escala de 1: 50.000, em formato vetorial, de onde foram extraídas as informações de topografia e hidrografia; 2- Mapeamento geológico na escala 1:50.000 da CODEMIG, em formato vetorial; 3- Imagens do satélite *Landsat* 5 e 8 (resolução espacial de 30 metros); 4- Modelo Digital de Elevação – MDE - obtido pelo sítio do *United States Geological Survey* (USGS), com resolução espacial de 30 metros.

4.1.1 Trabalho de campo para reconhecimento da área e validação dos dados produzidos pela pesquisa

Os trabalhos de campo foram realizados ao longo de toda a pesquisa, tanto na etapa inicial de reconhecimento da área de estudo, quanto para levantamento dos dados e posteriormente, validação das análises realizadas.

4.1.2 Elaboração de mapas que subsidiaram as análises geomorfológicas do município

Mapa das Unidades Geomorfológicas

Para a elaboração dos mapas dos Domínios Geomorfológicos, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM, NASA) com resolução espacial de 30 metros, através do software *Arcgis 10.3*, além de investigações em campo e interpretação do relevo, tendo como instrumento de apoio a hipsometria, declividade e análise de perfis longitudinais. O levantamento foi realizado na escala de 1:50.000, a partir de visitas a campo e interpretação do relevo que permitiram a identificação de cinco grandes estruturas da paisagem física, que compõem a área de estudo.

Mapa do índice de Hack

O mapa do índice de Hack foi elaborado através das ferramentas *Knickpoint Finder* desenvolvidas por Salamuni et al. (2013), que identifica pontos que sinalizam rupturas no terreno, e foi, portanto, utilizado na busca de anomalias de relevo em drenagem. Esta identificação foi realizada no Modelo Digital de Elevação (MDE) *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM, NASA) com resolução espacial de 30 metros. O algoritmo *River Merge* também desenvolvido por Salamuni et al. (2013) foi utilizado para unificar segmentos de drenagem. O software *Arcgis 10.3* foi aplicado para o sistema de unificação das informações e plataforma de funcionamento do *Knickpoint Finder*.

O índice de Hack consiste em um parâmetro expressivo do ponto de vista quantitativo, pois indica a potência do fluxo de água/rio para carrear material de dada granulometria

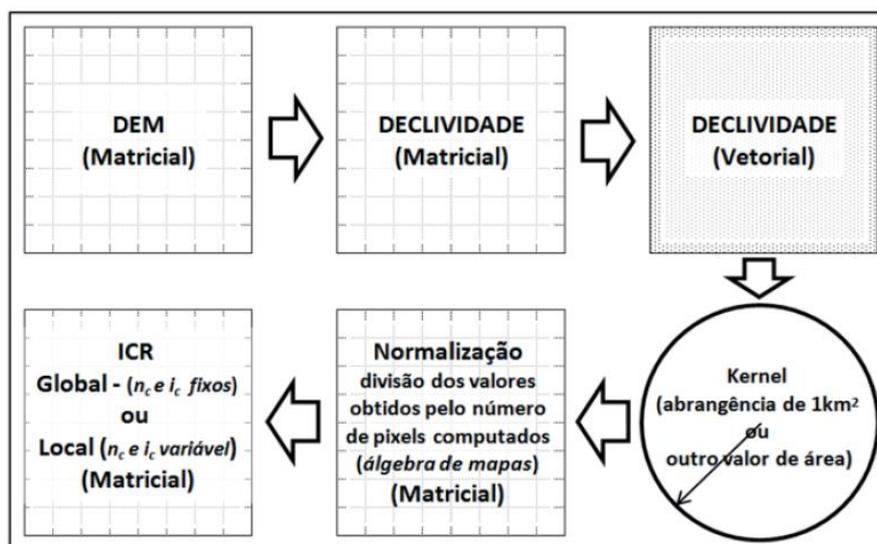
(competência dos fluxos) e as características do canal. Espera-se que o perfil longitudinal apresente declividades maiores em direção à montante e com valores menores para jusante (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Mapa do Índice de Concentração da Rugosidade – ICR

O ICR tem por objetivo “quantificar e classificar as unidades de relevo tendo por base a distribuição espacial da declividade”, através da “compartimentação e quantificação do relevo a partir da análise dos padrões de distribuição espacial da declividade” (SAMPAIO; AUGUSTIN, 2014, p. 52). Através deste índice foi possível obter o padrão dos valores de declividade da área de estudo, em unidades espaciais contínuas e com características análogas. O tipo de variabilidade dos valores altimétricos que caracterizam uma vertente ou segmento de vertente quanto a sua declividade e quanto ao padrão de dissecação, é traduzido no ICR, como um padrão espacial regional (escala de análise regional), indicando a variação dos valores de declividade por unidade de área.

O roteiro metodológico consistiu na transformação do modelo digital de elevação (MDE) (SRTM) em valores de declividade calculados em porcentagem. Após este processo, as declividades foram convertidas para o formato de pontos (vetorial) e seus valores foram armazenados como atributos. A partir daí, foi aplicado o Estimador de Densidade de *Kernel*, sendo adotado o raio de 500 metros, que forneceu dois parâmetros: área de análise e campo de atributos. Para a elaboração do ICR se empregou como atributo, os valores de declividade, resultando em um novo arquivo matricial no qual cada pixel apresentou a soma dos valores de declividade de todos os pixels com distância inferior ao raio definido (500 metros). Portanto, o ICR corresponde à soma dos valores de declividade dos pontos existentes dentro de uma determinada área (rugosidade do relevo), sendo condicionado pela quantidade de pontos computados, o que varia em função da resolução espacial do DEM (SAMPAIO; AUGUSTIN, 2014). As etapas estão sintetizadas na Figura 1.

Figura 1 - Representação das etapas para obtenção do ICR com área de abrangência, número e intervalo de classes pré-definidos e com área, número e intervalo de classes livres



Fonte: SAMPAIO; AUGUSTIN, 2014.

Foram considerados os mesmos intervalos para unidades de relevo, utilizados pelos autores supracitados, sendo: plano: valores de ICR abaixo de 2,5; suavemente ondulado – valores ICR de 2,5 a 6; ondulado – valores ICR de 6 a 14; fortemente ondulado – valores ICR de 14 a 30; escarpado – valores ICR de 30 a 45; fortemente escarpado – valores ICR acima de 45.

Mapa das Unidades Geológicas/Geotécnicas

O Mapa Geológico/Geotécnico foi elaborado com base no mapeamento produzido por Parizzi et al. (2011), para o Plano Diretor Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte (PDDI), bem como as notas relativas à resistência das rochas.

Mapa de densidade de voçorocas

O Mapa de densidade das voçorocas foi elaborado através de identificação das feições por imagem do *Google Earth*, acessadas em março de 2018 e vetorizadas no

software *Arcgis 10.3*. Após este processo, foi aplicado o estimador de *Kernel* cujo raio considerado foi de 1 km a partir da borda das voçorocas mapeadas.

4.2 Aplicação de técnicas de multicritérios na indicação de áreas potenciais para ocupação urbana a partir de variáveis geomorfológicas

Baseada na álgebra de mapas, a análise de multicritérios seleciona as principais variáveis que representam um recorte da realidade, de forma numérica para posteriormente serem integradas. Na presente pesquisa, a integração foi realizada de duas formas: Pesos de Evidência (*Weighted Sum*) e a Análise Combinatória (*Combinatorial Analysis*). As variáveis utilizadas em ambas foram Unidades Geomorfológicas, Unidades Geológicas/Geotécnicas, Índice de Hack, Índice de Concentração da Rugosidade e Densidade de Voçorocas. Os procedimentos metodológicos estão descritos a seguir.

4.2.1 Pesos de Evidências

O procedimento para Pesos de Evidências é baseado no mapeamento das variáveis consideradas por planos de informação na definição do grau de pertinência de cada um bem como de seus componentes de legenda, cuja matemática utilizada foi a Média Ponderada. Conforme Bonham-Carter (1994), para atribuir os pesos no método de Pesos de Evidência podem ser adotados diversos procedimentos baseados em análise da realidade existente (*data-driven*) ou por consulta a especialistas (*knowledge-driven*).

O método utilizado nesta pesquisa foi o Delphi baseado em *Knowledge-driven*, desenvolvido por Dalkey e Helmer (1963) com o intuito de compreender como as variáveis interagem entre si para a elaboração do Índice final. Este método baseia-se na escolha de um grupo multidisciplinar de especialistas que conheça bem o fenômeno. A seleção dos participantes foi essencial para a construção do resultado final, uma vez que foram escolhidos participantes tendo como critério, suas experiências profissionais e/ou acadêmicas, sempre levando em consideração

conhecimentos ligados à Geomorfologia e à questão ambiental. O grupo participante foi formado majoritariamente por geógrafos, seguido de geólogos que atuam nas áreas de geologia urbana e geotecnia e ordenamento territorial. Do total dos participantes, nove deles eram acadêmicos e oito, profissionais do mercado, totalizando 17 profissionais. Com base nas respostas, foi montada a tabela com a média das opiniões sobre os pesos e as notas entre as variáveis e os componentes de legenda de cada variável. A esses especialistas, foi solicitada a hierarquização das variáveis (ou planos de informação) em ordem de importância para a manifestação ou ocorrência de fenômeno estudado.

Foi necessário no processo, que cada variável fosse apresentada segundo suas características principais, entendidas como componentes de legenda. O primeiro passo, uma vez obtidos os mapas, foi classificar os componentes da legenda de acordo com o grau de pertinência daquela tipologia para os objetivos de análise, no qual foi estipulado valores normalizados de 0 a 10. O zero foi considerado a pior condição para o uso urbano e 10 a condição ideal. Isto significa que foi obrigatório fazer a normalização das variáveis, tendo em vista que cada uma delas apresentou uma escala de valores específicos que, para serem combinados, precisaram ser trabalhadas de forma relativa e não como valores absolutos, segundo a indicação de adequabilidade à ocupação urbana (MOURA; JANKOWSKI, 2016).

As variáveis, as quais foram atribuídas notas aos componentes de legenda, foram as Unidades Geomorfológicas e as Unidades Geológicas/Geotécnicas. Assim, tanto as Unidades Geomorfológicas, identificadas na fase dos mapeamentos e através de perfis transversais, quanto às unidades Geológicas/Geotécnicas, foram classificadas em notas de 0 a 10, segundo a lógica de que quanto maior a nota maior o potencial para ocupação tendo como base as unidades do relevo, identificadas anteriormente.

A classificação dos componentes da legenda referentes às unidades Geológicas/Geotécnicas corresponde aos valores relacionados ao aspecto de litologia/resistência das rochas com notas que variam de 0 a 10 (Tabela 5), no qual a

maior nota possui, segundo Parizzi et al. (2011), o maior potencial quanto à suscetibilidade ao intemperismo/erosão/movimentos de massa.

A fim de adequar as variáveis para realizar a integração, cada uma delas foi processada, normalizando (N) os valores numéricos na escala de 0 a 1, conforme a fórmula a seguir:

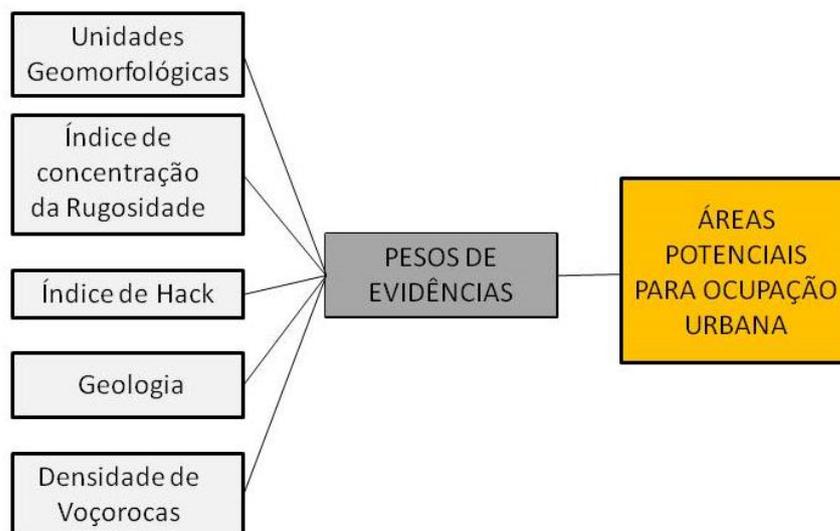
$$N = (M_{ij} - \text{menor valor}) * 1 / (\text{maior valor} - \text{menor valor})$$

Assim, os valores próximos a 1 representam alto potencial de ocupação e os valores próximos a 0 representam baixo potencial. Em seguida, foi feita a definição da importância de cada variável no contexto da combinação do conjunto de variáveis. Isto implicou na adoção do modelo de Análise de Multicritérios por Pesos de Evidências, no qual foi hierarquizado o conjunto de fatores envolvidos, de modo que a eles fossem associados valores em percentuais de importância cuja soma foi 100% (ROCHA; CASAGRANDE; MOURA, 2018).

Para a integração das variáveis foi considerado o valor de cada componente de cada variável ou tema da legenda. Na etapa 1, estes foram normalizados de 0 a 1, segundo a adequabilidade à ocupação urbana, multiplicado pelo peso de cada variável no conjunto de variáveis; na etapa 2, foi realizada a definição dos pesos relativos, cujo somatório foi de 100%. O processo, portanto, foi uma Álgebra de Mapas, com o emprego da média ponderada das variáveis (MALCZEWSKI, 2000; 2006), que no caso da área de estudo são: Índice de concentração da Rugosidade, índice de Hack, Unidades Geológicas/Geotécnicas, Densidade de Voçorocas, e Unidades Geomorfológicas.

Uma vez compostos todos os mapas parciais, tendo suas unidades classificadas segundo o grau de pertinência ao presente estudo e decididas a importância relativa de cada variável, foi conduzido o processo de composição final, o qual pode ser resumido segundo as seguintes etapas de trabalho (Figura 2).

Figura 2 - Integração das variáveis consideradas na análise por Pesos de Evidências



4.2.2 Análise Combinatória

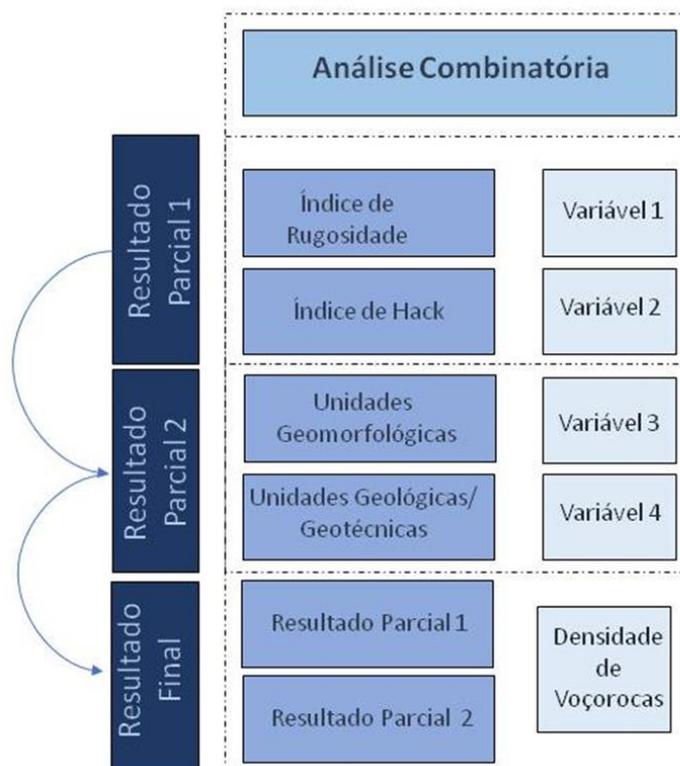
Na Análise Combinatória foram realizados julgamentos par a par das variáveis selecionadas, o que, conforme Rocha; Casagrande e Moura (2018), permite maior domínio do significado de cada variável na análise, bem como da influência da combinação destas com as demais variáveis nos resultados parciais, de forma sucessiva. À medida que foram acrescentadas variáveis ao processo, chegou-se à análise final, que foi resultado da combinação com a última variável. O estudo ocorreu de forma gradual à medida que o processo foi julgado, e assim foram sendo propostas novas combinações. Portanto, o mapa resultante apresentou valores de acordo com as decisões da autora.

No presente estudo, o esquema lógico foi elaborado através da soma dos valores atribuídos a cada variável: unidades Geológicas/Geotécnicas, unidades Geomorfológicas, Índice de Hack, Índice de Concentração da Rugosidade e densidade de voçorocas. À variável Índice de Hack, foi integrado o Índice de Concentração da Rugosidade tendo em vista que ambos são parâmetros morfométricos; da mesma maneira, integrou-se as unidades Geomorfológicas com unidades Geológicas/Geotécnicas, que são variáveis físicas.

Salienta-se que os valores indicados nas tabelas não possuem relação, ou seja, não são quantitativos, nem possuem valor de julgamento. Referem-se a valores atribuídos apenas para permitir a separação dos componentes de legenda das respectivas variáveis, tendo a função de as tornarem seletivas ou nominais. Para exemplificar, nos componentes de legenda do Índice de Hack que varia de muito baixo para muito alto, foram atribuídos valores que possuem a função apenas de tornar cada um seletivo; o mesmo vale para os componentes de legenda do Índice de Rugosidade, unidades Geomorfológicas e unidades Geológicas/Geotécnicas.

Através das duas primeiras integrações: Índice de Hack com Índice de Concentração da Rugosidade e das Unidades Geomorfológicas com Geologia/Geotecnia foram obtidos os primeiros resultados da análise, que serviram de base para o resultado final. A partir do produto das duas integrações foi realizada uma nova integração, dessa vez com a variável densidade de voçorocas (Figura 3). Esta foi considerada separadamente, devido à grande concentração deste processo no município.

Figura 3 - Diagrama da integração das variáveis



4.2.3 Análise do processo de formação do município de Itabirito e dos atuais vetores de crescimento da mancha urbana

Esta análise foi obtida através da elaboração dos mapas de evolução da mancha urbana a partir de imagens *Landsat* com resolução espacial de 30 metros nos anos 1980, 1990, 2000, 2010 e 2016, realizada por vetorização manual das manchas urbanas

4.2.4 Análise do Plano Diretor do ponto de vista do atendimento dos aspectos ambientais do município

Feita através dos mapas disponibilizados no Plano Diretor (ITABIRITO, 2005; 2008) bem como a legislação ambiental.

5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

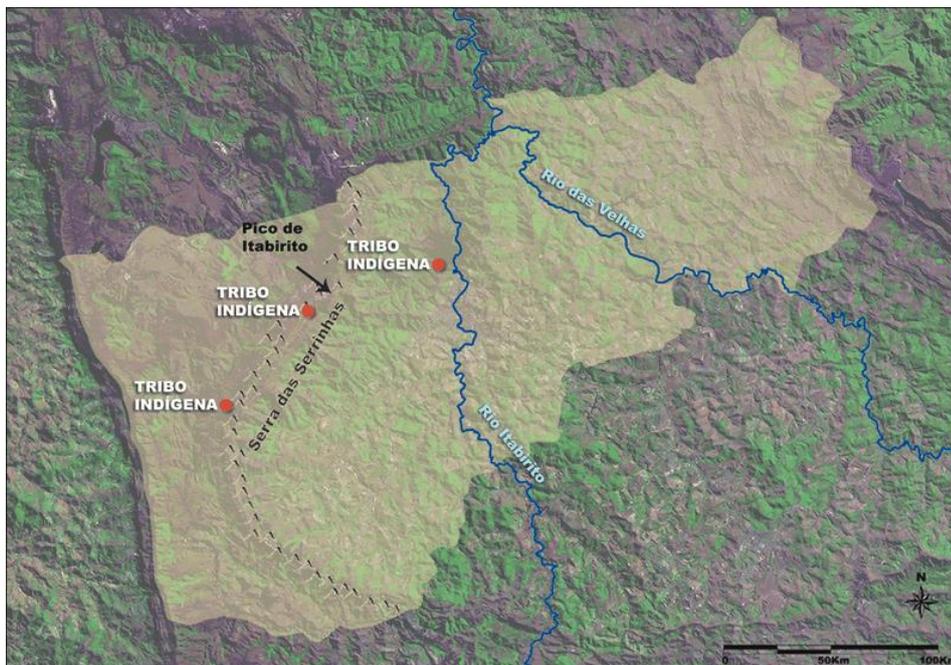
Para compreensão da atual configuração de uso e ocupação da terra no município de Itabirito, se fez necessário compreender os aspectos históricos e norteadores desse processo, descritos a seguir.

5.1 Histórico de formação do território de Itabirito

O termo Itabira significa pedra ou rocha brilhante ou empinada (ita – pedra, rocha, metal; Byra – erguer-se, levantar-se), coexistindo com o termo mais antigo, denominado Itaubira do século XVIII (MOURA, 2007).

A região onde, hoje, encontra-se instalado o distrito sede de Itabirito era habitada por diferentes etnias indígenas (Figura 4), cuja referência mais antiga indica ocupação no terreno da Usina Boa Esperança no final do século XIX (MOURA, 2007). Outros vestígios foram encontrados próximos a uma caverna formada na canga, localizada nos arredores do Pico do Itabirito, o que reforça a importância arqueológica da região (BAETA, 1973).

Figura 4 - Localização das tribos indígenas no território de Itabirito no século XVI



Fonte: http://www.arq.ufmg.br/nehcit/itabirito/evolucao_urbana.php

A formação de Itabirito remonta ao século XVI, quando a corte portuguesa recebeu relatos dos bandeirantes que no Brasil havia várias ocorrências de ouro nas proximidades do Rio das Velhas, região denominada inicialmente como “minas de São Paulo” (RUSSELL-WOOD, 1999 v.2). A consolidação dos pequenos povoados em Minas Gerais, que antes ocorriam sob a forma de ocupações provisórias, se deu, dentre outros fatores, ao caráter prolongado da exploração aurífera, justificado pela abundância de ouro na região (CLIMACO, 2011). Os pequenos núcleos urbanos receberam então a denominação de “Arraial”, termo empregado para caracterizar povoados organizados ao redor ou nas proximidades das lavras de ouro (CLIMACO, 2011).

De acordo com Códice, Figueiredo e Campos (1999) os primeiros povoamentos constituídos por colonos na região de Itabirito, ocorreram entre os anos de 1699 e 1701, decorrentes da migração dos mineradores e comerciantes vindos do Vale do Tripuí (Ouro Preto) para a região do Rio das Velhas a procura de alternativas de terras mais férteis, uma vez que no Vale do Tripuí ocorria o desabastecimento de alimentos

(Figura 4). Esse fluxo de viajantes determinou um caminho muito utilizado na primeira metade do século XVIII, hoje conhecido como Estrada Real (MOURA, 2007). De acordo com Lima Junior (1965) foi atribuído ao português Luiz de Figueiredo Monterroio, no ano de 1752, a fundação do Arraial de Nossa Senhora da Boa Viagem da Itaubira (Itabirito).

Segundo Climaco (2011) o eixo norteador da formação do Arraial de Itaubira foi demarcado pela construção das primeiras capelas erguidas no início do século XVIII, onde ruas e vielas se formaram ao redor das mesmas, como a Rua do Rosário (antiga Rua Direita) e a Rua Sete de Setembro (Fotografia 1 e Figura 5), se tornando naquele momento, elementos centrais da cidade. A Capela de Nossa Senhora da Boa Viagem, padroeira do povoado, foi edificada entre os anos de 1710 e 1720 e a Capela de Nossa Senhora do Rosário antes de 1740. Barbosa (1971) afirma que devido ao crescimento demográfico e econômico, o Arraial foi elevado a condição de Freguesia no ano de 1745, recebendo o nome de Itabira do Campo, vinculada a Vila Rica (Ouro Preto).

Fotografia 1 - Rua do Rosário (antiga Rua Direita) e a Rua Sete de Setembro

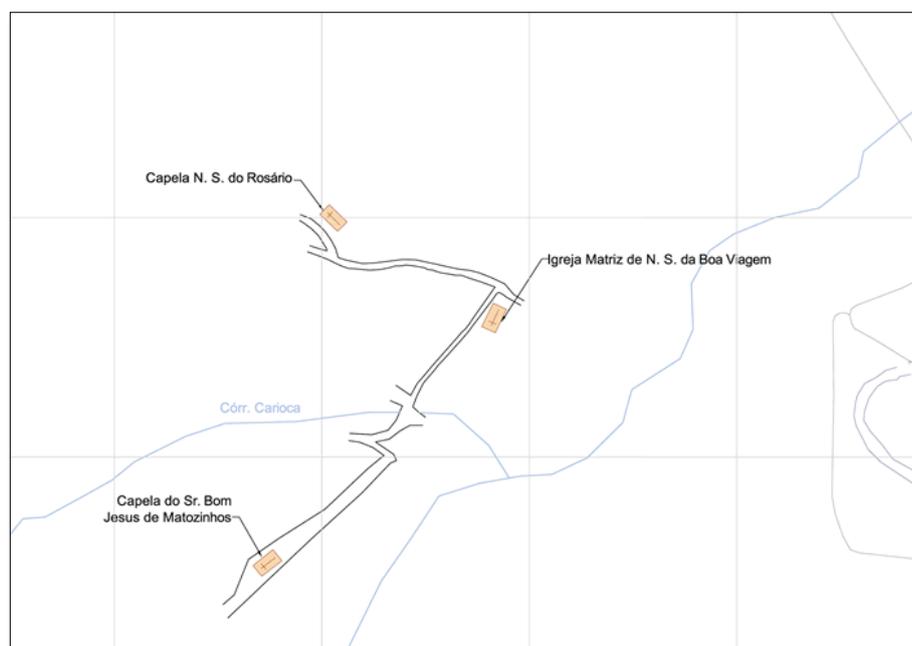


Fonte: Da autora, 2018

Cabe destacar que esse primeiro assentamento ocorreu onde hoje é a parte mais alta da cidade, pois nesse período, o papel exercido pelo povoado na dinâmica regional era de entreposto, onde as atividades econômicas se voltavam para a produção de

alimentos para abastecer os núcleos mineradores próximos, tais como Vila Rica e Sabará (Figura 5)

Figura 5 - Croqui do arruamento da cidade de Itabirito – séc. XVIII



Fonte: http://www.arq.ufmg.br/nehcit/itabirito/evolucao_urbana.php.

Na região de Itabirito, paralelamente à atividade de extração aurífera, prevaleceu um conjunto de atividades agropastoris e comerciais que foram responsáveis por abrandar os efeitos da crise econômica no final do século XVIII, causada pela decadência do ciclo do ouro.

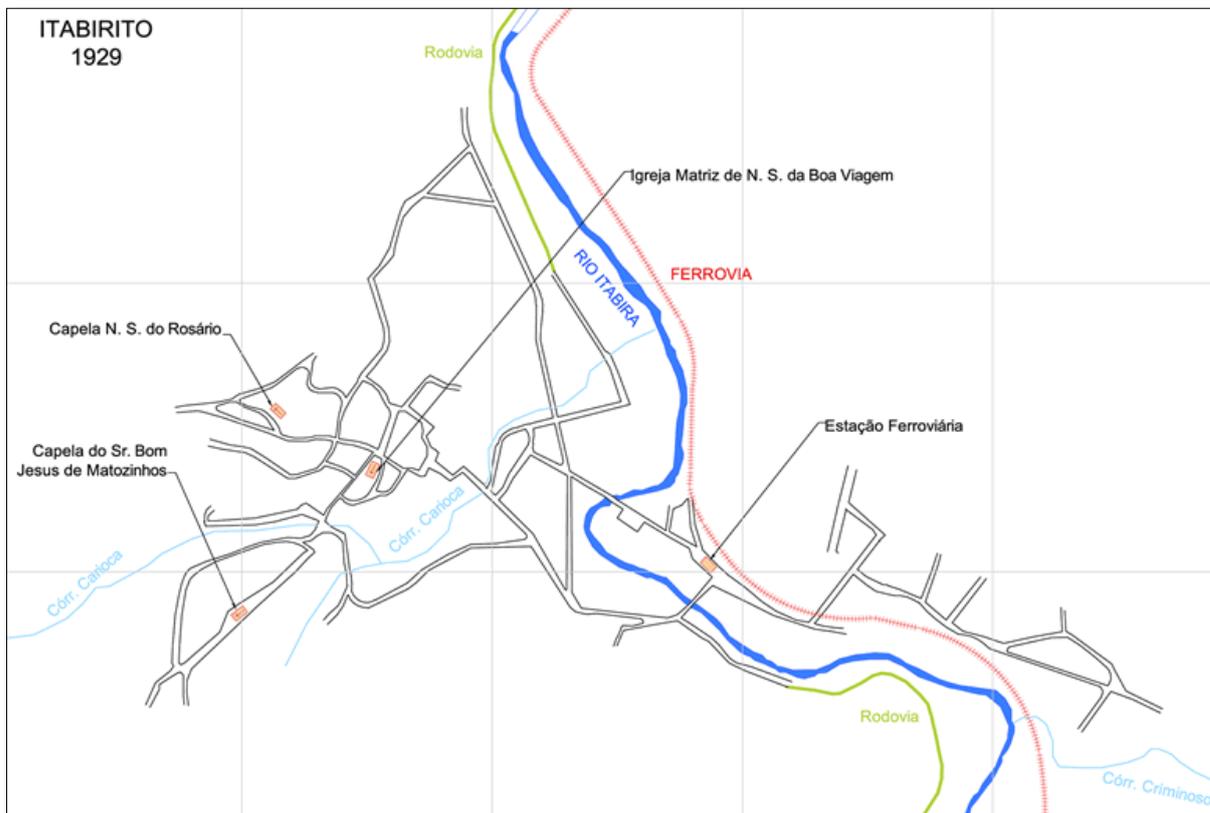
Durante a primeira metade do século XIX, deu-se início às atividades de exploração de minério de ferro em Itabirito, com a instalação da empresa inglesa *The Brazilian Company Ltda*, que constituiu a Mina da Cata Branca, responsável pela concepção de um dos principais processos tecnológicos de mineração subterrânea até então existentes no Brasil (CLIMACO, 2011). Entretanto, as atividades dessa lavra foram encerradas devido a um desabamento ocorrido em parte da mina, que levou ao soterramento de vários trabalhadores (MOURA, 2007).

Ainda no século XIX, devido à instalação de novos empreendimentos minerários, houve um aumento populacional causado por trabalhadores em busca de oportunidade nas minas. Porém, após esse período ocorreu um breve desaquecimento da economia associado à diminuição dos rendimentos das atividades mineradoras, mas que foi superado novamente pelas atividades agropastoris e com a chegada, em 1882, dos trilhos da Estrada de Ferro Dom Pedro II. Este fato viabilizou a abertura de empresas nos ramos da siderurgia, tecidos (empresa de tecidos Companhia Industrial Itabira do Campo) e couro (Curtume Santa Luzia), causando, no período compreendido entre os anos de 1890 a 1919, outro aumento populacional.

Itabirito fazia parte da comarca de Ouro Preto e foi destaque no início do século XX como o distrito que possuía o maior montante de arrecadação de impostos dentro do município de Ouro Preto. Devido a esse fato, houve uma movimentação para que fosse elevado a condição de município, o que veio a ocorrer em 7 de setembro de 1923.

Com a emancipação de Ouro Preto no ano de 1923, o núcleo urbano se transformou de forma intensa devido à implantação de serviços municipais de energia elétrica e saneamento. Foi formada então nas primeiras décadas do século XX, uma nova centralidade (Figura 6) cujo principal eixo de ocupação se deslocou das partes mais altas para as áreas mais planas lindeiras ao Rio Itabirito, onde novas ruas foram construídas nas proximidades da estação ferroviária (CLIMACO, 2011).

Figura 6 - Croqui do arruamento da cidade de Itabirito - 1929

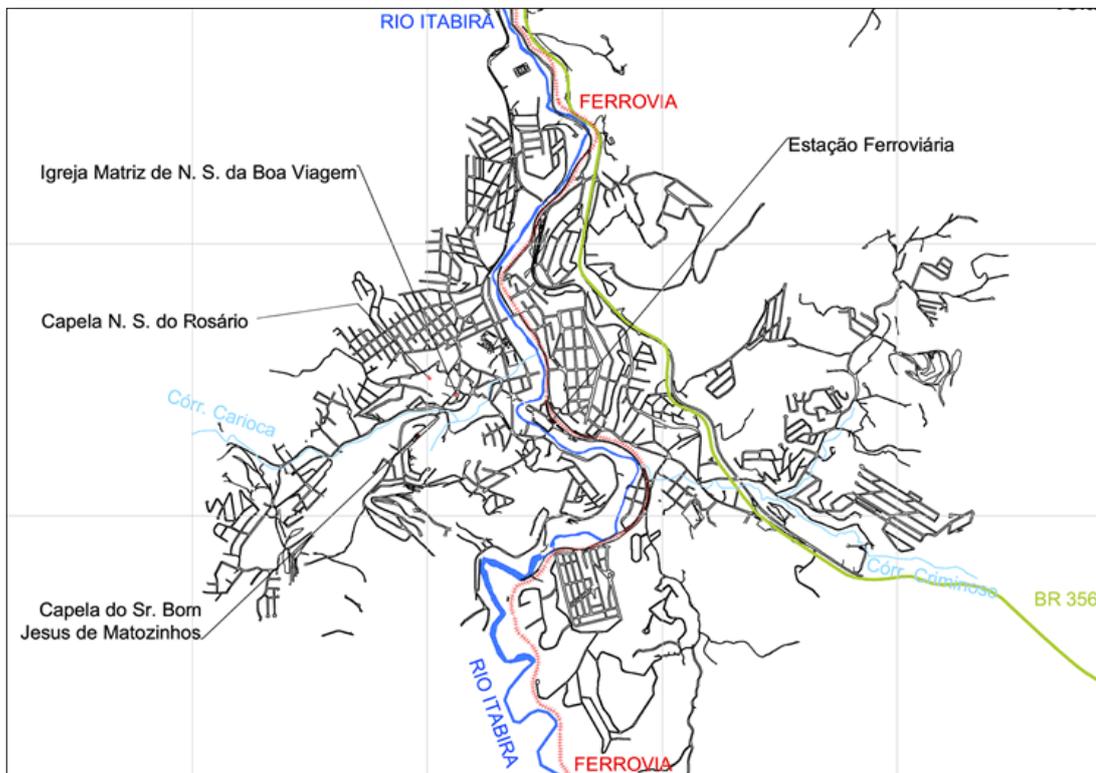


Fonte: http://www.arq.ufmg.br/nehcit/itabirito/evolucao_urbana.php

Moura (2007) afirma que, diferente do modelo colonial barroco onde a cidade havia se instalado no primeiro momento, com a mudança de eixo, foram surgindo e sendo incorporados aspectos morfológicos e funcionais sob a forma de novos modelos de ocupação em áreas planas com vias largas e malhas regulares, propostas para facilitar o escoamento do trânsito e das águas pluviais (Figura 7).

Apesar da intensa mudança de uso e ocupação da terra, Itabirito não possuía Plano Diretor até o ano de 2005, momento este que se tornou claro para o poder público o tamanho do desafio para conduzir as questões econômicas, de moradia, saúde, educação, meio ambiente, além da preservação do patrimônio cultural material e imaterial (MOURA, 2007).

Figura 7 - Croqui do arruamento da cidade de Itabirito - 2005



Fonte: http://www.arq.ufmg.br/nehcit/itabirito/evolucao_urbana.php

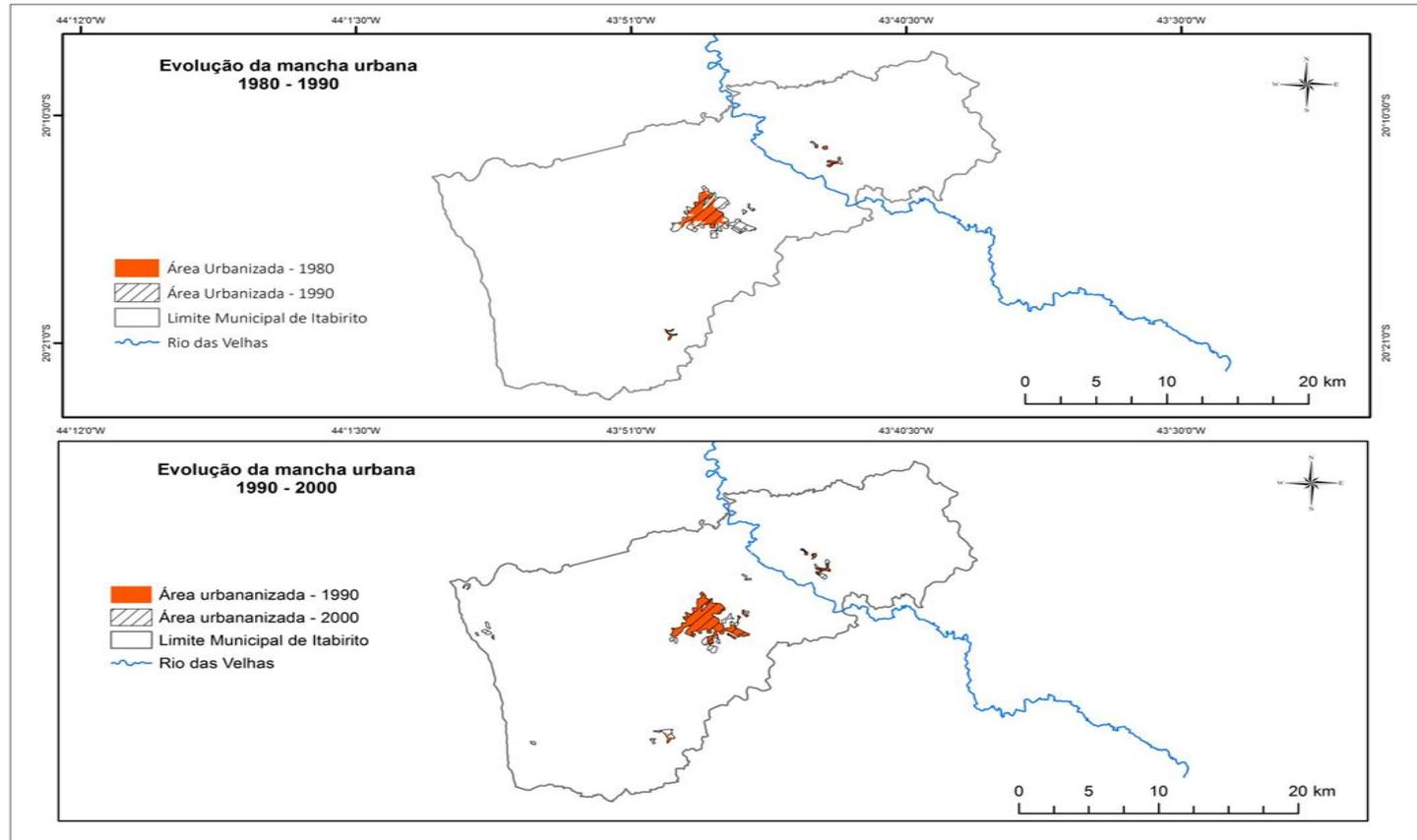
5.2 Urbanização de Itabirito

O município de Itabirito, que compõe a microrregião de Ouro Preto, apresenta atualmente um crescimento urbano difuso e com vários vetores que chegam a extrapolar o limite municipal, apresentando novas polarizações nos distritos e localidades próximas pertencentes aos municípios de Ouro Preto e Nova Lima, que serão abordados a seguir.

5.2.1 Mudanças e tendências do crescimento urbano de Itabirito

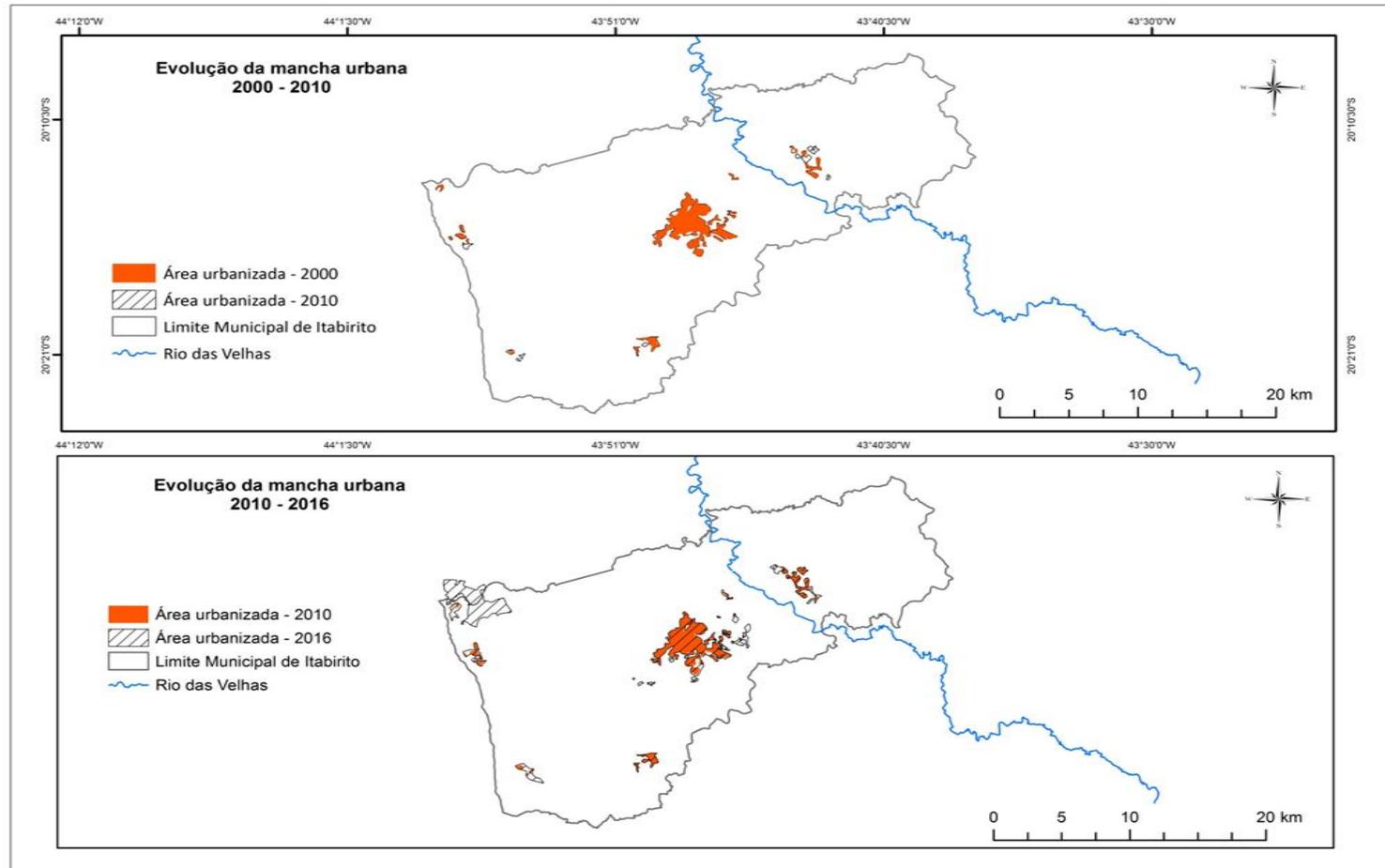
Com vistas a demonstrar a dinâmica de crescimento no município de Itabirito, serão apresentados a seguir os Mapas 8 e 9 que ilustram os vetores de crescimento da mancha urbana, obtidos por imagem *Landsat*, no período compreendido entre os anos de 1980 a 1990, 1990 a 2000, 2000 a 2010 e 2010 a 2016.

Mapa 8 - Crescimento da mancha urbana de 1980 a 1990 / 1990 a 2000



Fonte: LANDSAT, 2018.

Mapa 9 - Crescimento da mancha urbana de 2000 a 2010 / 2010 a 2016



Fonte: LANDSAT, 2018.

Na porção central do distrito sede de Itabirito, o que antes era considerado de uso residencial, observa-se, hoje, uma mudança no padrão de ocupação, com a concentração de atividades de comércio e serviços, além de um processo de especialização e verticalização, com a saída paulatina do uso residencial em direção às áreas fora do centro. O padrão de edificação na porção central da cidade vem sendo modificado por edificações de melhor padrão construtivo, além de algumas apresentarem múltiplos pavimentos.

Na Fotografia 3, observa-se um exemplo de um processo de crescimento horizontal nas áreas periféricas, sob a forma de loteamentos e condomínios voltados para moradores com padrão de renda média à alta, e alta, tendo como referência a margem esquerda da rodovia BR-356 (sentido Ouro Preto).

Fotografia 2 - Abertura de loteamento localizado na margem esquerda da BR 356, sentido Ouro Preto



Fonte: Da autora, 2018.

Fotografia 3 - Condomínios de médio e alto padrão localizados na margem esquerda da BR 356, sentido Ouro Preto



Fonte: Da autora, 2018.

Também na margem esquerda, ao longo do eixo desta rodovia em direção a Ouro Preto, os poucos vazios urbanos ainda existentes estão sendo preenchidos com novos loteamentos de diferentes padrões construtivos. Nesses locais, observa-se também a formação de áreas de vulnerabilidade e suscetibilidade a risco (Fotografia 4).

Fotografia 4 - Edificações encaixadas em encostas que se configuram área de risco, na margem esquerda da rodovia BR-356



Fonte: Da autora, 2018.

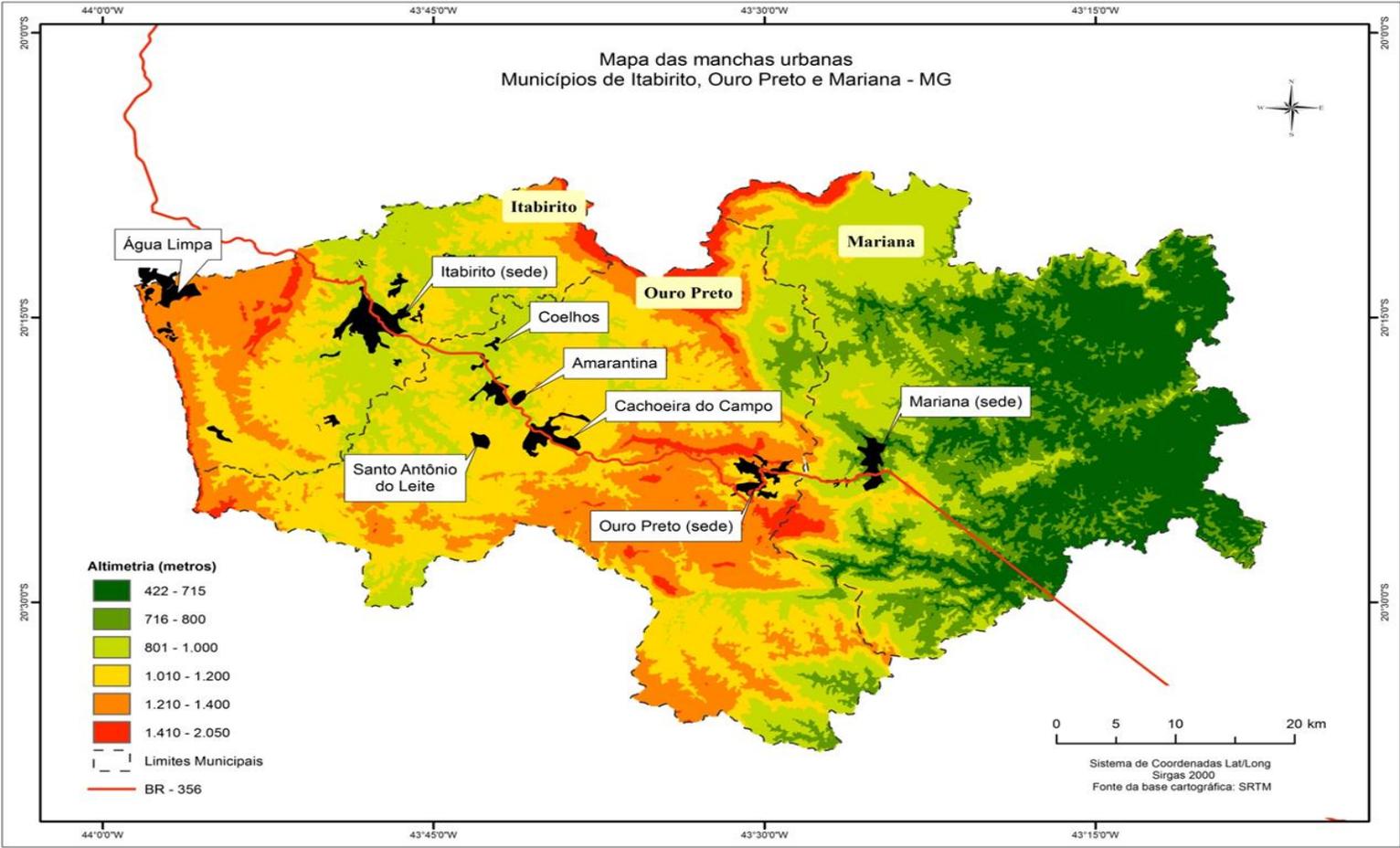
Em uma análise que ultrapassa os limites do distrito sede e do próprio município, pode-se observar o surgimento de novas polaridades. Com a economia baseada na indústria com destaque para a mineração, constata-se que o setor de comércio e de serviços vem crescendo e se consolidando para suprir a demanda do município, tendo por consequência um aumento populacional (MOURA, 2007). Esse processo está induzindo a expansão da malha urbana na porção sudeste do território para além do limite municipal, conformando novos adensamentos nos distritos e localidades próximas (pertencentes ao município de Ouro Preto) tais como: Coelhos, Amarantina e Cachoeira do Campo (Mapa 10).

Esta situação indica o aprofundamento das relações intermunicipais, cuja materialização física ocorre na implantação de novos loteamentos e no crescimento dos distritos e localidades devido à expansão da zona periurbana de Itabirito. Nesse sentido, o espaço contido entre Itabirito e Ouro Preto, que antes possuía características estritamente rurais, vem se transformando de forma gradual, dando

início ao que pode vir a ser um processo de conurbação entre os dois municípios (CONTI, 2016). Entretanto, esse processo é observado no espaço contido entre Itabirito e o distrito de Cachoeira do Campo (Ouro Preto), pois, devido a limitações impostas pelo relevo, o distrito sede de Ouro Preto encontra-se isolado desse processo, conforme pode ser observado no Mapa 10.

Para Conti (2016), vários fatores corroboram esse processo sendo os mais significantes, no caso de Itabirito, a necessidade de expansão da malha urbana, e em Ouro Preto, a carência de áreas de expansão no distrito sede. Portanto, parte da população busca no espaço regional entre Ouro Preto e Itabirito uma saída para o problema de moradia, impulsionada também pela presença de uma rede urbana formada por um grande número de núcleos urbanos e distritos no município de Ouro Preto que datam do período colonial. Destaca-se também a rede viária (BR – 356), que permite rápidos deslocamentos, além de uma topografia favorável a ocupação, embora ocorram diversas áreas com processos erosivos acelerados.

Mapa 10 - Mapa das manchas urbanas dos Municípios de Itabirito, Ouro Preto e Mariana - MG



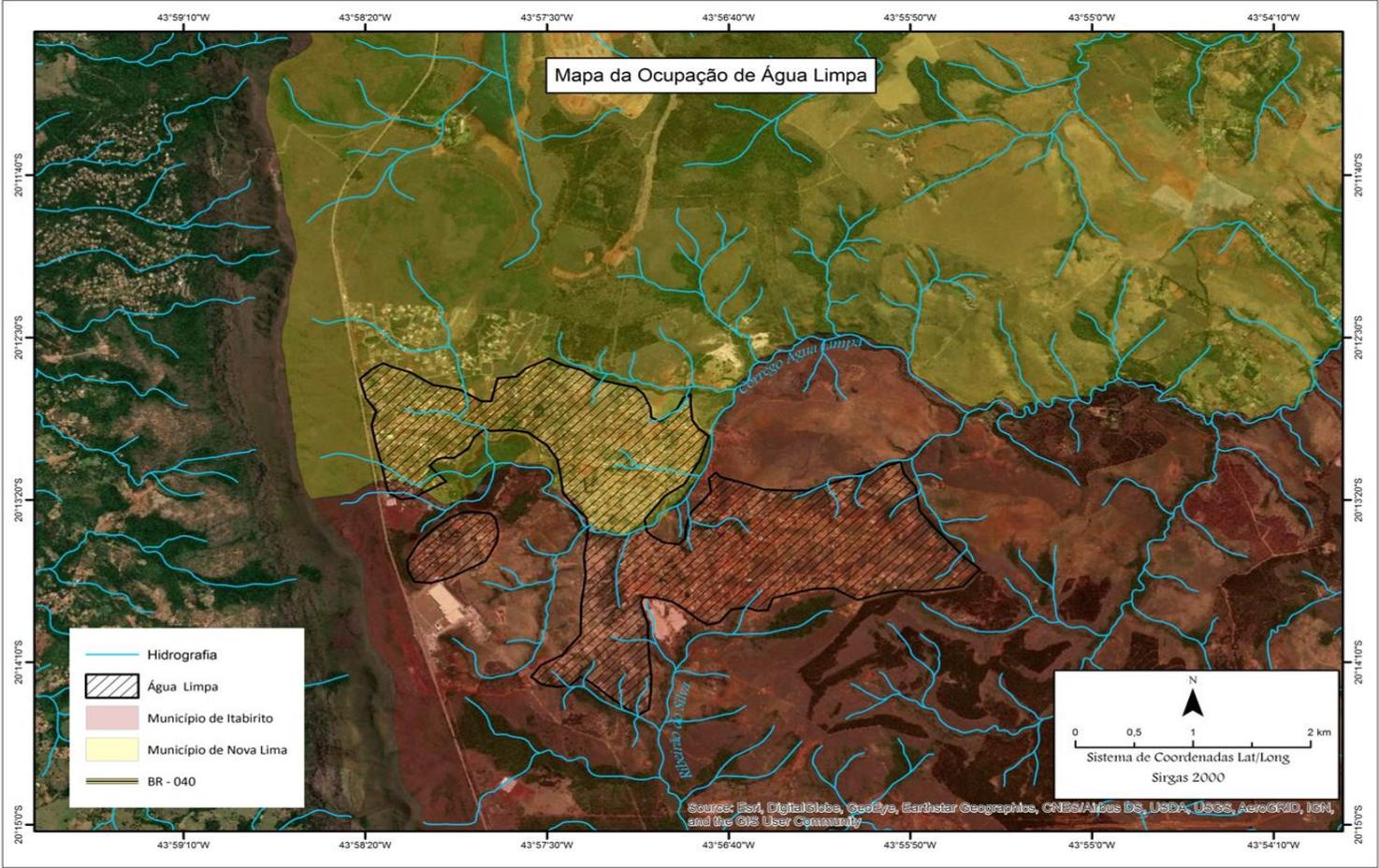
Fonte: SRTM, 2018.

Além do eixo supracitado, ocorre na porção noroeste de Itabirito na divisa com o município de Nova Lima uma ocupação irregular denominada Água Limpa, que se faz necessária uma abordagem mais detalhada. Água Limpa (Mapa 11) consiste em uma ocupação urbana localizada às margens da Rodovia BR 040, que iniciou seu processo de adensamento na década de 1950, através de loteamentos em uma área situada entre os municípios de Nova Lima e Itabirito. Cerca de 25% do seu parcelamento pertence ao município de Nova Lima e o restante ao município de Itabirito conforme dados disponibilizados no EIA RIMA Alphaville (1996). A problemática maior consiste no fato de que, oficialmente, Nova Lima reconhece a área localizada dentro de seus limites, integrando a Região Metropolitana de Belo Horizonte; o mesmo não ocorre em Itabirito, que não reconhece esta ocupação. De acordo com o Diagnóstico de Saúde de Água Limpa, a região passou nos últimos anos por uma explosão demográfica sob a forma de ocupação irregular e grilagem de terras, resultando em crescimento desordenado e na ausência ou precariedade das ações das prefeituras da região.

O histórico de surgimento dessa ocupação remete à tentativa de estabelecer um empreendimento denominado “Balneário Náutico de Água Limpa”, na década de 1950, que, porém, não logrou êxito. Inicialmente, o objetivo era estabelecer um loteamento comercializado para funcionários públicos, relacionado à campanha eleitoral de Juscelino Kubitschek à Presidência da República, mas que ainda carecia de infraestrutura mínima de acesso e ocupação. Conforme dados obtidos do EIA RIMA Alphaville (1996), o loteamento de Água limpa teve originalmente a totalidade de seu parcelamento aprovado em 07/07/1953, no município de Nova Lima. Considerando sua localização em área limítrofe de municípios, somente na década de 1980, quando o litígio em torno desta descrição foi solucionado, parte do parcelamento correspondente à cerca de 75% dos lotes foi transferido ao município de Itabirito.

Além de todos os problemas supracitados, Água Limpa se localiza a montante do manancial Bela Fama, responsável por grande parte do abastecimento de água da cidade de Belo Horizonte e ainda fornecendo água para mais quatro municípios circundantes. Água Limpa começa também a se expandir para as cabeceiras do ribeirão do Silva, que é contribuinte do Ribeirão Mata Porcos e tributário do Rio Itabirito (Mapa 11).

Mapa 11 - Mapa da ocupação Água Limpa



Fonte:

5.3 Análise do Plano Diretor do ponto de vista do atendimento dos aspectos ambientais do município

A adoção de instrumentos urbanísticos norteadores do planejamento urbano que visam o crescimento urbano de forma ordenada e sustentável é de fundamental importância, sobretudo nas cidades médias que se encontram em crescimento e que começam a apresentar problemas tais como congestionamentos de carros, crescimento desordenado, poluição de corpos d'água, degradação ambiental, dentre outros.

Como já mencionado, de acordo com o Art. 182 da CF de 1988 (BRASIL, 1988) foi determinado que as políticas de desenvolvimento urbano fossem executadas pelo poder público Municipal, tendo como premissas a ordenação do pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade bem como a garantia da qualidade de vida dos habitantes. Na CF, a cidade passou a ser associada ao meio ambiente, com a inclusão do Capítulo VI, do Meio Ambiente, que preconiza no Art. 225: “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988, s.p.).

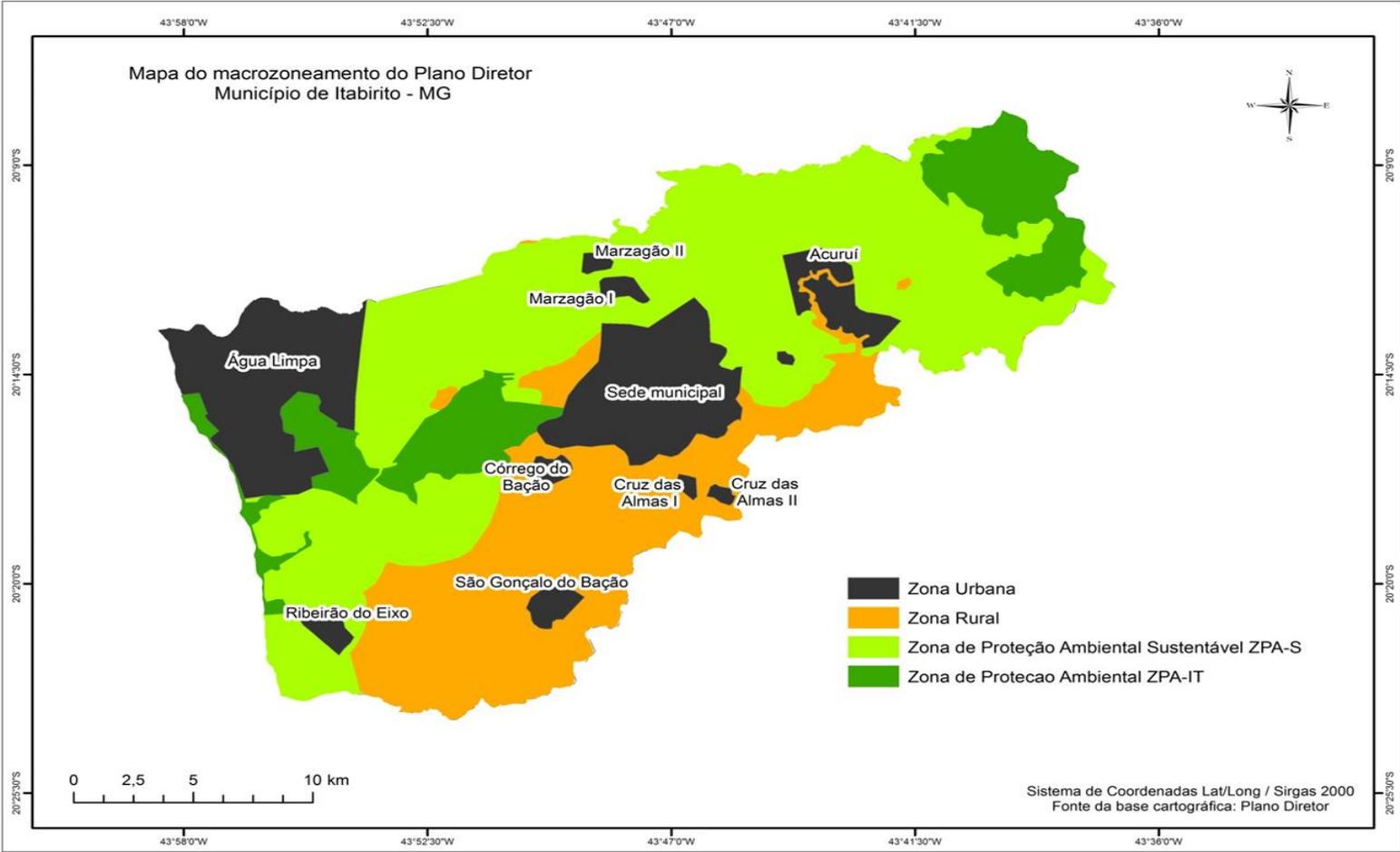
Além da CF, a Lei nº 10.257/01, conhecida como Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001), atribuiu à legislação, a obrigatoriedade em contemplar direitos e garantias no que se refere a planejamento das cidades e meio ambiente. Salienta-se que não apenas o meio ambiente deve ser beneficiado no Plano, mas ao considerá-lo, a cidade como um todo ganha em qualidade de vida e bem estar da população. Para todos os efeitos, o Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001) estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, além do equilíbrio ambiental.

O Plano Diretor de Itabirito instituído pela Lei nº 2.466 de 14 de dezembro de 2005 (ITABIRITO, 2005), passou por uma revisão no ano de 2007 e é dividido segundo o Macrozoneamento Municipal que separa o território em Zona Rural e Zona Urbana (Mapa 12). A Zona Rural compreende todo o território municipal que se encontra fora do perímetro urbano, cujos critérios utilizados no Plano Diretor (ITABIRITO, 2008, p. 43) na delimitação foram:

- a) Identificação das Unidades de Conservação que abrangem o território de Itabirito, bem como das diretrizes contidas na Lei Federal nº 9.985/2000 que trata do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) e daquelas atreladas à regulamentação das UCs e suas Zonas de Amortecimento;
- b) Estabelecimento de uma hierarquia de áreas de prioritário interesse ambiental definidas como Zonas de Proteção Ambiental, de acordo com a classificação das UCs disposta no SNUC e com a identificação de Áreas de Preservação Permanente (APP), além de áreas de expressiva concentração de vegetação; Reconhecimento das condições geológicas e do patrimônio cultural do município, notadamente neste caso, o patrimônio histórico, arquitetônico, arqueológico e espeleológico.
- c) Inserção do município no Colar Metropolitano da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e **compreensão dos impactos da expansão metropolitana** sobre Itabirito, especialmente ao longo do eixo da BR040;

Neste trabalho, foi contemplada a análise do Macrozoneamento, na qual foram observadas duas situações inadequadas, do ponto de vista ambiental, que serão abordadas a seguir.

Mapa 12 - Mapa das áreas urbana, rural e de Proteção Ambiental do município de Itabirito – MG.



Fonte: Plano Diretor, 2018.

5.3.1 Zona Rural e Zona Minerária

Na análise do zoneamento proposto pelo Plano Diretor, chama atenção à identificação da zona rural, denominada de Zona de Proteção Ambiental Integral (ZPA-IT), cujos limites correspondem aos da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Córrego Seco, além das áreas do território municipal inseridas nas seguintes Unidades de Conservação (UCs) de Proteção Integral: Parque Nacional da Serra do Gandarela, Monumento Estadual Natural da Serra da Moeda e a Estação Ecológica do Arêdes. As Unidades de Proteção Integral visam à proteção da natureza e, portanto, são submetidas às regras e normas mais restritivas, sendo permitido apenas o uso indireto dos recursos naturais, ou seja, aqueles que não envolvem consumo, coleta ou dano ao meio ambiente. Exemplos de atividades de uso indireto são: recreação em contato com a natureza, turismo ecológico, pesquisa científica, educação e interpretação ambiental, dentre outras (BRASIL, 2000). Destaca-se que as UCs exercem papel essencial na manutenção dos serviços ambientais, como conservação dos recursos hídricos e belezas cênicas, manutenção da fauna silvestre e da qualidade do ar, regulação de erosão do solo, redução de sedimentos produzidos pela floresta, dentre outros (MEDEIROS; ARAUJO, 2011).

De acordo com a Lei nº 9.985/2000 (BRASIL, 2000), o Parque Nacional visa, sobretudo, à “preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica”, permitindo a realização de estudos e atividades relativos à educação e “interpretação ambiental, recreação em contato com a natureza e turismo ecológico” (BRASIL, 2000, s.p.). O Monumento Natural também objetiva preservar a beleza cênica, porém está relacionado aos sítios naturais raros ou singulares. Já a Estação Ecológica tem por premissa a realização de atividades de pesquisas (BRASIL, 2000).

Os objetivos definidos no Art. 4º da Lei do SNUC vão de encontro ao desenvolvimento da atividade minerária em UCs, ponto reforçado no Art. 28, que estabelece “São proibidas, nas unidades de conservação, quaisquer alterações, atividades ou modalidades de utilização em desacordo com os objetivos do seu Plano de Manejo e

seus regulamentos” (BRASIL, 2000, s. p.). Os planos de manejos das UCs consistem em um documento de orientação que define o zoneamento da UC, bem como as atividades permitidas e proibidas no interior e no entorno das mesmas (MENDES, 2017). De acordo com esta autora, a lei do SNUC estabelece um prazo de cinco anos, a partir da data de criação de uma UC, para preparar o seu plano de manejo. Até a data da aprovação, todas as atividades desenvolvidas na unidade devem ser limitadas àquelas destinadas a assegurar a integridade dos recursos naturais, ficando claro que a mineração não se encaixa dentre as atividades permitidas.

No ano de 2012, foi apresentado o Projeto de Lei nº 3.682/2012 na Câmara dos Deputados Federais que tinha por objetivo regulamentar a atividade minerária em UCs, ou seja, previa autorizar a mineração em até 10% (dez por cento) da unidade de conservação, desde que houvesse doação ao órgão ambiental de uma área com o dobro da dimensão da área cedida e com as mesmas características. Todavia, este Projeto de Lei encontra-se arquivado. O Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, no intuito de padronizar suas decisões, emitiu o parecer nº 525 de 2010 (DNPM, 2010), no qual consta a indicação de proibição da atividade de mineração em todas as UCs de Proteção Integral, nas Reservas Extrativistas e nas Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN). Indica, contudo, a permissão da atividade nas demais Unidades de Uso Sustentável e nas zonas de amortecimento, corredores ecológicos e áreas circundantes de qualquer espécie de UC, ressalvada a necessidade do licenciamento ambiental. Apesar da proibição pela legislação, observa-se a ocorrência de atividades minerárias em áreas de UCs, como é o caso da Estação Ecológica de Arêdes (EEA).

A EEA (Mapa 13) foi criada pelo Decreto 45.397 de Junho de 2010 e abriga um importante complexo histórico arqueológico, que é constituído por uma extensa área na qual foram desenvolvidas atividades relacionadas à mineração do ouro, à agropecuária e ao comércio no século XVIII. A EEA está situada próxima à antiga mina de Cata Branca e ao Pico do Itabirito; de acordo com informações da gerência da unidade, foi criada como forma de compensação ambiental da atividade minerária

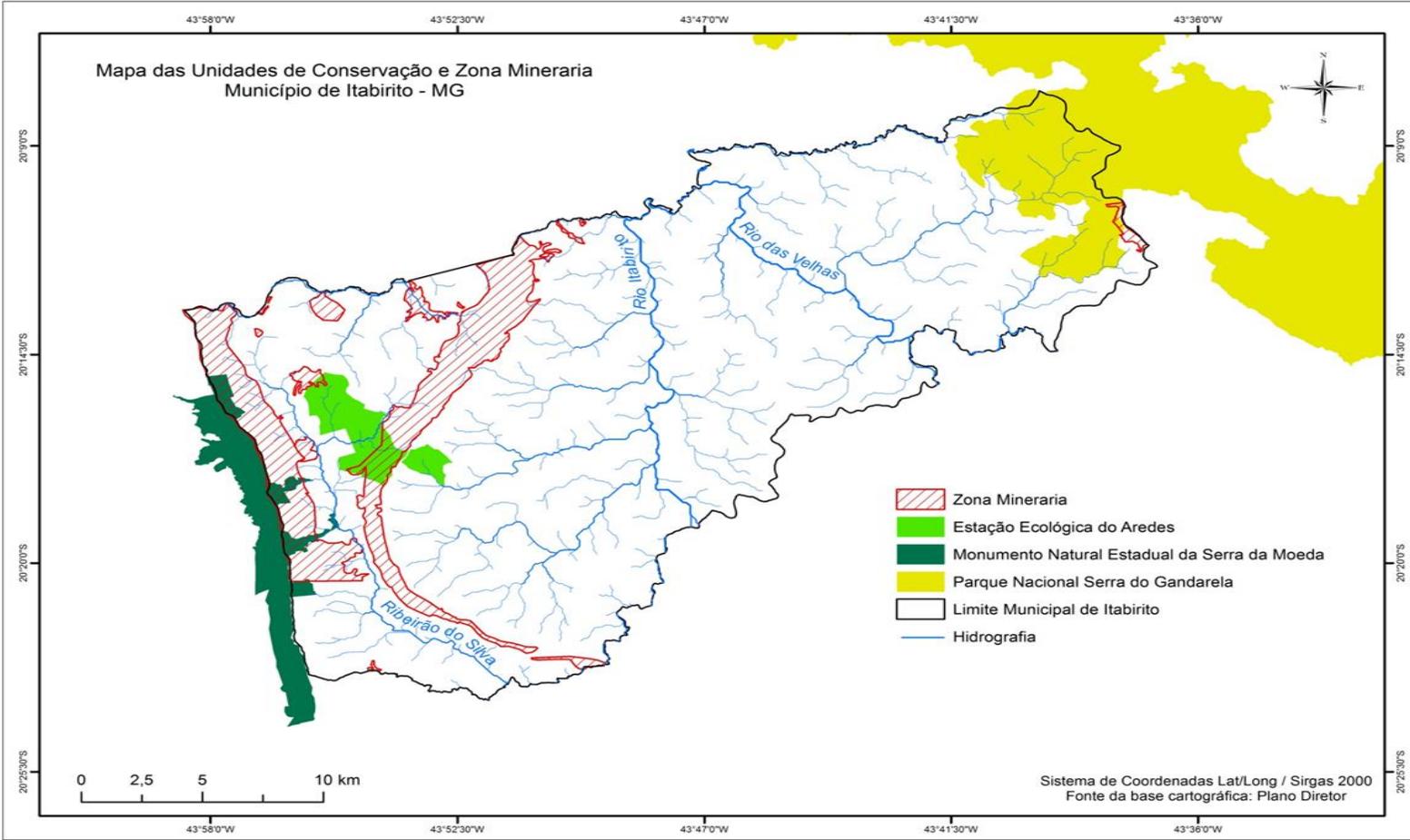
do entorno, por meio de acordo judicial entre o Instituto Estadual de Florestas (IEF), o Ministério Público e as empresas de mineração. Em fevereiro de 2019, a Justiça Federal determinou a suspensão de qualquer tipo de autorização para atividade minerária na Estação Ecológica de Arêdes; porém foi observado durante os trabalhos de campo do presente estudo, que a atividade ainda encontra-se ativa.

São muitos os impactos negativos provocados pela mineração em UCs. Pode-se citar como efeitos imediatos, a degradação da cobertura vegetal nativa com consequências na conectividade ecológica e o comprometimento de áreas de mananciais e cursos d' água. Exemplo disso foi o acidente ocorrido em 2014, nesta mesma mineração (Mapa 13), cujo rompimento da barragem de rejeito, além de ter causado mortes, levou à contaminação do Ribeirão do Silva que drena parte do sinclinal Moeda, e é um importante tributário do Rio Itabirito.

Portanto, embora a atividade minerária seja proibida pela legislação dentro de UCs observa-se que a exploração dos recursos naturais ainda sobrepõe-se às questões ambientais. A crescente demanda e valorização do preço dos minerais converteram a atividade mineral em um viés de crescimento econômico, levando o setor a desconsiderar os impactos socioambientais dela decorrentes. Itabirito corrobora essa afirmativa, ao delimitar a Zona Minerária em partes das UCs contidas no município, conforme pode ser observado na figura 23.

Ainda que a abordagem aqui é referente às UCs, cabe ressaltar que com a publicação da Resolução CONAMA n. 369, no ano de 2006 (BRASIL, 2006), a mineração foi considerada, além do status de utilidade pública que já lhe conferia a lei, como uma **atividade de interesse social**, o que foi reproduzido no Novo Código Florestal (Lei 12.651/2012). De acordo com este Código, é permitida a realização de atividades de utilidade pública e interesse social (mineração) em Áreas de Preservação Permanente.

Mapa 13 - Limites da Zona Minerária e das Unidades de Conservação



Fonte: Plano Diretor de Itabirito, 2018.

5.3.2 Zona minerária e zona urbana

A atividade mineraria, embora impactante, configura-se como atividade essencial para o desenvolvimento das cidades, uma vez que, entre outros tipos de uso, fornece matéria prima para as edificações. No entanto, a coexistência dessa atividade com o meio social, quase sempre, obriga as comunidades a conviverem com impactos tais como altos níveis de ruídos ocasionados pelo desmonte de material consolidado via explosivos, tráfego intenso de veículos pesados que, por sua vez, também produzem ruídos, e a deterioração do sistema viário local (SILVA, 2007).

Assume-se nesta pesquisa que mineração e área urbana configuram-se atividades incompatíveis quando realizadas próximas uma da outra. Entretanto, uma vez instaurada essa situação, faz-se necessário que o Plano Diretor (quando existe) do município contenha diretrizes adequadas para gestão do espaço, e que estas sejam seguidas pelos empreendedores. Existem situações em que a área urbana é delimitada pelo município após a outorga do título minerário pelos órgãos competentes, como é o caso de Itabirito com a Zona Urbana BR 040, que foi delimitada na revisão realizada do Plano Diretor no ano de 2017.

Na Zona Urbana BR 040, onde se encontra a ocupação Água Limpa, por exemplo, que conforme exposto no capítulo anterior, que é uma área onde continuam ocorrendo novos loteamentos e expansão urbana (ainda que o Plano Diretor contenha diretrizes para regularização fundiária e limitação da expansão urbana devido a restrições ambientais) há uma atividade minerária inserida na malha urbana (Figura 8 e Fotografia 5). Salienta-se que, ainda que o Plano Diretor de Itabirito possibilite atividade mineraria neste local, ele não faz menção à problemática da gestão dos conflitos gerados pela atividade, se referindo apenas à fase de fechamento da mina, conforme pode ser verificado a seguir:

“A ZM corresponde às áreas onde são desenvolvidas atividades minerárias já consolidadas, **inseridas no perímetro urbano da URBE BR-040**, onde devem ser

desenvolvidas medidas de recuperação ambiental tão logo a atividade em exercício, de responsabilidade das empresas mineradoras, seja encerrada. Na ZM, após finalizada a atividade mineraria, deverão ser priorizadas ações que visem a proteção ambiental e o uso sustentável da área, sendo vedada a aprovação e/ou execução de projetos de parcelamento do solo, bem como a instalação de atividades residenciais e de uso econômico. Os usos de lazer e cultura, bem como aqueles vinculados a infraestrutura de saneamento urbano e ambiental poderão ser instalados, desde que observada a legislação ambiental pertinente” (ITABIRITO, 2018, p.56).

Figura 8 - Empreendimento minerário inserido em área urbanizada - Água Limpa / BR 040



Fonte:

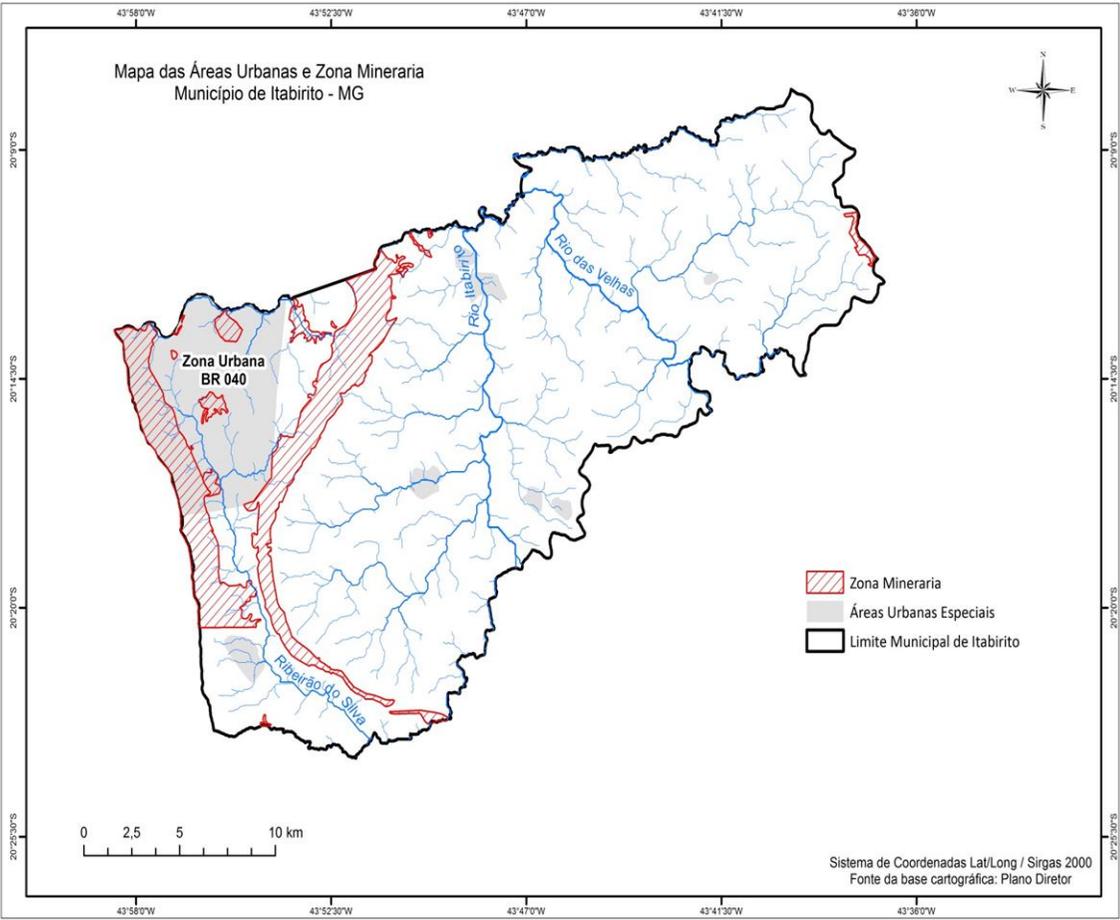
Fotografia 5 - Empreendimento minerário em área urbanizada - Água Limpa / BR 040



Fonte: Da autora, 2018.

Silva e Santos (2010) afirmam que os impactos causados pela mineração, associados à competição pelo uso e ocupação da terra, acarretam conflitos socioambientais devidos justamente à ausência de estratégias de intervenção que reconheçam a pluralidade dos interesses envolvidos, e Itabirito ilustra bem essa situação, como pode ser observado na figura 26. Portanto, se faz necessário que o Plano Diretor, ao admitir os dois usos assumidos neste trabalho como incompatíveis dentro de uma mesma zona, contenha diretrizes voltadas para a gestão do espaço além de um contínuo monitoramento dos impactos gerados na condução da atividade para minimizar os conflitos gerados pela mesma (SILVA; SANTOS 2010).

Mapa 14 - Limites da ZM sobrepostos a Zona Urbana BR 040



Fonte: Plano Diretor de Itabirito, 2018.

5.4 Abordagem geomorfológica voltada para planejamento territorial

5.4.1 A importância da geomorfologia no planejamento territorial

Hoje há, como exposto até agora, um consenso geral entre a população como um todo, e dos planejadores das cidades em particular, sobre a importância dos aspectos ambientais na definição do planejamento proposto pelo plano diretor, que se faz sentir nos aspectos políticos de tomada de decisão e na aprovação de leis que subsidiam tais atos. Conforme Fonseca (2015), um dos desafios dos profissionais que lidam com espaço urbano, é o de conciliar a dinâmica das atividades antrópicas com as condições mínimas necessárias para ocupação dos terrenos de forma segura.

Como o relevo constitui a base sobre a qual os assentamentos urbanos são erguidos e partindo-se do princípio de que este afeta toda a dinâmica da superfície e da subsuperfície próxima a ela, incluindo a distribuição da água de escoamento, a formação de regolito/solo e a cobertura vegetal, sua abordagem como base para a análise do terreno urbano e sua ocupação, é mais do que relevante. Portanto, se justifica o uso de tal abordagem, tendo em vista que esta permite compreender as potencialidades e limitações do relevo, que é condição intrínseca ao planejamento territorial.

Além disso, por serem facilmente identificáveis em qualquer meio de representação da superfície terrestre (instrumentos de geoprocessamento) e também apresentarem feições que, mesmo alteradas pelo homem, tendem a permanecer na paisagem, as formas de relevo e suas representações constituem elementos importantes quando se trata de compor uma base de dados confiável para fins de análise espacial para diversas finalidades (LOFFLER et al., 1972; COOKE; DOORNKAMP, 1974; AUGUSTIN, 1979).

Um dos princípios objetivos do trabalho constituiu a utilização de abordagem geomorfológica para fornecer instrumentos conceituais, técnicos e analíticos que

servam de base para uma análise integrada do meio ambiente nos planejamentos territoriais, em especial urbanos futuros.

5.4.2 As variáveis Geomorfológicas

Neste trabalho, foram trabalhadas cinco variáveis que ao serem integradas, possibilitaram uma visão holística sob a perspectiva geomorfológica, sendo elas: Unidades Geológicas/Geotécnicas, Unidades Geomorfológicas, Índice de Hack, Índice de Concentração da Rugosidade e processos erosivos acelerados (voçorocamentos), descritas a seguir.

5.4.2.1. Variáveis Geológicas/Geotécnicas

As classes de respostas das rochas ao intemperismo utilizada, segundo Parizzi (2011), são as seguintes, classificadas das mais para as menos resistentes, conforme descrito na Tabela 4:

Tabela 4 - Notas referentes a resistências das rochas

Unidades Litológicas	
Componentes de legenda	Notas
Lateritas	2,0
Dolomito	4,0
Filito, dolomito	5,0
Filito	5,5
Metarenito	6,0
Itabirito	7,0
Granito	8,0

Fonte: PARIZZI, 2011.

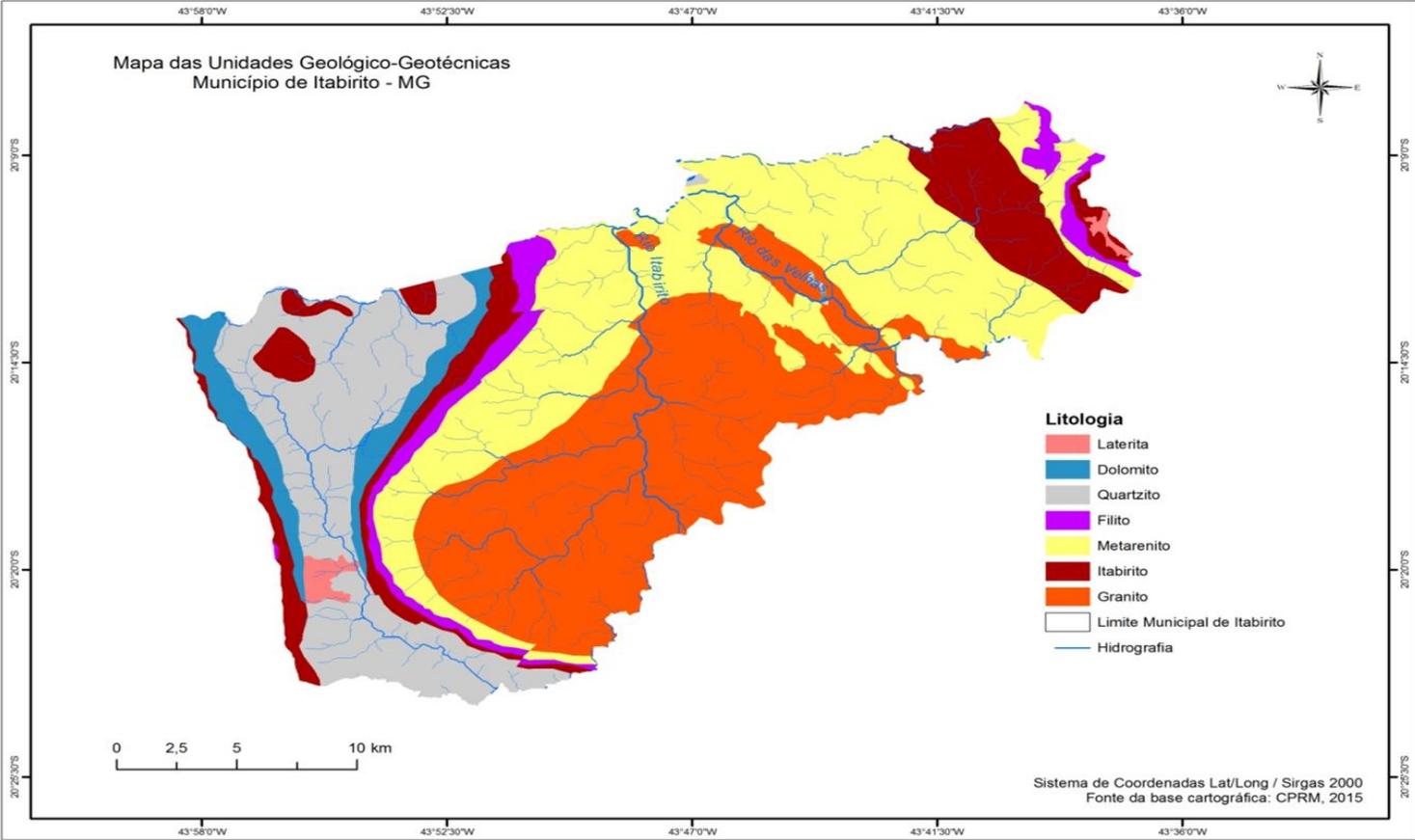
Essas respostas são importantes indicadores das condições para ocupação da área por construções e obras civis. Refletem-se também em parte, no Mapa das Unidades Geomorfológicas, pois indicam a susceptibilidade das rochas aos processos de elaboração do relevo, embora outros fatores também estejam associados à evolução

da paisagem, fazendo com que não haja superposição real entre geologia e formas de relevo.

As rochas classificadas por Parizzi (2011), ao serem espacializadas, podem ser agrupadas em Unidades Geológicas/Geotécnicas do Município de Itabirito (Mapa 15). O Mapa Geológico/Geotécnico do município indica a ocorrência de três domínios.

O primeiro refere-se ao predomínio de rochas graníticas do embasamento cristalino nas porções centrais, topograficamente mais baixas do município. Essas rochas, quando submetidas às condições climáticas úmidas com temperaturas elevadas, sofrem intenso processo de intemperismo químico e também mecânico, levando à formação de espessas geocoberturas que favorecem a atuação de processos erosivos e de movimentos de massa, em especial em vertentes íngremes, sem, ou com pouca cobertura vegetal (YOUNG, 1972; OLIVA; VIERS; DUPRE 2003; GABET, 2007).

Mapa 15 - Mapa das unidades Geológico-Geotécnicas do município de Itabirito – MG



Fonte: CPRM, 2015.

O substrato rochoso que ocupa toda a porção central do município (Mapa 15) é formado por migmatitos, gnaisses de composição granítica, tonalítica e granodiorítica do Complexo Bação, que apresenta aspecto dômico e características de cisalhamento nas bordas (DORR, 1969).

O segundo domínio é formado por rochas do Supergrupo Rio das Velhas, intensamente metamorfasadas, que inclui rochas verdes, lavas riolíticas e rochas sedimentares intercaladas, sendo que o itabirito ocorre nas unidades metassedimentares nas quais são encontradas Formações Ferríferas Bandadas (BIF) (ROSIÈRE; CHEMALE, 1991).

O terceiro domínio é constituído por rochas do Supergrupo Minas, que formam uma sequência metassedimentar, constituída por quatro grupos, sobreposta em desconformidade ao Supergrupo Rio das Velhas. Na base, são encontrados quartzitos e conglomerados do Grupo Caraça, recobertos pelos filitos da Formação Batatal. Sobrepondo este Grupo, está o Grupo Itabira, caracterizado pela BIF da Formação Cauê, gradando para a Formação Gandarela, com a presença de rochas carbonáticas e, por último, sobrepondo toda a sequência, ocorre o Grupo Piracicaba, com várias Formações nas quais predominam sedimentos deltaicos/metapelíticos (ALKMIM; MARSHAK, 1998). Em função de características litoestruturais, essas rochas vão se tornando mais resistentes à medida que se afastam da área central, em um modelo de disposição mais ou menos semiconcêntrico, até as regiões mais externas, embora ocorram intercalações de rochas menos resistentes nestas sequências.

De maneira geral, este mapeamento subsidia a disposição das Unidades Geomorfológicas, no que se refere às Unidades mais elevadas, embora não demonstre esta estreita relação com as demais Unidades. Isto indica, como apontado por (BARTHELOS, 2007), que a inter-relação entre litologia, forma de relevo e a ocorrência de processos geomorfológicos precisa ser relativizada, na medida em que outras variáveis em um determinado momento da evolução do relevo, passam a

controlar estes processos, ou seja, a partir do momento em que o vale é aberto e as encostas são formadas, o solo é desenvolvido e as coberturas vegetais ocupam as vertentes e fundos de vale. Da mesma maneira, a variação dos domínios climáticos ao longo da evolução de um relevo, varia, com respostas diferentes em termos de dominância de processos de alteração da rocha e seus efeitos sobre a dinâmica do relevo.

5.4.2.2. Índice de Concentração de Rugosidade - ICR (Variável Geomorfológica direta)

O Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) visa quantificar e classificar as unidades de relevo tendo por base a distribuição espacial da declividade (Mapa 16). Os valores do ICR estão descritos na Tabela 5:

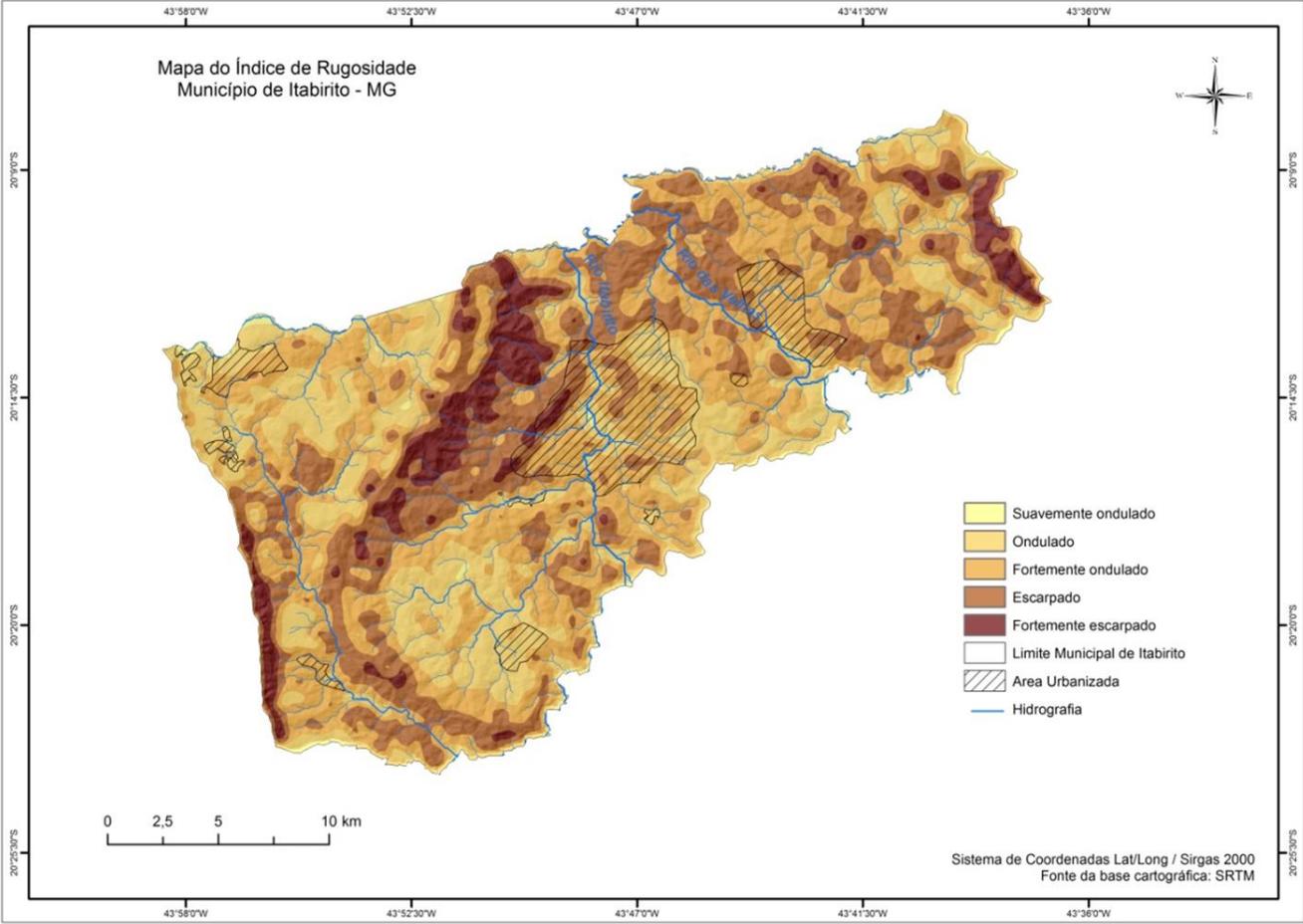
Tabela 5 - Valores do Índice de Concentração da Rugosidade

Índice de Concentração da Rugosidade	Relevo
2,5 a 6	Suavemente ondulado
6 a 14	Ondulado
14 a 30	Fortemente ondulado
30 a 45	Escarpado
Acima 45	Fortemente escarpado

Fonte: Dados da pesquisa, 2018

O ICR indica a presença de valores mais elevados, em geral, coincidentes com o contato entre rochas de diferentes resistências. No entanto, as áreas de maiores ICR correspondem aos relevos das áreas de nascentes e entalhes mais efetivos das encostas, o que favorece a presença de relevo mais acidentado e íngreme.

Mapa 16 - Índice de Rugosidade, município de Itabirito - MG



Fonte: SRTM, 2018.

Os maiores índices de ICR são encontrados acompanhando as bordas internas da Serra de Itabirito, voltadas para o vale do Rio das Velhas e na porção nordeste do município, nos domínios do Sinclinal do Gandarela. São áreas de intensa dissecação decorrente do grande número de nascentes e de declividade mais acentuadas.

Outra observação refere-se aos valores mais baixos do ICR que ocorrem nas porções mais baixas do vale do rio das Velhas, onde as declividades tendem a se tornar menores em função da deposição e acumulação dos sedimentos em terraços; embora ocorra encaixamento recente de canais em trechos dos rios, estes são ainda insuficientes para serem mapeados nesta escala de trabalho. Também são observados valores menores do ICR na região onde estão concentradas as voçorocas em áreas que, embora apresentem declividades mais suaves, foram submetidas ao intenso uso da terra, com possíveis efeitos nos níveis de base dos rios e na perda da cobertura vegetal, levando à intensificação desse tipo de erosão acelerada.

5.4.2.3. Índice de Hack (Variável Geomorfológica direta)

O Índice de Hack (IH) traduz, em síntese, a energia dos cursos de água das bacias de drenagem (FONSECA; AUGUSTIN, 2011), constituindo um importante atributo da análise geomorfológica, uma vez que a energia das bacias é um dos componentes morfométricos mais amplamente utilizado para a compreensão da dinâmica da superfície continental da Terra.

Este índice foi proposto por Hack (1957), no qual ele relaciona a declividade e a extensão dos cursos d'água através da representação bivariada entre a cota altimétrica e o comprimento de um determinado curso fluvial de montante para jusante (CHRISTOFOLETTI, 1981).

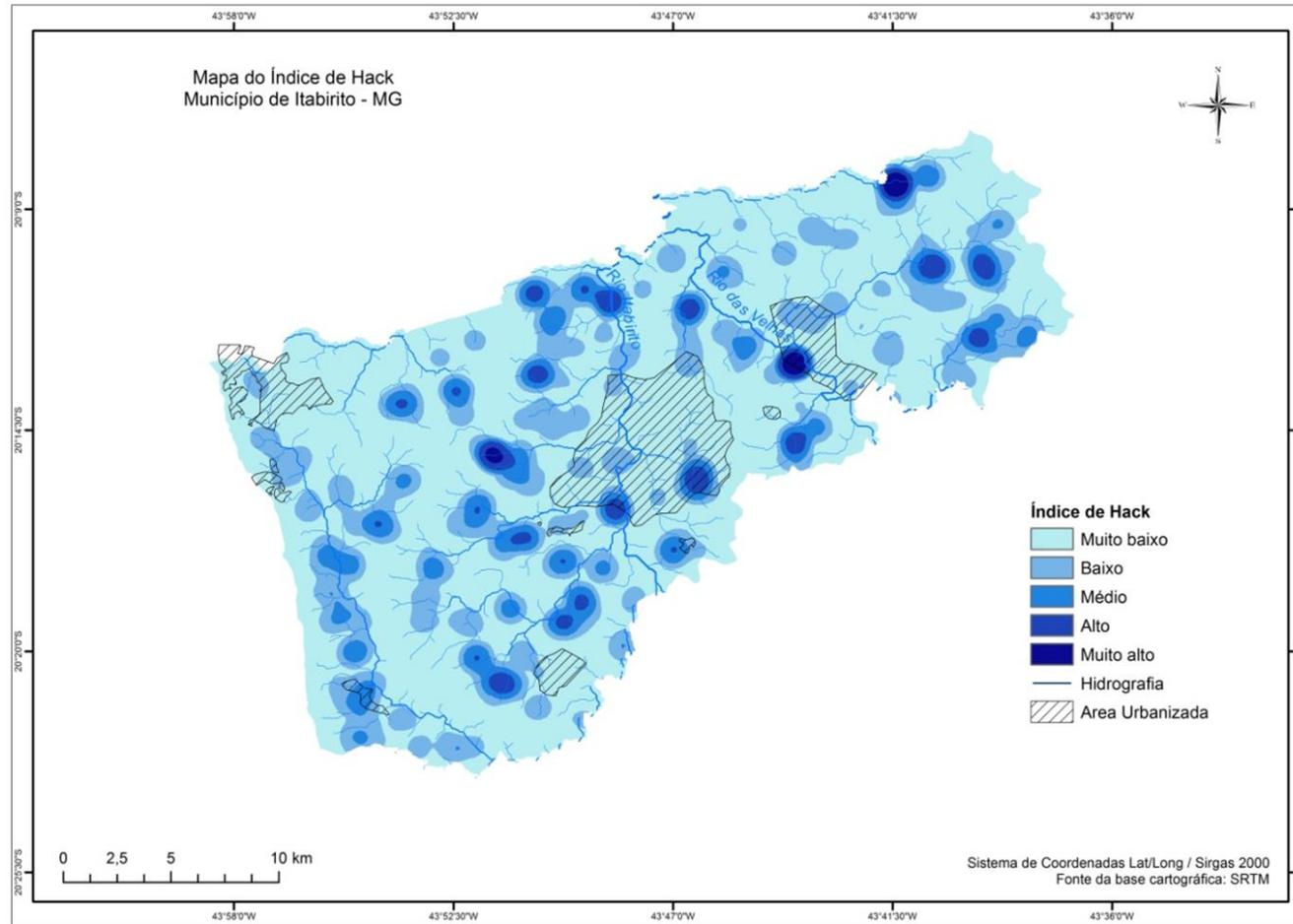
Os valores obtidos para o município de Itabirito estão na Tabela 6 e a espacialização dos valores deste índice gerou o Mapa 17.

Tabela 6 - Valores obtidos do Índice de Hack

Valores	Índice de Hack
0 a 0,03	Muito baixo
0,03 a 0,12	Baixo
0,12 a 0,25	Médio
0,25 a 0,52	Alto
0,52 a 0,99	Muito alto

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Mapa 17 - Mapa do Índice de Hack, Município de Itabirito - MG



Fonte: SRTM, 2018.

Conforme pode ser observado no Mapa 17 na área de estudo os maiores valores ocorrem nas porções nordeste do município, coincidindo com as bordas do Sinclinal Gandarela e na porção central do município. Esses valores indicam a presença de rupturas mais pronunciadas do relevo, típicas de áreas com variação de resistências das rochas. Por isto, estão associadas à presença de *knickpoints*, que justamente indicam rupturas abruptas do relevo, e possibilitam a formação de cachoeiras, quando ocorrem perpendiculares ao canal.

Os valores intermediários do IH ocorrem também em regiões de cabeceiras, onde se espera encontrar maior energia potencial para a dissecação dos fundos de vale, em função da declividade, que tende a ser mais elevada nestas áreas. Os *knickpoints* mais representativos estão presentes em áreas de contato, ou entre litologias diferentes, ou entre áreas mais declivosas e fundos de vales, em muitos casos, ocorrendo de maneira abrupta, como no Platô da Moeda. Os menores valores dos IH, correspondem às áreas nas quais a dissecação é dificultada pela presença de canga, ou nas porções mais baixas da bacia do rio das Velhas, áreas que apresentam também uma menor quantidade de *knickpoints*.

5.4.2.4. Processos erosivos acelerados - Voçorocamentos

Os valores considerados para a geração do mapa da figura xx foram buffers de 1 km a partir da borda de cada voçoroca.

Os processos erosivos acelerados foram considerados como parte da análise deste trabalho, devido à alta ocorrência deste processo geomorfológico no município, sobretudo na porção sul, próximo ao distrito de São Gonçalo do Baçã (Mapa 18). Neste local, dominado por colinas com altitudes inferiores a 1.000 metros, observa-se uma das maiores concentrações de voçorocas no Brasil (LIMA, 2016). Silva (2007) atribui a densidade à presença de um ambiente morfológicamente instável, com diferentes tamanhos e formatos, nos terrenos sustentados por granito-gnaiss,

embora, como pode ser observado no mapa, não se restrinjam à porção sul do município.

Para Bacellar (2000), o surgimento dessas feições ocorreu desde o início do ciclo do ouro, com a instalação de práticas agrícolas rudimentares que objetivavam produzir alimentos para as províncias auríferas de Vila Rica, Mariana e Sabará, o que pode ter corroborado com o surgimento dos processos erosivos na região do Complexo do Baçõ. O mesmo autor encontrou cicatrizes de voçorocas na região, mas grande parte das voçorocas atuais, ativas e inativas, se formou nos últimos dois séculos, reforçando a interpretação da interferência antrópica.

Parizzi (2011) afirma que quando intemperizadas, as rochas graníticas e gnáissicas produzem solo residual silto-arenoso ou argilo-arenoso siltoso, que por sua baixa coesão, têm alta susceptibilidade a erosão e a processos análogos. O trabalho de Figueiredo et al. (1999), no entanto, indica a existência de mecanismos associados ao efeito do ferro na aglutinação das argilas em partículas maiores, aumentando a colapsividade da estrutura das geocoberturas. Augustin e Aranha (2006) apontam que este mecanismo favorece a ação da “*pore pressure*”, facilitando o “*piping*” e a formação de voçorocas.

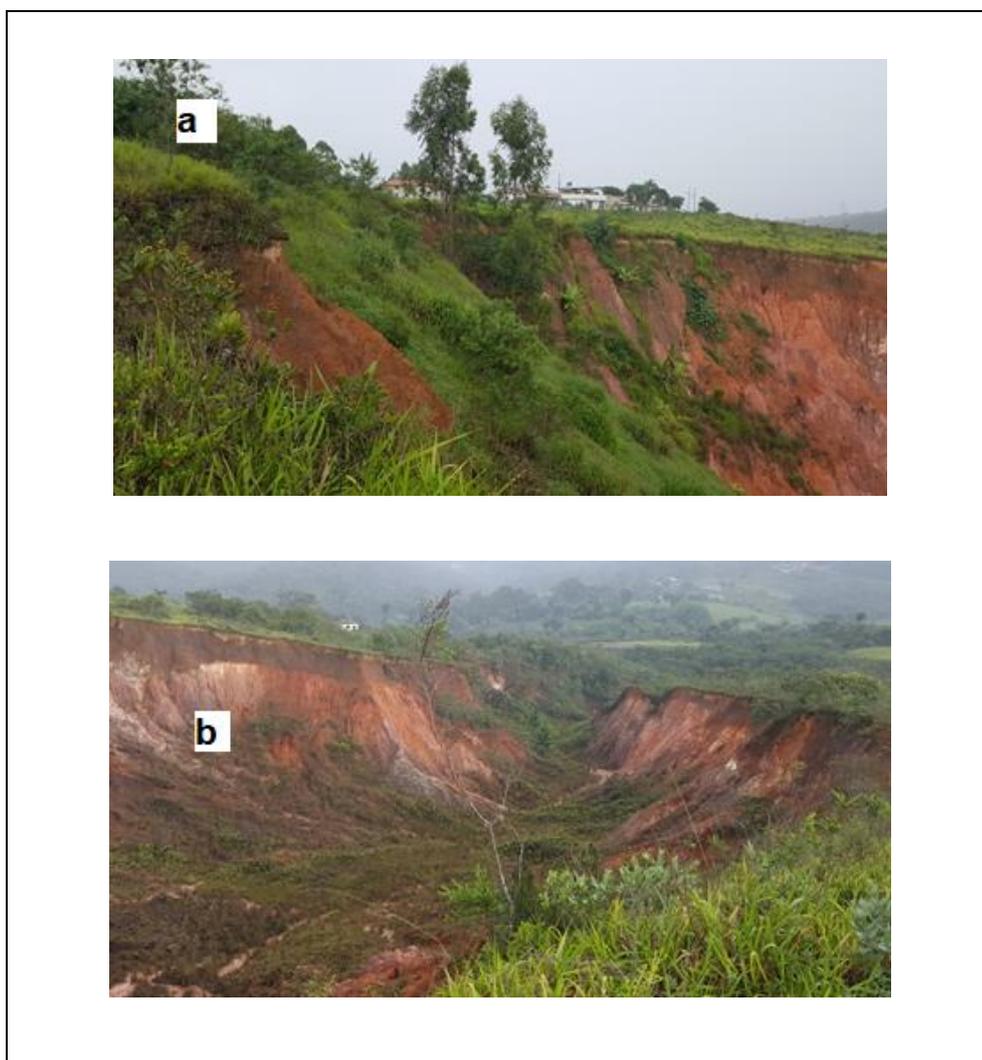
Para Parizzi (2011), nesses ambientes, deve-se ter cautela ao executar cortes, terraplanagens e desmatamentos cuja consequência é a exposição destes solos a ação das águas pluviais, sobretudo em regiões de relevo colinoso com superfícies côncavas e bem drenadas, como a região das voçorocas de Itabirito. Estas apresentam ainda encostas profundas, com variação de cores e promovem o processo de adaptação de novas formas de vida vegetal nas áreas erodidas, desenvolvendo dessa forma um ecossistema local (SILVA, 2007).

Na região de estudo, esta porção apresenta ocupações esparsas, mas se encontra em processo de expansão, embora no Plano Diretor (ITABIRITO, 2008, p. 45), esteja claramente indicado que nessas áreas “o solo não apresenta aptidão agrícola, mostrando-se frágil e com tendência a voçorocamento, demandando o uso de práticas

agrícolas conservacionistas adequadas, sendo recomendada a adoção de medidas de recuperação ambiental”.

Portanto, caso não haja uma intervenção por parte do poder público no manejo de uso e ocupação destas áreas, as edificações já instaladas estão suscetíveis a riscos, como pode ser observado na Fotografia 6 (a, b), casas próximas a uma voçoroca ativa.

Fotografia 6 - Voçoroca localizada próxima ao distrito de São Gonçalo do Bação e edificações



Pode ser observado os taludes íngremes e ocorrência de pequenos movimentos de massa, além de uma distribuição heterogênea da vegetação, com predominância de pequenos arbustos na porção média e inferior da voçoroca, insuficientes para conter o processo geomorfológico que continua avançando em direção à remontante.

Legenda: a) enquanto a jusante; b) ela é estreita e encaixada.

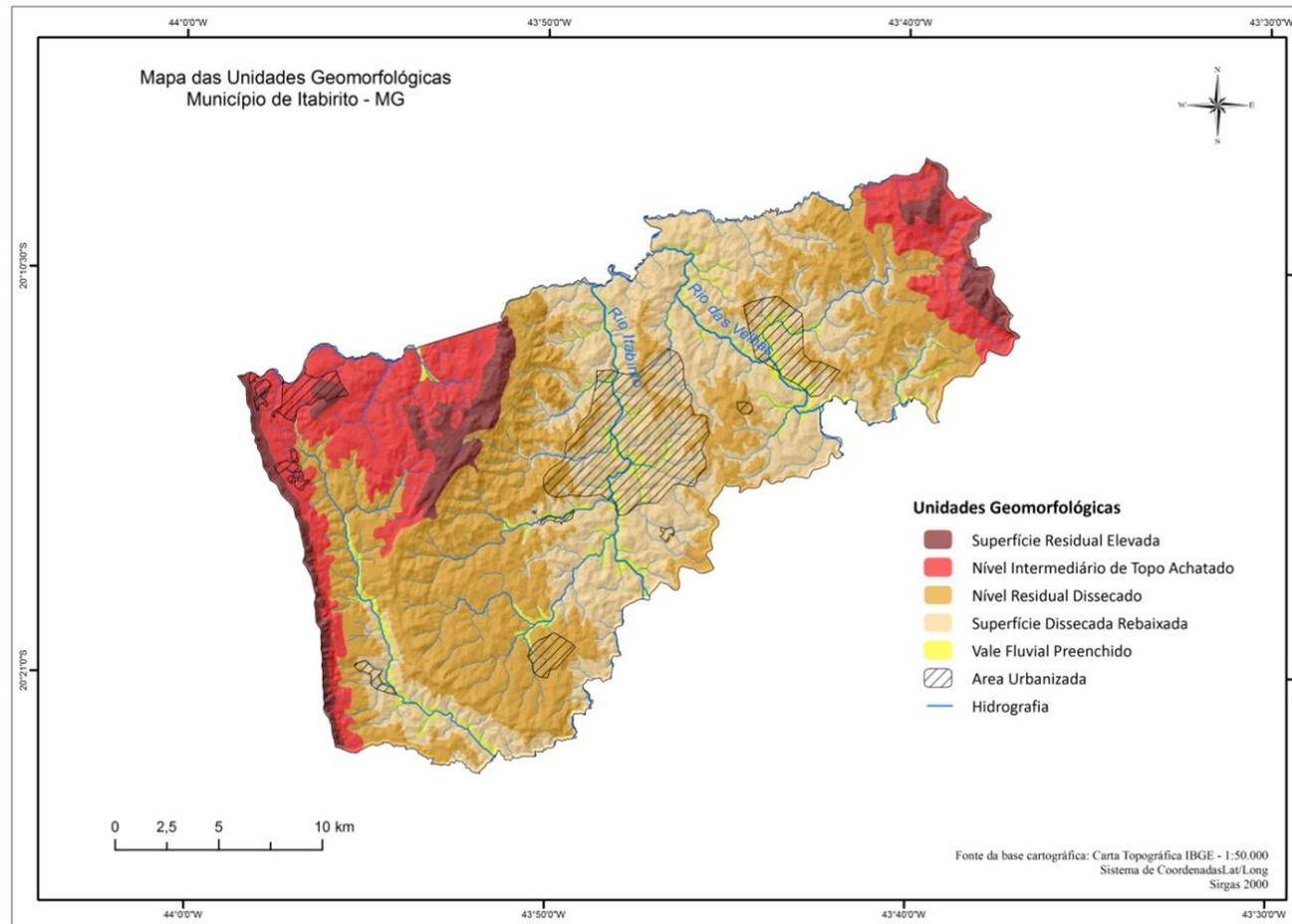
Fonte: Da autora, 2018.

5.4.2.5. Unidades Geomorfológicas

O mapeamento das Unidades Geomorfológicas buscou atender à proposição de uma visão mais integrada e contextualizada dos aspectos biofísicos da área de estudo, e expressa à estruturação das formas do relevo, formas estas, que se encontram intrinsecamente associadas aos processos que nelas atuaram e ainda atuam, e aos seus materiais de composição, sejam eles rocha ou geocoberturas, incluindo o solo. Sendo assim, constituem elementos da paisagem que integram processos não só evolutivos, como da dinâmica atual da superfície da área.

Foram identificadas cinco Unidades Geomorfológicas (Mapa 19) na área de estudo, cada uma com suas próprias características geológicas, geocoberturas, vegetação e suscetibilidade à atuação dos processos erosivos e de movimentos de massa.

Mapa 19 - Mapa das Unidades Geomorfológicas do Município de Itabirito – MG



Fonte: Carta Topográfica IBGE, 2018.

O Mapa 19, com as cinco Unidades, se mostrou um importante instrumento para espacializar e analisar estes domínios do relevo, que serviram de base para a proposta de uso e ocupação do município de Itabirito.

A **Superfície Residual Elevada** (Mapa 19) é formada pelos topos das cadeias dobradas de rochas de itabiritos da Formação Cauê do Grupo Itabira, e quartzitos da Formação Moeda do Grupo Caraça. Encontram-se localizadas nas bordas leste e oeste do município e são representadas respectivamente pelo Sinclinal Gandarela e pela Serra de Itabirito. Essas serras, com altitudes entre 1.620 e 1.740m são, segundo Barbosa (1980), sinclinais alçados remanescentes de estruturas geológicas antigas submetidas à inversão de relevo.

Apresenta baixas taxas de denudação geoquímica em relação às demais unidades devido à extensa presença de lateritas *lato sensu (l.s)*, nos termos propostos Augustin, et al. (2013), o que contribui para a manutenção das porções mais elevadas do relevo. A presença das cangas, ou lateritas (*l.s*), e a relativa convexidade das mesmas influenciam nas baixas taxas de infiltração da água de chuva.

Em função da resistência dessas coberturas, e ainda dos quartzitos, ao processo de intemperismo químico, mesmo em condições quentes e úmidas na maior parte do ano, apresentam relevo com vários afloramentos, em especial no domínio quartzítico. Neste, predominam solos Neossolos Litólicos, enquanto nas áreas de rochas itabiríticas, são as lateritas expostas, formadas por fragmentos de rocha consolidados por matriz rica em ferro, as feições mais recorrentes da paisagem natural, embora também estejam presentes os Neossolos Litólicos, caracterizados por cor vermelho escura, ricos em ferro e muita pedregosidade.

Carvalho Filho; Curi e Shinzato (2010, p. 915) destacam ainda que “os solos relacionados aos dolomitos ferruginosos, da Formação Gandarela, apresentam também conteúdos muito elevados de óxidos de manganês, aos quais estão associadas cores muito escurecidas”. Juntamente com a altitude, a presença das

cangas e de solos muito ricos em ferro, favorece a ocorrência de vegetação rupestre ferruginosa e de campos de altitude, embora as cangas também contem, como observado pelos autores supracitados, cobertura de líquens.

A vegetação de maior porte, arbustos e gramíneas, ocorre apenas nos fundos de vales incipientes de cursos de água temporários que conseguiram erodir a cobertura de canga, expondo os xistos e itabiritos dolomíticos. Em função das maiores altitudes, os elementos topográficos dessa Unidade funcionam como grandes divisores de água.

O Nível Intermediário de Topo Achatado (Mapa 19) ocupa os extremos noroeste e nordeste do município, com altitudes intermediárias entre 1.373 e 1.618m formando níveis topográficos mais baixos do que os do domínio anterior. São áreas nas quais se destacam os patamares erosivos mais elevados do vale do ribeirão do Silva (que drena a borda leste do sinclinal moeda) que foram e continuam sendo modeladas pela incisão do sistema de drenagem deste ribeirão e pelo reafeiçoamento das encostas, embora apresentem menor densidade de drenagem do que as demais Unidades.

A presença dessas formas de relevo em porções topograficamente mais baixas do que a Unidade I (Superfícies Residuais Elevadas) decorre não somente da maior susceptibilidade dos filitos ao processo de intemperismo, e conseqüentemente à erosão, mas também à eficiência do intenso processo de dissecação pela incisão dos vales dos rios Itabirito na porção leste e o rio das Velhas na oeste, e seus tributários, favorecendo a disponibilidade de água para o intemperismo e a erosão de rochas mais resistentes, como dolomitos, itabiritos e cangas do substrato geológico da área. Por se encontrarem em espaço contíguo aos dos topos dos sinclinais, contam com declividades acentuadas nos fundos de vale, embora seus topos sejam largos e achatados, indicando a possibilidade de que sejam relevos residuais de antigos pedimentos preservados em função da dificuldade de incisão da drenagem. Esse fato é sustentado por Carvalho Filho; Curi e Shinzato (2010), ao apontarem a ocorrência de solos pouco desenvolvidos e formados pela acumulação pedimentar, o que lhes confere alta porcentagem de pedregosidade.

Destacam-se os Neossolos Litólicos e Cambissolos de caráter perférricos, com teores de ferro extremamente elevados, “intensa cor vermelha, em alguns casos com tonalidade bastante escurecida” (CARVALHO FILHO; CURI; SHINZATO, 2010, p. 907). Em parte da Serra da Moeda, foi também identificada, pelos mesmos autores, a presença de espessas massas soldadas por matriz ferruginosa, com solos que podem ser classificados como Plintossolos Pétricos concrecionários, bem como a presença de Latossolos Vermelhos perférricos.

Outro fator que contribui para a manutenção dessas superfícies são as geocoberturas ricas em ferro, em grande parte oxidadas. São encostas ocupadas por vegetação do tipo campo rupestre ferruginoso, em especial nas áreas com a presença das massas pedregosas soldadas por matriz ferruginosa que se alternam com cerrado baixo, de arbustos esparsos, com predominância de gramíneas em áreas de afloramento do itabirito muito intemperizado.

Por causa das matrizes ferruginosas, que em partes das vertentes encontram-se endurecidas, formando lateritas (*l.s.*), os processos de escoamento superficial da água de chuva atuam solapando a base e contribuindo para seu colapso e queda. São áreas que, em função da sua localização entre os topos e as bases da Unidade I, topograficamente mais elevada, e de maior declividade, são muito susceptíveis à atuação de processos erosivos, embora as geocoberturas tendam em curto e médio prazo, a aumentar a coesão devido à oxidação do ferro, elemento presente em todo o perfil alterado, seja este elúvio ou colúvio. São áreas, portanto, que do ponto de vista geotécnico, têm potencial de uso para ocupação por construções, mas que do ponto de vista do conjunto de fatores em análise, deveriam ser preservadas. No entanto, a erosão provocada pelos fluxos temporários da água de chuva forma cabeceiras nas bordas dos domínios das cangas e/ou itabiritos, tanto do lado interno, quanto externo das serras, retirando as porções superficiais concrecionadas do ferro (cangas), solapando suas bases e levando à quebra e, eventualmente, ao seu deslocamento pelo efeito da gravidade.

Essas áreas são, assim, pouco adequadas para uso e ocupação, uma vez que oferecem riscos de movimentos de blocos de cangas. Além disso, constituem áreas de nascentes, que deveriam ser preservadas como potencial futuro para fornecimento de água potável. Em função da declividade menos acentuada dos topos, da litologia e das características estruturais da região, que foi submetida a expressivas deformações, há tendência de maior infiltração da água de escoamento superficial, transformando essas áreas em bons retentores de água que alimentam as nascentes de córregos e ribeirões da área estudada. São áreas de reservas hídricas apresentando, portanto, potencial de uso de recursos naturais para abastecimento de água para a área urbana.

O **Nível Residual Dissecado** (Mapa 19) constitui patamares topograficamente mais baixos da Unidade II (Nível Intermediário de Topo Achatado), já erodidos e dissecados, devido à alta concentração da drenagem, com altitudes entre 940 a 1.460 m. Esse nível é formado principalmente sobre metarenitos, xistos e filitos dolomíticos e apresenta taxas médias de denudação geoquímica. Constitui a segunda maior Unidade em termos de área e ocupa todas as porções do platô interno da Serra da Moeda e da bacia do rio das Velhas. Nesses domínios, Carvalho Filho; Curi e Shinzato (2010) aponta a predominância de Cambissolos cascalhentos, de textura argilosa, ricos em ferro e, mais raramente, de Latossolos vermelhos a amarelos encontrados em deposições coluviais, nas baixas encostas da Serra da Moeda e do Itabirito. Nas porções mais declivosas, o autor identificou a presença de Litossolos Litólicos e Regolíticos.

A cobertura vegetal das áreas inseridas nesta Unidade varia em função da disponibilidade de água e do desenvolvimento do solo. Predominam as gramíneas, do tipo campo limpo, vegetação rupestre ferruginosa, com a presença de matas que acompanham os fundos de vale mais encaixados.

Os processos geomorfológicos mais frequentes, em parte decorrentes da cobertura vegetal mais aberta e da declividade acentuada em vertentes de vales encaixados,

são: a erosão dispersa, provocada pelo escoamento superficial da água de chuva e, em algumas vertentes, o voçorocamento. Em função dessa maior vulnerabilidade, combinação da presença de rochas mais susceptíveis ao intemperismo químico, declividade por vezes acentuada, solos predominantemente pouco desenvolvidos, e ocorrência de erosão concentrada da água de escoamento superficial, são áreas cujo uso urbano pode se tornar problemático.

A Superfície Dissecada Rebaixada (Mapa 19) é unidade caracterizada por relevo de colinas arredondadas e vales encaixados, localizados em patamares topograficamente mais baixos das bacias dos rios do Peixe e ribeirão Mata Porcos, posteriormente denominado de rio Itabirito que deságua no rio das Velhas, estão entre as altitudes de 760 a 1.120 m. Essas são áreas de domínio de rochas cristalinas do batólito do Itabirito que apresentam intenso intemperismo químico. Ocupando posições topográficas intermediárias entre os fundos de vale e Nível Residual Dissecado esta Unidade tem, por vezes, vales encaixados, de paredes abruptas, indicando retomada erosiva recente.

Os solos, de acordo com Carvalho Filho; Curi e Shinzato (2010, p. 46), acompanham o relevo, com o predomínio de Latossolos Vermelhos em encostas convexas e de Cambissolos Háplicos em áreas côncavas e fundos de vale, “ambos com textura argilosa e baixa fertilidade”. Também é uma Unidade na qual ocorrem voçorocas, associadas às atividades de mineração no passado (ROESER e ROESER, 2010) e mesmo às agrícolas. A presença de voçorocas compromete o uso e ocupação da terra, bem como contribui para o assoreamento dos fluxos de água da área.

O **Vale Fluvial Preenchido** (Mapa 19) constitui unidade caracterizada pelos processos fluviais sazonais de erosão e deposição, apresentando elevada carga sedimentar, em parte resultante do material proveniente da presença densa de voçorocas, causada por ações antrópicas. Entre estas ações, estão o uso e ocupação inadequado de áreas para a construção, aberturas de estradas vicinais, mudanças nos cursos dos rios, ribeirões e córregos, mineração entre outros, apesar de, como

apontado por Bacellar (2000), sua ocorrência tenha forte condicionamento das litologias cristalinas do Complexo do Bação.

Esta Unidade conta com duas sub-unidades: os terraços e os canais fluviais. Embora todos ocorram em área de influência da dinâmica fluvial, os terraços tendem a estar submetidos também aos processos de encostas, com deposições de sedimentos provenientes das suas porções superiores (Mapa 19). Em ciclos excepcionais de alta pluviosidade, podem sofrer erosão dos fluxos fluviais em decorrência das enchentes, constituindo, portanto, áreas potenciais de riscos em função de enchentes. Nos terraços mais antigos, estáveis, menos susceptíveis às enchentes sazonais, podem ser encontrados Cambissolos e mesmo Latossolos Vermelhos, enquanto nos mais recentes, os Gleyssolos; mais próximos aos canais e mesmo dentro, os Neossolos Flúvicos, em geral, arênicos.

5.4.3. Aplicação de técnicas de multicritérios na integração, sumarização e espacialização das variáveis geomorfológicas

Com vistas a contribuir para a sumarização e integração dos dados e informações que tiveram como base analítica os aspectos geomorfológicos diretos: Índice de Hack, de Concentração de Rugosidade, de Unidades Geomorfológicas, Processo Erosivo Acelerado (voçorocamento) e, indiretos: Índices de Intemperismo e Mapa Geológico/Geotécnico da área, duas técnicas de Análise de Multicritérios foram utilizadas: Pesos de Evidências e Análise Combinatória. Essas técnicas auxiliam na integração e sumarização das variáveis consideradas, permitindo a representação das áreas com os melhores valores ou índices, indicando as mais propícias ao uso e ocupação da terra no município de Itabirito, conforme descrito no capítulo de metodologia. O Quadro 2 apresenta de forma sucinta como as variáveis se interagem na paisagem da área de estudo.

Quadro 2 - Síntese das características do meio físico por unidades geomorfológicas do município de Itabirito-MG

Unidades Geomorfológicas	Variáveis do Meio Físico			
	Geologia	Índice de Rugosidade	Índice de Hack	Processos Erosivos
Superfície Residual Elevada	Itabiritos, filitos	Fortemente escarpado	Muito alto	Baixo
Nível Intermediário de topo achatado	Quartzito ferruginoso, filitos, dolomitos	Ondulado a fortemente ondulado	Muito baixo a baixo	Alto
Nível Residual Dissecado	Metarenitos, filitos dolomitos, granitos	Fortemente ondulado a escarpado	Alto a muito alto	Muito alto
Superfície Dissecada Rebaixada	Filitos/dolomitos na porção sudoeste; granitos e metarenitos, quartzitos	Fortemente ondulado	Médio a alto	Alto
Vale Fluvial Preenchido	Granitos/Metarenitos	Ondulado	Muito baixo a baixo	Médio

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

De acordo com Moura (2007) a Análise Multicritérios é descrita com um modelo cuja representação se refere a um recorte da realidade (que foi, portanto, reduzida), através da seleção das principais variáveis que caracterizam um determinado fenômeno. Essas variáveis são organizadas em camadas de informações, com resolução espacial que respeita a discretização do território de acordo com os objetivos de investigação. Após esse processo, conforme Rocha, Casagrande e Moura (2018 p. 51)

as camadas de informações recebem um julgamento sobre seu significado para o objetivo de investigação, representado como um valor numérico quanto ao grau de pertinência segundo o objetivo de investigação (a partir da codificação numérica de elementos que antes eram em escala ordinal, quantitativa e seletiva ou nominal).

Portanto, o fundamento da Análise Multicritérios é a álgebra de mapas, uma vez que seleciona as principais variáveis que representam uma realidade, as representa de modo numérico para depois integrá-las (ROCHA; CASAGRANDE; MOURA, 2018).

5.4.3.1 Análise Combinatória

O método de Análise Combinatória provém de julgamentos par a par das variáveis de investigação, e permite ao pesquisador o controle da presença ou ausência de cada variável e a reflexão sobre o peso da combinação com outras variáveis nos resultados parciais, sucessivamente, à medida que se acrescentam variáveis na análise, até se chegar a uma análise final resultante das combinações.

As duas primeiras integrações foram: Índice de Hack com Índice de Concentração da Rugosidade (Tabela 7) e Unidades Geomorfológicas com Geologia/Geotecnia (Tabela 8) para obtenção dos primeiros resultados. A partir do produto das duas integrações, foi realizada uma nova integração, dessa vez com a variável densidade de voçorocas. Esta foi considerada separadamente, devido à grande concentração deste processo no município.

Tabela 7 - Integração das variáveis do Índice de Concentração da Rugosidade e Índice de Hack.

			Índice de Concentração da Rugosidade				
			Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
			615	622	629	636	742
Índice de Hack	Muito Baixo	310	925	932	939	946	1052
	Baixo	320	935	942	949	956	1062
	Médio	330	945	952	959	966	1072
	Alto	340	955	962	969	976	1082
	Muito Alto	350	965	972	979	986	1092

Legenda: vermelho=muito ruim; laranja=ruim; amarelo=médio; verde claro=bom; verde escuro=muito bom.

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Salienta-se que os valores indicados não possuem relação, ou seja, não são quantitativos, nem possuem valor de julgamento. Referem-se a valores atribuídos apenas para permitir a separação dos componentes de legenda das respectivas variáveis, tendo a função de as tornarem seletivas ou nominais. Para exemplificar, nos componentes de legenda do Índice de Hack que varia de muito baixo para muito alto, foram atribuídos valores que possuem a função apenas de tornar cada um seletivo; o

mesmo vale para os componentes de legenda do Índice de Rugosidade, unidades Geomorfológicas e unidades Geológicas/Geotécnicas.

Tabela 8 - Integração das variáveis Geomorfologia e Geologia/Geotecnia

			Unidades Geomorfológicas				
			Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
			201	202	203	204	205
Geologia/Geotecnia	Muito						
	Baixo	35	236	237	238	239	240
	Baixo	45	246	247	248	249	250
	Médio	55	256	257	258	259	260
	Alto	65	266	267	268	269	270
	Muito Alto	75	276	277	278	279	280

Legenda: vermelho=muito ruim; laranja=ruim; amarelo=médio; verde claro=bom; verde escuro=muito bom

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Tabela 9 - Cruzamento do produto gerado entre Índice de Hack e Índice de Rugosidade com Geomorfologia/Geologia, com a variável Processos de Erosão Acelerada (voçorocamento)

			Sem voçorocamento	Com voçorocamento
			20	100
Índice de Hack e Índice de Rugosidade/Geologia e Geomorfologia	Muito bom	7005	7025	7105
	Bom	7010	7030	7110
	Médio	7012	7032	7112
	Ruim	7018	7038	7118
	Muito ruim	7019	7039	7119

Legenda: vermelho=muito ruim; laranja=ruim; amarelo=médio; verde claro=bom; verde escuro=muito bom

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

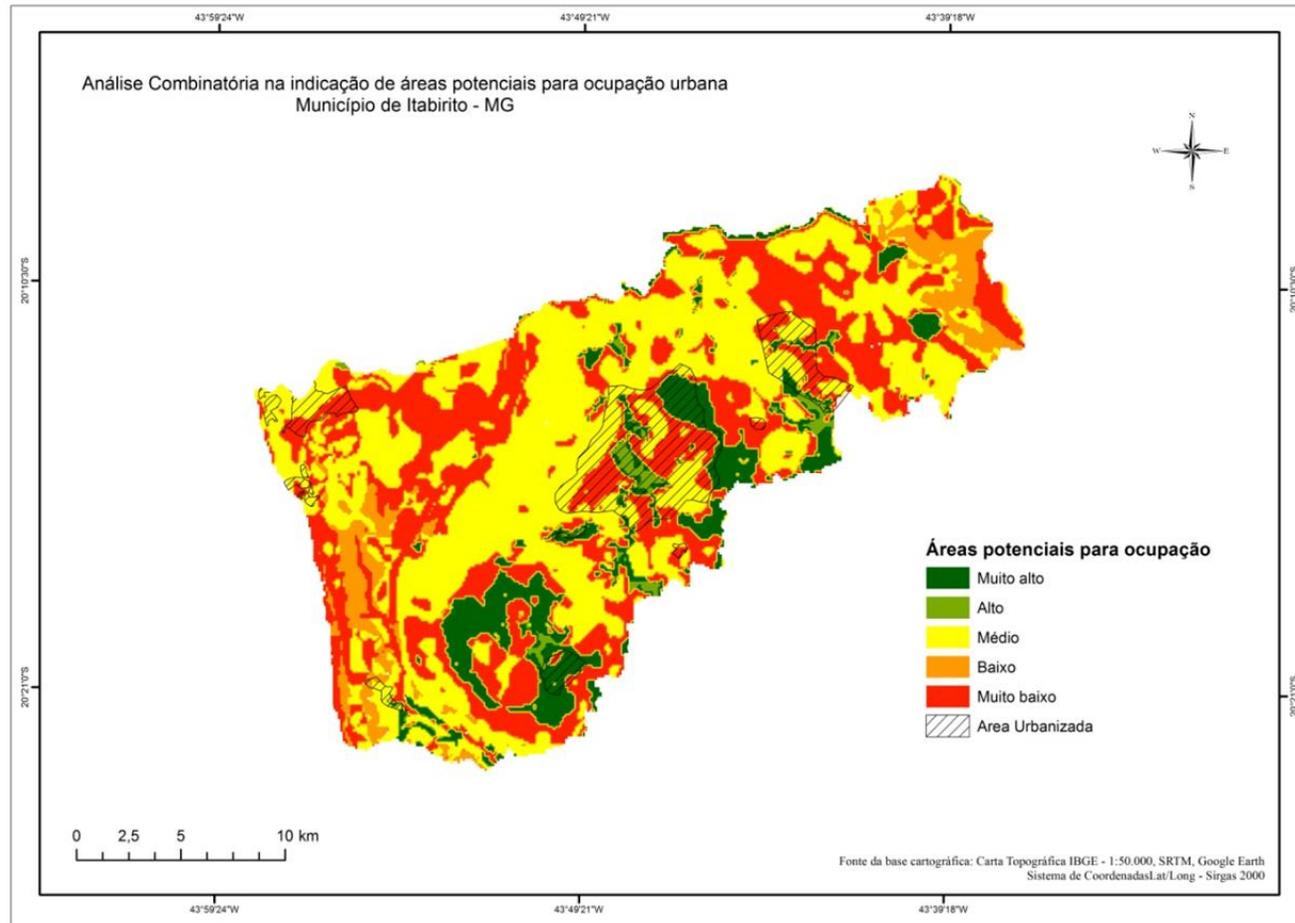
No Mapa 20, gerado por essa técnica, pode-se observar que os locais mais adequados se concentram na maior parte na porção sul do município, próxima ao distrito de São Gonçalo do Bação, região que se caracteriza por presença de relevo de colinas arredondadas e declividades suaves. Porém, a mesma região apresentou também os piores resultados, devido à presença de voçorocas (Mapa 20).

Parte do distrito sede, mais precisamente na porção leste e central concentraram os melhores locais para ocupação urbana, explicado pelos baixos valores do IH e ICR, pois para estes dois parâmetros, baixos valores são interessantes para ocupação. Porém o restante do distrito sede apresentou também os piores locais, sobretudo nas regiões onde se concentram os cursos d' água, junto a altos valores e IH.

Os demais locais que apresentaram baixo potencial, correspondem às áreas de serras, mais precisamente nas regiões do sinclinal Moeda e o sinclinal Gandarela, cujas declividades impossibilitam a ocupação de forma segura, além de não serem permitidas de acordo com a legislação (BRASIL, 2002). Destaca-se que as áreas identificadas como ruins pra ocupação, são sobretudo, as com ocorrência de voçorocas, variável cruzada separadamente devido a alta ocorrência no município, além de grandes dimensões das mesmas.

Na porção noroeste do município notam-se áreas de potenciais de médio a baixo de ocupação urbana, em função de que a mesma, embora se caracterize por baixa densidade de drenagem, constitui zona de cabeceiras, além de apresentar atividades minerárias, o que a torna uma zona potencial de conflito para uso urbano.

Mapa 20 - Análise Combinatória para avaliação do Potencial de uso e ocupação da terra, município de Itabirito – MG



Fonte: Carta Topográfica IBGE; SRTM; Google Earth, 2018.

Fotografia 7 - Região próxima ao distrito de São Gonçalo do Bação, cujos resultados indicam baixa aptidão para ocupação urbana, devido à alta concentração de processos erosivos acelerados



Fonte: Da autora, 2018.

Fotografia 8 - Residências próximas a curso d'água, sujeitas à inundação



Fonte: Da autora, 2018.

5.4.3.2. Pesos de Evidências

A técnica Pesos de Evidência permitiu a construção de um mapa com a hierarquia contendo o julgamento dos diferentes pesos atribuídos através do método Delphi, de áreas com os potenciais de ocupação, a partir do cruzamento das variáveis, no caso, foram as geomorfológicas (direta e indiretas), que foram ponderadas de acordo com a finalidade de mapeamento das melhores áreas de uso e ocupação da terra no município de Itabirito. Esse processo é relevante no que se refere à classificação das vulnerabilidades, potencialidades, interesses e probabilidades, isto é, tudo que exigiu um ranking classificatório. Seguem abaixo as Tabelas 10 e 11 com as notas e ponderações consideradas neste trabalho.

Tabela 10 - Notas referentes às Unidades Geomorfológicas

Unidades Geomorfológicas	
Componentes de Legenda	Notas
Superfície Residual Elevada	1
Nível Intermediário de Topo Achatado	3
Nível Residual Dissecado	6
Superfície Dissecada Rebaixada	8
Vale Fluvial Preenchido	3

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Tabela 11 - Notas referentes às Unidades Geológicas/geotécnicas

Unidades Geológicas/Geotécnicas	
Componentes de legenda	Notas
Lateritas	2,0
Dolomito	4,0
Quartzito	5,0
Filito	5,5
Metarenito	6,0
Itabirito	7,0
Granito	8,0

Fonte: PARIZZI, 2011.

O produto final da aplicação desta técnica, foi o mapa com áreas potenciais para uso e ocupação da terra no município de Itabirito (Mapa 21), resultante da classificação e ponderação das cinco variáveis: 1) Unidades Geomorfológicas; 2) Índice de Concentração de Rugosidade 3) Índice de Hack; 4) Geologia/Geotecnia e 5) Processos Erosivos Acelerados (voçorocamento), conforme pode ser verificado na Tabela 12.

Tabela 12 - Pesos das variáveis consideradas

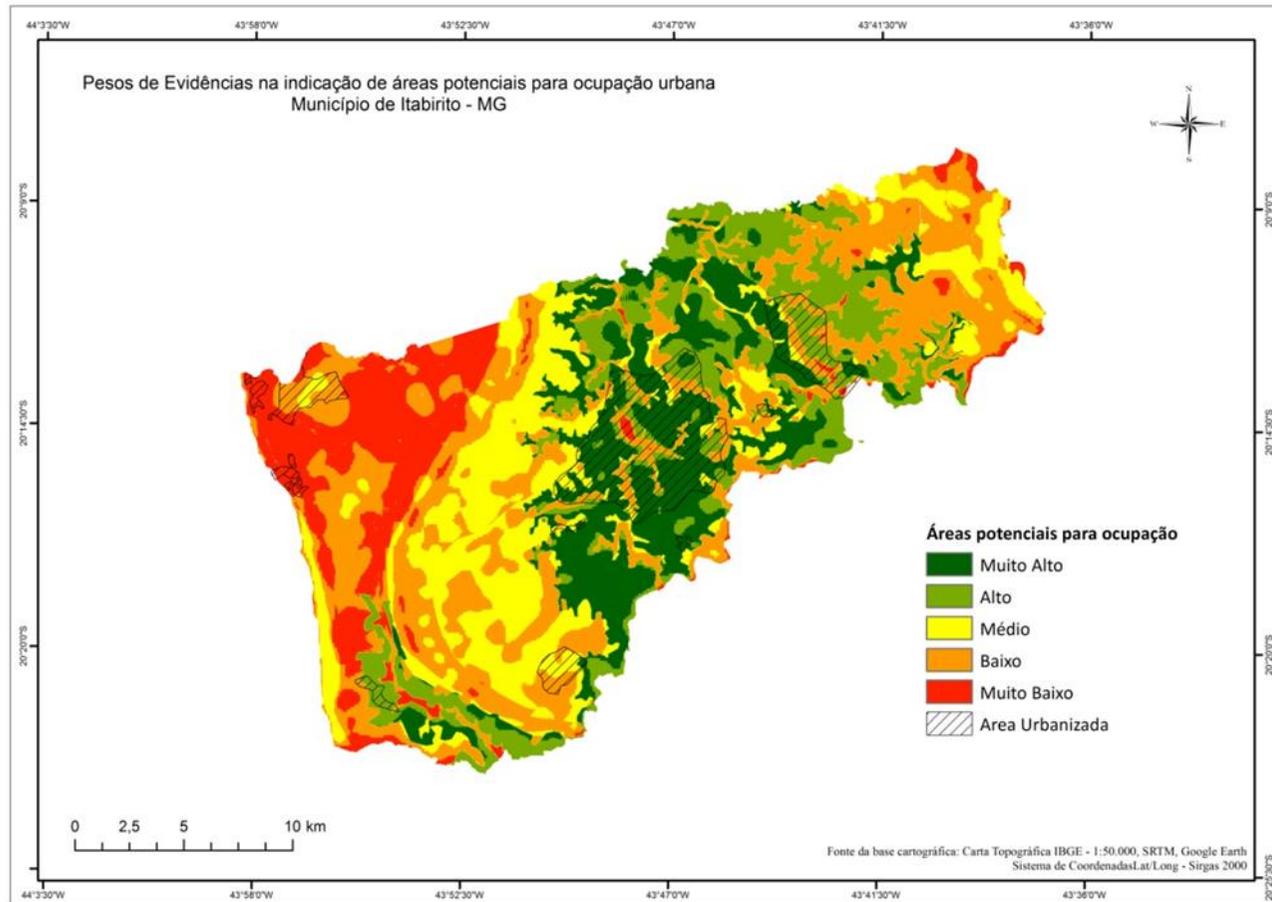
Pesos de Evidências	
Variáveis	Pesos
Unidades Geomorfológicas	35%
Índice de Concentração da Rugosidade	25%
Índice de Hack	17%
Geologia/Geotecnia	13%
Voçorocas	10%

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

No estabelecimento dos pesos para análise de multicritérios, a variável Unidades Geomorfológicas recebeu o maior peso, de 35%, pois se assume que as formas de relevo constituem uma maneira integrada de resposta aos diversos fatores e variáveis envolvidos na dinâmica da superfície da Terra, sendo afetada, e afetando, todos os elementos que compõem a paisagem, incluindo os antrópicos (COOKE; DOORNCAMP, 1974; VERSTAPPEN, 1983; BOCCO; MENDOZA; VELÁZQUEZ, 2001; BARTHELOS, 2007).

Conforme pode ser observado no Mapa 21, a região que obteve o maior potencial se refere ao complexo do Bação, local onde afloram rochas graníticas, com características geotécnicas favoráveis a ocupação, além de apresentar baixos índices de declividade

Mapa 21 - Pesos de Evidências na indicação de áreas potenciais para ocupação urbana, município de Itabirito - MG



Fonte: Carta Topográfica IBGE, SRTM, Google Earth, 2018.

Na porção sul do mapa, a região obteve potencial de médio a baixo, em especial próximo o distrito de São Gonçalo do Bação. Apesar das condições favoráveis do ponto de vista geotécnico e apresentar baixo índice de rugosidade, como indicado no Mapa de ICR, trata-se de região que apresenta intensos processos erosivos (Mapa 21) que dificultam o uso e ocupação urbana.

Os mais baixos potenciais de uso concentram-se na Unidade Nível Intermediários de Topos achatados, que contam com baixa densidade de drenagem e são áreas de nascentes; parte dessa unidade está inserida na zona urbana BR 040. São também regiões que podem, em função da localização geomorfológica abaixo das Superfícies Residuais Elevadas, serem consideradas de potencial de risco, em função de deslocamentos de blocos de cangas, como indicado na análise das Unidades Geomorfológicas. Também são áreas com concentração de atividades minerárias, portando, inadequadas, para expansão urbana.

Interessante notar que os valores do ICR na porção noroeste, no domínio do Nível Intermediário de Topos Achatados, não são tão elevados quanto na parte da borda leste da Serra do Itabirito, onde dominam metarenitos indicando que, apesar da altitude elevada, há dificuldade da drenagem em dissecar rochas dessa litologia.

Os menores valores de ICR englobam tanto a Unidade de Topos Residuais como parte do Nível Intermediário de Topos Achatados e do Nível Residual Dissecado.

5.4.4 Considerações sobre os resultados da aplicação das técnicas de integração sumarização e espacialização dos dados

As técnicas utilizadas na sumarização e espacialização das variáveis utilizadas se mostraram úteis não só para produção de sistemas, como para qualquer usuário de Geoprocessamento que necessite definir qual método de Análise de Multicritérios melhor se adequa aos objetivos da investigação. Neste trabalho, as técnicas utilizadas apresentaram resultados distintos. Na técnica de Pesos de Evidências foi apresentado

um ranqueamento genérico das variáveis e de interesses resultante da integração de fatores ponderados; o mapa resultante detalha como maior precisão os locais com maiores potenciais ou não, pois são identificados níveis de interesse dentro das manchas geradas genericamente.

Na Análise Combinatória, o raciocínio sobre o papel de cada variável acontece diante dos resultados parciais (ou final), segundo o significado da combinação obtida, logo, obteve-se um resultado qualitativo e seletivo. A Análise Combinatória apresentou como resultado o mapa que retrata os valores segundo as decisões da autora, realizadas por combinação par-a-par das variáveis, a partir do julgamento do significado da presença de determinados fatores de modo simultâneo no território, até se chegar ao produto final.

Os mapas resultantes da aplicação das duas técnicas representam de maneira integrada os potenciais de usos dos diferentes componentes da paisagem, tendo como base a compreensão de que as formas de relevo. Isto, porque assume-se que estas congregam em si, vários aspectos importantes do meio ambiente, pois influenciam e condicionam: o escoamento/infiltração da água de chuva com efeitos sobre o potencial erosivo nas vertentes; a estabilidade/instabilidade das encostas e suas respostas sob a forma de movimentos de massa, mesmo em maciços rochosos; o transporte/assoreamento dos canais fluviais, influenciando também na ocorrência de enchentes e inundações; o nível freático, que tende a acompanhar o relevo; o desenvolvimento das geocoberturas, entendidas aqui como todo o material presente na vertente, da superfície à rocha sã, incluindo o solo pedológico e cobertura vegetal, afetando tanto os ecossistemas quanto o potencial de ocupação urbana.

Constitui, portanto, uma abordagem que tem o potencial de gerar uma ampla gama de conhecimento sobre os aspectos físicos essenciais para que o município possa melhor planejar seu uso e ocupação do solo a fim de gerar melhorias para a população e planejar de forma mais adequada a partir do conhecimento em função do local geográfico a qual está inserido.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ser humano consiste em um dos maiores agentes modificadores do meio ambiente, através da construção de formas consistentes com suas atividades econômicas bem como seu desenvolvimento tecnológico. Devido a isso, vários problemas são resultantes como enchentes, assoreamentos, erosão, dentre outros, se fazendo necessário a compreensão da dinâmica ambiental e a adequação das estruturas urbanas a ela sobrepostas.

A consideração de variáveis ambientais ao planejamento municipal é algo fundamental nos dias atuais, sobretudo devido à expansão da malha urbana pra setores antes desvalorizados, impulsionados pelos atores produtores do espaço com suas consequências socioambientais. Para além do ordenamento, o planejamento é, em escala municipal, uma das alternativas no que se refere à preservação e conservação dos sistemas ambientais nos municípios, buscando promover um uso racional e equilibrado do ambiente, o que se reflete de forma positiva sobre a sociedade. Assim, a Geomorfologia como a ciência voltada à compreensão das formas e dinâmica do relevo é conhecimento essencial para o planejamento da ocupação de novas áreas de forma a que se evite e/ou contorne os problemas relacionados às formas de ocupação inadequadas do relevo, servindo como base para a elaboração de mapa de delimitação de áreas de uso, respeitando os limites do ambiente.

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). Contudo, aspectos específicos relacionados à base da ocupação, como a geomorfologia, são ainda negligenciados. Ter conhecimento sobre esta variável do meio físico auxilia, com elevado nível de assertividade, a previsão e prevenção de problemas relacionados a risco, uma vez que a ocupação urbana em locais

inadequados repercute, na maioria das vezes, em sérios problemas para os agentes públicos.

A abordagem metodológica neste trabalho se mostrou expressiva enquanto subsídio ao zoneamento municipal no que tange às áreas de expansão urbana e identificação dos vetores de crescimento, não sendo aplicáveis, portanto àquelas com ocupação urbana consolidada. Ao se aplicar as metodologias propostas, é 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. Nesse sentido, a partir da identificação dos locais aptos para ocupação do ponto de vista geomorfológico e ambiental, indica-se proceder com a delimitação das zonas e de suas diretrizes de uso, uma vez que, locais apontados como de baixa aptidão para ocupação, se referem a terrenos que uma vez ocupados, podem se transformar em áreas de risco.

As análises geomorfológicas permitiram compreender alguns dos efeitos e respostas do meio físico do município decorrentes do processo de urbanização, no qual as variáveis ambientais não foram adequadamente consideradas. Pode-se aferir que, aliado as condições naturais de suscetibilidade, a ação antropogenênica vem alterando a dinâmica natural da área de estudo, contribuindo na intensificação dos processos de vertentes, fluviais, de escoamento concentrado, e erosão acelerada, observados em vários locais da área de estudo. As consequências envolvem situações de risco tais como áreas suscetíveis a inundações, escorregamentos, deslizamentos e perdas de terrenos devido a processos erosivos acelerados e de grande intensidade. Posteriormente essa situação se transforma em um desafio para a gestão municipal, uma vez que se tornam áreas consolidadas.

Através da análise do Plano Diretor, foi verificado que aspectos geomorfológicos e ambientais não foram corretamente utilizados na definição do zoneamento analisado, no qual foram identificadas situações de usos incompatíveis dentro de uma mesma zona, além de locais cujas limitações impostas pelo meio físico, não foram

contempladas corretamente na definição das diretrizes de planejamento. Este fato corrobora a hipótese deste trabalho, no qual foi constatada certo grau de inobservância dos aspectos ambientais na elaboração do Plano Diretor.

Nesse sentido, constata-se que a realização de levantamentos geomorfológicos com vistas a definir unidades físicas e geográficas são fundamentais enquanto ferramentas de subsidio para a elaboração de instrumentos de planejamento. Assim, as abordagens adotadas neste trabalho tiveram como objetivo, demonstrar que existem diversas formas de se analisar o relevo, podendo variar das mais sofisticadas com apoio de geotecnologias, até as mais simples, sendo estas últimas, justificadas pela acessibilidade dos dados e de fácil compreensão dos elementos que embora sejam básicos, se mostram essenciais no planejamento territorial.

As unidades/formas de relevo, em razão do seu caráter integrador são unidades espaciais do meio ambiente de fácil observação e análise tanto no campo, quanto nas diversas formas representações, constituindo base confiável da análise, implementação e acompanhamento de estudos e planos do uso potencial e manejo da terra. Por conseguinte, o conhecimento das características e da dinâmica do meio ambiente de uma área, ou seja, dos processos e dos agentes modeladores da paisagem, é imprescindível para fundamentar planos que visem ordenar a ocupação da terra, e evitar a ocupação em locais inadequados e potenciais para formação de áreas de risco, que posteriormente se transformam em um desafio para a gestão das cidades.

No estudo de caso em específico, observa-se uma tendência de crescimento para as bordas noroeste (Água Limpa) e leste (ao redor da rodovia BR 356). A primeira ocupação urbana no território ocorreu devido ao território servir de entreposto entre as cidades que tinham como a extração aurífera sua principal atividade, como Vila Rica (Ouro Preto) e Sabará. Nesse período, a cidade se consolidou nas porções mais altas, com características urbanas barrocas. Após esse período, mais precisamente no século XIX com a decadência do ouro e a descoberta de jazidas de minério de ferro

em Itabirito, houve novas ondas de adensamento urbano, com a cidade se expandindo para as partes mais baixas e com novas configurações urbanas. Hoje, observa-se a terceira onda no município, que é motivada pelo crescimento urbano nas áreas periféricas do território uma vez que a sede municipal já se encontra adensada, sem possibilidades de expansão, aliada a posição estratégica no contexto da microrregião de Ouro Preto.

Nesse sentido, estudos relativos à adequabilidade para a escolha das posições de ocupação, assim como os estudos preditivos de identificação de riscos são 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 Itabirito é um exemplo que se repete na realidade brasileira, de modo que o presente estudo contribui para reflexões desta natureza que possam acontecer em outros municípios.

O presente estudo demonstra que é totalmente possível para a administração municipal conhecer as características de seu território do ponto de vista geomorfológico e ambiental, identificando potencialidades e fragilidades. Este conhecimento seria uma base mínima para se gerenciar o uso e ocupação da terra, indicando níveis de possibilidades de expansão e adensamento urbano.

REFERÊNCIAS

AFONSO DA SILVA, J. **Direito urbanístico brasileiro**. São Paulo: Ed. Malheiros, 2012.

ALBUQUERQUE, S. M de. **Modelagem de alternativas de traçado de ferrovias com uso de ferramentas de SIG e parâmetros geoambientais**. 2015. 173 f. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) - Universidade de Brasília - Unb, Brasília, 2015.

ALPHAVILLE Lagoa dos Ingleses: estudo de impacto ambiental. Belo Horizonte: Brandt Meio Ambiente, 1996.

ALEXANDER, D. Applied geomorphology and the impact of natural hazards on the built environment. **Natural Hazards**, v. 4, p. 57-80, March 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00126559>. Acesso em: 12 jul. 2018.

ALKMIM, F.F.; MARSHAK.S. Transamazonian Orogeny in the southern São Francisco Craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. **Precambrian Research**, v. 90, p. 29-58, Jan. 1998. Disponível em: http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2003/1/ARTIGO_TransamazonianOrogenySouthern.pdf. Acesso em: 12 jul. 2018.

ALMEIDA, C. M. O diálogo entre as dimensões real e virtual do urbano. In: ALMEIDA, C. M.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Orgs.). **Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

ALMEIDA, C.M.; MONTEIRO, A.M.V.; CAMARA, G. Modelagem Ambiental e Modelos Dinâmicos de Uso e Cobertura do Solo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 93-100. CD-ROM. ISBN 85-17-00017-X. (INPE-16118-PRE/10721). Disponível em: <http://urlib.net/rep/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.07.16.58>. Acesso em: 20 set. 2018.

ALMEIDA. D.V. Plano Agache: a cidade do Rio de Janeiro como palco do 1º Plano Diretor do país e a consolidação do urbanismo no Brasil. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 10., São Paulo. **Anais...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005. Disponível em: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Geografiasocioeconomica/Geografiaurbana/02.pdf>. Acesso em: 9 jul. 2018.

ALMEIDA. F. F. M. O Cráton do São Francisco. **Rev. Bras. Geoc.**, v. 7, n. 4, p. 349-364, 1977. Disponível em:

<http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11179/10638>. Acesso em: 2 ago. 2018.

AMORIM FILHO, O. B. Origens, evolução e perspectivas dos estudos sobre as cidades médias. In: SPOSITO, M. E.B (Org.). **Cidades Médias: espaços em transição**. São Paulo: Expressão Popular, 2007.

AUGUSTIN, C.H.R.R. **A preliminary integrated survey of the natural resources near Alcantarilla, Southeast Spain**. 1979. 327p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Geography Department, Sheffield University, Sheffield, UK, 1979.

AUGUSTIN, C.H.R.R.; ARANHA, P.R.A. Piping em área de voçorocamento, noroeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 7, n. 1, p. 09-18, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v7i1.56>. Acesso em: 2 ago. 2018.

AUGUSTIN, C.H.R.R.; LOPES, M.R.S.; SILVA, S.M. Lateritas: um conceito ainda em construção. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.14, n.3, p. 241-257, jul-set 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v14i3.202>. Acesso em: 2 ago. 2018.

AUGUSTIN, C.H.R.R.; SAADI, A. Avaliação preliminar, qualitativa, do impacto ambiental antrópico na Bacia do Córrego do Mergulhão-Pampulha, BH. In: SIMPÓSIO SITUAÇÃO AMBIENTAL E QUALIDADE DE VIDA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE - MG, 1., 1985, Belo Horizonte. **Anais....** Belo Horizonte: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Instituto de Geociências-UFMG, 1985, p. 261-287.

BACELLAR, L.A.P. **Condicionantes geológicos, geomorfológicos e geotécnicos dos mecanismos de voçorocamento na bacia do Rio Maracujá, Ouro Preto , MG**. 2000. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

BAETA, N. **A indústria siderúrgica em Minas Gerais**. Belo Horizonte: FJP, 1973.

BARBOSA, W.A. **Dicionário Histórico-Geográfico de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Editora Saterb. LTDA, 1971.

BARBOSA, G. V. Superfícies de Erosão no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 10, n. 1, p. 89-101, 4 dez. 1980. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/12331>. Acesso em: 2 maio 2018.

BATHRELLOS, G.D.I. An overview in urban geology and urban geomorphology. **Bulletin of the Geological Society of Greece**, v. 40, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.12681/bgsg.16888>. Acesso em: 2 maio 2018.

BERTRAND, G. Paysage et géographie physique globale: esquisse méthodologique. **Revue géographique des Pyrénées et sud-ouest**, v. 39, n. 3, p. 249-272, 1968. Disponível em: https://www.persee.fr/doc/rgpso_0035-3221_1968_num_39_3_4553. Acesso em: 20 mar. 2018.

BEZERRA, D. P. **Quadrilátero Ferrífero – MG**: Fatores Condicionantes do Relevo. Belo Horizonte, MG. 2014. 147 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

BOCCO, G.; MENDOZA, M.; VELÁZQUEZ, A. Remote sensing and GIS-based regional geomorphological mapping—a tool for land use planning in developing countries. **Geomorphology**, v. 39, n. 3-4, p. 211–219, Aug. 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(01\)00027-7](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00027-7). Acesso em: 10 mar. 2018.

BRAGA, T.M. **Risco e conflito ambiental sob o signo da mono (indústria)**: um estudo sobre políticas ambientais na bacia do Rio Piracicaba (MG). População e meio ambiente: debates e desafios. São Paulo: Editora do Senac, 2000.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção 1, 19 jul. 2000.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os Arts. 182 e 183 da Constituição Federal. Estabelece Diretrizes Gerais da Política Urbana e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção 1, 11 jul. 2001, retificado em 17 jul. 2001.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção 1, p. 1, 25 maio 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução CONAMA nº 369, de 28 de março de 2006. Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente – APP. **Diário Oficial da União**, Brasília, 29 mar. 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21 brasileira**. Brasília, [s.d.]. Disponível em: < <https://antigo.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-brasileira.html> >. Acesso em: 10 fev. 2018.

BRASIL. Congresso Nacional. **Constituição Federal de 1988**. Promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 02 ago. 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Cadernos MCidades 1: política nacional de desenvolvimento urbano**. Brasília: MCidadesI, 2004.

BROWN, A.G. 1996. **Geomorphology & Groundwater**. Chichester: John Wiley & Sons, 1996.

CABRAL, A. V. **Análise multicritério em Sistemas de Informação Geográfica para localização de aterros sanitários: o caso da região sul da Ilha de Santiago, Cabo Verde**. 2012. 112 f. Dissertação. (Mestrado em Gestão de Território), Universidade Nova de Lisboa, 2012

CAMARGOS, L. M. M. (Coord.). **Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio das Velhas: resumo executivo dezembro 2004**. Belo Horizonte. Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, 2005.

CARVALHO FILHO, A.; CURI, N.; SHINZATO, E. Relações solo e paisagem no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 45, n.8, p. 903-916, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000800017> . Acesso em: 20 nov. 2018.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [s.l.]: Do autor, 2005. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/>. Acesso em: 19 fev. 2018

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 415-437.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgar Blucher, 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Büchler, 1999.

MENDES, C. B. L. **Mineração Em Unidades De Conservação No Estado De Minas Gerais**. 2017. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

CLARKE, S.J.; BRUCE-BURGESS, L.; WHARTON, G. Linking form and function: towards an eco-hydromorphic approach to sustainable river restoration. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 13, p. 439–50, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/aqc.591>. Acesso em: 20 abr. 2018.

CLÍMACO, B. P. D. **Se essa rua fosse minha: patrimonialização de conjuntos urbanos em Itabirito (MG)**. 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais) - Ciências Sociais, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

COATES, D. Urban Geomorphology, Colorado, US.A. **Geological Society of America**, Sp. Paper 174, 1976.

CÓDICE C.M.; FIGUEIREDO, L.; CAMPOS, M.V. **Coleção de notícias dos primeiros descobrimentos das Minas da América**. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, Centro de Estudos Históricos, 1999.

COELHO NETTO, A.L. A geomorfologia frente aos problemas ambientais. In: WORKSHOP DE GEOCIÊNCIAS, 1., 1992, Rio de Janeiro. **Anuário IGEO**, v.15, p. 157-162, 1992. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/1520/1409>. Acesso em: 20 mar. 2018.

COLANGELO, A. C. O modelo de feições mínimas, ou das unidades elementares de relevo: um suporte cartográfico para mapeamentos geológicos. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 10, n. 4, p. 29-40, nov. 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.7154/RDG.1996.0010.0003>. Acesso em: 20 mar. 2018.

CONTI, A. **A zona perimetropolitana de Belo Horizonte: uma análise exploratória**. 2009. Tese. (Doutorado em Geografia) – Pontifícia Universidade Católica, Belo Horizonte, 2009.

CONTI, A.; SOSA, F.; OLIVEIRA, A. A difusão urbana no espaço periurbano entre as cidades de Ouro Preto e Itabirito. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 47, 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3332/333247800012.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2019.

COOKE, R.U. Urban Geomorphology. **The Geographical Journal**, v. 142, n. 1, p. 59-65, Mar., 1976. DOI: 10.2307/1796025.

COOKE, R.U.; DOORNKAMP, J.C. **Geomorphology in Environmental Management**. Oxford: Clarenton Press, 1974.

COSTA, J. E ; FLEISHER, P. J. **Developments and Aplications of Geomorphology**. Berlim: Sprinder Verlag, 1984.

DE PABLO, C. L.; PINEDA, F. D. Análisis multivariante del territorio para su cartografía ecológica. Ensayo preliminar en la provincia de Madrid In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS, 5., 1985, Madri. **Anales de Geografia de la Universidad Complutense**, 1985, p. 236-260.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **Parecer n. 525/2010/FM/PROGE/DNPM**, de 16 de dezembro de 2010. Brasília, DNPM, 2010.

DOMINGUES, F.A.A. **Topografia e astronomia de posição**: para engenheiros e arquitetos. São Paulo: Editora Mc Graw Hill do Brasil, 1979.

DORR, J. V. N. Physiographic, stratigraphic and structural development of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Professional Paper**, Washington, n. 641, Chapter A, 1969. Disponível em: <https://doi.org/10.3133/pp641A>. Acesso em: 10 abr. 2018.

DOUGLAS, I. Urban planning policies for physical constraints and environmental change. In: HOOKE, J.M. (Ed.). **Geomorphology in environmental planning**. New York: John Wiley and Sons, 1988.

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia**. 9. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987.

FERREIRA, A.S. O plano diretor como instrumento de planejamento do patrimônio histórico, cultural e arquitetônico em pequenos municípios. **Unoesc & Ciência – ACSA**, Joaçaba, v.8, n.1, p.77-84. 2017. Disponível em: <https://portalperiodicos.unoesc.edu.br/acsa/article/view/12620/0>. Acesso em: 10 fev. 2018.

FIDALGO, E. C. C. Critérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnóstico de planejamentos ambientais. 2003. 258 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003

FIGUEIREDO, M.A.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; FABRIS J.D. Mineralogy, size, morphology and porosity of aggregates and their relationship with soil susceptibility to water erosion. **Hyperfine Interactions**, v. 122, issue 1-2, p. 177–184, Nov. 1999. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1012610126034>. Acesso em: 10 fev. 2018.

FONSECA, B.M.; AUGUSTIN, C.H.R.R. Use of GIS to calculate Hack Index as a basis for comparative geomorphologic analysis between two drainage basins: a case study from SE-Brazil. In: INTERNATIONAL GEOGRAPHIC UNION REGIONAL GEOGRAPHIC CONFERENCE - UGI, 2011, Santiago. **Resumos...** Santiago: Military Geographic Institute of Chile (IGM), 2011. v. 1, p. 1-12.

FOOKES, P. G.; VAUGHAM, P. R. **A Handbook of Engineering Geomorphology**. Glasgow: Blackie and Sons, 1986.

FOOKES, P.G.; LEE, E.M.; MILLIGAN, G. **Geomorphology for Engineers**. Caithness: Whittles, 2005.

GABET, E.J. A theoretical model coupling chemical weathering and physical erosion in landslide-dominated landscapes. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 264, p.

259–26, 2007. Disponível em:

<https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-b218245d-2249-3c62-9ce3-1e18489446c9>. Acesso em: 15 fev. 2018.

GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C. B. A contribuição da geomorfologia para o planejamento da ocupação de novas áreas. **Revista de Geografia**, Recife, v. 21, n. 2, p. 36-58, jul/dez. 2004. Disponível em: <https://morrodobau.paginas.ufsc.br/files/2011/03/A-CONTRIBUI%C3%87%C3%83O-DA-GEOMORFOLOGIA-PARA-O1.pdf>. Acesso em 15 fev. 2018.

GLADE, T.; CROZIER, M.J. (Eds.). Landslide geomorphology in a changing environment, **Geomorphology**, v. 120, n. 1-2, p. 1-90, 2010.

GOUDIE, A. S.; VILES, H. **The Earth Transformed: An Introduction to Human Impacts on the Environment**. Oxford: Oxford University Press, 1997.

GUPTA, A.; AHMAD, R. Geomorphology and the urban tropics: building an interface between research and usage. **Geomorphology**, v. 31, p. 133-149, 1999.

HACK, J.T. Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland. **Geol. Survey Professional Paper**, Washington, 294 - B, p. 45-97, 1957. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/pp/0294b/report.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2018.

HADER, E.C., CHAMBERLIN, R.T. The geology of Central Minas Gerais. **The Journal of Geology**, v. 23, n. 5, p. 341- 424, Jul./Aug.1915. Disponível em: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/622256>. Acesso em: 15 fev. 2018.

HART, M. G. **Geomorphology pure and applied**. London: George Allen Unwin, 1986.

HOOKE, J.M. Changing landscapes: Five decades of applied geomorphology. **Geomorphology**, v. 366, n. 4, 106793, Oct. 2018.

HUDSON, P.; GOUDIE, A.; ASRAT, A. Human impacts on landscapes: sustainability and the role of geomorphology. **Zeitschrift für Geomorphologie**, Stuttgart, v. 59, Suppl. 2, p. 1–5, June 2015.

ÍNDICE de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro. Brasília: PNUD, Ipea, FJP, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo demográfico 2010: características da população e dos domicílios. Resultados do universo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/93/cd_2010_caracteristicas_populacao_domicilios.pdf. Acesso em: 02 mar. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Região de influência das cidades – REGIC**. Arranjos populacionais e concentrações urbanas no Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Itabirito: carta topográfica, vetorial**. [Itabirito]: IBGE, [s.d.]. Escala 1:50.000. Projeção UTM. Datum horizontal: marégrafo Imbituba, SC; Datum vertical: Córrego Alegre, MG. Folha SF-23-X-A-III-3.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – Ipea. **Revista desafios do desenvolvimento**, Brasília, ano 1, n. 4, 1 nov. 2004. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=313. Acesso em: 10 nov. 2018.

ITABIRITO. Prefeitura Municipal. **Lei nº 2.466**, de 14 de dezembro de 2005. Institui o Plano Diretor de Itabirito, em conformidade com o Estatuto da Cidade. Disponível em: https://sapl.itabirito.mg.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2005/1223/1223_texto_integral.pdf. Acesso em: 15 ago. 2018.

ITABIRITO. Prefeitura Municipal. **Lei nº 2.667**, de 28 de abril de 2008. Alteração das Leis 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465 e 2466 de 14/12/2005, que tratam sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento de Itabirito e da legislação urbanística básica municipal. Disponível em: <https://sapl.itabirito.mg.leg.br/norma/1428>. Acesso em: 15 ago. 2018.

JACOBI, P. A percepção dos problemas ambientais urbanos em São Paulo. **Lua Nova**, n.31, p.47-56, dez.1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-64451993000300003>. Acesso em: 10 mar. 2019.

KIRKBY, M.J. (Ed). **Hillslope Hydrology**. Great Britain: Wiley, Interscience, 1978.

LIMA JUNIOR, A. **A capitania das Minas Gerais: origens e formação**. Belo Horizonte: Instituto de História, Letras e Artes, 1965.

LIMA, P.G. **Mecanismos de evolução de voçorocas e quantificação dos impactos associados por modelagem matemática**: estudo de caso da voçoroca Mangue Seco, São Gonçalo do Baçã (MG). 2016. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

LOFFLER, E. et. al. **Land resources of the Vanimo area, Papua New Guinea**. Melbourne: CSIRO, 1972. Land Research Series, n. 31. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/CR/pdf/LRS31>. Acesso em: 15 fev. 2018.

MACHADO, N.; CARNEIRO, M.A. U-Pb evidence of late Archean tectono-thermal activity in the southern São Francisco shield, Brazil. **Can. J. Earth Sci**, v. 29, p. 2341-2346, 1992.

MALHA municipal digital do Brasil: situação em 2000 e 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

MARANI, M. et al. Geomorphic controls on regional base flow. **Water Resources Research**, v. 37, n. 10, p. 2619-2630, Oct. 2001.

MARICATO, E. O Ministério das Cidades e a política nacional de desenvolvimento urbano. **Políticas sociais**: acompanhamento e análise, 12 fev. 2006. p. 211-220. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/4508/1/bps_n.12_ensaio2_ministerio12.pdf. Acesso em: 10 nov. 2018.

MARSH, G.P. **Man and Nature or Physical Geography as modified by human action**. New York: Charles Scribner, 1864.

MCHARG, I. **Design with Nature**. Nova Iorque: Natural History Press, 1969.

MEDEIROS, R.; ARAÚJO, F.F.S. Unidades de conservação e desenvolvimento: a contribuição do SNUC para economia nacional. In: MEDEIROS, R.; ARAÚJO, F. F. S. (Orgs.). **Dez anos do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**: lições do passado, realizações presentes e perspectivas para o futuro. Brasília: MMA, 2011. p. 55-88.

MINAS GERAIS. Governo Estadual. Decreto nº 45.397, de 2010. Cria a Estação Ecológica de Arêdes, no Município de Itabirito, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Minas Gerais**, 14 jun. 2010.

MYRIAM BAHIA LOPES (Org.). **Coleção Digital de Itabirito**. 2010. Disponível em: <http://www.arq.ufmg.br/nehcit/itabirito/evolucao_urbana.php>. Acesso em: 2 mar. 2018.

MOHAPATRA, S.N.; PANI, P.; SHARMA, M. Rapid Urban Expansion and Its Implications on Geomorphology: A Remote Sensing and GIS Based Study. **Hindawi Publishing Corporation Geography Journal**, v. 2014, p. 1-10, 2014. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/geography/2014/361459/>. Acesso em: 10 mar. 2018.

MONTGOMERY, D.R.; GRANT, G.E.; SULLIVAN, K. Watershed analysis as a framework for implementing ecosystem management. **Water Resources Bulletin**, 31, n. 3, p. 369-85, June 1995. Disponível em: <https://andrewsforest.oregonstate.edu/sites/default/files/lter/pubs/pdf/pub2108.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2018.

MONTZ, B. E.; TOBIN, G.A. Natural hazards: an evolving tradition in applied geography. **Applied Geography**, v. 31, n. 1, p. 1-4, 2011.

MOTA, S. **Urbanização e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2003.

MOURA, A. C. M. Reflexões Metodológicas como Subsídio para Estudos Ambientais Baseados em Análise de Multicritérios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis, 2007. **Anais...** Florianópolis; São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2899-2906. Disponível em: <http://mar.te.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.13.14.41/doc/2899-2906.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2019.

MOURA, A. C. M.; JANKOWSKI, P. Contribuições aos estudos de análises de incertezas como complementação às análises multicritérios: sensitivity analysis to suitability evaluation. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 4, Edição Especial Geoinformação e Análise Espacial, p. 665-684, 2016.

MOURA, M.G.A. **Itabirito, um centro urbano emergente, seu papel e suas transformações**. 2007. 169 f. Dissertação (Mestrado em Estudos Urbanos e Ambientais) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

NIR, D. **Man, a geomorphological agent**: an introduction to Anthropogenic Geomorphology. Boston: D. Reidel publishing Co.; Jerusalem: Keter publishing house, 1983.

OLIVA, P.; VIERS, J.; DUPRE, B. Chemical weathering in granitic environments. **Chemical Geology**, v. 202, p. 225–256, 2003.

PARIZZI, M.G. et al. Mapa de Unidades Geotécnicas da Região Metropolitana de Belo Horizonte. In: CONGRESSO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 13., 2011, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia, 2011.

PEREIRA, G. C.; SILVA, B. C. Geoprocessamento e urbanismo. In: GERARDI, L. H. de O.; MENDES, I. A. (Orgs.). **Teoria, técnica, espaços e atividades**: temas de Geografia contemporânea. Rio Claro: Programa de Pós-Graduação em Geografia – UNESP; AGETEO, 2001. p. 97-137.

PINHERO, O. M et al. **Acesso à terra urbanizada**: implementação de planos diretores e regularização fundiária plena. Florianópolis: UFSC; Brasília : Ministério das Cidades, 2008.

POTSCHIN, M. The different approaches of landscape ecology. In BASTIAN O.; STEINHARDT, U. (Eds). **Development and perspectives in land-scape ecology**: concepts, methods and applications. Dordrecht: Kluwer, 2003.

POTSCHIN, M.; BASTIAN, O. Landscapes and landscape research in Germany. **Belgeo**, n. 2-3, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/belgeo.13531>. Acesso em: 10 maio 2018.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD. Relatório para o desenvolvimento humano 2010. New York: PNUD, 2010. Disponível em: file:///C:/Users/FLVIAM~1/AppData/Local/Temp/undp-br-PNUD_HDR_2010.pdf. Acesso em: 19 ago. 2018.

PUGH, C. Squatter settlements: their sustainability, architectural contributions, and socio-economic role. **Cities**, Gran Bretanha, v. 5, n. 17, p.1-12, jan. 2000.

RADAMBRASIL. **Folhas SF 23/24, Rio de Janeiro/Vitória**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Projeto RadamBrasil, 1983. v. 32.

RITTER, K. **Comparative geography**. Tradução William L. Gage. Filadélfia: J. B. Lippincott & CO, 1828

ROCHA, N.A., CASAGRANDE, P., MOURA, A.C.M. Análise Combinatória e Pesos de Evidencia na produção de Análise de Multicritérios em Modelos de Avaliação. **GeoSIG**, Luján, Año 10, Número especial, p. 49-74, 2018. Disponível em: https://docs.wixstatic.com/ugd/79758e_4d6e3e3aa4394cb99da67962a23aa240.pdf. Acesso em: 20 maio 2018.

RODRIGUES, C. Limites e Possibilidades da Geomorfologia Aplicada. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., Goiânia-GO, 2006. **Anais...** Goiânia: União da Geomorfologia Brasileira, 2006. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/app/webroot/sinageo/6/9/373.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2018.

ROESER, H. M. P.; ROESER, P. A. O Quadrilátero Ferrífero - MG, Brasil: aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. **Geonomos**, v. 18, p. 34-37, 2010.

ROSIÈRE, C. A.; CHEMALE, F. J. Textural and structural aspects of iron ores from Iron Quadrangle, Brazil. In: PAGEL, M.; LEROY, J. L. (Eds.). **Source, Transport and Deposition of Metals**. Amsterdam: Balkema, 1991. p. 485 – 488.

RUNZE, M. Karl Rosenkranz über Schiller. In: **KS**, n. 10, 1850.

RUSSELL-WOOD, A. J. R. O Brasil colonial: o ciclo do ouro, c. 1690-1750 In: BETHELL, L. (Ed.). **História da América Latina**: América Latina colonial. São Paulo/Brasília: Edusp/Fundação Alexandre de Gusmão, 1999. v. 2, p. 471-525.

SAADI, A. A. Geomorfologia como Ciência de Apoio ao Planejamento Urbano em Minas Gerais. **Revista Geonomos**, Belo Horizonte, v.5, n. 2, p. 1-4, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.18285/geonomos.v5i2.174>. Acesso em: 10 fev. 2018.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGraw-Hill, 1980.

SADASIVUNI, R. et al. Transportation Corridor Case Study for Multi-Criteria Decision Analysis. In: SENSING ANNUAL MEETING, 75th, Baltimore, MD, 2009. **Proceedings of American Society of Photogrammetry and Remote**, 2009

SALA, M.; INBAR, M. Some hydrologic effects of urbanization in Catalan rivers. **Catena**, v. 19, n: 3-4, p. 363-378, 1992.

SALAMUNI, S. et. al. Knickpoint Finder: ferramenta para busca de geosítios de relevante interesse para o geoturismo. **Boletim Paranaense de Geociências**, v.70, p. 200-208, 2013.

SAMPAIO, T.V.M.; 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, n.1, p.47-60, jan-mar. 2014.

SANTOS, D. **A reinvenção do espaço**: diálogos em torno da construção do significado de uma categoria. São Paulo: UNESP, 2002.

SANTOS, M. A. dos; NASCIMENTO, J. A. S. do. A inserção da variável ambiental no planejamento do território. **Rev. Adm. Pública**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 26, p.6-12, fev. 1992.

SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E.; ALMEIDA, G. P. Mapeamento de áreas suscetíveis a ocorrência de enchentes e inundações na bacia do Córrego do Lenheiro. In: SEABRA, G. (Org.). Terra, Paisagens, Solos, Biodiversidade e os Desafios para um Bom Viver. Ituiutaba: Barlavento, 2016. v. 1, p. 1331-1341.

SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. Análise multicritério: modelos para o planejamento urbano na bacia do córrego do lenheiro. In: ENCUESTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA, 16., 2017, La Paz. **Anais...** La Paz: Umsa, 2017. p. 1 - 15. CD-ROM.

SCHWEIGERT, L. R. **Sustentabilidade ambiental da cidade**: da formação do conceito às políticas urbanas. 2013. 109 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SEAR, D.A.; NEWSON, M.D.; BROOKES, A. Sediment related river maintenance: the role of fluvial geomorphology. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 20, Issue 4, p. 629-47, Nov. 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/esp.3290200706>. Acesso em: 10 mar. 2018.

SHERLOCK, R.L. **Man as a Geological Agent**. London: Witherby, 1922.

SILVA, H.; SANTOS, I. R. T. Mineração e cidade, cidade da mineração: notas sobre a produção do espaço urbano das cidades mineiras sob a égide da indústria mineradora. In: SEMINÁRIO SOBRE ECONOMIA MINEIRA: estudos setoriais sobre

economia mineira, 14. , 2010. Diamantina. **Anais...** Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional de Minas Gerais, 2010.

SILVA, J. P. L. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista Espaço da Sophia**, n. 8, p.1-13, nov. 2007.

SILVA, L.S., TRAVASSOS, L. Problemas ambientais urbanos: desafios para a elaboração de políticas públicas integradas. **Cadernos metropole**, v. 19, p. 27-47, 2008.

SILVA, R.F. **A paisagem do Quadrilátero Ferrífero, MG**: potencial para o uso turístico da sua geologia e geomorfologia. 2007. 144 f. Dissertação. (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SKILODIMOU, H. et al. Investigating the flooding events of the urban regions of Glyfada and Voula, Attica, Greece: a contribution to urban geomorphology. *Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography*, v. 85, p. 197–204, 2003.

SOTCHAVA V. B. **O estudo de geossistemas**. São Paulo: Ed. Lunar, 1977.

SOULSBY, C. et al. Runoff processes, stream water residence times and controlling landscape characteristics in a mesoscale catchment: An initial evaluation. **Journal of Hydrology**, v. 325, Issue 1, p. 197-221, June 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.10.024>. Acesso em: 10 jun. 2018.

SOUSA, L; TRAVASSOS, L. Problemas ambientais urbanos: desafios para a elaboração de políticas públicas integradas. **Cadernos Metr pole**, São Paulo, v. 19, p.27-47, 2008.

SOUZA, C. M. M.; MONTERO, L.S.; LIESENBERG, V. Análise de urbaniza o em áreas declivosas, como uma das etapas da Avalia o Ambiental Estratégica (AAE), visando o desenvolvimento local. **Anais Xiii S mpoio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil**, Florianópolis, Brasil, p.5533-5539, abr. 2007.

THORNBUSH, M. Geography, urban geomorphology and sustainability. **Area**, v. 47, Issue 4, p. 350–353, Sep. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/area.12218>. Acesso em: 10 jun. 2018.

THORNE, C.R.; NEWSON, M.D.; HEY, R.D. Application of applied fluvial geomorphology: problems and potential. In: THORNE, C.R.; HEY, R.D.; NEWSON, M.D. (Eds.), **Applied Fluvial Geomorphology in River Engineering Management**. Chichester: John Wiley and Sons, 1997. p. 365–70.

TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente Governo do Estado de São Paulo, Instituto Geológico, 2009, 196 p.

Tomlin, D. **Geographic information systems and Cartographic Modeling**. New York: Prentice Hall, 1990.

TRICART J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

URBAN, M.A. Conceptualizing anthropogenic change in fluvial systems: drainage development on the Upper Embarras River, Illinois. **Professional Geographer**, v. 54, p. 204–17, 2002.

VALENTE, A. L. S. Uso de SIG na determinação de áreas com restrições à ocupação urbana na sub-bacia do Arroio Feijó, RS. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO, 2. 1996, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SAGRES, 1996. p.849-856.

VALENTE, R. O. A. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG**. 2005. 121 f. Tese. (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

VARAJÃO, C.A. A questão da ocorrência das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, p.131-145, 1991.

VERSTAPPEN, H.T.H. **Applied geomorphology**: geomorphological surveys for environmental development. Amsterdam: Elsevier, 1983.

VILAS BOAS, C. L. D. Análise da aplicação de métodos multicritérios de decisão na gestão de recursos hídricos. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005. João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2005.

VITTE, A.C.; SILVEIRA, R.W.D. da. Considerações sobre os conceitos de natureza, espaço e morfologia em Alexander von Humboldt e a gênese da geografia física moderna. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, v. 17, n. 3, p. 607-626, jul-set., 2010.

WILCOCK P.R. et al. When models meet managers: examples from geomorphology. **Prediction in Geomorphology**, Washington, DC, v.135, p. 27–40, Jan. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/135GM03>. Acesso em: 10 fev. 2018.

YOUNG, A. **Slopes**. London: Longman, 1972. 288p.