

Rafael Tarantino Amarante

Aplicação do Índice Geomorfológico
para Avaliação da Ocupação e Uso do
Solo em Ouro Preto, MG.

Curso de Especialização em Geoprocessamento
2017



UFMG

Instituto de Geociências

Departamento de Cartografia

Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha

Rafael Tarantino Amarante

**APLICAÇÃO DO ÍNDICE GEOMORFOLÓGICO PARA AVALIAÇÃO
DA OCUPAÇÃO E USO DO SOLO EM OURO PRETO, MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção de título de Especialista em Geoprocessamento

Orientador: **Bráulio Magalhães Fonseca**

Belo Horizonte

2017

A485a Amarante, Rafael Tarantino.

2017 Aplicação do índice geomorfológico para avaliação da ocupação e uso do solo em Ouro Preto, MG [manuscrito] / Rafael Tarantino Amarante . – 2017.

v, 40 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Bráulio Magalhães Fonseca.

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2017.

Bibliografia: f. 32-33.

1. Geoprocessamento. 2. Geomorfologia – Ouro Preto (MG). 3. Solo – Uso – Ouro Preto (MG). I. Fonseca, Bráulio Magalhães. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Cartografia. III. Título.

CDU: 528(815.1)

Aluno Rafael Tarantino Amarante

Monografia defendida e aprovada em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento, em 27 de outubro de 2017, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Bráulio Magalhães Fonseca – IGC/UFMG

Orientador

Prof. Dr. Plínio da Costa Temba

Resumo

Este trabalho registra a aplicação do Índice Geomorfológico para avaliação do potencial de ocupação e uso do solo no município de Ouro Preto, local com registro histórico de acidentes relacionadas a movimentos de massas e com séculos de atividades antrópicas, relacionadas à mineração e urbanização, que favoreceram a ocupação desordenada de sua área, além de acelerar processos erosivos.

O índice é composto pela média ponderada de quatro fatores influenciadores dos processos geomorfológicos de erosão acelerada, são eles: as unidades geotécnicas, os lineamentos estruturais, o índice de dimensionamento de vertentes e o índice de rugosidade do terreno. A média ponderada dos fatores supracitados foi realizada por meio de álgebra de mapas, com pesos de 25% para cada fator, considerando, num primeiro momento, numa análise exploratória, que não há fator que possa ser classificado com de maior importância para a formulação do índice. Com o intuito de avaliar a adequação do IGPU com o uso da terra atual, aplicou-se o NRVI por otobacias de drenagem, este índice mede a quantidade de remanescentes florestais para cada unidade espacial de análise.

O resultado possibilita categorizar áreas do município em um índice com distintos potenciais de uso e ocupação do solo que foi correlacionado com o mapa de quantificação de remanescentes florestais (NRVI), para identificar áreas com alto potencial de ocupação e baixa cobertura vegetal e baixo potencial de ocupação e grande quantidade de vegetação, além de revelar se as áreas com baixo potencial de ocupação são ou não ocupadas pelas atividades antrópicas.

Palavras Chaves: Geomorfologia Aplicada, Ordenamento Territorial, Análise Multicritério, Geoprocessamento

Abstract

This work registers the application of the Geomorphological Index for the evaluation of the suitability of occupation and use of the soil in Ouro Preto, a city with historical record of accidents related to mass movements and with disordered occupation of its area. The index is composed by multicriteria analysis of four influencing factors of the geomorphological processes, such as: geotechnical units, structural lineaments, slope dimensioning index and terrain roughness index. The result allows categorizing areas with different suitability for land use and occupation that were compared to Normalized Remaining Vegetation Index (NRVI) to identify the intensity of anthropic activity in each unit analyzed.

Keywords: Applied Geomorphology, Spatial Planning, Multicriteria Analysis, Geoprocessing

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa de localização e limite municipal de Ouro Preto, MG. Fonte: <i>Google Maps</i>	3
Figura 2. Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero. Modificada de Alkmim & Marshak (1998).....	6
Figura 3. Mapa Geológico Estrutural de Ouro Preto. Fonte: CPRM e CODEMIG	7
Figura 4. Mapa Hipsométrico de Ouro Preto. Modificado de INPE (2008)	10
Figura 5. Parâmetros usados no cálculo do índice de Hack. Modificado de Hack (1973)	14
Figura 6. Fluxo de processos da modelagem do IH na plataforma Model Builder(ArcGis).....	15
Figura 7. Perfil topográfico hipotético indicando as dimensões empregadas na obtenção da dissecação do relevo, Sampaio e Augustin (2014).	15
Figura 8. Possibilidades de enquadramento de GE e DI, Sampaio e Augustin (2014).	16
Figura 9. Perfil indicando a possibilidade de ocorrência de diferentes valores de declividade em diferentes unidades morfológicas, Sampaio e Augustin (2014)	16
Figura 10. Etapas de elaboração do ICR. Fonte: Sampaio e Augustin (2014).....	17
Figura 11. Fluxo de processos da modelagem do ICR na plataforma Model Builder (ArcGis).....	18
Figura 12. Fluxo de processos da modelagem do IGPU na plataforma Model Builder(ArcGis)	19
Figura 13. Mapa de Unidades Geotécnicas de Ouro Preto	21
Figura 14. Mapa de estimador de intensidade de lineamentos de estrutural de Ouro Preto, MG	23
Figura 15. Índice de Hack.de Ouro Preto, MG	24
Figura 16. Índice de Concentração de Rugosidade de Ouro Preto, MG	25
Figura 17. Índice Geomorfológico para Avaliação da Ocupação e Uso do Solo (IGPU), em Ouro Preto.....	26
Figura 18. Índice Normalizado de Remanescentes Florestais (NRVI) por ottobacia, em Ouro Preto, MG	28

Lista de Tabelas

Tabela 1. Bases Cartográficas utilizadas no trabalho.	12
Tabela 2. Classificação Geotécnica proposta por Parizzi et al. 2010.....	13

Sumário

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	iv
SUMÁRIO	v
CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.1. Introdução	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1 Objetivos Específicos	2
1.3. Localização e Vias de Acesso	3
CAPÍTULO 2. ASPECTOS GEOLÓGICOS E FISIOGRÁFICOS	4
2.1. Geologia Regional	5
2.2. Geologia Local	7
2.3. Caracterização Fisiográfica	9
2.3.1 Geomorfologia	9
2.3.2 Vegetação	11
CAPÍTULO 3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1. Fatores Componentes do IGPU	12
3.1.1. Unidades Geotécnicas	12
3.1.2. Lineamentos Estruturais	13
3.1.3. Índice de Hack (<i>Stream Length-gradient Index – SL</i>)	13
3.1.4. Índice de Concentração de Rugosidade	15
3.2. Índice para Avaliação do Potencial de Uso e Ocupação do Solo (IGPU)	18
3.3. Índice Normalizado de Remanescentes Florestais (NRVI)	19
CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1. Unidades Geotécnicas	21
4.2. Lineamentos Estruturais	22
4.3. Índice de Hack (<i>Stream Length-gradient Index – SL</i>)	23
4.4. Índice de Concentração de Rugosidade.....	24
4.5. Índice para Avaliação do Potencial de Uso e Ocupação do Solo (IGPU).....	26
4.6. Índice Normalizado de Remanescentes Florestais (NRVI).....	28
CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES	29
REFERÊNCIAS	31

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1 – INTRODUÇÃO

Durante sua história de mais de 300 anos, o município de Ouro Preto sempre foi alvo de atividades antrópicas que favoreceram a ocupação desordenada de sua área, além de influenciar nos processos geomorfológico através da adição e remoção de material. Outro ponto de destaque é o contexto fisiográfico e geomorfológico da região que influencia a movimentação de massa em seu relevo e assim, inúmeros são os casos de acidentes relacionados a deslizamentos que provocaram vítimas fatais, bem como danos a patrimônios públicos e privados.

O presente trabalho registra a aplicação do Índice Geomorfológico para Avaliação do Potencial de Ocupação e Uso e do Solo (IGPU), no município de Ouro Preto, na região central de Minas Gerais.

O presente projeto foi realizado com base no trabalho de Fonseca (2015), no qual o autor elabora o índice geomorfológico e o utiliza como ferramenta para a investigação de áreas potencialmente favoráveis ou não ao uso e ocupação do solo, tendo como base fatores geomorfológicos. O IGPU leva em consideração quatro fatores principais para sua elaboração, são elas: a geomorfologia, a geologia, índices de dimensionamento de vertentes e sua influência na morfologia do terreno.

Tendo em vista os fatores que compõem o IGPU, a escolha do município de Ouro Preto se deve ao recorrente histórico de acidentes provocados por movimentos de massa, devido ao elevado índice pluviométrico associado a uma geomorfologia local caracterizada por diversos níveis altimétricos, com variação entre 800 e 1500m, o relevo acidentado apresenta vertentes íngremes e vales profundos encaixados. Por volta de 40% da área urbana possui feições do relevo com declividades entre 20 e 45%, enquanto que 30% apresentam declividades entre 5 e 20% (Gomes *et al.* 1998). A estabilidade do relevo se deve também a características geológico geotécnicas, como a resistência e mecânica das rochas, bem como a suscetibilidade destas ao processo erosivo.

Destaca-se também o influência antrópica como agente formador do terreno, através de processos como transporte de matéria e fluxo energético e, no caso do município estudado, o histórico de séculos de extração aurífera e, nas últimas décadas a de ferro e alumínio, são fatores importantes para o morfologia do relevo. Outra fonte antropogênica no modelamento do terreno se dá pela expansão urbana desordenada, principalmente em bairros com população dentro do contexto socioeconômico de baixa renda, em áreas com suscetibilidade a movimentos de massa e baixa infraestrutura de contenção desses processos morfológicos.

Sendo assim a compreensão dos processos geomorfológicos, potencializados por ações antrópicas, são de grande valia para a tomada de decisão e na implementação de condições mínimas para o uso e ocupação do terreno.

1.2 – OBJETIVO

O objetivo primordial do trabalho é aplicar e utilizar o Índice Geomorfológico para Avaliação do Potencial de Uso e Ocupação do Solo (IGPU) como ferramenta de planejamento e gestão da expansão urbana do município de Ouro Preto, através da definição de áreas propícias ou não à construção de infraestrutura urbana segundo a avaliação dos critérios geológico, estruturais, declividade do terreno e energia da rede de drenagens.

1.2.1 – Objetivos Específicos

- a) Elaboração do mapa de unidades geotécnicas de Ouro Preto;
- b) Elaboração do mapa de densidade de lineamentos estruturais de Ouro Preto;
- c) Elaboração do mapa de Índice de Rugosidade (ICR) de Ouro Preto;
- d) Elaboração do mapa de *Stream Length-gradient Index* (SL) de Ouro Preto;
- e) Elaboração do mapa de IGPU de Ouro Preto; e
- f) Elaboração do mapa de *Normalized Remaining Vegetation Index* (NRVI) de Ouro Preto.

1.3 – LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

O município de Ouro Preto (Figura 1) está localizado na porção central do estado de Minas Gerais, compõe a região sudeste do Quadrilátero Ferrífero e seu limite municipal possui uma área de 1.245 km².

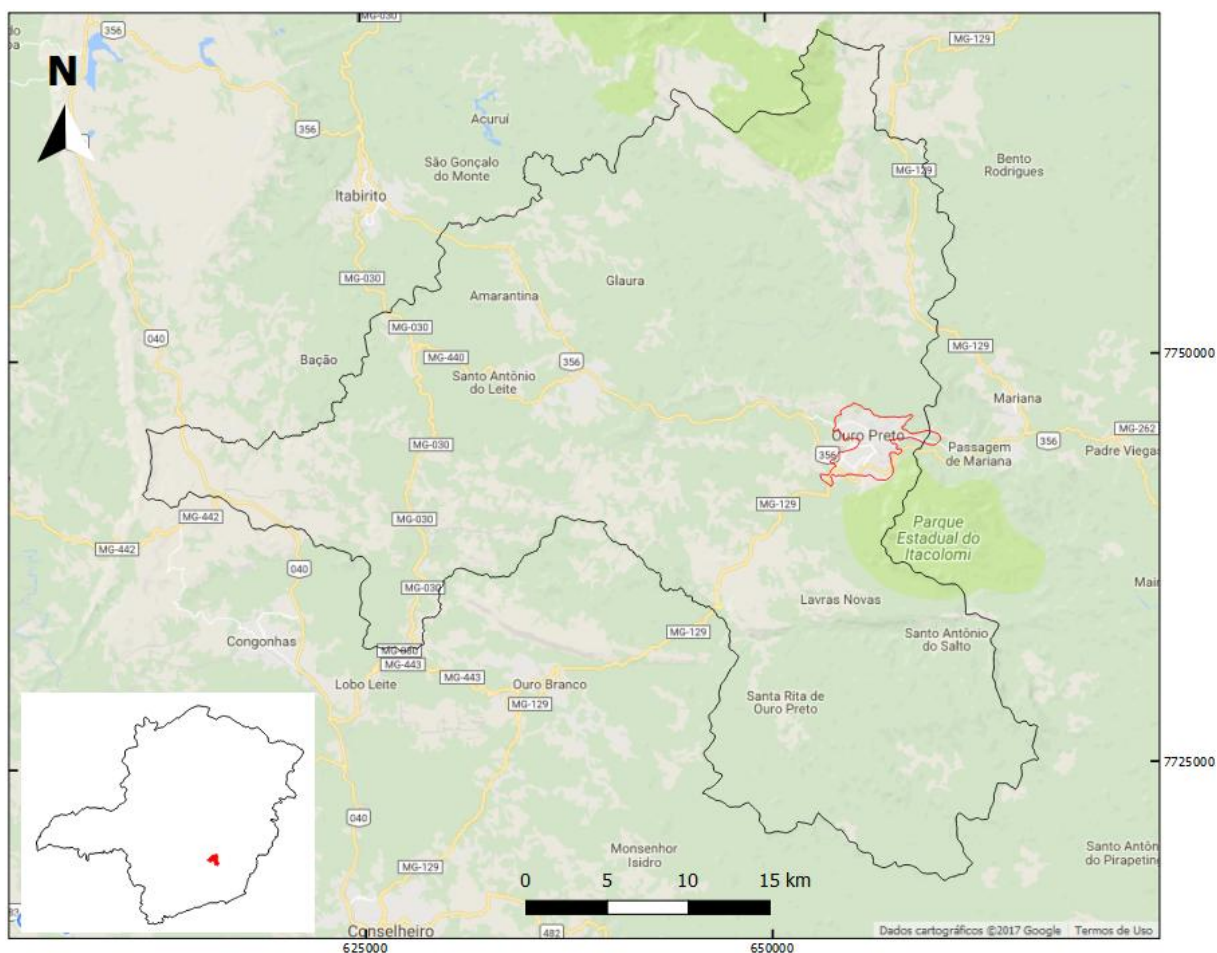


Figura 1 – Mapa de localização e limite municipal de Ouro Preto, MG. Fonte: *Google Maps*.

A partir de Belo Horizonte o trajeto até a área se dá pela BR-356, no sentido de Itabirito, até Ouro Preto que encontra-se a aproximadamente 90 km da capital.

CAPÍTULO 2

ASPECTOS GEOLÓGICOS E FIOGRÁFICOS

2.1 – GEOLOGIA REGIONAL

O município de Ouro Preto localiza-se na porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero, no qual o embasamento Arqueano ocorre em domos, como o Bação, cercados por quilhas contendo os supergrupos Rio das Velhas e Minas. Zonas de cisalhamento ocorrem no contato entre as rochas supracrustais e o embasamento, ao redor dos domos.

Alkmim & Marshak (1998) propuseram um complexo histórico multiestágio de eventos tectônicos que explicam as estruturas do Quadrilátero Ferrífero. Distinguem-se três sets de estruturas contracionais, sendo um *trending* norte-leste-sudoeste, um leste-oeste e um norte-sul que são, respectivamente, correlatos aos eventos orogênicos Transamazônico, Uruaçuano e Brasileiro.

Chemale *et al.* (1991, 1994) propuseram que a evolução pós-Minas do Quadrilátero Ferrífero foi marcada por dois eventos deformacionais. O primeiro foi um extensional Paleoproterozóico (2.06-2.00 Ga) atribuído à orogenia Transamazônica. Já o segundo foi um evento contracional Neoproterozóico (0.6-0.5 Ga) atribuído à orogenia Brasileira. Além disso, os autores propuseram que a formação das quilhas no Quadrilátero Ferrífero são consequências da extensão Paleoproterozóica.

Ainda sob o contexto geotectônico, destaca-se o trabalho de Alkmim & Marshak (1998), no qual os autores consideram que a orogenia Transamazônica na região representa os estágios de colisão e colapso de um ciclo de Wilson Paleoproterozóico e é registrada no Quadrilátero Ferrífero por dois *sets* de estruturas. A primeira composta por cinturões de dobras e empurrões com vergência noroeste e afetando as sequências supracrustais, formados durante o fechamento de uma bacia de margem passiva entre 2.125 Ga a 2.5 Ga. O segundo *set* de estrutura trata-se da responsável pela formação dos domos e quilhas presentes no Quadrilátero Ferrífero, devido ao encaixe dos domos do embasamento contra as rochas supracrustais como resultado do colapso orogênico ocorrido em 2.095 Ga. Durante o mesmo período ocorreu a formação bacias intermontantes preenchidas por conglomerado. A fase contracional é considerada pelos autores como provável representante de uma acreção de um arco de ilhas. Este arco e sua sutura estão registrados no orógeno Brasileiro na região leste do cráton São Francisco.

O estudos de Alkmim e Marshak (1998) mostram que no Quadrilátero Ferrífero o embasamento ocorre em domos (Bação, Bonfim, Caeté, Santa Rita, Belo Horizonte, Florestal e Itaúna) cercados por quilhas contendo os Supergrupos Rio das Velhas e Minas. As quilhas ainda contém grandes sinclinais de primeira ordem (sinclinais Moeda, Dom Bosco, Pitangui-Peti, Mateus Leme e Souza) e um grande homoclinal (homoclinal da Serra do Curral). Zonas de cisalhamento ocorrem no contato entre as rochas supracrustais e o embasamento em volta dos domos. As supracrustais adjacentes aos domos contém aureola uma metamórfica de alta temperatura e baixa pressão.

Além das estruturas em Domo e Quilhas há a presença de dois outros *sets* de estruturas no Quadrilátero Ferrífero. Um *set* inclui dobras regionais tendendo a nordeste (sinclinais Gandarela, Ouro Fino, Itabira e Monlevade e o anticlinal de Conceição). O outro *set*, atribuído à Orogenia Brasileira Neoproterozóica, inclui uma série de dobras e falhas tendendo a oeste. Tramas tectônicas penetrativas (xistosidade, foliação milonítica, clivagem de crenulação e lineações de estiramento), relacionadas ao evento Brasileiro, sobrepõem estruturas preexistentes na região leste de uma linha tendendo a norte que segue o limite oeste do sinclinal Moeda e corta em direção ao norte através da Serra do Curral. Esta linha refere-se ao limite oeste da reativação penetrativa do Brasileiro no Quadrilátero. Já no limite leste, as estruturas com vergência para oeste incluem uma xistosidade com mergulho leste-sudeste, dobras tendendo a norte e lineação de crenulação tendendo a norte-sul e lineações de estiramento paralelos ao dominante *set* de dobras mesoscópicas, ambos mergulhando preferencialmente para S80°E a 30°. O tectonismo no limite oeste do Brasileiro manifesta-se predominantemente por um trend nordeste de uma zona de cisalhamento transcorrente dextral.

A estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero está demonstrada na coluna estratigráfica (Figura 2) proposta na obra de Alkmim & Marshak (1998), na qual fornece a datação radiométrica, além de demonstrar as relações litológicas nas porções leste (lado direito da coluna) e oeste (lado esquerdo da coluna) da região. As principais unidades litoestratigráfica são os Complexos Metamórficos, o Supergrupo Rio das Velhas, ambos do Arqueano, e o Supergrupo Minas e o Grupo Minas, do Paleoproterozóico.

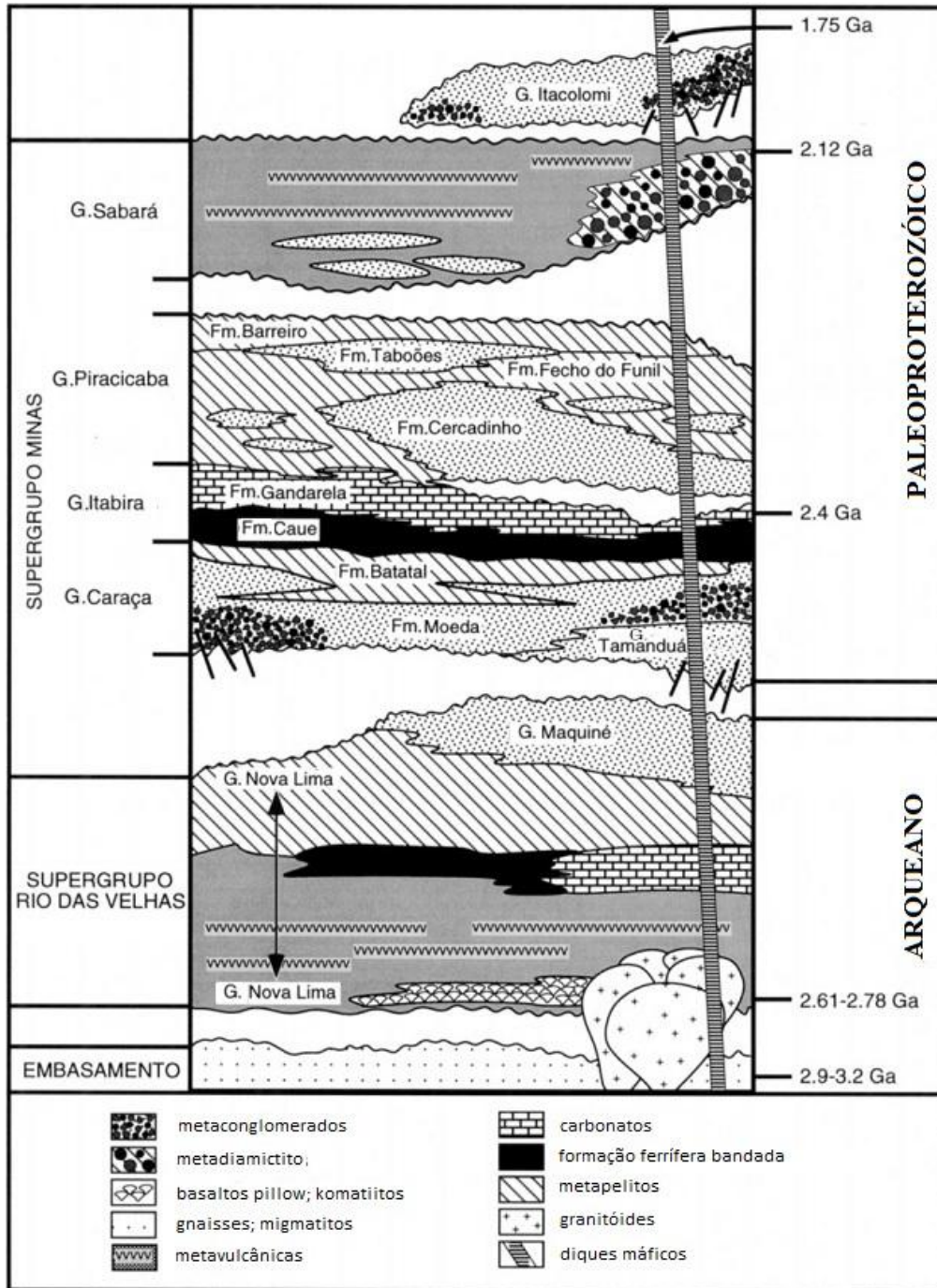


Figura 2 – Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero. Modificada de Alkmim & Marshak (1998).

2.2 – GEOLOGIA LOCAL

A conjuntura geológica da área de estudo (Figura 3) é composta, predominantemente, por rochas granito-gnáissicas e metavulcanossedimentares, que compreendem as rochas da Suíte Alto Maranhão e dos Complexos Metamórficos do Bação e Monsenhor Isidro; as supracrustais dos grupos Nova Lima e Maquiné, do supergrupo Rio das Velhas; as formações Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará, do supergrupo Minas; e a formação Itacolomi.

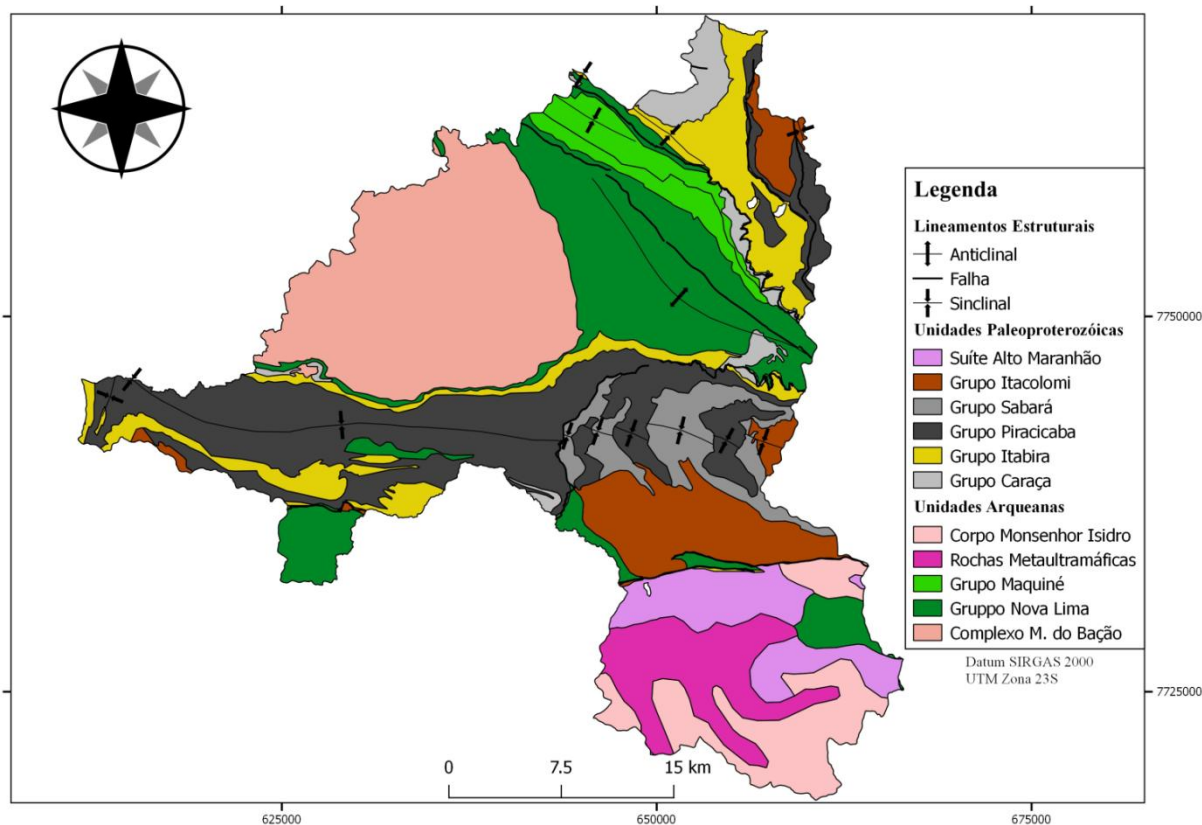


Figura 3 - Mapa Geológico Estrutural de Ouro Preto. Fonte: CPRM e CODEMIG.

As rochas da Suíte Alto Maranhão são caracterizadas por Heineck et al. (2003) com composição quartzo-diorítica a tonalítica e presença de biotita e hornblenda, sua natureza intrusiva ocorreu como plutonismo félsico durante o paleoproterozóico. O mesmo autor considera que o Complexo Monsenhor Isidro é caracterizado como rochas máficas e ultramáficas cortadas por corpos granitoides durante o Paleoproterozóico.

Segundo Chemale *et al.* (1991) o Complexo Bação, representado pelos migmatitos e gnaisses localizado na parte noroeste da área, é uma estrutura em domo exibindo ao seu redor uma foliação milonítica de caráter compressional, possuindo mergulho em sentido oposto ao centro do complexo. A parte interna do complexo possui zonas de cisalhamento compressivas. Os autores assumem que tanto a foliação como as falhas internas estão relacionadas a um evento extensional e posteriormente invertida por um evento compressional.

As rochas do Supergrupo Rio das Velhas, ocorrem em assembleia de biotita, plagioclásio, epidoto, granada, hornblenda e tremolita como uma aureola de contato em volta do Complexo Bação (Herz, 1978). O Grupo Nova Lima é, segundo Dorr (1969), predominantemente composto de clorita, sericita, quartzo-clorita e quartzo-sericita em filito e xisto, são encontradas na porção central em contato com as rochas do Bação e a leste da área. Rochas metavulcânicas são comuns. Outras rochas incluem quartzito, fácies carbonáticas, formação ferrífera, metachert, filito carbonáceo e grafítico. Esse grupo hospeda mineralizações de ouro na área estudada, além de depósitos importantes de manganês. Já o grupo Maquiné, para o autor, compreende a quartzitos que podem ser cloríticos, piriticos, sericiticos ou puros e todos estes podem ser conglomeráticos. São encontrados na região nordeste da área, em contato com as rochas do grupo Nova Lima.

O Grupo Caraça é caracterizado por Dorr (1969) compreendido por rochas metassedimentares quartzíticas e formações filíticas, abaixo dos sedimentos químicos do Grupo Itabira do Supergrupo Minas e acima, por meio de discordância angular e erosiva, das rochas do Supergrupo Rio das Velhas. O Grupo Caraça é composto pelas formações Moeda e Batatal, presente na porção nordeste de Ouro Preto. A Formação Moeda é representada por quartzitos sericiticos e metaconglomerados polimíticos. Já a Formação Batatal é composta basicamente por filitos sericiticos, podendo conter quantidades significativas de quartzo e, localmente, apresenta clorita, grafita e material carbonoso.

O Grupo Itabira registra, segundo Dorr (1969) uma transgressão regional e provavelmente uma ampla subsidência tectônica de margem continental. O grupo é composto pelas formações Cauê e Gandarela. O grupo pode ser encontrado em regiões variadas da área como a porção nordeste, central e sudoeste. A formação Cauê é composta por itabiritos dolomíticos e anfibolíticos e hospeda os depósitos de ferro explorados na área. A Formação Gandarela é composta predominantemente por dolomitos e calcários dolomíticos, pelitos, formação ferrífera e brechas contendo fragmentos de chert, localizados em toda extensão central da sub-bacia.

Já o Grupo Piracicaba representa uma sequência espessa de estratos deltaicos e marinhos rasos que recobrem as rochas do Grupo Itabira por uma discordância erosiva (Alckmin & Noce 2006). O Grupo Piracicaba ocorre predominantemente a região central da área e é composto pelas formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro, sendo somente a última não presente no arcabouço geológico da área de estudo. A formação Cercadinho é a menor do grupo, consiste de quartzitos com intercalações ferruginosas, arenito, quartzito, filito ferruginoso e filito. São conhecidas pequenas lentes de dolomita nessa formação. Já a Fecho do Funil compreende em filitos dolomíticos em contato gradacional sob a formação Cercadinho e abaixo dos quartzitos de granulação fina da formação Taboões.

Para Alkmim & Marshak (1998), o grupo Sabará é uma sequência de turbiditos, tufos, vulcanoclasticas, conglomerados e diamictitos, em contato discordante sob as rochas do grupo Piracicaba.

Por fim, as rochas da formação Itacolomi são consideradas por Dorr (1969) como quartzitos formados em uma bacia angular e discordante sob as rochas do supergrupo Minas, estas são presentes na região sudeste da área.

2.3 – CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA

2.3.1- Geomorfologia

O estudo da geomorfologia da área reflete diretamente seu contexto geológico, sendo assim a análise do mapa hipsométrico da região de Ouro Preto (Figura 4) indica três compartimentos geomorfológicos principais: serras alongadas com *trends* NW-SE e W-L, uma região mais aplainada na parte noroeste da área e outra na porção extremo sul.

As serras com cristas tendendo a NW-SE, nas altitudes que variam de 1.040 a 1.901 metros, com destaques para a serra do Caraça na parte nordeste da área, a Serra de Ouro Preto a norte do perímetro urbano da cidade. Estas feições estão associadas ao anticlinal de Mariana e às rochas do Supergrupo Rio das Velhas e aos grupos Caraça e Itabira, este compartimento exhibe feições de escarpadas e de encostas, além das típicas de topo de morro e relevos de planaltos.

Já as serras com tendência W-L estão associadas ao sinclinais presentes, com destaque para o sinclinal Dom Bosco, sendo as cristas das serras relacionadas às bordas suspensas da estrutura. O contexto litológico indica relação desse compartimento com as rochas dos grupos Itabira, Piracicaba, Sabará e Nova Lima.

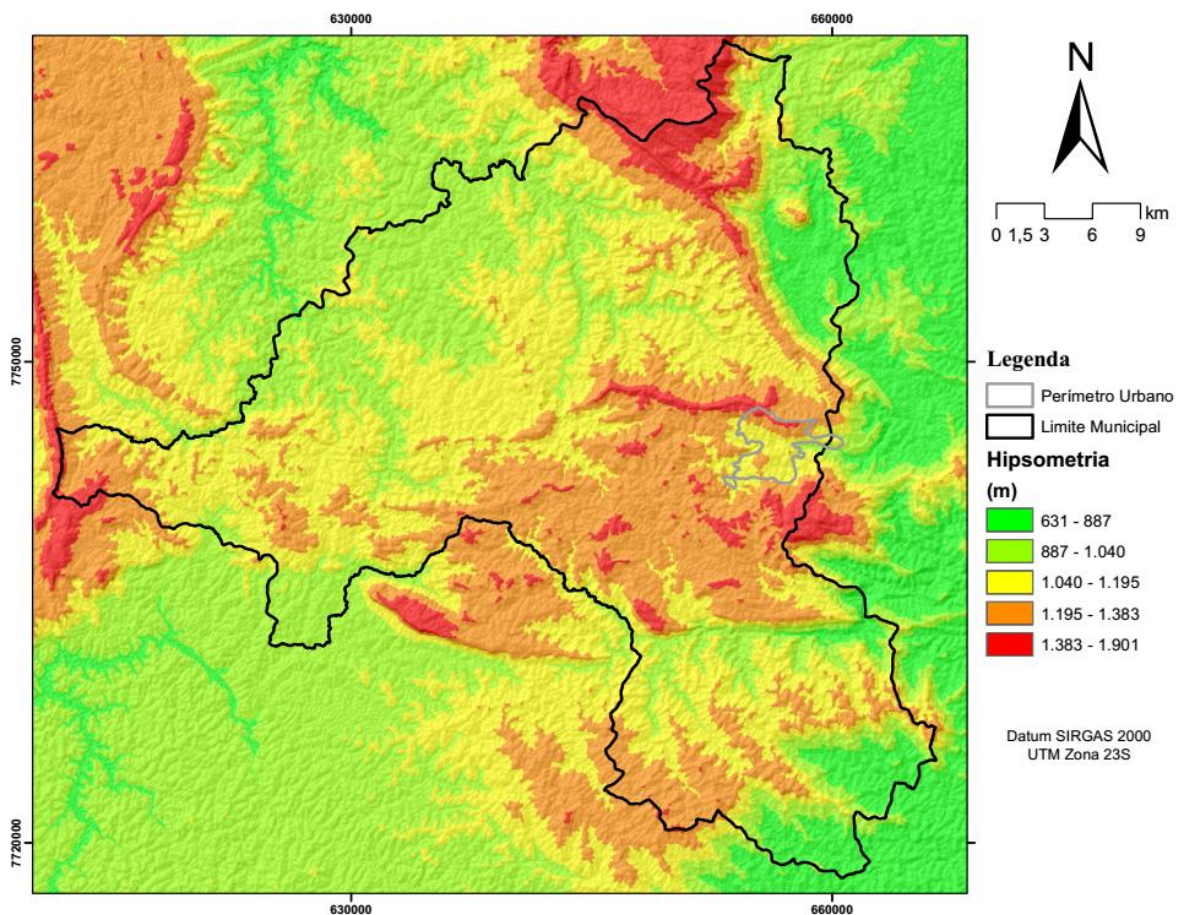


Figura 4 – Mapa Hipsométrico de Ouro Preto. Fonte: MDE Topodata (2008)

A geomorfologia da região a noroeste da área possui altitudes entre 631 a 1.040 metros, são mais baixas do que seu entorno, composto pelas serras citadas anteriormente, e é caracterizada segundo Santos *et al.* (2002) por um relevo composto por mares de morros, em que domina a forma de meia laranja, com encostas suaves e topos convexos, circundados por morrotes com vertentes mais íngremes. Essa região possui seu relevo associado as rochas granito gnáissicas do complexo metamórfico do Bação.

Por fim, no extremo sul da área há uma mudança abrupta do relevo, com uma escarpa que delimita a região das supracrustais com as rochas máficas e ultramáficas e plutônicas félsicas que são expostas na região.

2.3.2 – Vegetação

O Quadrilátero Ferrífero situa-se em região de ecótono entre os biomas do cerrado e da mata atlântica. Segundo CBH Rio das Velhas (2013), as tipologias vegetacionais predominantes na região do Quadrilátero Ferrífero são a floresta estacional semidecidual, o cerrado e suas diversas fitofisionomias, além das áreas de transição entre estas. Devido à influência da geologia e altitude, também são encontrados outros importantes tipos de cobertura vegetal, como campos cerrados nas áreas de média vertente e campos rupestres sobre os afloramentos rochosos. Como silvicultura, destacam-se as plantações de eucalipto, visíveis em alguns pontos da bacia, mas que ocupam uma extensão muito pequena.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – FATORES COMPONENTES DO IGPU

Para Saadi (1997) os estudos geomorfológicos voltados ao planejamento urbano devem considerar características de suporte e risco geomorfológico integradoras como atributos geológicos, geotécnicos e hidrodinâmicos, sendo assim o IGPU é composto pelos seguintes fatores:

1. Unidades Litológicas classificadas segundo as características geotécnicas propostas por Parizzi *et al.*, 2010;
2. Adensamento de lineamentos estruturais;
3. Índice de Hack (Stream Length-Gradient Index – SL) (Hack, 1973; Fonseca, 2010; Fonseca e Augustin, 2011); e
4. Índice de Concentração de Rugosidade do terreno (Sampaio, 2008; Sampaio e Augustin, 2014).

Para a elaboração de cada fator, foram utilizadas as bases cartográficas demonstradas na tabela 1. Os *softwares* utilizados para a elaboração do trabalho foram o ArcGis 10.3.1 e *Knickpoint Finder* (Salamuni *et al.* 2013).

Tabela 1 – Bases Cartográficas utilizadas no trabalho.

Base Cartográfica	Dimensão	Fonte
Mapa Geológico Estrutural	1:100.000	CPRM (2000)
MDE TOPODATA	Resolução 30 Metros	INPE (2008)
Mapa de Cobertura Vegetal	1:100.000	Oliveira <i>et al.</i> (2008)

3.1.1 – Unidades Geotécnicas

As unidades litológicas foram classificadas segundo as características geotécnicas propostas por Parizzi *et al.*, 2010, tendo em vista a associar seus atributos mecânicos e sua fragilidade em relação aos processos erosivos. A classificação considera a adequabilidade à ocupação para cada unidade litológica, atribuindo nota 0 para as rochas com pior potencial e 10 para as com melhores características para suporte à infraestrutura urbana. A classificação proposta pela autora está definida na Tabela 2, a sequência numérica dos potenciais na tabela não está completa, tendo em vista que os grupos faltantes não ocorrem na área.

Tabela 2- Classificação Geotécnica proposta por Parizzi *et al.* 2010

Nome da Unidade	Descrição	Potencial de Uso
Depósitos Aluviais	Argila, areia e cascalho	2
Depósitos Elúvio-Colúviais	Blocos, matacões e seixos de quartzito, itabirito e canga	2
Gp. Itabira (Fm. Gandarela)	Dolomito, metacalcário, pelito e formação ferrífera	4
Gp. Piracicaba	Filito, quartzito e dolomito	4
Gp. Sabará	Quartzito, filito, metagrauvaca e xisto	5
Gp. Piracicaba	Filito, quartzito, dolomito, silito e conglomerado	5
Gp. Nova Lima	Xistos, filito, esteatito, formação ferrífera	5
Gp. Maquiné	Quartzito, xisto e metaconglomerado	5
Fm. Itacolomi	Quartzito, conglomerado e filito	5
Rochas Intrusivas	Gabro e granodiorito	5
Gp. Caraça	Quartzito, filito e conglomerado e formação ferrífera	5,5
Gp. Nova Lima	Filito, Xisto, quartzito e metaconglomerado	6
Gp. Maquiné	Xistos	7
Gp. Itabira (Fm. Cauê)	Itabirito dolomítico e anfibolítico, hematita compacta	7
Rochas Intrusivas	Diabásio	7
Complexo Bação	Migmatitos e gnaisses	8

3.1.2 – Lineamentos Estruturais

Os lineamentos estruturais, como falhas e fraturas, são responsáveis por acelerar o processo erosivo ao alterar os atributos mecânicos da rocha. A expressividade da influência destas estruturas foram obtidas através de estimador de intensidade (*kernel estimation*) do programa ArcGis, ferramenta que é utilizada para determinar o comportamento dos padrões estruturais através da intensidade de amostras por unidade de área.

3.1.3 – Índice de Hack (*Stream Length-gradient Index – SL*)

O índice de Hack (Hack, 1973; Fonseca, 2010; Fonseca e Augustin, 2011) foi utilizado como uma base de comparação da energia de rios dentro da área estudada, os valores obtidos são relacionados aos processos hidrodinâmicos e sua correlação com a evolução morfológica do terreno. Fonseca (2010) e Fonseca e Augustin (2011) consideram que os valores de IH estão relacionados aos processos hidrodinâmicos e sua consequente influência nos processos erosivos em bacias hidrográficas.

Segundo Hack (1973) o perfil longitudinal de uma drenagem é uma propriedade da geometria do canal o que pode fornecer pistas sobre o material subjacente, bem como determinar os processos geológicos e o histórico geomorfológico da área estudada. O autor ainda considera que o índice de Hack (IH) relaciona a declividade do perfil da drenagem localmente com seu comprimento, promovendo uma base para comparação do alcance energético do fluxo e seu poder para transportar material de diferentes tamanhos.

A índice de Hack é calculado a partir de um modelo digital de elevação e pela rede de drenagens obtidas a partir do mesmo MDE. O índice é calculado pela equação simplificada:

$$IH = \frac{\Delta H}{\log_e \Delta L}$$

no qual ΔH é a variação altimétrica do segmento, ΔL é o comprimento do segmento de drenagem hierarquizado e \log_e é o logaritmo natural (Figura 5).

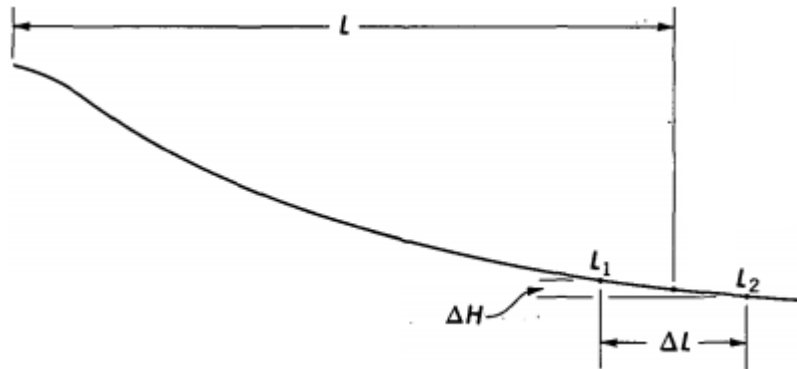


Figura 5 - Parâmetros usados no cálculo do índice de Hack. Modificado de Hack (1973).

Para a elaboração e aplicação do índice de Hack, é utilizado o *software* Knickpoint Finder que é de um programa acoplado ao ArcGis e trata-se de uma rotina automática cuja finalidade é a de buscar locais onde há quebras de relevo em segmentos de drenagens, denominados *knickpoints*. A busca por esses locais é realizada de forma automática, a partir de modelos digitais do terreno, independente da escala de levantamento, o que diminui a complexidade inerente pela identificação manual destas áreas de ruptura do relevo (Salamuni *et al.* 2013).

O programa baseia-se no parâmetro morfométrico proposto por Hack (1973), no qual o algoritmo do software utiliza imagens matriciais, com dados altimétricos, para a confecção da rede de drenagem tridimensional, ou seja, transforma linhas 2D da rede em linhas 3D, no qual foi adicionado o valor de altitude, através da ferramenta InterpolateShape, do ArcGIS. Após esse passo, cada nó (vértice) das linhas de drenagem possuirão os valores de altitude, além das coordenadas X e Y. A partir disso é feito o cálculo do índice de Hack e marca-se automaticamente o ponto de quebra do relevo. O processo de modelagem do IH pode ser observado na Figura 6.

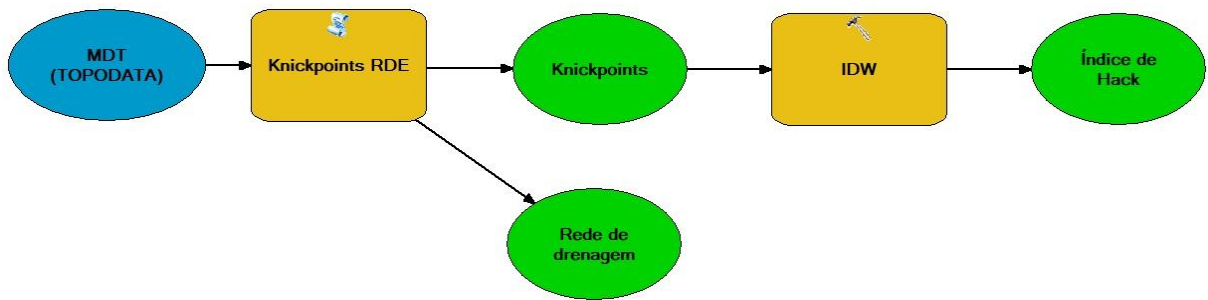


Figura 6 - Fluxo de processos da modelagem do IH na plataforma Model Builder/ArcGis 10.3.

3.1.4 – Índice de Concentração de Rugosidade (ICR)

Índice de Concentração da Rugosidade (ICR) (Sampaio, 2008; Sampaio e Augustin, 2014) foi empregado para identificação, quantificação e classificação de unidades com distintos padrões de dissecação, relacionados aos processos de vertentes, através da análise de distribuição espacial da declividade que, por sua vez, possui relação com os processos morfogenéticos e, conseqüentemente, interferem no processo de ocupação de áreas em declive.

Os parâmetros morfométricos são obtidos ao se quantificar a relação entre as distâncias interfluviais (DI) com o grau de entalhamento vertical (GE) do relevo (Figura 7) e o resultado indica valores que variam em diferentes direções e extensões (Sampaio e Augustin, 2014) e permite o enquadramento de GE e DI em diferentes classes (Figura 8).

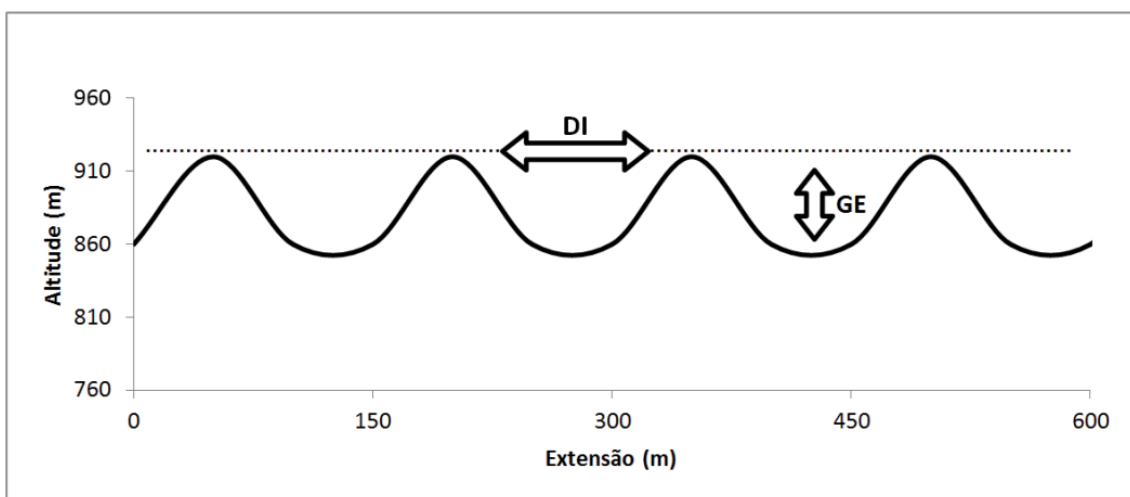


Figura 7 – Perfil topográfico hipotético indicando as dimensões empregadas na obtenção da dissecação do relevo, Sampaio e Augustin (2014).

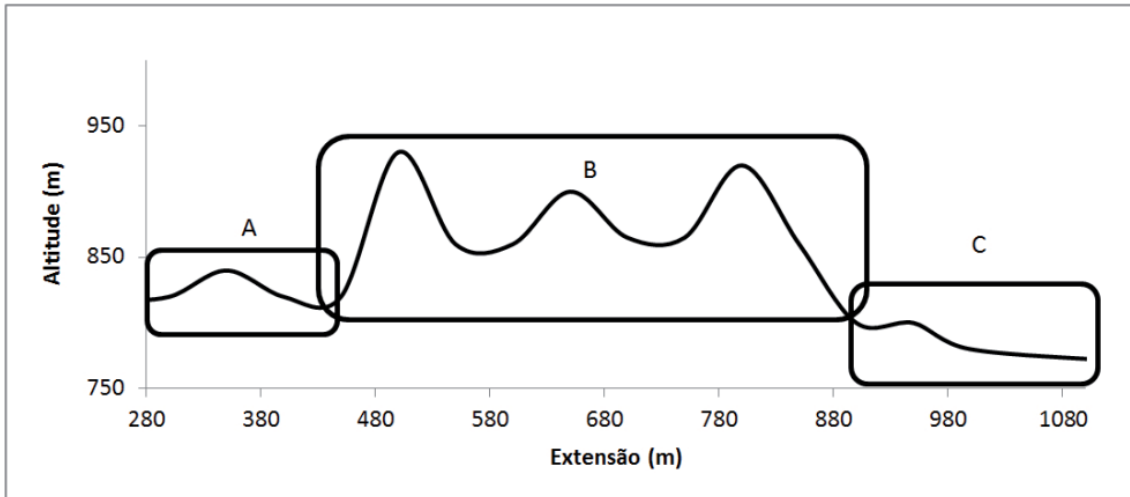


Figura 8 - Possibilidades de enquadramento de GE e DI, Sampaio e Augustin (2014).

Os autores ainda consideram que o padrão de variabilidade dos valores altimétricos na caracterização de uma vertente ou um segmento de vertente quanto a sua declividade e seu padrão de dissecação, é traduzido no ICR como um padrão espacial regional, o qual indica a variação da declividade por unidade de área. Todas as unidades de relevo de uma dada região, desde as predominantemente planas até aquelas com relevo escarpado, podem apresentar locais com valores de declividade elevados ou baixos, indicando a presença de superfícies íngremes e planas (Figura 9)

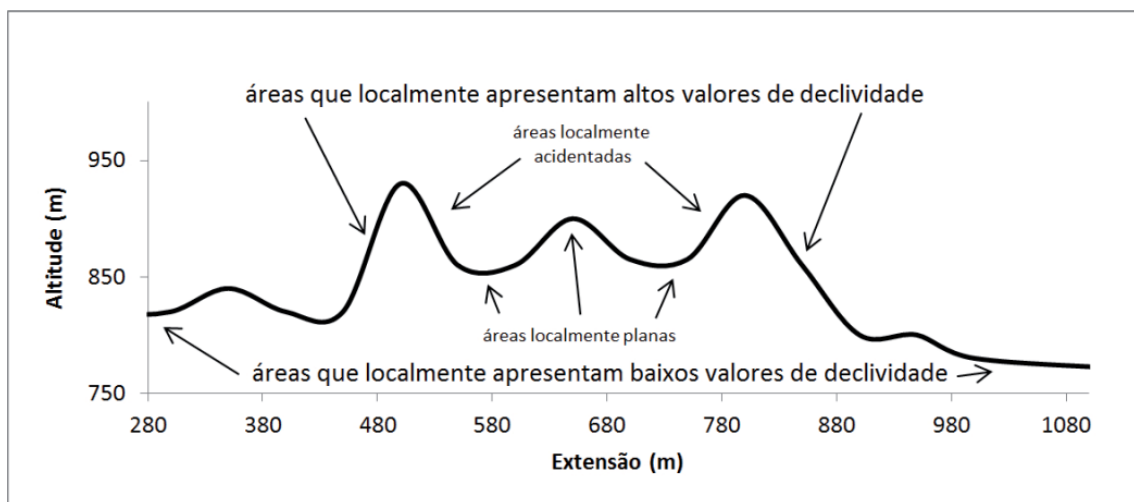


Figura 9 - Perfil indicando a possibilidade de ocorrência de diferentes valores de declividade em diferentes unidades morfológicas, Sampaio e Augustin (2014).

Sendo assim, o ICR pode ser considerado uma ferramenta que auxilia de forma alternativa e complementar o mapeamento geomorfológico, o que possibilita a compartimentação do relevo em unidades com padrões distintos de dissecação (Sampaio e Augustin, 2014).

Outra importante característica do ICR é que este permite a redução das subjetividades e a aquisição de valores quantitativos que possibilitam sua aplicação em modelos matemáticos ou estatísticos, ao incluir o relevo como uma variável numérica (Sampaio e Augustin, 2014).

O índice é calculado a partir do modelo digital de elevação (MDE) fornecido pelo INPE (2008) do projeto Topotada, que é transformado em valores de declividade (em porcentagem) que, por sua vez é convertido para o formato vetorial (nuvem de pontos), onde armazena-se os atributos de declividade. A partir dos pontos obtidos, aplica-se o estimador de densidade por Kernel (*Kernel estimator*) utilizando-se de dois parâmetros: a área de análise (raio de alcance do kernel) e os valores de declividade, como resultado há a geração de um novo arquivo matricial que apresenta a soma de valores de declividade de todos os pixels dentro do raio de alcance estabelecido. Sendo assim o ICR é a soma de todos os pontos de declividade existentes dentro de uma área preestabelecida (rugosidade do relevo).

Os valores obtidos na elaboração do ICR variam de próximo a zero para áreas predominantemente planas, até aproximadamente infinito para áreas com relevo acidentado. Os valores são então normalizados, para obter-se as classes de valores de ICR passíveis de comparação em estudos, independentemente da resolução espacial empregada (Sampaio e Augustin, 2014). A normalização é realizada por álgebra de mapas pela divisão da matriz resultante do estimador kernel pelo número de pixels computados.

Todas as etapas de obtenção do ICR são mostradas na Figura 10.

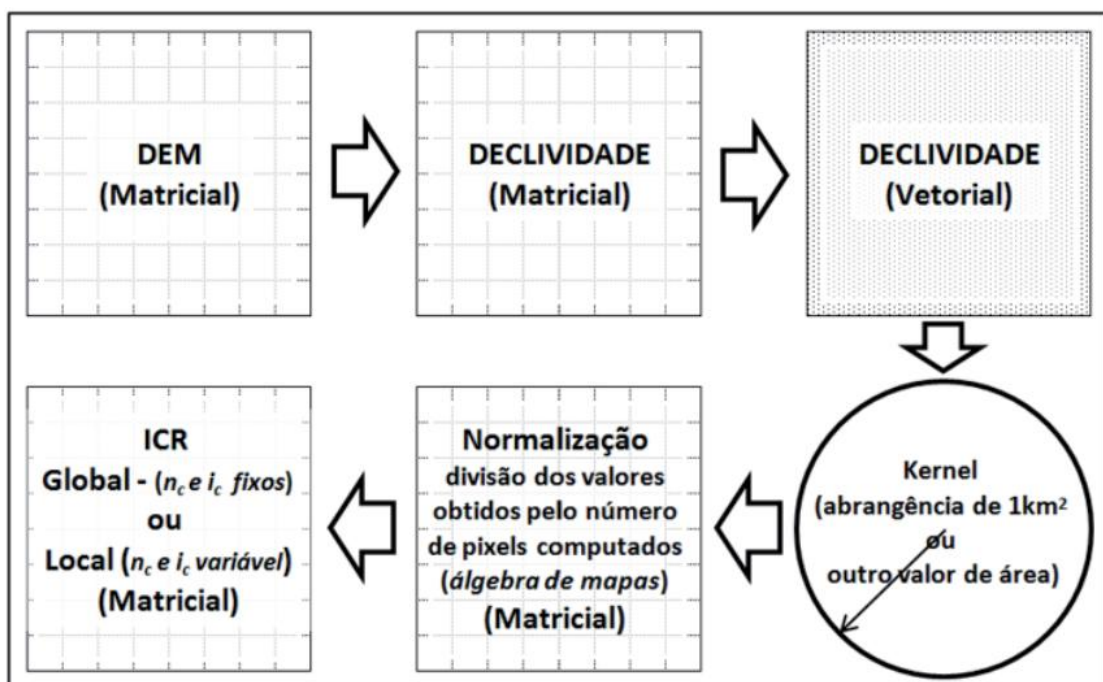


Figura 10 - Etapas de elaboração do ICR. Fonte: Sampaio e Augustin (2014).

Sampaio e Augustin (2014) propuseram os limites das classes de declividade a partir do resultado de análise direta em campo, em áreas já pesquisadas e amostradas para o presente estudo. Sendo assim, os autores consideram os seguintes intervalos para as unidades de relevo:

- Plano – valores de ICR abaixo de 2,5;
- Suavemente ondulados – valores ICR de 2,5 a 6,0;
- Ondulado – valores ICR de 6 a 14;
- Fortemente Ondulado – valores de ICR de 14 a 30;
- Escarpado – valores ICR de 30 a 45; e
- Fortemente escarpado – valores ICR acima de 45.

O processo de modelagem do ICR pode ser observado na Figura 11.

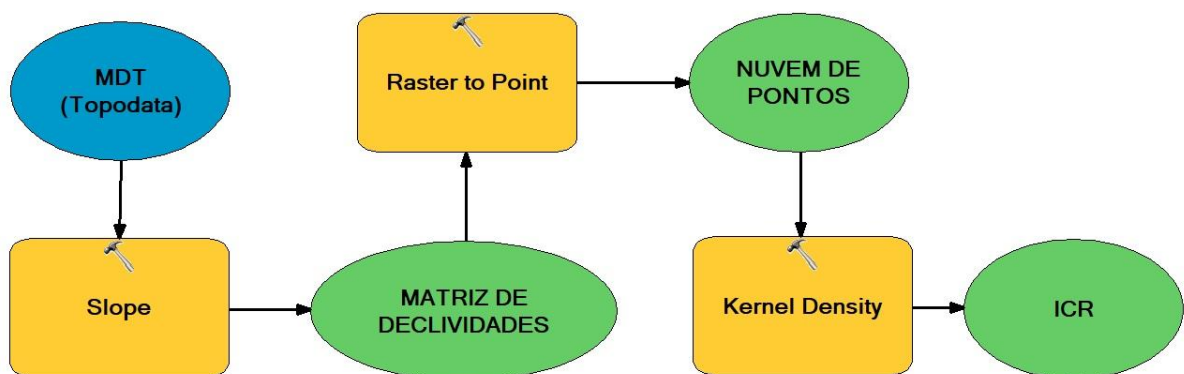


Figura 11 - Fluxo de processos da modelagem do IH na plataforma Model Builder/ArcGis 10.3.

3.2 – ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (IGPU)

O IGPU foi elaborado a partir das metodologias propostas no trabalho de Fonseca (2015) com a normalização das quatro variáveis geomorfológicas com intervalos de valores numéricos entre 0 a 1, sendo os menores valores associados a baixo potencial de ocupação do solo e os maiores valores relativos ao alto potencial. Para a normalização, os valores do IH e ICR foram invertidos, tendo em vista que valores elevados desses índices, caracterizam terrenos desfavoráveis à ocupação.

Para sintetizar os fatores em um índice com valores baseados na ponderação de critérios ou variáveis, foi aplicada Análise de Multicritérios (AMC) considerando pesos iguais (25%) para cada variável, tendo em vista que não foi realizado um estudo específico para avaliar a intensidade da influência de cada fator. O processo de modelagem do IGPU pode ser observado na Figura 12.

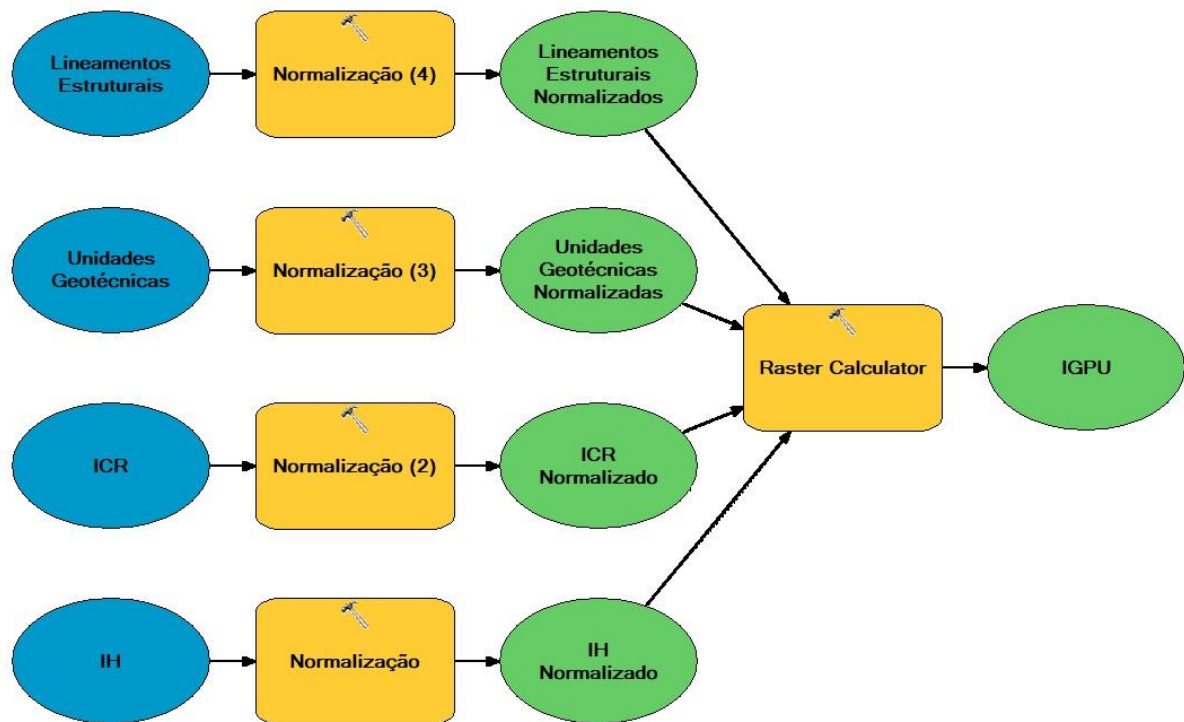


Figura 12 - Fluxo de processos da modelagem do IH na plataforma Model Builder/ArcGis 10.3.

3.3 – ÍNDICE NORMALIZADO DE REMANESCENTES FLORESTAIS (NRVI)

Para analisar a correlação entre a cobertura de vegetação remanescente com áreas antropizadas, foi empregado o Índice Normalizado de Remanescentes Florestais (*Normalized Remaining Vegetation Index*, NRVI) proposto por Bonnet *et al.* 2006 em cada ottobacia presenta na área.

O NRVI foi proposto pelo autor para avaliar quantitativamente as áreas de remanescentes florestais, bem como as áreas antropizadas dentro de uma determinada unidade espacial de análise, no presente trabalho foi considerado as ottobacias.

O NRVI é calculado pela seguinte equação:

$$NRVI = \frac{rv - aa}{rv + aa}$$

no qual rv corresponde à vegetação remanescente por unidade espacial e aa representa as áreas antropizadas por unidade espacial. Os resultados variam entre -1 (áreas totalmente antrópicas) e +1 (áreas totalmente preservadas).

4.1 – UNIDADES GEOTÉCNICAS

O mapa de unidades geotécnicas (Figura 13) permitiu a categorização em classes com diferentes atributos mecânicos e de fragilidade a processos erosivos. Os potenciais mais baixos foram associados à depósitos quaternários, enquanto que os mais altos estão associados às rochas granito gnáissicas do Complexo Metamórfico do Bação.

Os piores valores, com potenciais de 2 a 4 foram associados aos depósitos aluviais e elúvio-coluviais, que ocorrem em diversos pontos ao longo do mapa, inclusive em dentro do perímetro urbano de Ouro Preto. Outras rochas com baixo potencial foram as rochas da formação Gandarela e em alguns pontos às do grupo Piracicaba. Destaca-se as regiões a norte e oeste do mapa, com áreas mais significativas desses elementos.

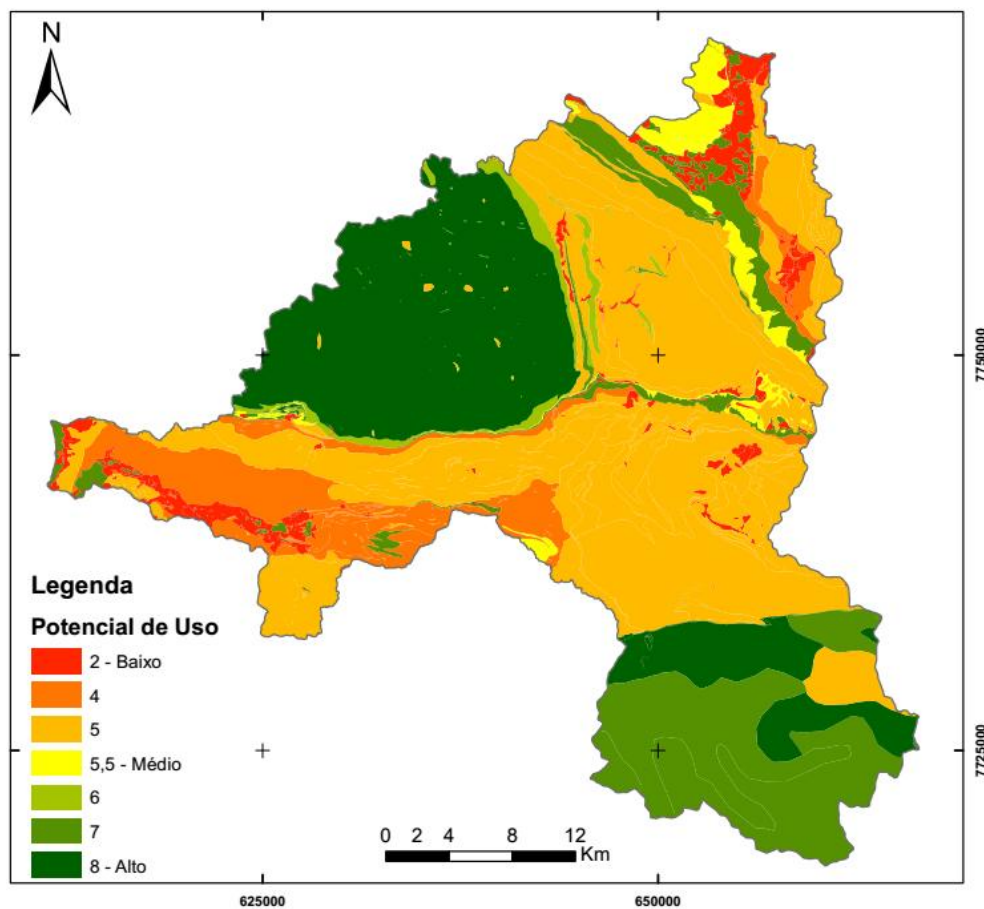


Figura 13 – Mapa de Unidades Geotécnicas de Ouro Preto.

As regiões com potencial Médio (de 5 a 6) compreendem a uma grande mancha no transecto central leste-oeste do mapa, separada de outra na porção noroeste por uma linha de alto potencial, associada aos itabiritos da Formação Cauê. Os potenciais medianos são relacionados a diversas rochas supracrustais presentes na área, como as dos grupos Sabará, Piracicaba, Nova Lima, Maquiné e Itacolomi, todas com potencial 5, o grupo Caraça com 5,5 e potencial 6 para a sequência vulcano-sedimentar do grupo Nova Lima.

Já os melhores potenciais da área (7 a 8) foram encontrados, principalmente, na região noroeste e sul da área, devido às boas características geotécnicas de algumas rochas supracrustais, intrusivas, metaultramáficas e dos complexos metamórficos. A área ao sul, com bom potencial, possui associação com as rochas da suíte Alto Maranhão, do Complexo Monsenhor Isidro e das metaultramáficas. Uma extensa área a oeste, no domínio do complexo do Bação, caracterizada por colinas convexas e policonvexas com presença de processos de erosão acelerada, a exemplo de voçorocas e ravinas, as áreas das voçorocas estão representadas por pequenas manchas em laranja (potencial 5), evidenciando áreas com restrição à ocupação segundo características geotécnicas do material

4.2 – LINEAMENTOS ESTRUTURAIS

Com o resultado obtido ao aplicar o estimador de intensidade *kernel* foi possível delimitar as áreas de potencial influência de falhas e fraturas (Figura 14), sob o contexto de acelerar os processos intempérico e erosivo sob as rochas presentes na área de estudo.

Com a análise foi possível determinar que as regiões com alta intensidade de lineamentos estruturais por unidade de área foram as com vergências principais de lineamentos no transecto noroeste-sudeste da parte nordeste da área e leste-oeste na parte central do limite municipal. Os lineamentos norte-sul condizem com às falhas associadas ao anticlinal de Mariana e localizam-se em regiões, em geral, escarpadas nas cristas de serras. Já as fraturas com *trend* leste-oeste estão relacionadas às falhas relativas aos sinclinais que atravessam o mesmo transecto, como é o caso do sinclinal Dom Bosco e, assim como os lineamentos anteriores influenciam o contexto morfológico das áreas de cristas de serras.

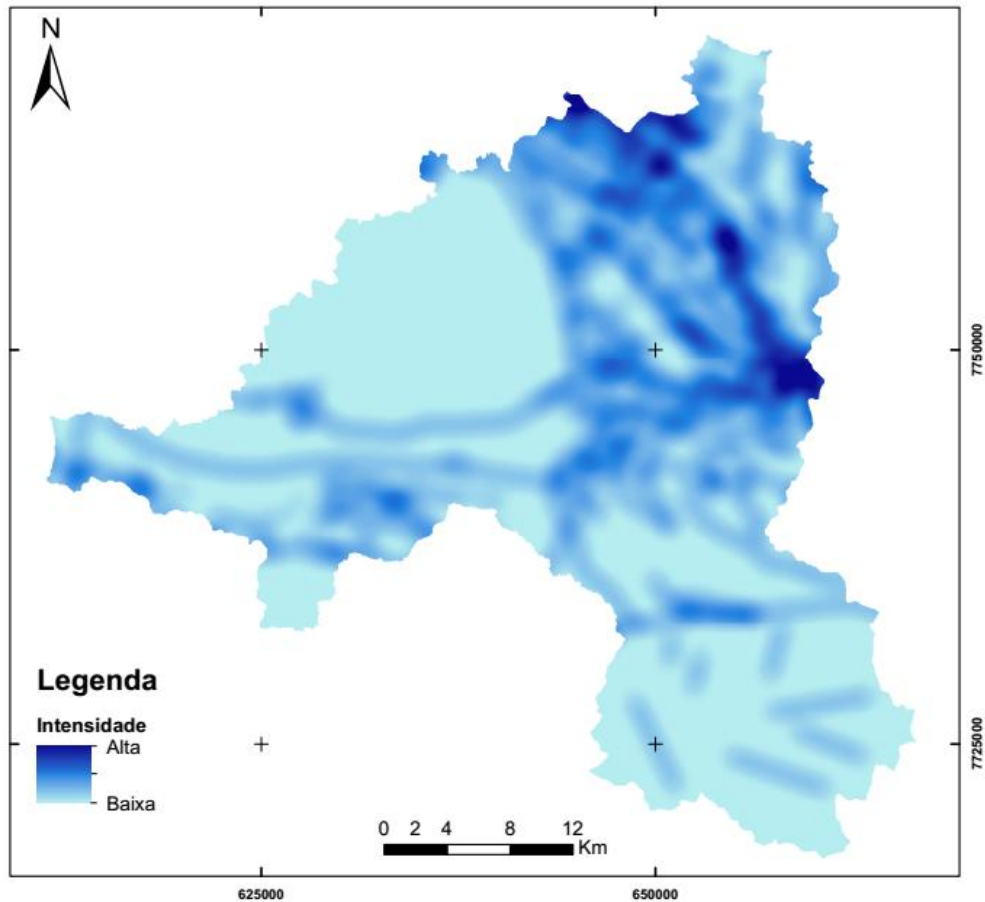


Figura 14 – Mapa de estimador de intensidade de lineamentos de estrutural de Ouro Preto, MG.

4.3 – ÍNDICE DE HACK (*STREAM LENGTH-GRADIENT INDEX – SL*)

O processamento do índice de Hack (Figura 15) possibilitou a delimitação das áreas sob influência de diferentes potenciais energéticos das drenagens, sendo os mais altos e, conseqüentemente, com menor potencial de ocupação encontrados em regiões escarpadas como as serras da parte nordeste da área e a quebra de relevo a sul.

O resultado da análise permitiu determinar que as áreas com maior potencial energético das drenagens estão associadas a contatos litoestratigráficos como as do supergrupo Rio das Velhas com as rochas do Supergrupo Minas, na parte nordeste do mapa, e entre as rochas supracrustais com as da suíte Alto Maranhão e do Complexo Monsenhor Isidro a sul da área.

A região com menor influência do potencial energético das drenagens encontra-se sob as rochas do Complexo Metamórfico do Baçõ, devido sua continuidade litológica e baixa influência dos lineamentos estruturais, o que não promove quebras abruptas do terreno e, conseqüentemente, reduz o potencial energético das drenagens da área.

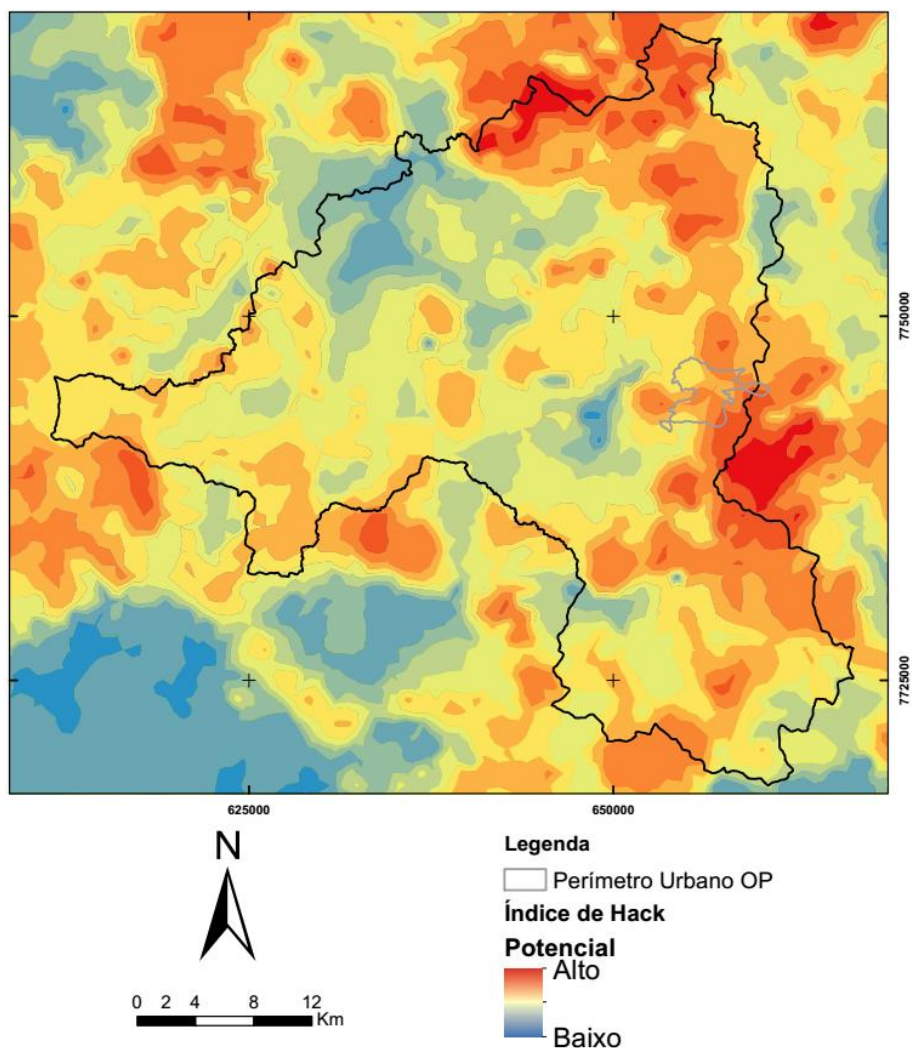


Figura 15 - Índice de Hack.de Ouro Preto, MG.

4.4 – ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO DA RUGOSIDADE

A interpretação do mapa com a aplicação do Índice de Concentração da Rugosidade (Figura 16) possibilita a setorização da área em diferentes contextos de dissecação do terreno. As regiões escarpadas foram associadas às cristas de serras, enquanto que as mais planas encontram-se na região do complexo do Bação.

O parâmetro morfométrico de escarpas está relacionado às regiões de contato litológico e com intensa influência dos lineamentos estruturais, como pode ser analisado na porção nordeste da área, estas também são as áreas sob maior influência do potencial energético dos rios, como descrito na análise do índice de Hack.

Adjacente às áreas de escarpas, encontram-se as de relevo ondulado, com destaque para a região com bom potencial de uso geotécnico ao sul do município que, apesar da boa adequabilidade mecânica das rochas, possui um relevo ondulado o que desfavorece o potencial de uso e ocupação nessa região.

A estabilidade estrutural e mecânica das rochas do complexo metamórfico do Bação enquadrrou essa área em um relevo plano e, em alguns pontos, ondulado, o que concede para área as melhores características geomorfológicas para a ocupação urbana.

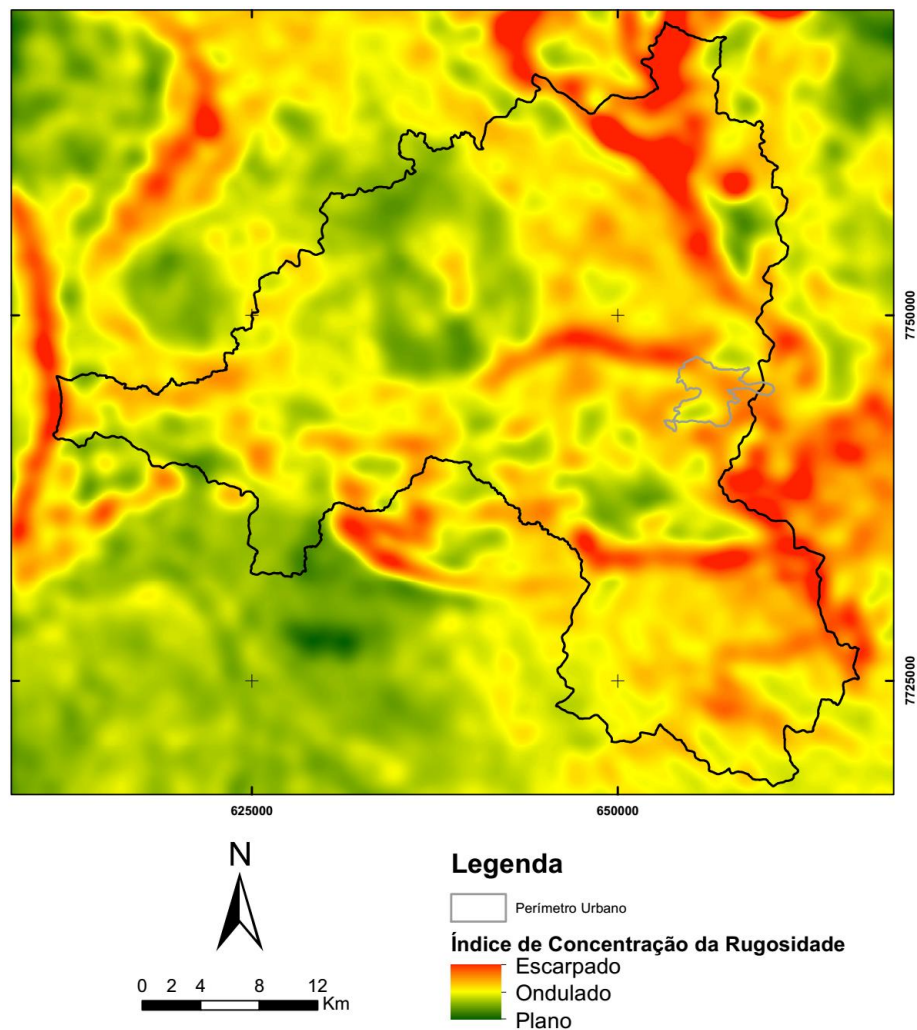


Figura 16 – Índice de Concentração de Rugosidade de Ouro Preto, MG.

4.5 – ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (IGPU)

Os fatores integrados na elaboração do IGPU (Figura 17) são complementares, sendo assim mesmo em regiões onde ocorrem rochas com bom potencial geotécnico para ocupação, como no caso dos xistos e itabiritos na porção nordeste da área, não necessariamente possuem um bom índice de uso e ocupação, por estarem em uma região com alto índice de rugosidade, altos valores energéticos e com um adensamento de lineamentos estruturais que favorecem os processos erosivos.

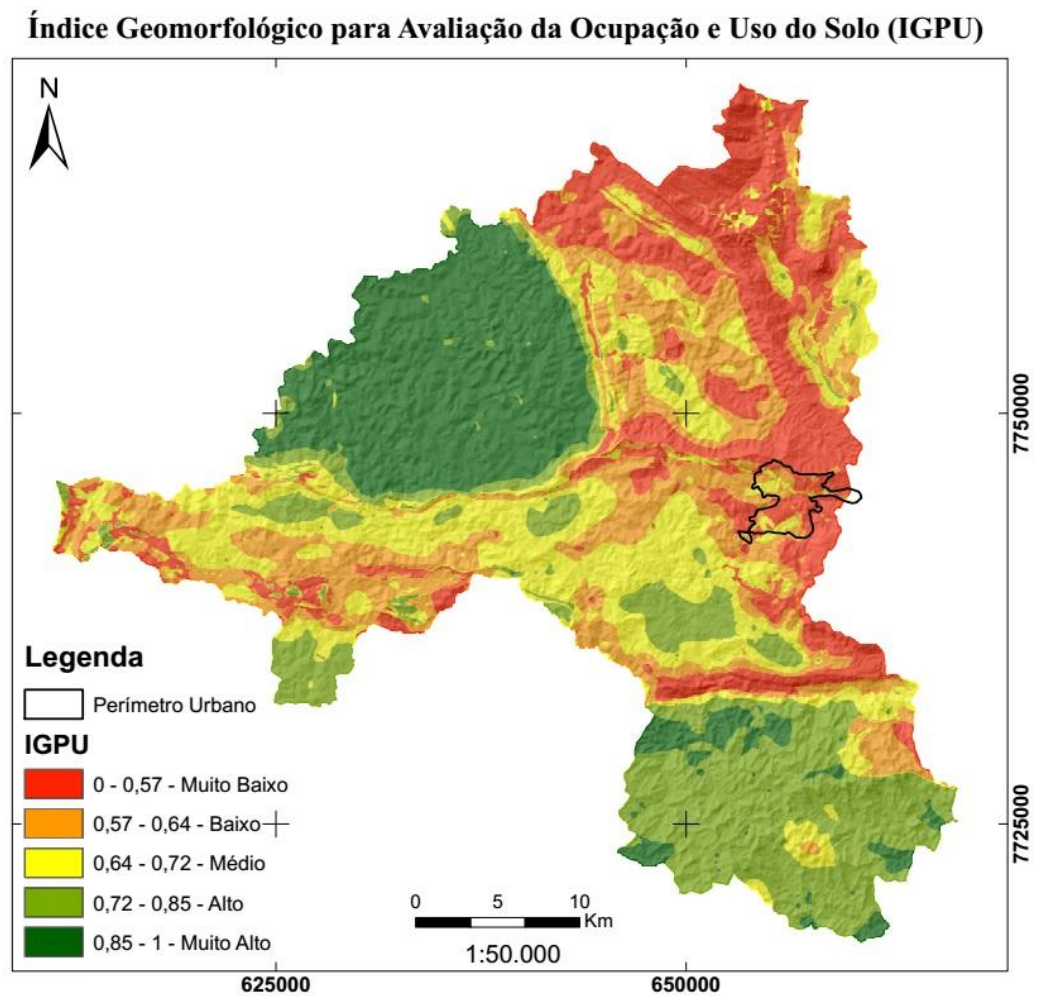


Figura 17 – Índice Geomorfológico para Avaliação da Ocupação e Uso do Solo (IGPU), em Ouro Preto.

O resultado analisado permitiu categorizar a área em três compartimentos principais: o primeiro com um potencial muito alto na região noroeste da área com rochas granito/gnáissicas do complexo metamórfico do Bação; outra com potencial alto na região sul/sudeste, associados as rochas ultramáficas e aos complexos metamórficos; e outra região que acompanha as cristas das serras do Quadrilátero Ferrífero, relacionados as rochas com potenciais médio a muito baixo, nesta encontra-se o perímetro urbano de Ouro Preto.

A região do complexo Bação, com o melhor potencial, é representada por rochas com excelentes características geotécnicas como migmatitos e gnaisses, além disso devido a estabilidade tectônica da região, há baixa influência dos lineamentos estruturais. Outro ponto positivo da área é a baixa rugosidade do terreno e, conseqüentemente um menor nível energético dos rios da região.

A porção sul/sudeste da área, composta pelas rochas da suíte Alto Maranhão, do Complexo Monsenhor Isidro e das metaultramáficas, possui com potencial geotécnico médio a muito bom, com baixo adensamento de lineamentos estruturais, porém o relevo com alta rugosidade e com um nível energético alto de suas drenagens enquadraram a área em um potencial de uso e ocupação mais baixo do que a região anterior, porém ainda assim com um bom nível para ocupação, entretanto com algumas regiões pontuais com nível médio, foram influenciadas principalmente pelo relevo irregular.

Por outro lado, a região urbana de Ouro Preto encontra-se nas regiões de pior potencial para o uso e ocupação do solo, devido à variedade de rochas com potenciais geotécnicos, em geral, baixos. Destaca-se com potencial médio a baixo os quartzitos, filitos e xistos dos grupos Itacolomi, Sabará, Piracicaba, Caraça, Nova Lima e Maquiné. Os piores potenciais geotécnicos foram observados nos dolomitos, quartzitos, itabiritos, metacalcários, filitos e xistos da formação Gandarela, bem como os depósitos elúvio-colúviais e aluviais recentes como a canga, laterita, areia, argila e cascalho. Outro fator importante para o baixo potencial é a influência da geomorfologia, pois são rochas que compõem as cristas das serras do quadrilátero, com uma intensa concentração de lineamentos estruturais que promoveram uma alta rugosidade do terreno e alto valor energético para as drenagens nessas áreas, conferindo um baixo potencial para o uso e ocupação do solo nessa área.

4.6 - ÍNDICE NORMALIZADO DE REMANESCENTES FLORESTAIS (NRVI)

A análise do NRVI (Figura 18) permite avaliar o quanto as áreas do município estão sendo antropizadas. Sendo assim, comparado ao IGPU, pode-se constatar que as regiões com alto a muito alto potencial de ocupação são realmente as com os menores remanescentes florestais, como é o caso da região do complexo do Bação, onde concentra-se atividades agrossilvopastoris e alguns distritos de Ouro Preto com infraestrutura urbana. Por outro lado, nas regiões de baixo potencial à ocupação nas cristas das serras do quadrilátero ferrífero, possuem um baixo índice de remanescente florestais, com destaque para o núcleo urbano central de Ouro Preto, indicando um ordenamento territorial urbano sem levar em consideração os fatores geomorfológicos como premissa à ocupação. Essa configuração evidencia os conflitos entre a urbanização e o desencadeamento de áreas de risco na cidade de Ouro Preto.

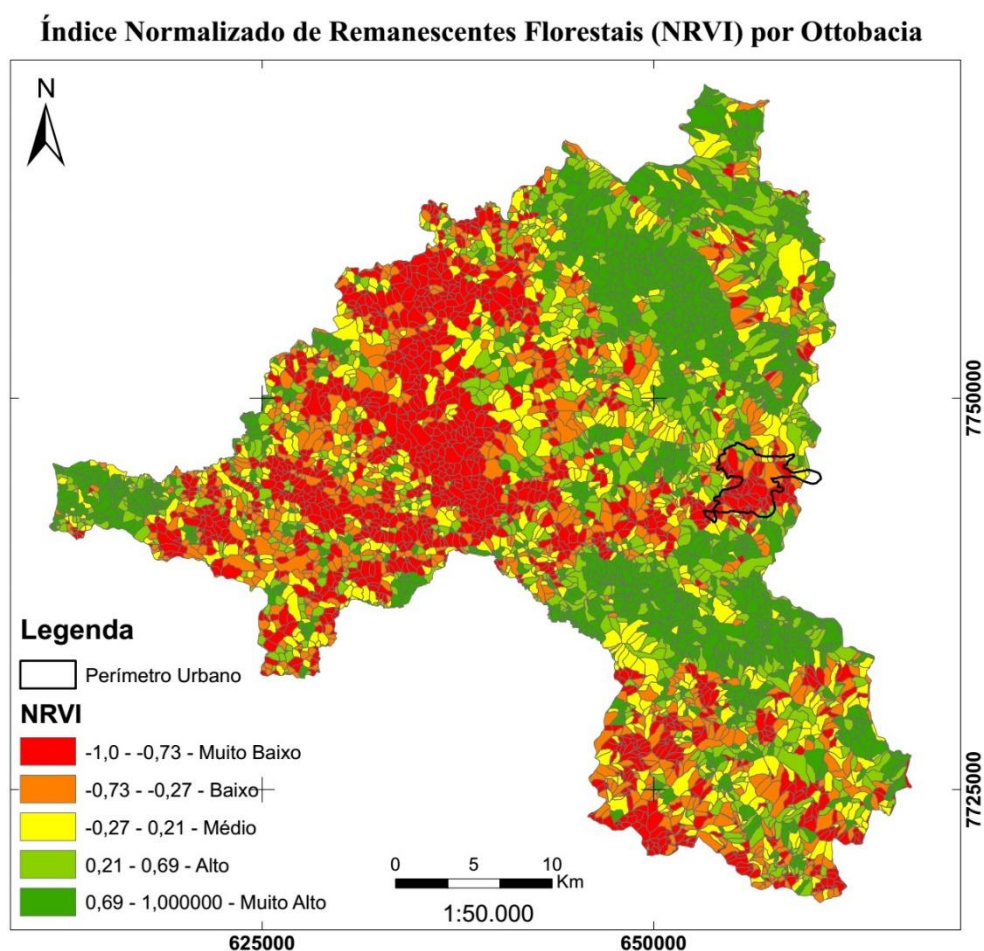


Figura 18 – Índice Normalizado de Remanescentes Florestais (NRVI) por ottobacia, em Ouro Preto, MG.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Com a análise da integração dos fatores sintetizados para a elaboração do IGPU foi possível definir duas áreas principais para a expansão urbana de Ouro Preto, sendo uma a noroeste e outra a sul da área. Com destaque para a região do complexo Bação, com as melhores condições geotécnicas, estruturais, hidrológicas e geomorfológicas para uma expansão segura em relação aos processos morfogenéticos.

A classificação litológicas em categorias geotécnicas em conjunto com a influência dos lineamentos estruturais permitiu uma análise do comportamento mecânico das rochas ante aos processos erosivos que modelam o terreno.

Já o índice de Hack permitiu determinar a ação da rede hidrográfica, influenciado diretamente pela geomorfologia da área, na dissecação do terreno sobre as litologias de diferentes características mecânicas e estruturais, o que resultou na configuração morfológica atual, a qual pode ser interpretado pela análise da rugosidade do terreno. Este índice, por sua vez, possuiu uma excelente resposta para a categorização geomorfológica da área de estudo, sem as subjetividades típicas das classificações geomorfológicas nicamente quanlitatitavas, conforme chamam a atenção Xavier da Silva (2009) e Sampaio e Augustin (2014). Deste modo, o IGPU e os parâmetros que foram relacionadas para sua construção proporcionam o entendimento quantitativo e qualitativo do contexto físico da área para o usuário fim do mapa, independentemente do nível de conhecimento do mesmo, podendo ser inelegível para os gestores públicos e não apenas para os técnicos.

A análise comparativa entre o IGPU e o NRVI confirmou que as áreas com maior potencial de uso e ocupação realmente são as que foram mais degradadas, contudo muitas áreas com baixo potencial são ocupadas por atividades antrópicas que levam a redução da porcentagem de remanescentes florestais, aumento do potencial de impactos ambientais, fragmentação florestal e redução dos corredores de biodiversidade que fazem conexão com as unidades de conservação da região. Isso se deve muitas vezes pela expansão e ocupação urbana segundo às necessidades econômicas que, no contexto da área, se deve ao fator de rigidez locacional da mineração de ferro e ouro que encontram-se em regiões de topo de morro e relevos escarpados, muitas vezes em rochas com baixo potencial geotécnico e intensamente influenciadas pelos lineamentos estruturais.

O resultado do IGPU possibilitou a integração dos fatores geotécnicos, estruturais, hidrodinâmicos e geomorfológicos para uma interpretação de fácil entendimento para nível básico de conhecimento técnico, sendo assim um boa ferramenta para tomada de decisões para gestores e usuários em geral. Entretanto, não se descarta a necessidade de profissionais especialistas para a elaboração do mesmo, além disso o índice não substitui as análises geotécnicas em escala de vertente e taludes em meio urbano, porém possui um bom resultado na escala municipal, sendo uma excelente ferramenta para tomada de decisões para a expansão e ordenamento urbano.

Referências

- Alkmim, F. F., & Marshak, S. 1998. Transamazonian orogeny in the Southern Sao Francisco craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90(1), 29-58.
- Alkmim, F. F., & Noce, C. M. 2006. The Paleoproterozoic Record of the São Francisco Craton. IGCP 509 Field workshop, Bahia and Minas Gerais, Brazil. *Field Guide & Abstracts*, 114p.
- CBH Rio das Velhas. 2013. Produto 2: Estudo de Caracterização Geral da Bacia do Rio Itabirito. MYR Projetos Sustentáveis. Belo Horizonte. 296 p. http://cbhvelhas.org.br/images/subcomites/Itabirito/093_REL_PROD_2_R06_REV1_140315.pdf. Acesso em: 11 de out. 2017.
- Chemale Jr, F., Rosière, C. A., & Endo, I. 1991. Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: um modelo. *Pesquisas*, 18(2), 104-127.
- Chemale, F., Rosière, C. A., & Endo, I. 1994. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Research*, 65(1), 25-54.
- Dorr, J. V. N. 1969. Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil (No. 641-A).
- Fonseca, B. M. 2010. O uso do sistema de informações geográficas na análise morfométrica e morfológica de bacias de drenagem na Serra do Espinhaço Meridional-MG. 93 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). IGC-UFMG, Belo Horizonte.
- Fonseca, B. M. 2015. Conceitos e práticas de geodesign aplicados ao ordenamento territorial do município de São Gonçalo do Rio Abaixo.
- Fonsecao, B. M.; Augustin, C. H. R. R. 2011. Use of GIS to calculate Hack Index as a basis for comparative geomorphologic analysis between two drainage basins: a case study from SE-Brazil. *International Geographic Union Regional Geographic Conference – UGI 2011*. Santiago: Military Geographic Institute of Chile (IGM).
- Gomes, R.C., Araújo, L.G., Bonucelli, T. e Sobreira, F.G. (1998). *Condicionantes Geotécnicas do Espaço Urbano de Ouro Preto / MG*. XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. pp. 363-370
- Hack, J. T. 1973. Stream-profile analysis and stream-gradient index. *Journal of Research of the United States Geological Survey* v. 1, n. 4, p. 421-429.
- Heineck, C.A.; Silva, L.C.; Leite, C.A.; Vieira, V.S.; Baars, F.J.; Perrotta, M.; Salvador, E.D.; Lopes, R.C.; Silva, M.G.M.; Valente, C.R.; Lacerda Filho, J.V.; Drummond, J.B.V. 2003. CODEMIG – Mapa Geológico de Minas Gerais, Escala 1:1.000.000.
- Herz, N. 1978. Metamorphic rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. No. 641-C. 1978.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 2008. Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos. <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 11 mai. 2017.
- Oliveira Filho, A. T.; Scolforo, J. R. 2008. Inventário florestal de Minas Gerais. Lavras: Editora UFLA. 575p.
- Parizzi, M. G. et al. 2010. Mapa de Unidades Geotécnicas da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Belo Horizonte: RMBH. Disponível em: <<http://www.rmbh.org.br/sites/default/files/Relat%C3%B3rioGeologiaPotencialdeUso.pdf>>, 2010.
- Saadi, A. 1997. A Geomorfologia como Ciência de Apoio ao Planejamento Urbano em Minas Gerais. *Geonomos* v. 5, n. 2, p. 1-4, 1997.
- Salamuni, E; Nascimento, E. R.; Da Silva, P.A.H.; Queiroz, G.L.; Silva, G. 2013. Knickpoint Finder: ferramenta para a busca de geossítios de relevante interesse para o geoturismo. *Boletim Paranaense de Geociências*, 70.

- Sampaio, T.V.M. 2008. Parâmetros morfométricos para melhoria da acurácia do mapeamento da rede de drenagem – uma proposta baseada na análise da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente – ES. 2008. 147 f. Tese (Doutorado em Geografia). IGC UFMG. Belo Horizonte.
- Sampaio, T.V.; Augustin, C. H. R. R. 2014. 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. 1–14.
- Santos, C. A. D., Sobreira, F. G., & Coelho Neto, A. L. 2002. Comportamento hidrológico superficial e erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, Distrito de Ouro Preto-MG. *Revista Escola de Minas*, 55(4), 285-290.
- Xavier da Silva, J. Geomorfologia e Geoprocessamento. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista Da (Orgs.). 2009. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 9a. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 393–413.