

# ÍNDICE GEOMORFOLÓGICO PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE OCUPAÇÃO E USO DO SOLO (IGPU) EM OURO PRETO, MG

R. T. AMARANTE<sup>1</sup>, B. M. FONSECA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais

Comissão V – Gestão Territorial e Cadastro Técnico Multifinalitário

## 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 que favoreceram a ocupação desordenada de sua área, além de acelerar processos erosivos. O índice é composto pela análise multicritério de quatro fatores influenciadores dos processos geomorfológicos, são eles: as unidades geotécnicas, os lineamentos estruturais, o índice de dimensionamento de vertentes e o índice de rugosidade do terreno. 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, para determinar se as áreas com baixo potencial são ou não ocupadas pelas atividades antrópicas.

**Palavras-chave:** Geomorfologia Aplicada, Ordenamento Territorial, Análise Multicritério, Geoprocessamento.

## ABSTRACT

This work registers the application of a geomorphological index to evaluate the potential of occupation and land use in Ouro Preto, a city with a historical record of accidents related to mass movements and with centuries of anthropic activities that favor a disordered occupation of its area, besides accelerate erosion processes. The index is composed by multicriteria analysis of four factors influencing the geomorphological processes, such as: geotechnical units, structural lineaments, slope dimensioning index and terrain roughness index. The results make it possible to categorize areas of the city into an index with different land use and occupation potentials that was compared to the forest remnants quantification map to determine if areas with low potential are occupied or not by anthropogenic activities.

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

## 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 do Solo (IGPU), no município de Ouro Preto, Minas Gerais. O 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. O IGPU leva em consideração quatro fatores principais para sua elaboração, são elas: as unidades geotécnicas, os lineamentos estruturais, os índices de dimensionamento de vertentes e de rugosidade 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.

## 2- GEOLOGIA LOCAL

A conjuntura geológica da área de estudo é composta, predominantemente, por rochas granito-gnáissico e metavulcanossedimentares, que compreendem às rochas da Suíte Alto Maranhão e dos Complexos Metamórficos do Bação e Monsenhor Isidro; às 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.

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. Estas ocorrem na região sul da área.

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 grafitico. 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 cloriticos, 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 termal 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 na 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.

### 3- METODOLOGIA

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

1 – Unidades Litológicas classificadas segundo suas características geotécnicas propostas por Parizzi et al. (2010), tendo em vista a associar seus atributos mecânicos e sua fragilidade em relação aos processos erosivos.

2 – Lineamentos estruturais, como falhas e fraturas, que aceleram o processo erosivo ao alterar os atributos mecânicos da rocha. A influência destas estruturas foram obtidas através de estimador de intensidade (*kernel estimation*) que é utilizado para determinar o comportamento dos padrões estruturais através da intensidade de amostras por unidade de área;

3 – Índice de Concentração da Rugosidade (ICR) (Sampaio e Augustin, 2014) foi empregado para identificação dos 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.

4 – Índice de Hack (*Stream Length-Gradient Index – SL*) (Hack, 1973) foi utilizado como uma base de comparação da energia de rios em diferentes microbacias, os valores obtidos são relacionados aos processos hidrodinâmicos e sua correlação com a evolução morfológica do terreno.

O IGPU foi elaborado 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 sintetizar os fatores em um índice, foi aplicada Análise de Multicritérios considerando pesos iguais (25%) para cada variável.

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). Esse índice foi elaborado a para cada otobacia presente na área de estudo e com isso foi possível quantificar as áreas com as maiores influências antrópicas na região. O NRVI é calculado pela seguinte equação:

$$NRVI = (rv - aa)/(rv+aa)$$

onde rv corresponde à vegetação natural remanescente por bacia e aa representa as áreas antropizadas por

#### Índice Geomorfológico para Avaliação da Ocupação e Uso do Solo (IGPU)

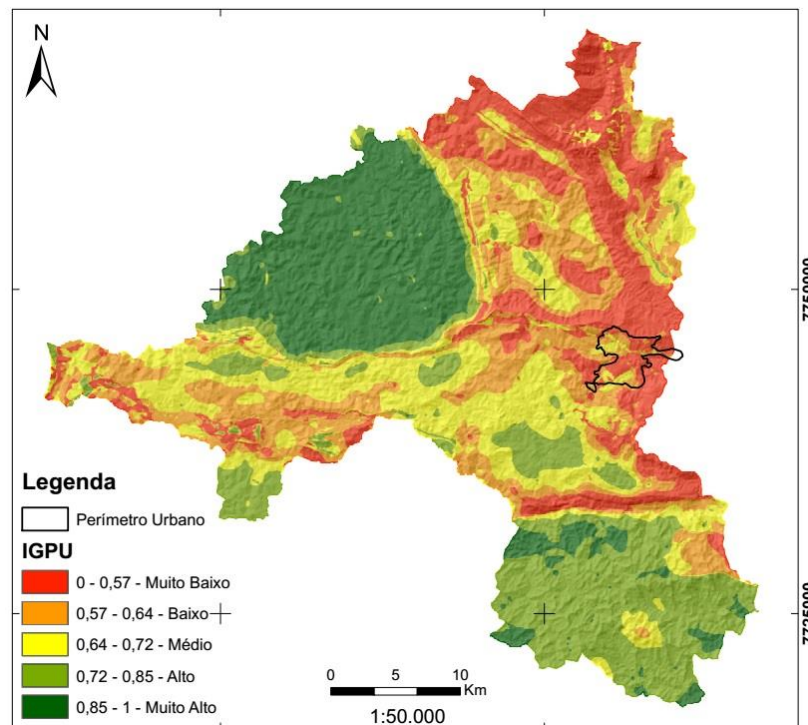


Figura 1 - Índice Geomorfológico para Avaliação da Ocupação e Uso do Solo (IGPU) em Ouro Preto, MG.

bacia. Os resultados variam entre -1 (totalmente antropizadas) e +1 (totalmente preservadas).

#### 4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os fatores integrados na elaboração do IGPU (Figura 1) 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.

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 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 excelente 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 enquadrado 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 um 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.

A análise do NRVI (Figura 2) permite avaliar

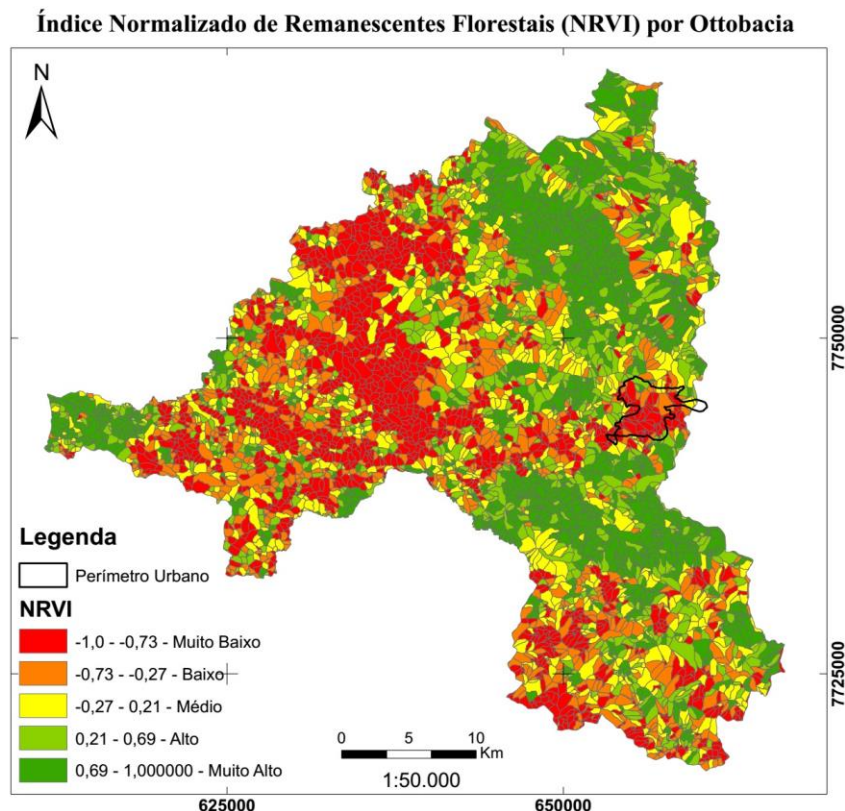


Figura 2 - Índice Normalizado de Remanescentes Florestais (NRVI) por Ottobacia em Ouro Preto, MG.

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 agrossilvipastoris 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 a região urbana de Ouro Preto, indicando um ordenamento territorial urbano sem levar em consideração os fatores geomorfológicos como premissa à ocupação.

## 5- CONCLUSÕES

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 uma boa ferramenta para tomada de decisões para gestores e usuários fim. 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 das infraestruturas urbanas, porém possui um bom resultado na escala municipal, sendo uma excelente ferramenta para tomada de decisões para a expansão e ordenamento urbano.

Os resultados obtidos pela 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, inclui-se nesse contexto o perímetro urbano de Ouro Preto. Isso se deve muitas vezes pela expansão e ocupação urbana segundo às necessidades econômicas que, no contexto da área, se deve ao fato da mineração e exploração aurífera encontram-se em regiões de topo de morro e relevos irregulares, muitas vezes em rochas com baixo potencial geotécnico.

Com a aplicação 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 para uma expansão segura em relação aos processos geomorfológicos.

## AGRADECIMENTOS

Gratidão ao professor Bráulio Magalhães Fonseca por dispor do seu conhecimento e tempo para me ajudar na elaboração deste trabalho.

Agradeço à UFMG e ao corpo docente do IGC pelos ensinamentos em geoprocessamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alkmim, F.F e S. Marshak, 1998. Transamazonia orogeny in the Southern São Francisco craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. Precambrian Research, Vol. 90, n. 1, pp. 29-58

Alkmim, F.F. e C.M. Noce, 2006. The Paleoproterozoic Record of the São Francisco Craton. IGCP 609 Field Worksho, Bahia and Minas Gerais, Brazil, Field guid & Abstracts. 114 p.

Bonnet, B. R. P; L.G. Ferreira e F.C. Lobo, 2006. Sistema de reserva legal extra-propriedade no bioma cerrado: uma análise preliminar no contexto da bacia hidrográfica. Revista Brasileira de Cartografia Vol. 58, pp. 129-137.

Chemale, F.; C.A. Rosiere e I. Endo, 1991. Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: um modelo. Pesquisas, Vol. 18, n. 1, pp. 104-127.

Door, J.V.N., 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. United States Government Printing Office. 110 p.

Fonseca, B. M., 2015. Conceitos e práticas de geodesign aplicados ao ordenamento territorial do município de São Gonçalo do Rio Abaixo. Tese (Doutorado em Geografia), IGC-UFMG, Belo Horizonte, 200 p.

Gomes, R.C.; L.G. Araújo, T. Bonuccelli e F.G. Sobreira, 1998. Condicionantes Geotécnicas do Espaço Urbano de Ouro Preto / MG. ABMS, XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, pp. 363-370.

Hack, J. T., 1973. Stram-profile analysis and stream-gradient index. Journal of Research of the United States Geological Survey Vol. 1, N. 4, pp. 421-429.

Heineck, C.A.; et al. 2003. Mapa Geológico de Minas Gerais, Escala 1:1.000.000. CODEMIG.

Herz, N., 1978. Metamorphic rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. United States Government Printing Office. 80p.

Parizzi, M.G. *et. al.* , 2010. Mapa de Unidades Geotécnicas da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Regulação Metropolitana de Belo Horizonte, Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.rmbh.org.br/sites/default/files/Relat%C3%B3rioGeologiaPontencialdeUso.pdf>>.

Saadi, A., 1997. A Geomorfologia como ciência de apoio ao planejamento urbano em Minas Gerais. Genomos Vol. 5, N. 2, pp. 1-4.

Sampaio, T.V.M., C.H.R.R. Augustin, 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 vol 15, n. 1, pp. 1-14.