

GEOANÁLISE EM BACIA HIDROGRÁFICA PARA DEFINIÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS

Prof. Dr. Marcílio Baltazar Teixeira¹
Prof. Dr. Pedro Luiz Teixeira de Camargo²
Prof. Dr. Paulo Pereira Martins Junior³
Gabriel Domiciano Costa Lara⁴

Resumo

A caracterização apresentada neste estudo buscou identificar e cartografar os diferentes tipos de unidades pedo-mórfico-litográficas encontradas numa bacia hidrográfica do médio alto São Francisco, localizada no norte de Minas Gerais. Foi possível gerar uma panorâmica geral da grande geodiversidade, o que permitiu uma visualização da distribuição espacial das principais classes temáticas e forneceu informações importantes para diversos fins, como ensino, pesquisa e extensão. Este trabalho também descreveu uma técnica para levantamento e diagnóstico de áreas homogêneas considerando os aspectos e as características pedo-mórfico-litográficos encontrados. Com a análise, foi possível observar que existem “geo-relações” evidentes entre algumas áreas, o que permitiu agrupar as sub-bacias de 1ª ordem em funções de suas características geológicas, geomorfológicas e pedológicas (aspectos pedo-mórfico-litográficos). Especificamente para o planejamento territorial, mesmo sem trazer dados de uso e ocupação local, esses mapas possuem informações estratégicas para a compreensão e avaliação da dinâmica da paisagem naquela região.

Palavras-chave: Geologia; Geomorfologia; Pedologia.

¹ Prof. Dr. Marcílio Baltazar Teixeira, Universidade Federal de Pernambuco – Campus Recife, Departamento de Engenharia Cartográfica, marciliobaltazar@hotmail.com.

² Prof. Dr. Pedro Luiz Teixeira de Camargo, Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Piumhi, Departamento de Engenharia Ambiental, pedro.camargo@ifmg.edu.br.

³ Prof. Dr. Paulo Pereira Martins Junior, Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Geologia, paulo.junior@ufop.edu.br.

⁴ Gabriel Domiciano Costa Lara, aluno do curso de Geografia, Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Ouro Preto, gabriellara@gmail.com.

INTRODUÇÃO

As relações quantificadas entre rochas, geoformas, solos, formações superficiais apresentam-se como uma contribuição fundamental para comprovar a pertinência dos processos de morfogênese e pedogênese no âmbito das decisões sobre usos da terra (Martins Junior, 2014). Também devem ser úteis para futuros mapeamentos e demais estudos de campo, por permitirem inferências indiretas prováveis a partir de elementos de rochas, solos e geoformas aplicáveis a projetos agrícolas e estudos de compatibilidade de plantios para a produção de energia de biomassa de forma compatível com os terrenos.

Com isso, aponta-se para o sentido básico atribuído para os cálculos dos índices pedogeomórficos, pedoligráficos e litogeomórficos como variáveis próprias para serem aplicadas para a classificação da grande bacia como um todo, ou da mesma grande bacia pelas sub-bacias para classificar em áreas homogêneas pelos geossistemas (Martins Junior, 2008). Neste artigo foram descritos esses índices e a caracterização de áreas homogêneas.

Para a classificação em áreas homogêneas, é necessário reconhecer que existem relações entre os elementos que constituem o meio natural, como as levadas em consideração neste trabalho: Geologia, Geomorfologia e Pedologia (pedo-mórfica-litográfica). Posteriormente, de acordo com Martins Jr. *et al.* (2006), isso pode oferecer subsídios para o entendimento de processos, fenômenos e comportamentos do meio físico relacionados às diferentes formas de interferência das ações humanas.

Dessa forma, a avaliação ambiental é um dos maiores problemas de interesse no mundo, devido ao suporte que oferece para as tomadas de decisões por órgãos ou instituições responsáveis pelo meio ambiente (Martins Jr. *et al.*, 2008). Portanto, muitos métodos têm sido utilizados para fornecer suporte às avaliações ambientais, para identificar, caracterizar e monitorar as tendências dos aspectos do meio ambiente, e por fornecerem facilidades na obtenção de dados ou informações.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, apresentada na Figura 01, encontra-se inserida na bacia hidrográfica do Urucuia – UPGRH/SF9, na região norte-nordeste de Minas Gerais, que se destaca pela sua

potencialidade mineral, agrícola e da silvicultura do eucalipto, de acordo com dados da Companhia de Desenvolvimento Econômico do Estado de Minas Gerais (CODEMIG, 2013).

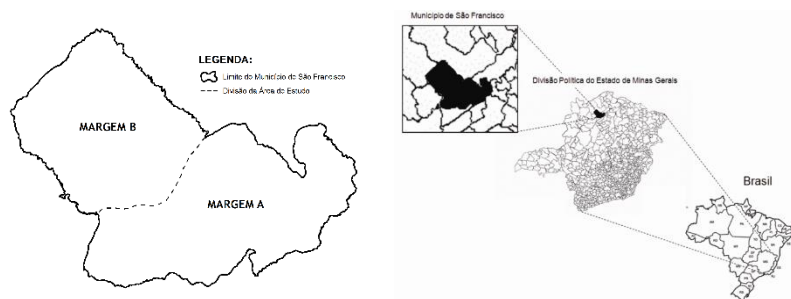


Figura 01: Localização do Município de São Francisco.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para organizar melhor o estudo, o município de São Francisco foi dividido em duas partes relativamente iguais, considerando-se, como parâmetro natural de separação, o próprio rio São Francisco: (1) a Margem A é a porção de terras localizada a sudeste (direita); (2) a margem B (local onde foi desenvolvido este trabalho) é a porção de terras situadas a noroeste (esquerda), assim como apresentado na Figura 01. A porção B, sub-bacia hidrográfica de 7ª ordem foco deste estudo, foi avaliada por Teixeira (2016) como a parte do município mais degradada sob o ponto de vista da perda de vegetação original (Cerrado).

Assim, para a realização desta pesquisa, foram utilizados os seguintes dados, informações e softwares:

- Mapa geológico cedido pela CODEMIG (2014), Escala 1:100.000;
- Mapa pedológico cedido pela RURALMINAS (2003), Escala 1:250.000;
- Mapa geomorfológico cedido pela RURALMINAS (2003), Escala 1:250.000;
- Dados vetoriais com limites municipais cedidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
- Software ArcGIS 10.4 e Excel (2010).

Os mapas de Geologia, Geomorfologia e Pedologia foram “fundidos” entre si e formaram os



mapas pedogeomórficos, litogeomórficos, pedolitoográficos e pedo-morfo-litoográficos. Desses, foram extraídas todas as áreas das novas variáveis (ou geossistemas) formadas e que foram relacionadas à área total da localidade de estudo. Assim, foram obtidos todos os índices pedogeomórficos, litogeomórficos e pedolitoográficos de interesse.

Para a classificação em áreas homogêneas, pode-se partir de mapas geoambientais, como os de pedogeomorfologia, litogeomorfologia, pedolitoografia e pedo-morfo-litoografia, além da hidrografia. No entanto, somente o mapa pedo-morfo-litoográfico foi utilizado para a classificação em áreas homogêneas, pois se entendeu que as variáveis pedológicas, geomorfológicas e geológicas estão intimamente relacionadas à perda dos solos e também à estabilidade de encostas. Enquanto isto, as informações de topografia e hidrografia foram utilizadas para delimitação de bacias e sub-bacias hidrográficas.

Todos os mapas (pedo-morfo-litoografia, topografia e hidrografia) foram digitalizados em tela com o software ArcGIS. Após a digitalização e de posse dos limites territoriais do município, utilizou-se um procedimento de subdivisão em bacias hidrográficas de 1ª ordem, por meio do método de Strahler (1964), que formou pequenas regiões, de acordo com as condições topográficas e hidrográficas do local estudado. Para isso, considerou-se a definição de que toda bacia hidrográfica é uma região sobre a terra, na qual o escoamento superficial em qualquer ponto converge para um único ponto fixo, o exutório (Tucci, 2004).

No entanto, para a região estudada, foi delimitada uma área piloto e, a partir disso, foram desenvolvidos recortes do mapa pedo-morfo-litoográfico (Geologia + Geomorfologia + Pedologia). Em seguida, dividiu-se o território da localidade em sub-bacias de 1ª ordem, com a utilização das informações topográficas (relevo) e hidrográficas. Considerou-se, ainda, o método de classificação (hierarquia do sistema de drenagem) de Strahler (1964) e dividiu-se o mapa pedo-morfo-litoográfico da área-piloto que contém as três informações reunidas (Geologia + Geomorfologia e Pedologia), de acordo com a quantidade de sub-bacias de 1ª ordem encontrada.

Ou seja, cada sub-bacia de 1ª ordem encontrada deve conter certa quantidade de fragmentos de temas do mapa pedo-morfo-litoográfico. A esses fragmentos de temas do conjunto dá-se o nome de unidades pedo-morfo-litoográficas. Dessa forma, para a avaliação da homogeneidade, foi realizada a comparação temática entre todas as sub-bacias de 1ª ordem existentes (e/ou encontradas), considerando-se o tamanho das áreas das unidades pedo-morfo-litoográficas e as quantidades de cada um dos fragmentos temáticos nelas contidos. Assim, uma sub-bacia (A) deve ser homogênea em relação à outra (B) quando o tamanho de suas áreas e a quantidades de fragmentos temáticos e

unidades pedo-morfo-litográficas, inseridos em (A) e (B), forem semelhantes ou iguais. Caso contrário, as áreas não devem ser consideradas homogêneas geoambientalmente.

Para isso, além dos materiais cartográficos e softwares utilizados anteriormente, também foram usados os seguintes dados, informações e programas computacionais:

- Imagens SRTM do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), Escala: 1:60.000;
- Dados vetoriais com limites municipais do IBGE;
- Software SPSS 22 da International Business Machine (IBM).

Na Tabela 01, para exemplificar a metodologia empregada do agrupamento estatístico, destaca-se um modelo hipotético das variáveis, cujos valores registram a homogeneidade ou não-homogeneidade entre sub-bacias de 3ª ordem. Ressalta-se, nesse caso, a existência de 13 sub-bacias (A-K; B; C; D-H-I-L; E-F-G; J; M) que formam grupos homogêneos distintos de sub-bacias. Esse foi o procedimento, ou raciocínio fundamental, utilizado para a formação dos agrupamentos homogêneos de sub-bacias adotado.

No caso deste trabalho, foi construída uma matriz, assim como apresentado na Tabela 01, de 289 linhas x 153 colunas, em que as linhas representam as quantidades de sub-bacias de 1ª ordem, e as colunas representam as quantidades de variáveis obtidas por meio dos cruzamentos dos dados de Geologia, Geomorfologia e Pedologia (mapa pedo-morfo-litográfico).

Tabela 01: Exemplo de modelo hipotético das características temáticas das sub-bacias agrupadas estatisticamente

Sub-bacia de 3ª ordem	GGP 1	GGP 2	GGP 3
	Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)
A	5000	10000	15000
B	2000	4000	6000
C	1000	1000	1000
D	1000	2000	4000
E	3000	6000	9000
F	3000	6000	9000
G	3000	6000	9000
H	1000	2000	4000
I	1000	2000	4000
J	6000	12000	18000
K	5000	10000	15000
L	1000	2000	4000
M	4000	8000	12000

* GGP = Geologia + Geomorfologia + Pedologia (conteúdo temático).

Para permitir a união entre os grupos, foi utilizado o Método Ward de Ligação ou Método da Mínima Variância (Vicini, 2005), que permitiu, inicialmente, calcular a média de todas as variáveis em cada grupo. Após isso, computou-se a distância Euclidiana quadrática, medida de fácil obtenção e amplamente utilizada nas análises de agrupamentos. Essa avaliação permite o agrupamento em pares das árvores similares, com base no menor incremento, resultado da soma geral da distância quadrática entre os grupos.

A representação das sequências de agrupamentos formados foi apresentada na forma de um dendrograma ou diagrama em árvore, conforme indica a Figura 02. Essa hierarquia resultante expressa um índice de ligação, no qual cada ligação corresponde a um valor numérico, que representa o nível em que tem lugar os agrupamentos. Quanto maior o índice, mais heterogêneas são as árvores agrupadas. Uma vez formado o dendrograma, a separação dos grupos é realizada, observando-se as ramificações formadas num corte em determinado nível, geralmente, na metade da maior distância, embora possa ser feito segundo um critério subjetivo e pessoal.

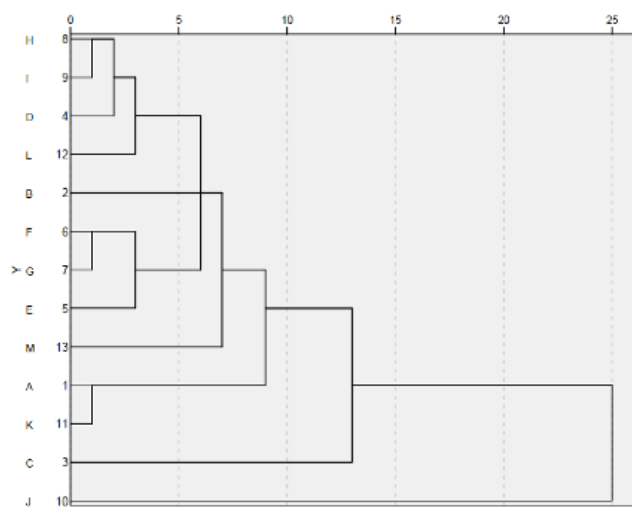


Figura 02: Dendrograma de agrupamento estatístico do modelo hipotético das características temáticas das sub-bacias.

A Figura 03 apresenta um agrupamento exemplar de áreas homogêneas de acordo com as características pedo-morfo-litográficas regionais.

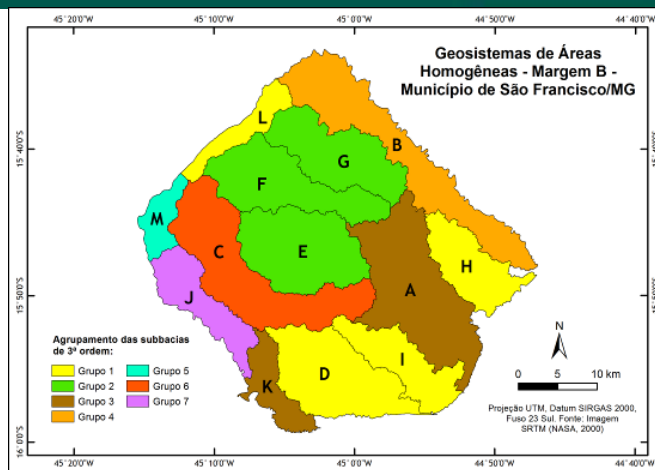
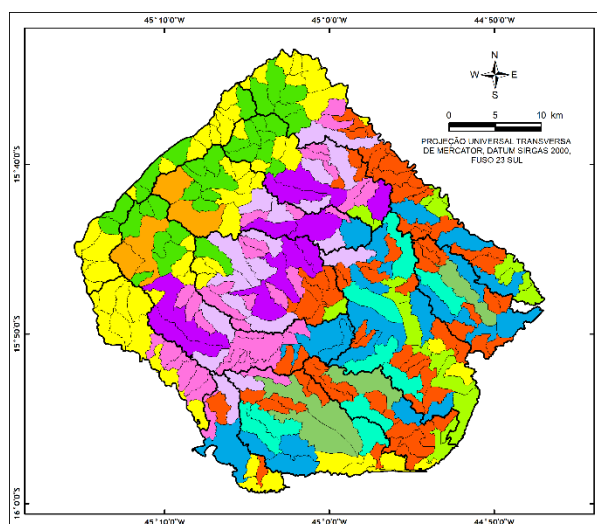


Figura 03: Exemplo de agrupamento homogêneos de bacias hidrográficas.

RESULTADOS

Como pode ser observado, dentre as 289 sub-bacias de 1ª ordem, o SIG, ou análises estatísticas de agrupamento, identificou 11 zonas rigorosamente distintas entre si. Em termos práticos, para fins de elaboração de planos geoambientais, por exemplo, agora é possível proceder, se necessário, a uma análise mais flexível das variáveis (geológica, geomorfológica e pedológica: pedo-morfo-litográfica) que passam a ser avaliadas em conjunto, e não apenas individualmente (variável por variável). Dessa maneira, obtiveram-se as zonas homogêneas na Figura 04. Esse procedimento não é inteiramente automático e exige a intervenção do analista.



LEGENDA:

Grupos de áreas homogêneas

GRUPO 1	GRUPO 4	GRUPO 7	GRUPO 10
GRUPO 2	GRUPO 5	GRUPO 8	GRUPO 11
GRUPO 3	GRUPO 6	GRUPO 9	

Figura 04: Mapa com as regiões homogêneas.

CONCLUSÕES

Com as caracterizações estabelecidas neste estudo, é possível desenvolver os passos necessários para articular um programa de adequação do uso da terra. Assim, os procedimentos de orientação para uso da terra em áreas muito ocupadas são um modo de induzir a uma ordenação do território mais adequada entre os aspectos de conservação da bacia hidrográfica e de sustentabilidade futura de todos os tipos de atividades econômicas (rurais e não rurais).

Dessa forma, a sequência de estudos a se estabelecer deve seguir uma ordem lógica de decisões sucessivas que deixem claro o processo decisório, mesmo em situações de difícil contexto, que sejam operacionais ou mesmo sociais, dependentes da mentalidade dos atores ou, ainda, por motivos financeiros, especialmente em situações com condições de custo irrecuperável.

O método utilizado possibilita obter uma visão clara quando se propõe uma gestão ambiental sob o ponto de vista pedo-morfo-litográfico. Assim, ao observar que existem localidades com comportamentos aparentemente semelhantes, recursos operacionais e financeiros podem ser alocados a depender das características geoambientais locais e regionais. O uso e a ocupação do solo também podem ser dirigidos em conformidades com essas características geoambientais.

O método constituiu uma excelente ferramenta de construção de modelos para tomada de decisão, que podem, na fase inicial de reconhecimento da qualificação dos condicionantes geoambientais no município de São Francisco, auxiliar na constatação das localidades problemáticas em razão das prioridades econômicas e em detrimento da conservação e de políticas corretas para o planejamento do uso e ocupação do solo. Assim, fica evidenciado que a metodologia pode se somar a outros conjuntos de métodos eficientes existentes para a caracterização do meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) pela aprovação do projeto de pesquisa (sobre o qual esta temática foi inserida) no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais (Doutorado), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Instituto de Geoinformação e Tecnologia do Estado de Minas Gerais (IGTEC), antigo Centro Tecnológico do Estado de Minas Gerais (CETEC), pela disponibilização de recursos financeiros para o desenvolvimento de atividades científicas na região da bacia hidrográfica do Urucuia – Norte de Minas Gerais.

REFERÊNCIAS

- ALKMIM, F. F.; BRITO-NEVES, B. B.; ALVES, J. A. C. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco: uma revisão. *In*: DOMINGUEZ, J. M. L.; MISI, A. (Eds.). **O Cráton do São Francisco: reunião preparatória do II Simpósio sobre o Cráton do São Francisco**. Salvador: SBG/Núcleo BASE/SGM/CNPq, 1993, p. 45-62.
- Almeida, F. F. M. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, n. 7, p. 349-364, 1977.
- CODEMIG, Companhia de Desenvolvimento Econômico do Estado de Minas Gerais. **Laudo de avaliação dos imóveis rurais da Bacia Hidráulica da Barragem Jequitaí I, em Minas Gerais**. Belo Horizonte: CODEMIG, 2013. 139p.
- CODEMIG, Companhia de Desenvolvimento Econômico do Estado de Minas Gerais. **Programa Mapeamento Geológico do Estado de Minas Gerais, Projeto Norte de Minas**. Belo Horizonte: IGC/UFMG, 2014. 859p.
- COOK, H. L. The nature and controlling variables of the water erosion process. **Soil Sci. Soc. Proc.**, p. 487-494, 1936.
- GARDINER, V. Land evaluation and numerical delimitation of natural regions. **Geogr. Polonica**, v. 34, p. 11-30, 1976.
- MABBUT, J. A. Review of concepts in land classification. *In*: STEWART, G. A. (Ed.). **Land evaluation**. Australia: MacMillan, 1968, p. 11-28.

MARTINS JÚNIOR, P. P.; CARNEIRO, J. A.; NIVAES, L. A. A.; VASCONCELOS, V. V.; ANDRADE, L. M. G.; PAIVA, D. A. Modelagem geo-ambiental e interdisciplinar para ordenamento do território com corredores florestais ecológico-econômicos. **Revista de Geologia**, v. 21, n. 1, p. 79-97, 2008.

MARTINS JUNIOR, P. P.; ENDO, I.; CARNEIRO, J. A.; NOVAES, L. A. A.; PEREIRA, M. A. S.; VASCONCELOS, V. V. Modelo de integração de conhecimentos geológicos para auxílio à decisão sobre uso da terra em zonas de recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 4, p. 651-662, 2006.

MARTINS JR., P. P. Zoneamentos ecológicos de bacia hidrográfica: importância econômica. **Revista Economia & Energia ECEN**, ano XI, n. 69, p. 1-26, ago./set 2008.

MARTINS JR., P. P. **Gestão de bacia hidrográfica**. Instrumentos: o quê e para quê. Ouro Preto; Belo Horizonte: Apostila Pré-Livro, 2014. 288p.

MOSS, M. M. landscape synthesis, landscape processes and land classification, some theoretical methodologic issues. **Geojournal**, v. 7, n. 2, p. 145-153, 1983.

RURAL MINAS, Fundação Rural Mineira. **Relatório parcial de estudos ambientais e levantamentos de dados (R1) do Plano Diretor de Recursos Hídricos das Bacias Afluentes do Rio São Francisco, em Minas Gerais**. Belo Horizonte: RURALMINAS, 2003. 200p.

SOUZA, A. A. Folha SE.23-X-C Pirapora. **Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais**. Belo Horizonte: DNPM/CPRM, 1985.

STRAHLER, A. N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. *In*: CHOW, V. T. (Ed.). **Handbook of applied hydrology: a compendium of water resources technology**. New York: Mc-Graw Hill, 1964, p. 439-475.

TEIXEIRA, Marcílio Baltazar. **Implicações geoambientais para o desenvolvimento da teoria do sistema computacional de suporte à decisão para gestão do território e da erosão dos solos**. 2016. 360f. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: ABRH, 2004. 943p.

UHLEIN, A.; DOSSIN, I. A.; CHAVES, M. L. S. C. Contribuição à geologia estrutural e tectônica das rochas arqueanas e proterozóicas da Serra do Espinhaço Meridional-MG. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1986, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: SGB, 1986, p. 1.191-1.201.

UHLEIN, A.; TROMPETTE, R. R.; EGYDIO-SILVA, M. Proterozoic rifting and closure, SE border of the São Francisco Craton, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 11, p. 191-203, 1998.

VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. 1. ed. Santa Maria: UFSM, CCNE, 2005. 215p.