

## **GEOANÁLISE EM BACIA HIDROGRÁFICA PARA DEFINIÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS**

**MARCILIO BALTAZAR TEIXEIRA**

marcilio\_baltazar@hotmail.com

**PEDRO LUIZ TEIXEIRA DE CAMARGO**

pedro0peixe@yahoo.com.br

**PAULO PEREIRA MARTINS JUNIOR**

paulomartins@cetec.com

### **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-chaves: Geologia; Geomorfologia; Pedologia

## **GEOANALYSIS IN HIDROGRAFIC BASINS TO DEFINITION HOMOGENEOUS REGIONS**

### **Abstract**

The characterization presented in this study sought to identify and map the different types of pedo-morphic-lithographic units found in a river basin in the middle upper São Francisco, located in the north of Minas Gerais. It was possible to generate a general overview of the great geodiversity, which allowed a visualization of the spatial distribution of the main thematic classes and provided important information for various purposes, such as teaching, research and extension. This work also described a technique for surveying and diagnosing homogeneous areas considering the pedo-morphic-lithographic aspects and characteristics found. With the analysis, it was possible to observe that there are evident “geo-relationships” between some areas, which allowed grouping the 1st order sub-basins according to their geological, geomorphological and pedological characteristics (pedo-morphic-lithographic aspects). Specifically for territorial planning, even without providing data on local use and occupation, these maps contain strategic information for understanding and evaluating the dynamics of the landscape in that region.

Keywords: Geology; Geomorphology; Pedology

## 1 – 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, pedolitoográficos 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-litoográfica). 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.

### 1.1 - Problemas e concepções gerais

Alguns problemas característicos de bacias hidrográficas já ocupadas, ou com baixo nível de ocupação, envolvem raciocínios e perguntas gerais (Cook, 1936):

1 - Quais são as condições mais sensíveis após o conhecimento das relações dos geossistemas rochas/geoformas/solos/formações superficiais que se apresentam como mais críticas para a busca de soluções de planejamento do futuro, mitigações e de reorientações das condições atuais?

2 - Quais são as condições geotécnicas que favorecem a agricultura, a silvicultura e o pastoreio em condições ótimas, médias superiores, médias inferiores, críticas e péssimas em uma escala realizada pelas condições de estabilidade para uso, em função de parâmetros geotécnicos de sustentabilidade?

Essas perguntas são genéricas, mas é evidente que questões de uso da terra devem ser conduzidas considerando os geossistemas rochas/geoformas/solos.

### 1.2 - Significado da classificação por unidades homogêneas

A simples aplicação da ideia de classificação de terras em áreas homogêneas a partir da divisão natural em sub-bacias e o que, de fato, vem a ser a classificação das sub-bacias

em grupos homogêneos, coloca algumas questões sobre a classificação e o entendimento do conceito de homogêneo (Gardiner, 1976).

A rigor, todo estudo disciplinar em que se mapeia algum aspecto da Natureza como Geomorfologia, Pedologia, drenagem, circulação hídrica, lito-estratigrafia, relevo, vegetação e outros são classificações de homogeneidades em referência ao tema disciplinar (Mabbut, 1968). Todavia, quando se consideram as sub-bacias, parte-se de uma peculiar divisão natural que reflete, de modo diverso, as influências daquelas características mapeáveis pelas disciplinas clássicas citadas. A pergunta que se coloca, portanto, é: qual é a vantagem de usar as sub-bacias?

Ainda de acordo com Mabbut (1968), a resposta é simples pelo fato de que as sub-bacias apontam para processos geodinâmicos superficiais, mesmo que uma sub-bacia possa ter muito mais aspectos heterogêneos em seu espaço. Com efeito, todo mapeamento do território em áreas homogêneas é um esforço de apreender como conjuntos de características estruturais e dinâmicas se articulam naqueles espaços (Moss, 1983).

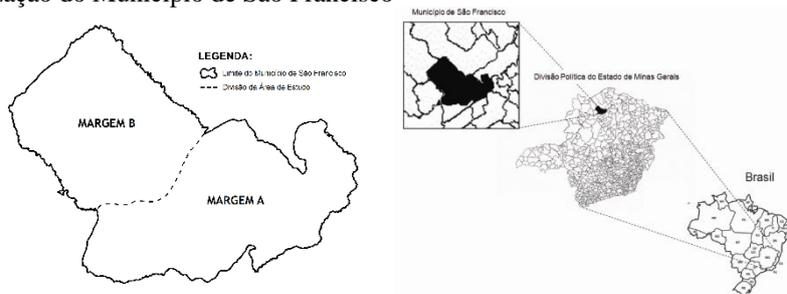
Esse é o sentido efetivo da noção de áreas homogêneas. Assim, a noção de homogeneidade se reveste de certo grau de complexidade, porque envolve diversos sistemas justapostos, bem como a geodinâmica atuante sobre eles.

Para resolver a questão da justaposição de diversos níveis de homogeneidade e heterogeneidades dos sistemas separados pelas disciplinas, o que se propõe são as noções metodológicas dos zoneamentos ecológicos, econômicos e ecológicos-econômicos, todos no plural, como se apresentam neste texto.

## 2 - ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, apresentada na Figura 1, 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 1.** Localização do Município de São Francisco



### 2.1 - Geologia regional

A região em estudo está inserida na zona de transição entre a Serra do Espinhaço (a leste) e o Rio São Francisco (a oeste). Em termos geotectônicos, a região se insere na zona de transição entre o Cráton do São Francisco e a Faixa de Dobramentos Araçuaí. A zona cratônica, na definição de Almeida (1977), constituiu uma área plataformal cujo embasamento se consolidou em tempos pré-brasilianos e que serviu de antepaís para as faixas de dobramentos estabelecidas no Brasileiro. Alkmim *et al.* (1993, p. 50) aperfeiçoaram esse conceito e o cráton passou a ser “entendido como uma feição do

Proterozóico Superior, ou seja, moldada pelo Evento Brasileiro, embora tenha se consolidado como segmento da litosfera continental no Arqueano”.

A Faixa Araçuaí corresponde ao lado brasileiro do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental, parte do sistema orogênico Brasileiro-Pan Africano. Segundo Pedrosa-Soares *et al.* (2001), em sua evolução, podem ser reconhecidos: (1) um estágio de rifteamento continental com importante contribuição de sedimentação glaciogênica (1,0-0,9 Ga); (2) o desenvolvimento de uma margem passiva (800 Ma); (3) com o fechamento dessa bacia oceânica, a geração de um arco magmático (625-570 Ma). Nessa conceituação, exclui-se de tal domínio a Faixa Espinhaço, que, no entanto, é incluída no mesmo contexto por outros autores (Almeida, 1977; Uhlein *et al.*, 1986; 1998). Souza (1985) reconheceu quatro grandes unidades tectonogeológicas na região: (1) rifte intracratônico (Mesoproterozóico); (2) bacia epicontinental marinha (Neoproterozóico); (3) bacia tipo sinéclise (Mesozóico); (4) cobertura superimposta final (Cenozóico). Essas unidades geotectônicas correspondem, respectivamente, às seguintes unidades litoestratigráficas: (1) Supergrupo Espinhaço; (2) Supergrupo São Francisco; (3) Grupo Areado; (4) Depósitos Cenozóicos.

### 3 - 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 1. 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, pedolitografia e pedo-morfo-litografia, 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-litografia, 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-litográfico (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-litográfico 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-litográfico. A esses fragmentos de temas do conjunto dá-se o nome de unidades pedo-morfo-litográficas. 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-litográficas 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 1, 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 1, 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).

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.

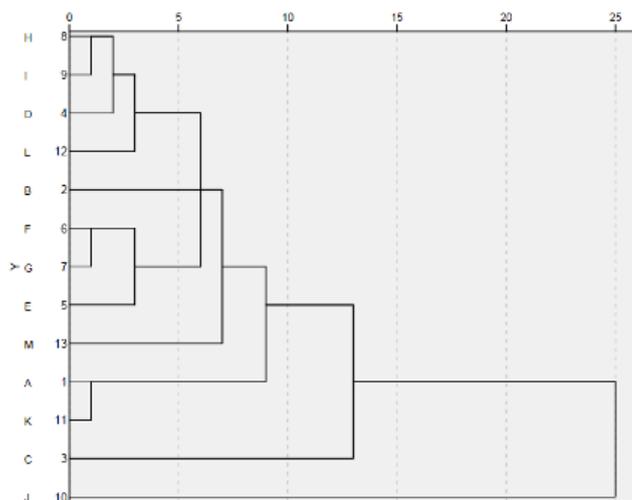
A representação das sequências de agrupamentos formados foi apresentada na forma de um dendrograma ou diagrama em árvore, conforme indica a Figura 2. Essa hierarquia resultante expressa um índice de ligação, no qual cada ligação corresponde a um valor numérico, que representa o nível em que tem lugar 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.

**Tabela 1.** 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

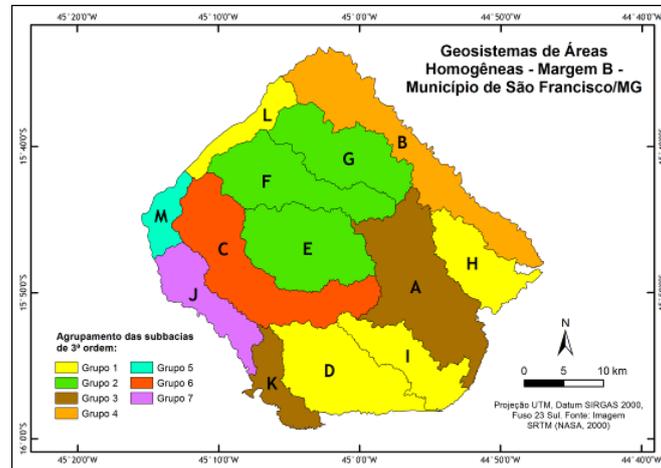
\* GGP = Geologia + Geomorfologia + Pedologia (conteúdo temático)

**Figura 2.** Dendrograma de agrupamento estatístico do modelo hipotético das características temáticas das sub-bacias



A Figura 3 apresenta um agrupamento exemplar de áreas homogêneas de acordo com as características pedo-morfo-litográficas regionais.

**Figura 3.** Exemplo de agrupamento homogêneos de bacias hidrográficas



#### 4 – RESULTADOS

Para a situação exposta neste estudo, as condições ambientais entre rochas/geofomas/solos para essa bacia hidrográfica devem ser descritas pelas relações espaciais entre elas.

##### 4.1 - Principais caracterizações litoestratigráficas específicas para o local de estudo com informações geocientíficas do regional existentes na base de dados da CODEMIG (2014)

- Q2a (Cenozoico, Fanerozoico, Quaternário): depósitos aluvionares ao longo das grandes calhas fluviais, que se estendem por suas planícies de inundação com largura quilométrica; são constituídos de cascalho, areia em diversas granulometrias e bancos argilosos; os depósitos são inconsolidados e têm espessura métrica de até, no máximo, 10 metros (ocorrem em 11,90% da área de interesse);

- NQdi (Cenozoico, Fanerozoico, Neógeno/Quaternário): depósitos aluvionares dispostos em terraços um pouco acima do nível dos aluviões mais recentes, geralmente arenosos e pouco argilosos e com níveis de cascalho com uma espessura de mais ou menos 5 metros; frequentes nas partes mais elevadas, principalmente nas bordas das chapadas areníticas e que também recobrem indistintamente o relevo plano; são extremamente comuns nas margens do Rio São Francisco (ocorrem em 41,18% da área de interesse);

- K2up (Mesozoico, Cretáceo, Grupo Urucuia, Formação Posse): constituída de arenitos de cores variadas, geralmente em tons de vermelho, mal selecionados e, via de regra, silicificados; os melhores afloramentos estão em chapadas de escarpas íngremes; a espessura é estimada em 60 metros (ocorrem em 19,24% da área de interesse);

- K1a (Mesozoico, Cretáceo, Grupo Urucuia, Grupo Areado): trata-se do nível inferior do grupo, mas é mal representado por afloramentos; em algumas poucas exposições, é possível ver bancos de arenitos brancos argilosos intercalados de níveis finos de um siltito

esverdeado onde a rocha tem possível contribuição vulcânica; por vezes, encontram-se matacões silicificados, e a espessura varia entre 30 a 50 metros; os afloramentos são, via de regra, recobertos por areia branca produzida pela desagregação intempérica da rocha; carapaças lateríticas existem em pontos isolados (ocorrem em 25,21% da área de interesse);

- CPsf (Paleozoico, Cabonífero/Perniano, Grupo Santa Fé): diamictitos vermelhos, folhelhos vermelhos com dropstones, argilitos microlaminados, vermelhos ou localmente verdes, com seixos e blocos pingados; conglomerado de matriz argilosa vermelha, com seixos e blocos de calcário arredondados a subangulosos da Formação Sete Lagoas (ocorrem em 1,50% da área de interesse);

- NP2sl (Proterozoico; Neoproterozoico; Ediacarano; Grupo Bambuí; Formação Sete Lagoas): calcarenitos, calcilutitos e calcirruditos intraformacionais intercalados, que formam um conjunto de sedimentos carbonáticos com espessura média de cinco metros e que podem chegar, localmente, a 15 metros; afloram sempre em depressões do embasamento arqueano, com área de ocorrência em fundos de drenagens; as rochas carbonáticas mostram coloração cinza claro a cinza escuro e ocorrências localizadas de estratificação cruzadas do tipo *hummocky*, estromatólitos colunares e leques de pseudomorfos de aragonita (ocorrem em 0,88% da área de interesse).

#### 4.2 - Caracterização pedológica

- Ca11: cambissolo A + solos litólicos A (ocorre em 10,19% da área de interesse);

- AQa2: areias quartzosas + latossolo vermelho amarelo (ocorre em 16,97% da área de interesse);

- AQa4: areias quartzosas fase cerrado + areias quartzosas hidromórficas (ocorre em 62,56% da área de interesse);

- Ae3: solos aluviais eutróficos A + planossolos indiscriminados + solos hidromórficos - indiscriminados (ocorre em 9,76% da área de interesse);

- HQa: areias quartzosas hidromórficas (ocorre em 0,10% da área de interesse);

- Ra2: solos litólicos A + cambissolo A (ocorre em 0,39% da área de interesse).

#### 4.3 - Caracterização geomorfológica

As tipologias geomorfológicas mais comuns encontradas na área de estudo são: a) pedimentação; b) aplainamento; c) dissecação fluvial; d) mistas de aplainamento e dissecação fluvial; e) acumulação fluvial; f) deposição fluvial; g) exudação. A Tabela 2 aponta para a predominância das formas de relevo existentes dentro de cada tipologia geomorfológica para a localidade de interesse.

**Tabela 2.** Caracterização geomorfológica da local estudado (Margem B)

Tipologia	Predominância das Formas de Relevo - Ocorrência (%)												
	sa	pf	tf2	tf1	c	ptrv	rv	ve	str	so	kv	cv	krv
a)	-	-	-	-	-	-	-	-	14,91	-	-	-	-
b)	66,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
c)	-	-	-	-	2,45	-	1,87	-	-	-	0,20	3,40	0,08
d)	-	-	-	-	-	1,73	-	-	-	0,65	-	-	-
e)	-	4,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
f)	-	-	2,69	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
g)	-	-	-	-	-	-	-	0,79	-	-	-	-	-

#### 4.4 - Índices pedogeomórficos

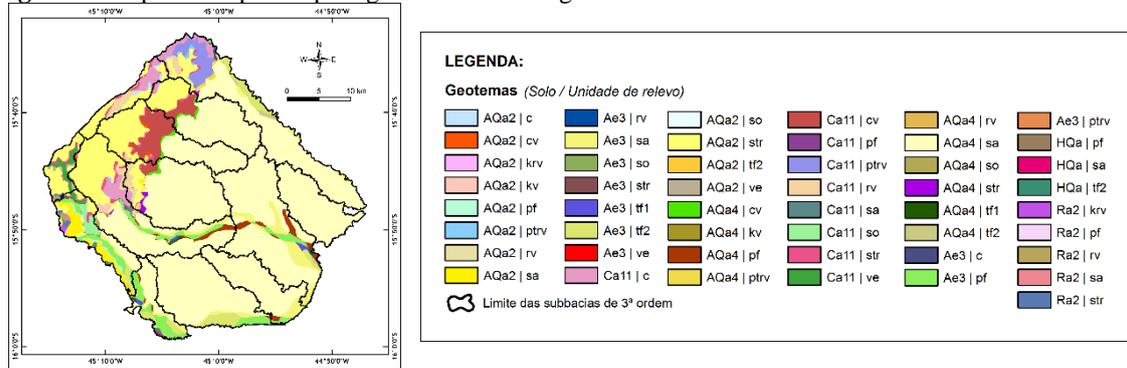
Os índices pedogeomórficos, apresentados na Tabela 3, são de particular interesse para a agricultura em uma visão regional em que os aspectos mais marcantes devem ser registrados.

Tabela 3. Caracterização pedogeomórfica do local estudado (Margem B)

Solo		Ocorrência % de Geoforma sobre Solos												
		Tipologia de Geoforma												
		c	ptrv	rv	str	ve	sa	kv	cv	so	pf	krv	tf1	tf2
Ae3	Índice (%)	1,1	7,9	1,1	0,2	0,8	1,4	-	-	1,3	0,8	-	-	-
AQa2		1,4	0,8	2,8	81	1,1	7,9	1,1	0,8	0,2	1,3	0,13	-	-
AQa4		-	0,2	0,06	0,3	-	96	0,04	0,6	0,09	1,7	-	0,2	0,3
Ca11		21	14	11	12	6	1,4	-	28	5	0,4	-	-	-
HQa		-	-	-	-	-	35	-	-	-	8	-	-	56
Ra2		-	-	40	32	-	12	-	-	-	1	15	-	-

A Figura 4 expõe a distribuição espacial dos elementos pedo-geomórficos da localidade avaliada inserida no município de São Francisco – Norte de Minas Gerais.

Figura 4. Mapa dos aspectos pedogeomórficos da região de interesse



#### 4.5 - Índices litogeomórficos

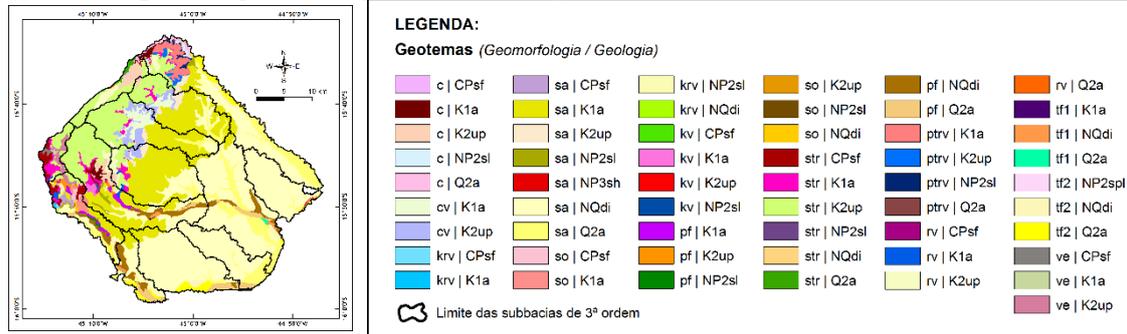
Os índices litogeomórficos, apresentados na Tabela 4, são importantes variáveis para usar na classificação das sub-bacias em áreas homogêneas. As relações rochas/geoformas são importantes para geotecnia, agricultura, a construção de rodovias, ferrovias, hidrovias, centrais hidroelétricas e outras obras de engenharia.

Tabela 4. Caracterização litogeomórfica do local estudado (Margem B)

Litologias		Ocorrência % de Geoforma sobre Rochas												
		Tipologias de Geoformas												
		c	ptrv	rv	str	ve	sa	kv	cv	so	pf	krv	tf1	tf2
Q2a	Índice (%)	4,0	>>0,2	>0,2	2,0	-	68,0	-	-	-	12	-	-	14,0
NQdi		-	-	-	>>0,2	-	90,7	-	-	0,3	6,0	>>0,2	1,0	2,0
K2up		7,0	2,0	8,0	62,8	3,0	6,0	>>0,2	10,0	0,2	1,0	-	-	-
K1a		2,0	5,0	1,0	6,0	0,5	74,0	1,0	2,0	2,0	2,0	0,25	0,25	-
CPfs		1,0	-	5,0	61,5	6,0	15,0	0,5	-	8,0	-	3,0	-	-
NP2sl		19,0	21,0	-	5,0	-	43,0	1,0	-	1,0	9,0	1,0	-	>>0,2
NP3sh		-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-

A Figura 5 apresenta a distribuição espacial no terreno dos condicionantes litogeomórficos do lugar estudado no município de São Francisco – Norte de Minas Gerais.

Figura 5. Mapa dos aspectos lito-geomórficos da região de interesse



#### 4.6 - Índices pedolitográficos

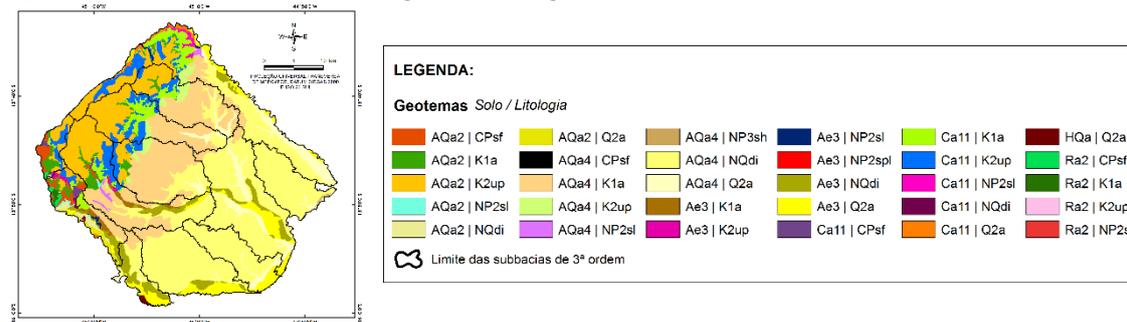
Os índices pedolitográficos, apresentados na Tabela 5, são importantes variáveis para usar na classificação das sub-bacias em áreas homogêneas. Essas relações rochas/solos também são importantes para a geotecnia e a agricultura, neste caso, associadas à carta de aptidão de solos.

Tabela 5. Caracterização pedolitográfica do local estudado (Margem B)

Solos	Índice (%)	Ocorrência % de Litologias sobre Solos						
		Tipologias Litográficas						
		Q2a	NQdi	K2up	K1a	CPfs	NP2sl	NP3sh
Ae3		49,0	40,0	2,0	8,0	-	1,0	-
AQa2		4,0	3,0	75,0	11,0	6,0	1,0	-
AQa4		9,0	57,8	2,0	30,0	-	1,0	0,2
Ca11		6,0	1,0	52,0	35,0	3,0	3,0	-
HQa		100	-	-	-	-	-	-
Ra2		-	-	8,0	39	52	1,0	-

A Figura 6 mostra os elementos pedolitográficos espacialmente distribuídos sobre a área de estudo avaliada fixada no município de São Francisco – Norte de Minas Gerais.

Figura 6. Mapa dos aspectos pedolitográficos da região de interesse

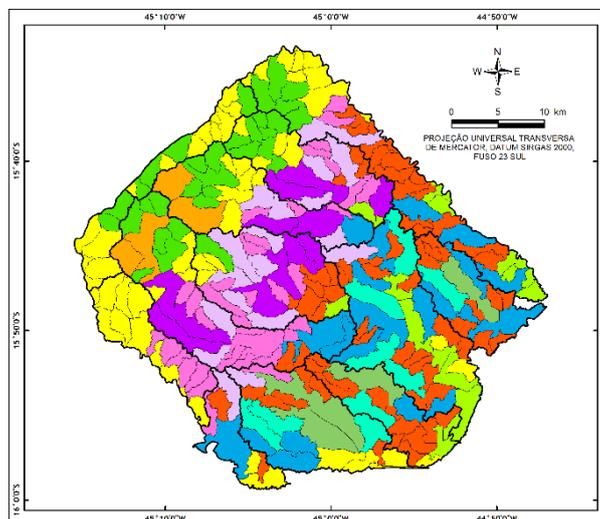


#### 4.7 - Mapa de regiões homogêneas

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 7. Esse procedimento não é inteiramente automático e exige a intervenção do analista.

**Figura 7.** Mapa com as regiões homogêneas



**LEGENDA:**

**Grupos de áreas homogêneas**

<span style="color: orange;">■</span> GRUPO 1	<span style="color: limegreen;">■</span> GRUPO 4	<span style="color: purple;">■</span> GRUPO 7	<span style="color: cyan;">■</span> GRUPO 10
<span style="color: green;">■</span> GRUPO 2	<span style="color: yellow;">■</span> GRUPO 5	<span style="color: lightpurple;">■</span> GRUPO 8	<span style="color: blue;">■</span> GRUPO 11
<span style="color: pink;">■</span> GRUPO 3	<span style="color: orange;">■</span> GRUPO 6	<span style="color: olive;">■</span> GRUPO 9	

Ainda de acordo com Figura 7, uma análise apurada mostra que existem, de maneira mais ampla, características predominantes em cada zona homogênea (ZH). É possível observar, na análise dessas características, que o padrão observado, o tamanho e a quantidade dos temas (expressos no conjunto Geologia, Geomorfologia e Pedologia: pedo-morfo-litográfica) foram determinantes na definição das zonas homogêneas.

## 5 - DISCUSSÃO

Essas variáveis e os fatores de classificação ambiental, por não serem triviais, demandam de geocientistas, em colaboração com engenheiros agrônomos, florestais e ambientais, a competência de estabelecerem regras em diversas escalas de análise para poderem decidir os melhores modos de ocupar o terreno em função do substrato. Evidentemente, muitos outros fatores deverão ser confrontados, mas as relações rochas/geoformas/solos são os primeiros fatores a serem considerados para o estabelecimento dos modelos e cenários de Desenhos de Uso Optimal do Território (DUOT) de qualquer bacia hidrográfica.

Dessa forma, a metodologia adotada é um conjunto de métodos provenientes de várias ciências que tratam dos vários sistemas. Em função dos vários sistemas e das interações entre eles, algumas variáveis são mais ou menos sensíveis, outras traduzem aspectos estruturais, outras aspectos geodinâmicos e aspectos ecodinâmicos. Na totalidade, são

variáveis indispensáveis como descritoras dos enfoques aplicativos considerados como de primeira instância. As ramificações desses enfoques aplicativos são em si mesmas verdadeiros sistemas cartográficos, tais como:

- Pesquisa de uso hídrico ecodirecionado;
- Pesquisa de uso agrícola ecodirecionado;
- Pesquisa tipológica de terrenos com vista sobre as condições geotécnicas;
- Pesquisa de processos geológicos dinâmicos;
- Zoneamentos integrados das ecounidades;
- Zoneamentos integrados pelas características dos geossistemas (rochas, solos e geoformas);
- Zoneamentos geotécnicos dos terrenos para as obras de engenharia;
- Proteção de georrecursos;
- Determinação da vulnerabilidade geoambiental;
- Adequabilidade optimal dos manejos da vegetação natural e da distribuição ecoespacial de projetos agrícolas;
- Adequabilidade de uso optimal das terras;
- Adequação do uso optimal dos recursos hídricos;
- Estabelecimento de quadros matriciais para a decisão sobre enquadramento de cursos d'água em função das unidades de áreas homogêneas, além das demandas locais, considerando a susceptibilidade efetiva daquelas áreas e as propensões a respostas dinâmicas específicas de cada área;
- Estabelecimento do quadro de sensibilidade das áreas homogêneas em função dos vários fatores naturais e apontamento de medidas mitigadoras que, eventualmente, sejam necessárias.

Por outro lado, as áreas homogêneas aqui caracterizadas pedo-mórfica-litograficamente são unidades complexas e, se tomarmos as sub-bacias como unidades, *a priori*, seus agrupamentos podem se constituir como distintos tipos de áreas homogêneas. Essa homogeneidade deve ser entendida como unidades de áreas que apresentam características dominantes que as definem como equivalentes, logo homogêneas no sentido dessas características partilhadas em comum. A partir dessas considerações, existem várias possibilidades de realizar zoneamentos geo-ecológicos e de uma sub-bacia aparecer em distintos grupos de zoneamentos, isto é, em dois ou mais tipos deles. Para finalizar, particionam-se os zoneamentos em:

- Vários geossistemas e modos de expressar suas associações entre rochas, geoformas do relevo, solos e formações superficiais no sentido da Geotecnia;
- Sub-bacias segundo sua morfometria;
- Uso dos potenciais ideais da terra para fins agroflorestais, pastoris e outros;
- Geotecnia para fins de segurança, mitigação e construções de engenharia;
- Circulação hídrica, quantidade e qualidade das águas subterrâneas e superficiais;
- Vegetação e áreas para projetos agrícolas, de silvicultura e pecuária intensiva;
- Capacidade assimilativa dos cursos d'água em que o potencial de depuração natural das águas superficiais ante a poluição se faz questão.

## 6 - 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.

## 7 – 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.

## 8- 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.