



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

MAPEAMENTO LITOLÓGICO DA BACIA DO RIO UBERABINHA A PARTIR DA RECLASSIFICAÇÃO DE INTERVALOS ALTIMÉTRICOS

Rafael Mendes Rosa ^(a), Vanderlei de Oliveira Ferreira ^(b)

^(a) Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, rafaelmendesr@hotmail.com

^(b) Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, vanderlei.ferreira@ufu.br

Eixo: Geotecnologias e modelagem aplicada aos estudos ambientais

Resumo

A caracterização geológica possui importância fundamental nos estudos ambientais. Por isso o mapeamento litológico é um procedimento indispensável nos levantamentos e diagnósticos do meio físico. Utilizando-se ferramentas geotecnológicas é possível apresentar bons resultados e com custos reduzidos, especialmente quando se utiliza informações de campo e análises por meio de coeficientes de concordância. Assim, este artigo apresenta um procedimento para mapeamentos litológicos em contextos geotectônicos similares à bacia do rio Uberabinha, em Minas Gerais (bacia sedimentar). O método consiste em reclassificar intervalos altimétricos a partir das cotas dos contatos litológicos captadas em campo por receptor GPS. O resultado foi comparado com o mapa da CODEMIG (2017), sendo analisada a qualidade de ambos por meio dos coeficientes de concordância total e *Kappa*. Por fim, verificou-se que tal procedimento pode ser uma alternativa para aplicação em outras bacias hidrográficas da região.

Palavras chave: Mapeamento litológico; Geoprocessamento; Bacia do rio Uberabinha

1. Introdução

A caracterização geológica é fundamental nos estudos ambientais, pois proporciona subsídios ao planejamento e gestão territorial. As características do substrato condicionam o



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

relevo, as drenagens, os solos e outras variáveis naturais e os contatos de litologias distintas podem apresentar contrastes paisagísticos. Dessa forma, o mapeamento litológico é indispensável para a identificação de potencialidades e vulnerabilidades ambientais.

Os mapas geológicos gratuitos do território brasileiro estão em escala pequena, inviabilizando estudos que exigem mapas de maior detalhe. O estado de Minas Gerais disponibilizou mapas geológicos em escala de 1:100.000 da Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG, 2017). Devido ao alto custo para sua elaboração, os mapas geológicos em escala de semi-detalhe e detalhe são inviáveis de forma generalizada em um território extenso como o caso brasileiro. Contudo, esse problema pode ser parcialmente resolvido com pesquisas com ferramentas geotecnológicas, trabalhos de campo dirigidos e análise estatística, diminuindo os custos e obtendo-se bons resultados.

No âmbito das geotecnologias, convém distinguir os termos geoprocessamento e SIG, em que Rosa (2007) considera o primeiro como um conceito mais abrangente e pode envolver qualquer processamento de dados georreferenciados, enquanto o segundo compreende ao processamento tanto de dados gráficos quanto não gráficos, destacando-se análises espaciais e modelagens de superfícies. O geoprocessamento compreende técnicas de tratamento da informação espacial como a coleta, armazenamento, análise e uso integrado.

O aproveitamento das ferramentas geotecnológicas é fundamental, podendo ser aplicadas em interface com informações obtidas em campo. Embora tenham procedimentos metodológicos que os utilizem, é importante a apresentação de alternativas que subsidiem esses levantamentos. De acordo com Lisle et al. (2014), mapas de reconhecimento geológico, por exemplo, podem ser elaborados a partir da interpretação de imagens de satélite associada com modelos digitais de terreno e identificação de rochas em campo.

De acordo com Lisle et al. (2014), há quatro grupos de mapas litológicos: os de reconhecimento, os regionais, os detalhados e os especiais. Os mapas de reconhecimento são confeccionados na escala de 1:250.000 ou menor e são uma fonte de informação generalizada.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Os regionais são trabalhados na escala de 1:100.000 e fornecem uma melhor distribuição das rochas. Os detalhados possuem escala de 1:10.000 ou maiores e servem para fins minerários ou implantação de grandes projetos de engenharia. Já os especiais estão em escala grande de áreas muito pequenas e são voltados às mesmas finalidades dos mapas detalhados.

Diante dessas considerações, este artigo propõe um procedimento metodológico para elaboração de mapas litológicos, aplicado na bacia do rio Uberabinha, localizada no estado de Minas Gerais, na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, especificamente nos municípios de Uberaba, Uberlândia e Tupaciguara (Figura 1). O trabalho consistiu na reclassificação de intervalos altimétricos dos contatos litológicos identificados em campo. Para análise da qualidade, o resultado foi comparado com o mapa da CODEMIG (2017).

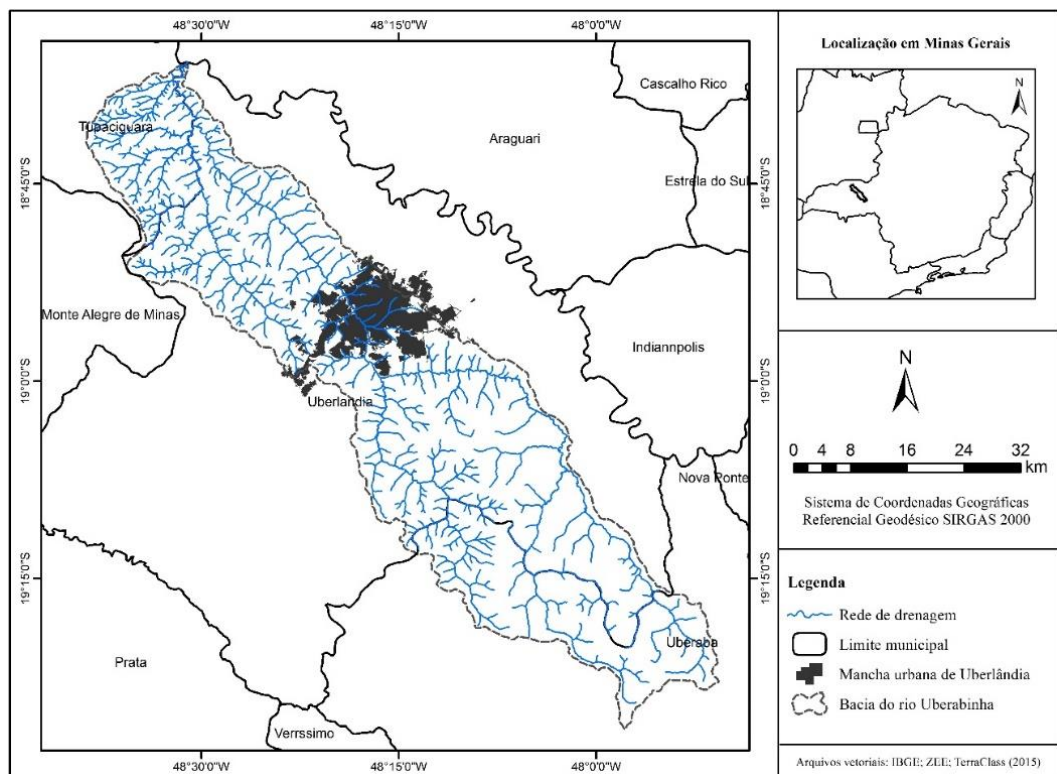


Figura 1 – Localização da bacia do rio Uberabinha



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

2. Materiais e métodos

Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico sobre a geologia da área de estudo, abordando aspectos regionais e locais. Em seguida foi realizada uma reclassificação dos intervalos altimétricos das curvas de nível geradas a partir de imagens SRTM, cuja articulação foi compatibilizada com a escala 1:100.000, pois a resolução espacial é de 30 m por serem obtidas no *site* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2018). As imagens correspondem às folhas SE-22-Z-B, SE-23-Y-A, SE-22-Z-D e SE-23-Y-C. Para a confecção dos mapas, foi utilizado o *software* ArcGIS 10.1, desenvolvido pela *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). A litoestratigrafia foi representada nos mapas pelo código de cores RGB de Pellé (2012), que é uma padronização da escala de tempo geológica.

A reclassificação foi baseada nas cotas dos contatos litológicos captadas em campo (70 pontos) com a utilização do receptor GPS *Garmin Etrex 20* (acurácia de 10 m na horizontal e 20 m na vertical), locais denominados pontos de observação (Figura 2). Cada intervalo foi nomeado com a formação identificada na bibliografia e confirmada *in loco* (Quadro 1). Os trabalhos de campo foram dirigidos, pois caso as observações fossem aleatórias as amostragens ficariam desproporcionais. O resultado desse procedimento foi comparado com o mapa do Projeto Triângulo Mineiro da Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG, 2017), também na escala de 1:100.000.

Unidades geológicas	Intervalo reclassificado
Cobertura detrítico-laterítica	Acima de 940 m
Formação Marília	Entre 840 e 940 m
Formação Serra Geral	Entre 570 e 840 m
Grupo Araxá	Abaixo de 570 m

Quadro 1 – Intervalos altimétricos utilizados na reclassificação do mapa litológico



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

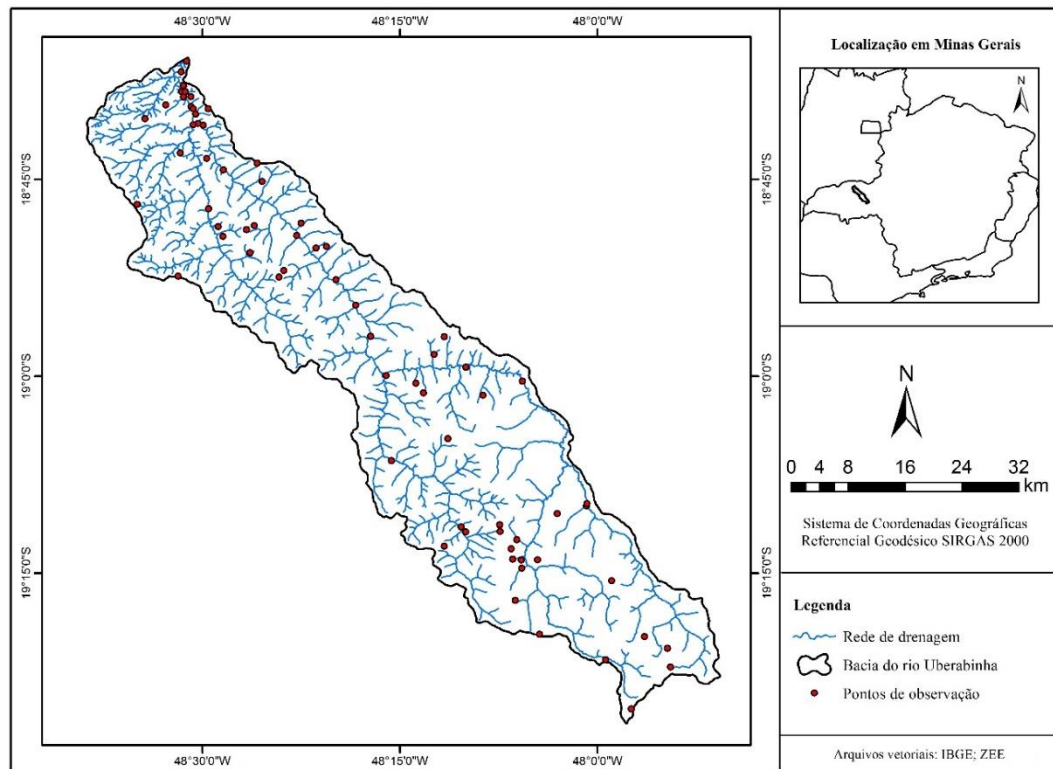


Figura 2 – Pontos de observação em campo na bacia do rio Uberabinha

Para a elaboração do mapa litológico foram reclassificados intervalos altimétricos das imagens SRTM e a extração da bacia hidrográfica, utilizando-se a caixa de ferramentas *Spatial Analyst Tools*. Assim, obteve-se uma representação tridimensional do terreno com a extração das curvas de nível. Com esse procedimento foi possível gerar o *Triangulated Irregular Network* (TIN) e a respectiva conversão para imagem *raster*, ações disponíveis no *3D Analyst Tools*. Após o recorte do *raster* para a área de estudo realizou-se a reclassificação dos intervalos altimétricos apresentados no Quadro 1 e em seguida a conversão para *shapefile*. Em relação ao mapa da CODEMIG (2017), foram utilizados somente os arquivos vetoriais com recorte para a bacia do rio Uberabinha. Conforme apresentado por Rosa (2007), a análise



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

da qualidade do mapa litológico da bacia baseou-se nos coeficientes de concordância total e *Kappa*. Para a efetivação dos procedimentos foi utilizada uma matriz de erros.

A concordância total (P_o) é dada pela razão do somatório da diagonal principal ($\sum X_i$) pelo número de amostras (N), variando de 0 a 1, conforme equação a seguir:

$$P_o = \frac{\sum X_i}{N}$$

O coeficiente de concordância *Kappa* (k) é obtido pela equação abaixo, onde P_c é o somatório das linhas e colunas marginais dividido pelo total de observações ao quadrado:

$$k = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c}$$

Convertendo-se os valores da matriz de erros da concordância total em porcentagem, tem-se o P_c mediante a equação a seguir, sendo P_c o somatório dos percentuais das linhas e colunas marginais dividido pelo percentual total de observações ao quadrado:

$$P_c = \frac{(L_1 C_1 + L_2 C_2 + \dots + L_n C_n)}{N^2}$$

Para Rosa (2007), a estatística *Kappa* é utilizada para analisar a concordância entre um mapa temático e a verdade terrestre, elaborada por meio de amostragens de campo. Ao final a qualidade do mapa foi avaliada conforme os seguintes valores: 0,0 e 0,2 (ruim); 0,2 e 0,4 (razoável); 0,4 e 0,6 (bom); 0,6 e 0,8 (muito bom); e 0,8 e 1,0 (excelente).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

3. Resultados e discussões

Os resultados e discussões estão divididos em duas partes: inicialmente o levantamento geológico da área de estudo, seguido dos resultados dos coeficientes de concordância dos mapas obtidos por procedimentos distintos e as respectivas discussões:

3.1. Caracterização da geologia da bacia do rio Uberabinha

A bacia do rio Uberabinha situa-se na porção nordeste da bacia sedimentar do Paraná. Contudo, o embasamento litológico de sua área corresponde aos metassedimentos dobrados e falhados do Grupo Araxá (Proterozóico), associados à Faixa de Dobramentos Brasília (DARDENNE, 2000). A gênese do referido grupo está relacionada à erosão do complexo granito-gnáissico, cuja sedimentação sofreu metamorfismo regional devido aos movimentos tectônicos. Para Barbosa et al. (1970, p. 21), o Grupo Araxá é um “grupo de metamorfitos de fácies epidoto-afibolito, consistindo essencialmente de micaxistos e quartzitos, com intercalações de anfibolitos”.

Os afloramentos do Grupo Araxá na bacia do rio Uberabinha ocorrem no trecho final do curso d'água principal, onde há uma zona de contato com a Formação Serra Geral, ampliando-se ao longo do vale encaixado até a sua foz. Os micaxistos encontrados apresentam dobras, microdobras, falhas e fraturas. Nas escarpas abruptas, essas rochas estão expostas à ação do intemperismo, apresentando-se bastante friáveis. Nishiyama (1989) ressalta que as rochas do Grupo Araxá se encontram sotopostas às de idade Mesozóica, cujas exposições ocorrem em áreas intensamente erodidas pela ação fluvial.

As litologias de idade Mesozóica são compostas pelo Grupo São Bento, constituído de rochas magmáticas intercaladas com formações sedimentares; e Grupo Bauru, formado por litologias exclusivamente sedimentares. Segundo Feltran Filho (1997), a presença das rochas



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

desses grupos está relacionada à resistência dos seus constituintes frente aos processos de erosão geoquímica diferencial atuantes no Cenozóico.

O Grupo São Bento é constituído pelas rochas Juro-Cretáceas das Formações Botucatu (rochas sedimentares) e Serra Geral (rochas magmáticas). Entretanto, os arenitos eólicos da Formação Botucatu não são representativos na área de estudo. A Formação Serra Geral é composta de rochas efusivas básicas, cuja formação remete a atividade vulcânica ocorrida na Bacia do Paraná durante o Mesozóico (NISHIYAMA, 1989). Tratam-se de basaltos, que apresentam coloração escura, textura afanítica (cristais de pequena dimensão em função do rápido arrefecimento), fraturas e disjunções colunares em derrames espessos.

Na bacia do rio Uberabinha os basaltos encontram-se recobertos pelo Grupo Bauru na porção da chapada. Seus afloramentos iniciam-se a partir da cachoeira do Sucupira, estendendo pela calha do rio, além dos leitos do ribeirão Bom Jardim e do rio das Pedras. O Grupo Bauru, sotoposto aos basaltos, é representado pela Formação Marília que são arenitos e conglomerados carbonáticos de idade Cretácea abrangendo sobretudo a chapada Uberlândia-Uberaba (NISHIYAMA, 1989). Além dessas unidades destacam-se os depósitos detrítico-lateríticos (Cenozóico), sobrejacentes às Formações Serra Geral e Marília. Já as lateritas são formações decorrentes de processos pedogenéticos decorrentes de lixiviação do solo, acumulando crostas, couraças e concreções de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.

3.2. Análise da qualidade do mapeamento litológico da bacia do rio Uberabinha

Para a obtenção da verdade terrestre, durante os trabalhos de campo foram obtidos 70 pontos de observações, sendo 10 no Grupo Araxá, 20 na Formação Serra Geral, 20 na Formação Marília e outros 20 na cobertura detrítico-laterítica. Sobrepondo-os nos dois mapas (Figura 3), foi possível contabilizar a quantidade de pontos compatíveis com cada mapa.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

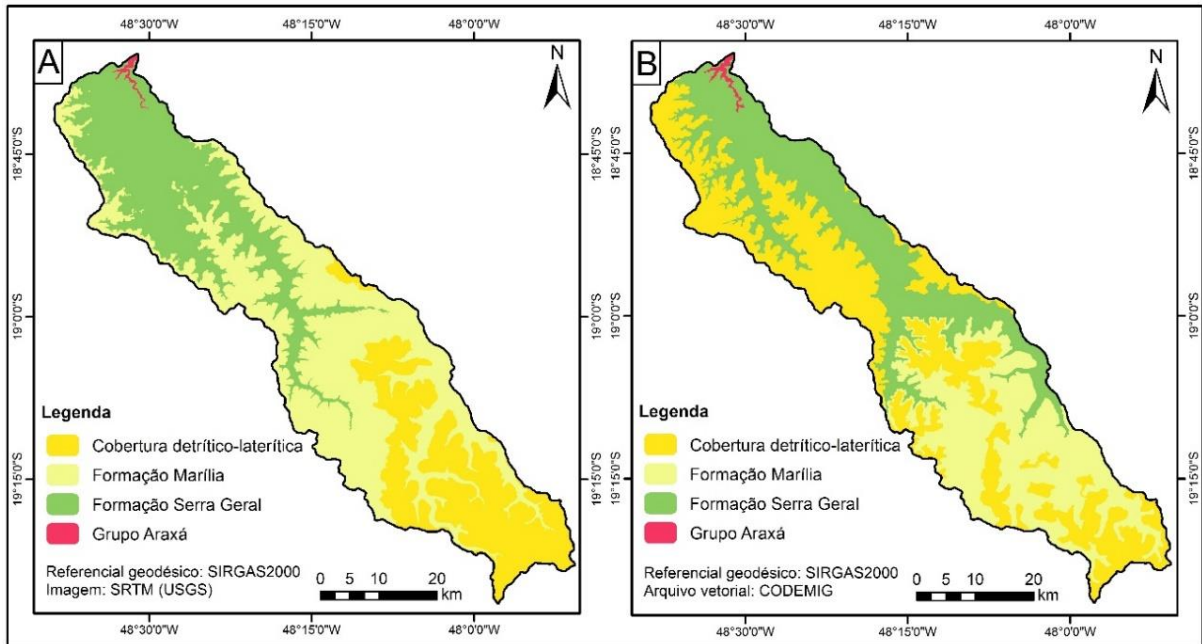


Figura 3 – Mapas litológicos obtidos por diferentes procedimentos: (A) Mapa obtido por meio de reclassificação de intervalos altimétricos de imagem SRTM (USGS, 2018); (B) Mapa obtido por meio de recorte dos arquivos vetoriais da CODEMIG (2017)

Conforme os valores da Tabela 1, no mapa obtido pela imagem SRTM (USGS, 2018), o valor do coeficiente de concordância total foi de 72,80%. Já a concordância *Kappa* do referido mapa foi de 27,00%, enquanto o índice *Kappa* apresentou o resultado de 0,62. Esse índice indica que o mapa produzido pelo procedimento metodológico experimental de reclassificação de intervalos altimétricos possui uma qualidade muito boa.

Coeficiente de concordância total							
Verdade terrestre		Grupo Araxá	Formação Serra Geral	Formação Marília	Cobertura detritico-laterítica		
		Grupo Araxá	7	3	-	-	10
		Formação Serra Geral	-	20	-	-	20
		Formação Marília	-	1	14	5	20
		Cobertura detritico-laterítica	-	3	7	10	20
		7	27	21	15	70	
Coeficiente de concordância <i>Kappa</i>							



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Verdade terrestre		Grupo Araxá	Formação Serra Geral	Formação Marília	Cobertura detrítico-laterítica	
	Grupo Araxá	10%	4,3%	-	-	14,3%
Formação Serra Geral	-	28,6%	-	-	28,6%	
Formação Marília	-	1,4%	20%	7,14%	28,5%	
Cobertura detrítico-laterítica	-	4,3%	10%	14,3%	28,6%	
	10%	38,6%	30%	21,4%	100,0%	

Tabela 1 – Coeficientes de concordância total e *Kappa* do mapa litológico da imagem SRTM (USGS, 2018)

Na avaliação do coeficiente de concordância total do mapa obtido pelo *shapefile* da CODEMIG (2017), cujos resultados estão na Tabela 2, obteve-se um resultado de 80,00%. Ainda na Tabela 3, a concordância *Kappa* do mapa foi de 26,50% e o valor *Kappa* foi de 0,72, indicando que o mapa é muito bom. Isso indica que em comparação com o mapa obtido pela reclassificação dos intervalos altimétricos, os resultados foram satisfatórios.

Coeficiente de concordância total						
Verdade terrestre		Grupo Araxá	Formação Serra Geral	Formação Marília	Cobertura detrítico-laterítica	
	Grupo Araxá	10	-	-	-	10
Formação Serra Geral	-	20	-	-	20	
Formação Marília	-	7	8	5	20	
Cobertura detrítico-laterítica	-	-	2	18	20	
	10	27	10	23	70	

Coeficiente de concordância <i>Kappa</i>						
Verdade terrestre		Grupo Araxá	Formação Serra Geral	Formação Marília	Cobertura detrítico-laterítica	
	Grupo Araxá	4,3%	-	-	-	14,3%
Formação Serra Geral	-	28,6%	-	-	28,6%	
Formação Marília	-	10,0%	11,4%	7,1%	28,5%	
Cobertura detrítico-laterítica	-	-	2,9	25,7%	28,6%	
	4,3%	38,6%	14,3%	32,8%	100,0%	

Tabela 2 – Coeficientes de concordância total e *Kappa* do mapa litológico da CODEMIG (2017)

Embora os mapas tenham diferenças visuais, sobretudo na ocupação de cobertura detrítico-laterítica, ambos foram qualificados como muito bom. O percentual de acerto das



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

rochas do Grupo Araxá foi alto nos dois mapas. Mesmo que no mapa obtido pela imagem SRTM (USGS, 2018) o percentual de pontos tenha sido de 70%, os outros 30% foram pontos que se situam na Formação Serra Geral, nas proximidades do Grupo Araxá. Já o acerto das áreas ocupadas pela Formação Serra Geral foi de 100% em ambos. Dessa forma, esses resultados demonstraram a importância de uma avaliação por meio de coeficientes de concordância para elaboração de mapas boa qualidade, sem grandes custos.

4. Considerações finais

O artigo buscou demonstrar a possibilidade de elaboração de um mapa litológico por intermédio da reclassificação dos intervalos altimétricos obtidos por imagens SRTM (USGS, 2018). Como a geologia da bacia do rio Uberabinha está mapeada pela CODEMIG (2017), foi possível analisar o resultado da reclassificação baseado nos coeficientes de concordância com a verdade terrestre. A principal discrepância entre os mapas ocorreu com a área ocupada pela cobertura detrítico-laterítica. Contudo, diante dos resultados considera-se que a reclassificação dos intervalos altimétricos apresentou uma qualidade muito boa e com baixo custo, podendo ser aplicado em outras bacias hidrográficas em contextos geotectônicos similares.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

Referências Bibliográficas

BARBOSA, O.; BRAUN, O. P. C.; DYER, R. C.; CUNHA, C. A. B. R. **Geologia da região do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro. DNPM/DFPM, 1970, 140 p.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS –
CODEMIG. **Programa Mapeamento Geológico do Estado de Minas Gerais**. Projeto



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Triângulo Mineiro, 2017. Disponível em:

<<http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>> acesso em 14 de março de 2018.

DARDENNE, M. A. The Brasilia fold belt. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, D.; CAMPOS, D. A. (eds.), **Tectonic evolution of South America**, 2000, p. 231-263.

FELTRAN FILHO, A. **A estruturação das paisagens nas chapadas do oeste mineiro**. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997, 252 p.

LISLE, R. J.; BRABHAM, P.; BARNES, J. **Mapeamento geológico básico**: guia geológico de campo. Tradução: Karina Sirtori, Théo Amon, Rualdo Menegat. Revisão técnica: Rualdo Menegat. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

NISHIYAMA, L. Geologia do município de Uberlândia e áreas adjacentes. **Revista Sociedade e Natureza**. Uberlândia: IG/UFU, v. 1, n. 1, 1989, p. 9-16.

PELLÉ, J. M. **RGB Color Code according to the Commission for the Geological Map of the World (CGMW)**. France, 2012. Disponível em:

<<https://engineering.purdue.edu/Stratigraphy/charts/RGB.pdf>> acesso em 12 de março de 2018.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 6ª ed. Uberlândia: EDUFU, 2007.

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Shuttle Radar Topography Mission 1 Arc-Second Global**. Courtesy of the U.S. Geological Survey. Disponível em:

<<https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>> acesso em 18 de outubro de 2018.