

## Utilização da análise multicritério para estudo da adequabilidade à prospecção de bauxita na região de Muniz Freire - ES.

Flávia Compassi da Costa<sup>1</sup>  
Gustavo da Rocha Campos<sup>1</sup>  
Fabrícia Benda de Oliveira<sup>1</sup>  
Lorena Louzada da Silva<sup>1</sup>  
Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Federal do Espírito Santo – CCA – Departamento de Geologia  
Alto universitário, s/n, Guararema, Caixa Postal 16 - 29500-000 - Alegre - ES, Brasil  
flavia.compassi@gmail.com, rchacampos@hotmail.com, fabricia.oliveira@ufes.br,  
lorenalouzada.s@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto Federal do Espírito Santo – IFES – Campus Ibatiba  
Avenida 7 de novembro, 40, Centro – 29395-000 – Ibatiba – ES, Brasil  
carlos.oliveira@ifes.edu.br

**Abstract.** Bauxite is the natural source of aluminum. The state of Espírito Santo doesn't have significant metallic deposits, but new technologies might permit the exploration of sites once considered inapt by the mining industry. The present study shows the use of geographic information systems (GIS) and multicriteria analysis, using both boolean and fuzzy logics, as a tool for prospecting bauxite deposits in the city of Muniz Freire-ES. In this analysis the lithologies, slopes, hydrography and elevations within the city limits were used as parameters for determining the best sites for the occurrence of bauxite deposits, being considered as factors and restrictions. The lithology was the principal parameter used, receiving the highest weight in the multicriteria analysis. An adequability map was generated, displaying areas with values ranging from 0 (less adequate) to 205 (more adequate). Through this map it was possible to identify the areas more propense for bauxite occurrences. The northern portion of the city shows the highest adequability. This region already has mineral activity related to bauxite exploration, although concentrated in the northwestern portion whilst the map shows good results for the northernmost portion. The final product of this study can be a good guide for choosing new prospecting sites.

**Palavra-chave:** Geographic information systems, boolean and fuzzy logics, lithology, Sistemas de informação geográfica, lógicas booleana e fuzzy, litologia.

### 1. Introdução

A bauxita trata-se de uma rocha de coloração avermelhada, rica em alumínio, com mais de 40 % de alumina ( $Al_2O_3$ ). É a fonte natural do alumínio, o terceiro elemento em abundância na crosta terrestre, porém, mesmo com sua elevada abundância, não há notícias acerca da ocorrência de alumínio metálico na natureza. Constata-se sua maior ocorrência na forma combinada com outros elementos, principalmente o oxigênio, com o qual forma alumina (CETEM, 2005).

A rocha bauxita compõe-se de uma mistura impura de minerais de alumínio, sendo os mais importantes a gibbsita  $Al(OH)_3$ , diásporo  $AlO(OH)$  e boehmita  $AlO(OH)$ . Algumas bauxitas têm composição que se aproxima à da gibbsita, todavia em sua maioria formam uma mistura, contendo impurezas como: sílica, óxido de ferro, titânio e outros elementos. Os principais constituintes dessa rocha são: a gibbsita, a boehmita e o diásporo (LUZ e LINS, 2005).

O estado do Espírito Santo ainda não é conhecido pela extração de minérios metálicos, porém com os avanços tecnológicos ficou cada vez mais eficaz a prospecção de minérios com baixos teores, possibilitando assim o crescimento de determinadas regiões como pólos exploratórios de determinados minérios (MACROPLAN, 2006).

Na região Sul do Espírito Santo, mais precisamente no município de Muniz Freire, o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) tem atualmente 23 processos ativos

para exploração de bauxita na região, sendo praticamente todos localizados na porção noroeste do município (DNPM, 2014).

Com os avanços tecnológicos recentes, a utilização da ferramenta de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para geração de modelos que se encaixam no pré-mapeamento mineral destas substâncias de interesse tem mostrado bons resultados. Na análise multicritério trabalha-se com estratégia de decisão que combina critérios úteis, objetivando proceder a uma determinada avaliação escolhendo entre as possíveis alternativas. Gerando assim, mapas cada vez mais próximos a realidade (GUADALUPE e MOURA, 2014).

Sendo assim, o presente trabalho visou à identificação das melhores áreas para prospecção de bauxita no município de Muniz Freire/ES, utilizando técnicas de SIG e análise multicritério.

Muniz Freire localiza-se ao Sul do Estado do Espírito Santo, na microrregião do Caparaó, na região Sudeste do Brasil. Se encontra próximo à divisa com o Estado de Minas Gerais (Figura 1). O município limita-se ao Norte, com Brejetuba; ao Sul, com Alegre e Ibitirama; a Leste, com Conceição do Castelo e Castelo e a Oeste, com Iúna e Ibatiba. Muniz Freire está a apenas 169 Km de distância da capital Vitória, pela BR-262.

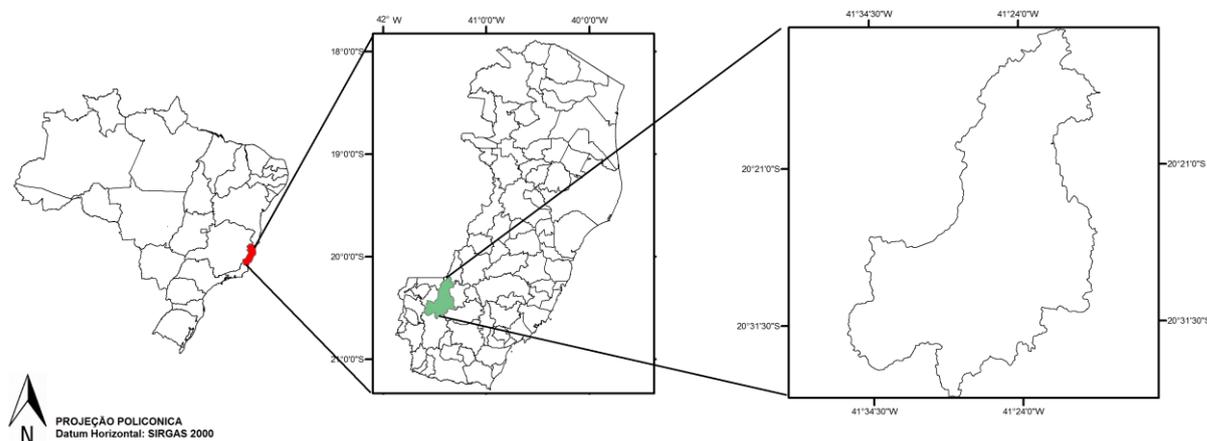


Figura 1. Mapa de Localização.  
Fonte: Adaptado de GEOBASES (2002).

## 2. Metodologia de Trabalho

Para realização do trabalho foram utilizados vários materiais cartográficos temáticos, sendo eles: mapa hidrográfico e mapa de declividade, gerado a partir das curvas de nível do GEOBASES (2002); mapa geológico do Espírito Santo na escala 1:400.000 (VIEIRA, 2013); e mapa com o limite do município de Muniz Freire, retirado do GEOBASES (2002).

A metodologia consistiu no levantamento e análise dos condicionantes, através da aquisição, armazenamento, descrição e posterior análise espacial dos dados. Na avaliação e seleção das regiões foram utilizadas as lógicas booleana e fuzzy para confeccionar os mapas de restrições e de normatização dos fatores, respectivamente (BENDA, 2012).

A análise multicritério combina critérios, que podem ser fatores e restrições. Um fator é um critério relacionado ao grau de adequabilidade de uma atividade ou objetivo. Por outro lado, as restrições são limitadores das atividades em estudo. Com isso, a partir das medições e avaliações desses critérios são tomadas as devidas decisões (PRADO, 2010).

Os fatores foram normatizados utilizando à lógica fuzzy, onde todas as localizações recebem um grau de adequabilidade. Com a utilização da normatização é possível que todos os fatores fiquem uniformizados e assim, possam ser comparados. Os critérios escalonados e suas respectivas considerações foram:

- Geologia: foi considerado o parâmetro mais importante na análise, uma vez que depósitos de bauxita só ocorrerão a partir de rochas aluminosas. Para este fator foram atribuídos diferentes valores de adequabilidade (valores de 0 a 255) para as diferentes litologias (VIEIRA, 2013): o Complexo Nova Venécia, recebeu maior valor, pois é constituído de rochas bem aluminosas (silimanita-granada-cordierita-biotita gnaisse). O Grupo Bom Jesus do Itabapoana (granada-biotita gnaisse), o ortognaisse Muniz Freire e o Complexo Serra do Valentim (noritos, enderbitos e charnockitos) receberam um valor menor por serem rochas menos aluminosas. Os valores atribuídos a cada classe são mostrados na Tabela 1. O mapa gerado reclassificado está representado na Figura 2-A.

Tabela 1. Apresentação das litologias e suas respectivas adequabilidades

Litologias	Valor Atribuído
Complexo Nova Venécia	255
Grupo Bom Jesus do Itabapoana	150
Ortognaisse Muniz Freire	150
Complexo Serra do Valentim	150

- Declividade: considerou-se a declividade do terreno, pois depósitos lateríticos, como os de bauxita, se desenvolvem apenas em áreas relativamente planas, sendo assim quanto menor a declividade mais adequada foi considerada a área. Foi utilizada uma função de pertinência *fuzzy* sigmoidal decrescente, onde as declividades consideradas ideais foram de 0° a 10° (Figura 2-B).

- Modelo Digital de Terreno (MDT): o modelo digital de terreno foi gerado através das curvas de nível disponibilizadas pelo GEOBASES. A revisão bibliográfica mostra que concentrações do minério ocorrem em altos topográficos. Para este fator foi utilizada a função de pertinência *fuzzy* sigmoidal crescente, iniciando na cota 550 m, já que abaixo desta cota, de acordo com os processos do DNPM para pesquisa de bauxita na região, não se encontram depósitos (Figura 2-C).

- Distância das Drenagens: para a normatização do mapa de hidrografia, levou-se em consideração todos os corpos hídricos do município. Foi utilizada uma função de pertinência *fuzzy* sigmoidal decrescente, onde a adequabilidade máxima considerada variou entre 200 e 400 metros, após 400 metros a adequabilidade decaiu até 1000 metros, tornando-se insatisfatória (Figura 2-D).

O MDT, a distância das drenagens e a declividade foram considerados fatores de mesma importância na combinação dos fatores. E a litologia, por controlar a existência do depósito, foi dado um peso maior.

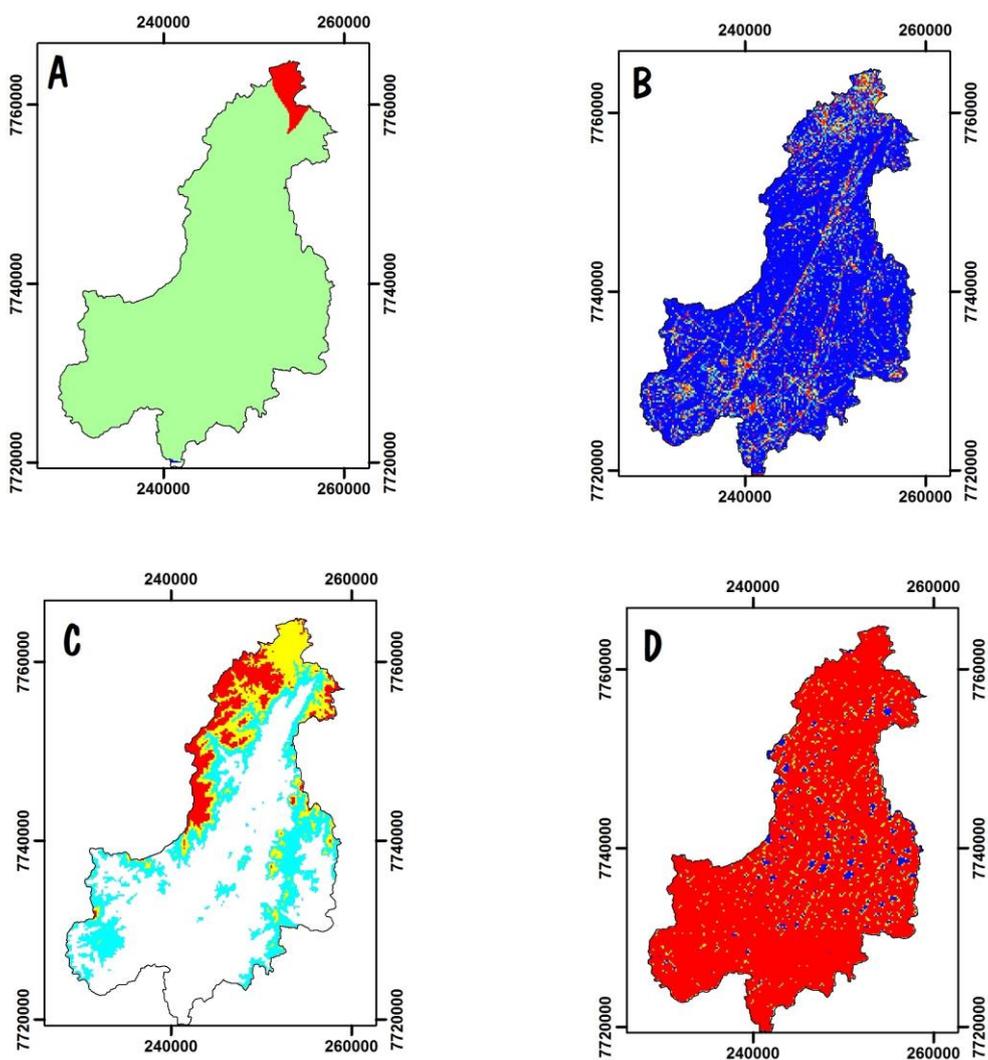
As restrições atuam como limitadores das alternativas em questão e são responsáveis por excluir áreas de acordo com determinadas condições pré-estabelecidas. Representam restrições absolutas ao que se deseja estudar e descarta todas as áreas que não atendem a alguma restrição que elas representam (CALIJURI et al., 2002). Os fatores restritivos são reclassificados atribuindo o valor zero (0) para áreas inaptas e um (1) para áreas aptas. As duas restrições utilizadas com suas respectivas considerações são listadas abaixo:

- Drenagem: Distância mínima de 200 metros de qualquer coleção hídrica ou curso d'água, de acordo com a norma NBR 13.896/97 (ABNT, 1997). Ao fixar essa distância mínima é possível preservar a mata ciliar e também evitar a construção de estruturas em regiões que inundam com a cheia do rio em determinadas épocas do ano (Figura 3-B).

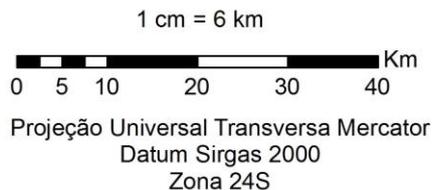
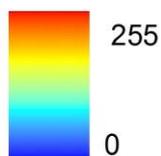
- Limite do Município: foi utilizado para restringir os resultados ao limite municipal (Figura 3-A).

Para obtenção dos mapas finais de adequabilidade, os mapas de cada fator foram combinados pelo procedimento linear ponderado, onde multiplicou-se os mapas de adequabilidade referentes a cada fator por seu peso específico e em seguida fez-se o somatório de todos esses fatores e multiplicou-se pelo produto das restrições, obtendo um valor final de adequabilidade.

## Mapas de Fatores



### Legenda



1

Figura 2. Mapas de fatores gerados. A- Geologia. B- Declividade. C- Modelo Digital do Terreno. D- Distância das Drenagens.

## Mapas de Restrições

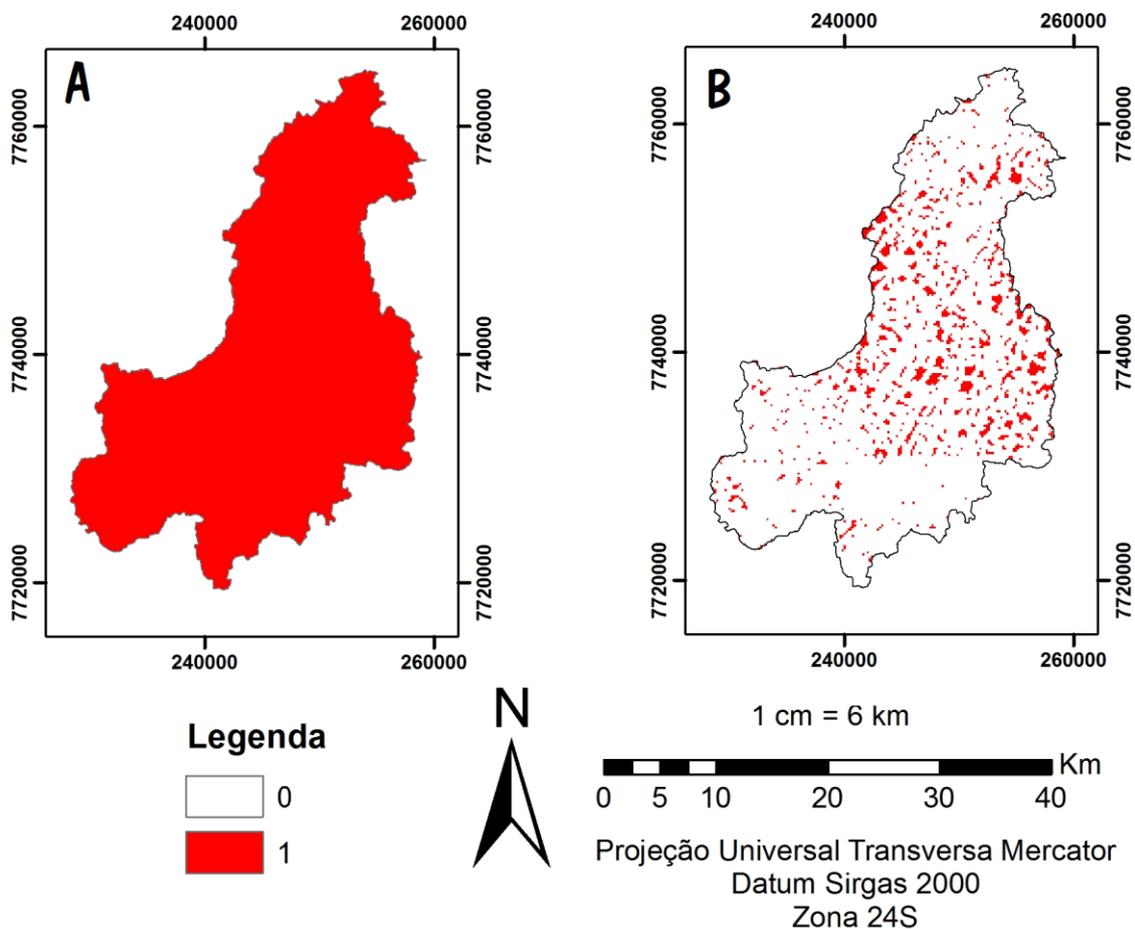


Figura 3. Mapas de restrições utilizados. A- Limite do Município. B- Drenagem.

### 3. Resultados e Discussão

Os pesos calculados através da combinação linear ponderada são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Pesos calculados para os fatores.

Fatores	Pesos
Litologia	0,5000
Modelo Digital do Terreno	0,1667
Distancia de Drenagem	0,1667
Declividade	0,1667

Multiplicando-se o mapa de cada fator por seu peso específico, foi gerado um mapa final de adequabilidade (Figura 4), onde todos os fatores, com seus devidos pesos atribuídos, e restrições estão agrupados. O mapa apresenta uma adequabilidade variando de 0 a 205, representando as áreas mais adequadas a ocorrência de bauxita no município de Muniz Freire - ES e mais indicadas para se investir em prospecção desse minério.

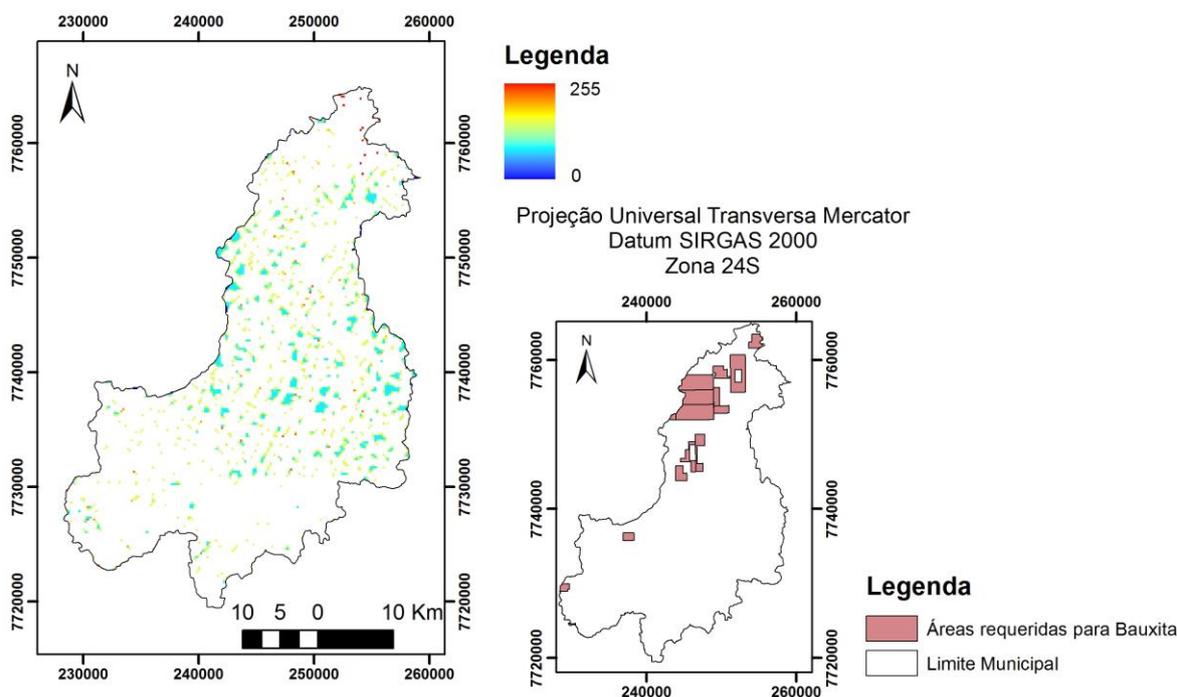


Figura 4. Mapa de adequabilidade para prospecção de bauxita.

Esse método pode ser empregado em diversas áreas, sendo que é destinado para ajudar os responsáveis pela tomada de decisão a integrar diferentes opções nas suas ações, refletindo assim sobre os possíveis efeitos de diferentes agentes envolvidos num quadro prospectivo ou retrospectivo.

Tal técnica vem se mostrando bastante eficaz em relação à distribuição espacial, de acordo com Oliveira et al. (2014) a aplicação de geoprocessamento e lógica *fuzzy* é uma boa alternativa para oferecer aos gestores um ferramenta que auxilia na alocação de áreas propícias à conservação. Jales et al. (2013) usaram análise multicritério para definição de áreas prioritárias para implantação de projeto de Pagamento por Serviços Ecossistêmicos no município de Brumadinho, MG.

Cunha et al. (2001) utilizaram a análise multicritério para gerar um mapa de favorabilidade para prospecção de cromo, mostrando-se satisfatório para tal estudo. Hungari et al. (2009) utilizara modelagem de Sistemas de Informações Geográficas e análise multicritérios no estudo de áreas favoráveis a prospecção e extração de rochas ornamentais.

#### 4. Conclusões

A análise multicritério, por ser subjetiva, pode gerar resultados diferentes dependendo dos pesos e fatores utilizados, onde cada resultado será o reflexo direto das decisões do analisador.

Com a imagem de adequabilidade final obtida é possível determinar as regiões mais indicadas para se iniciar um trabalho de prospecção de bauxita.

O resultado final mostra que os maiores valores de adequabilidade se encontram na porção norte do município de Muniz Freire, região onde já existem áreas requeridas junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) para a exploração de bauxita.

Finalmente pode-se dizer que a utilização do SIG vem ajudar, cada vez mais, na pesquisa mineral, uma vez que a descoberta de novos depósitos minerais torna-se mais difícil. O SIG pode, quando utilizado corretamente, ser uma poderosa ferramenta na integração de dados e na geração de novas informações oriundas de integrações.

## Referências Bibliográficas

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

BENDA, F.; ALVES, M. da G.; OLIVEIRA, C. H. R. de. Favorabilidade de áreas para implantação de aterros controlados no município de Campos de Goytacazes/RJ utilizando sistemas de informação geográfica. Revista Brasileira de Cartografia (online), v. 64/1, p. 33-44, 2012.

CALIJURI, M. L., OLIVEIRA MELO A. L. O. e LORENTZ J. F. Identificação de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários com Uso de Análise Estratégica de Decisão. Informática Pública vol. 4 (2): 231-250, 2002

CETEM. Bauxita cap 13. Rio de Janeiro. 2005.

CUNHA, E. R. S. P. da; OLIVEIRA, M. V. de; SILVA, F. R. e M. Utilização da técnica de processo analítico hierárquico (AHP) na avaliação da "favorabilidade" para a prospecção mineral de cromo na região de Pinheiros Altos, município de Piranga, MG, Brasil. Rem: Rev. Esc. Minas [online]. 2001, vol.54, n.2, pp. 127-132. ISSN 0370-4467. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672001000200009>.

DNPM. SIMINERAL. Disponível em: <http://sigmine.dnpm.gov.br/sirgas2000/ES.zip>. Acesso em: 02 de agosto de 2014.

GEOBASES - Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo. 2002. INCAPER. Disponível em: <http://www.geobases.es.gov.br/portal/>. Acesso em: 4 abr 2013.

GUADALUPE D.; MOURA A. C. Os modelos de área de influência - polígonos de voronoi e de densidade - no apoio à gestão da modalidade de educação de jovens e adultos (eja) em Divinópolis – MG. In XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia e V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento e XXV Expositiva. 2014.

HUNGARI, Renata, MOURA, Ana Clara M., Santana, Sheyla A., MOURA, Marcela M., CAMPELLO, Marcos, COSTA, A.G. Modellazione del GIS e dell'analisi multicriterio nel nostro studio delle aree favorevoli alla prospezione e estrazione delle rocce ornamentali. Editora Asterisco, 2009. p. 153-186

JALES, L. F., SILVA, L. G. N. V e VASCONCELOS, F. M. Análise multicritério para definição de áreas prioritárias para implantação de projeto de Pagamento por Serviços Ecossistêmicos no município de Brumadinho, MG. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

LUZ, A.; LINS, F. (2005). Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações. Rio de Janeiro: CETEM.

MACROPLAN. Plano de desenvolvimento Espírito Santo 2025: visão de futuro. - Espírito Santo:2006. v.7 : il., color. ; 30cm.

OLIVEIRA F. B.; OLIVEIRA, C. H.; SOUZA LIMA, J. S. S.; FILHO, R. B. R.; MIRANDA, M. R.; NEVES, L.Z.; FERRAZ, F. Aplicação de geoprocessamento e lógica fuzzy para criação de zoneamento no parque estadual da cachoeira da fumaça/es para fins de conservação. Revista Brasileira de Cartografia (2014) N066/3: 545-554. ISSN: 1808-0936.

PRADO, R. Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais / organizado por Rachel Bardy Prado, Ana Paula Dias Turetta e Aluísio Granato de Andrade - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. 486 p.: il. ISBN 978-85-85864-32-3

VIEIRA, V. Mapa Geológico do Espírito Santo, escala 1:400.000. CPRM 2013.