



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

## **ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) NA ANÁLISE ESPACIAL DE ATIVIDADES MINERÁRIAS NO ESTADO DE MINAS GERAIS: AREIA, CASCALHO E ROCHAS ORNAMENTAIS**

Caroline Priscila Fan Rocha <sup>(a)</sup>; Felipe Fernandes Ladislau <sup>(b)</sup>; Fabrício Lisboa Vieira Machado <sup>(c)</sup>

<sup>(a)</sup> Doutoranda em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP),  
caroline.fanrocha@gmail.com;

<sup>(b)</sup> Graduando em Geografia na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG),  
felipe.fernandesladislau@gmail.com;

<sup>(c)</sup> Mestre em Geografia e Análise Ambiental na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG),  
fabriciolvm@hotmail.com.

**Eixo: Geotecnologias e modelagem aplicada aos estudos ambientais**

### **Resumo**

As minerações de areia, cascalho e rochas ornamentais exercem importante papel na economia de Minas Gerais através da geração de emprego e renda. Tais setores econômicos, contudo, têm sido alvo de críticas por parte de acadêmicos, analistas e representantes estatais, tendo em vista os impactos causados no meio ambiente e as constantes irregularidades no controle ambiental. Dessa forma, conhecer a distribuição espacial das atividades minerárias torna-se relevante. A presente pesquisa, portanto, avaliou a aplicabilidade do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na análise espacial das extrações de areia, cascalho e rochas ornamentais em Minas Gerais. Os resultados obtidos indicaram, em linhas gerais, que o NDVI se mostrou efetivo na análise espacial, sobretudo em territórios com maior contraste entre áreas antropizadas e áreas com presença de cobertura vegetal. A pesquisa visa contribuir para o desenvolvimento de ações para a melhoria da gestão ambiental dessas atividades em território mineiro.

**Palavras-chave:** NDVI; análise espacial; mineração; Minas Gerais.



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

## 1. Introdução

As extrações de areia, cascalho e rochas ornamentais são atividades existentes no estado de Minas Gerais que exercem importante papel no desenvolvimento social, econômico e político desse estado, assim como de todo o país. Não obstante, tais atividades são responsáveis por diversos impactos ambientais negativos, alguns inclusive irreversíveis. A mitigação e o controle inadequados desses impactos já foram evidenciados pela literatura. A prática também tem revelado descumprimento das obrigações ambientais por parte dos setores econômicos. Moraes (2013), por exemplo, em amostra de 68 (sessenta e oito) empreendimentos de extração de areia e/ou cascalho no estado de Minas Gerais, constatou baixo atendimento aos parâmetros por ela definidos para a verificação da conformidade ambiental (média de 28%).

A redução dos recursos naturais e os impactos sobre o meio ambiente em decorrência das ações antrópicas, estimula constante aquisição de informações ambientais que se manifestam de maneira espacial e temporal, com o objetivo de compreender padrões de uso e ocupação e organização do ser humano no espaço (ALVARENGA E MORAES, 2014). Dessa forma, a utilização de imagens de satélite e de técnicas de sensoriamento remoto se destaca como importante mecanismo de suporte ao mapeamento, planejamento e monitoramento ambiental.

Dentre as principais técnicas difundidas, cabe destacar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que foi proposto por Rouse *et al.* (1973) na década de 1970 (LIU *et al.*, 2018) como metodologia para caracterizar a cobertura vegetal, seu estágio de crescimento, além do porte e/ou vigor físico da estrutura foliar (TUCKER, 1979). Esse Índice é comumente utilizado em áreas do conhecimento como as ciências ambiental, florestal e agrícola. Contudo, também é capaz de registrar áreas com pouca ou nenhuma presença vegetacional, o que permite observar, com precisão, massas d'água, solos expostos e feições antrópicas na paisagem, inclusive aquelas com indícios compatíveis com atividades do setor minerário.



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

Diante da importância de se conhecer a distribuição espacial das atividades minerárias e os impactos por elas gerados sobre o meio ambiente, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a aplicabilidade do NDVI na análise espacial das extrações de areia, cascalho e rochas ornamentais em Minas Gerais, de modo a contribuir para o desenvolvimento de pesquisas e ações para a melhoria da gestão ambiental de tais atividades no estado.

## **2. Materiais e métodos**

Os procedimentos metodológicos consistiram na utilização de técnicas de análise espacial através de Sistema de Informação Geográfica, a saber: i) elaboração do NDVI; ii) sobreposição aos dados disponíveis na Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema); iii) identificação das potenciais áreas utilizadas na extração mineral; e iv) delimitação vetorial de suas formas geométricas. Para tanto, definiu-se área de estudo específica, isto é, quinze territórios municipais previamente selecionados de forma a representar as regiões geográficas do estado de Minas Gerais.

A seleção dos municípios foi baseada na concentração de processos minerários de areia, cascalho e rochas ornamentais da Agência Nacional de Mineração (ANM). Através de ferramenta nativa do *software* QGIS, foi elaborado mapa de calor a partir de modelo de densidade de *kernel*, que resultou na concentração espacial dos centroides dos processos minerários em todo o estado (Figura 1).

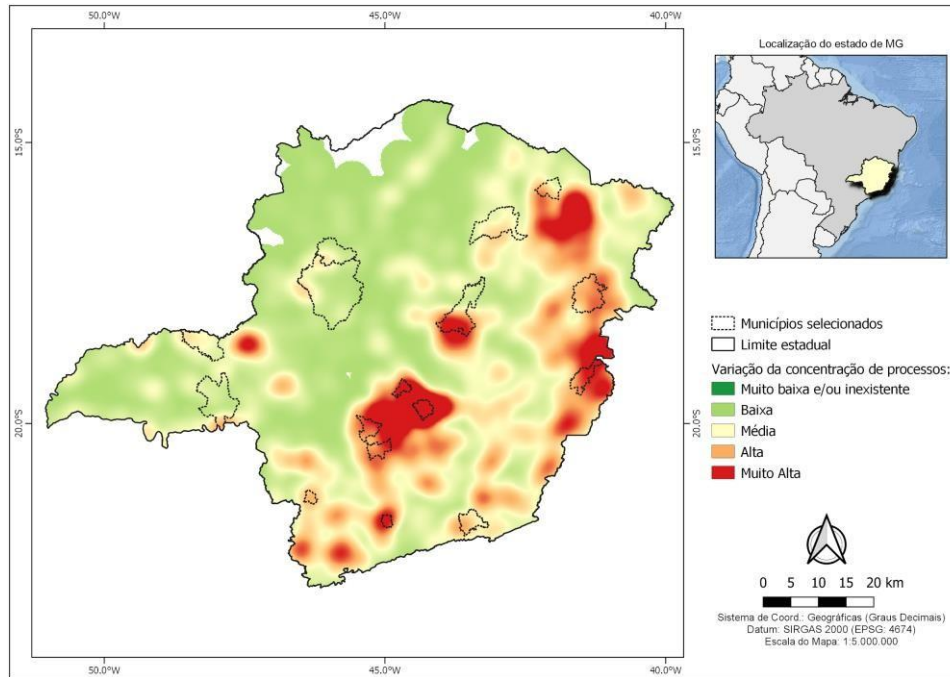


XVIII  
SBGFA

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 1.** Concentração dos processos minerários no estado de Minas Gerais

Os dados vetoriais e matriciais utilizados nas análises espaciais são apresentados na Tabela I. Tais dados são provenientes de fontes secundárias e foram processados em *software* livre e de código aberto QGIS, em sua versão 3.4.

**Tabela I.** Dados secundários utilizados na pesquisa

Dado	Fonte	Formato
Títulos minerários	DNPM	Vetorial
Imagens Sentinel-2	<i>Earth Explorer</i>	Matricial
Limites municipais	IDE-Sisema	Vetorial

O NDVI foi elaborado a partir de imagens do satélite Sentinel-2, selecionadas em razão da sua resolução temporal (periodicidade média de 5 dias) e da sua resolução espacial (de 10 metros), o que permitiu acesso a bases de dados atualizados e maior acurácia na análise espacial dos alvos. Tais imagens foram obtidas através da plataforma *Earth Explorer* disponibilizada pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).



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

O cálculo do referido Índice, conforme metodologia proposta por Rouse *et al.* (1973), foi feito a partir da aritmética de diferença entre os canais espectrais infravermelho (NIR), na banda 8, e vermelho (Red), na banda 4, divididos pela soma dos respectivos canais supracitados (Figura 2).

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{Red})}{(\text{NIR} + \text{Red})}$$

**Figura 2.** Modelo aritmético de elaboração do NDVI. Fonte: adaptado de Lourenço e Ladim (2004).

O NDVI é constituído em escala que varia de -1 a 1, de modo que quanto mais próximo a 1, maior a presença e o vigor físico da vegetação, enquanto que quanto mais próximo a -1, maior a presença de solos descobertos, massas d'água e/ou elevado grau de antropização da paisagem. Tal resultado pode ser explicado com base nas características foliares da vegetação, onde, na faixa do vermelho, a clorofila absorve a energia solar em maior proporção, resultando em baixa reflectância, enquanto que na faixa do infravermelho próximo, tanto a morfologia interna das folhas quanto a estrutura da vegetação resultam em elevada reflectância da energia solar incidente (LOURENÇO E LADIM, 2004). Portanto, quanto maior o contraste observado, maior o vigor da vegetação na área imageada.

Nas análises realizadas com o NDVI, adotou-se escala que considerasse a variação dos níveis de vigor e/ou saúde vegetativa, bem como a exposição de massas d'água e sem cobertura vegetal, mais especificamente: i) entre -1 e 0 (vegetação morta e/ou inexistente); ii) entre 0 e 0,33 (baixa presença e vigor da vegetação); iii) entre 0,33 e 0,66 (média presença e vigor da vegetação); iv) entre 0,66 e 1 (alta presença e vigor da vegetação).

Os NDVIs foram recortados com base nos limites municipais selecionados para a pesquisa, com a padronização cartográfica correspondente. Os Índices devidamente calculados e modelados foram utilizados de maneira sobreposta às imagens de satélite do *Google*, disponíveis através do *plugin QuickMapServices*, nativo do repositório padrão do QGIS.



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

Também foram utilizadas as bases hidrográficas otocodificadas disponíveis na plataforma IDE-Sisema, como subsídio às análises, em especial para as extrações de areia e cascalho, devido à proximidade dessas em cursos d'água e/ou áreas e áreas de decantação.

As análises consistiram na identificação de elementos visuais característicos das extrações, bem como na resposta de tais áreas em relação ao NDVI. O mapeamento das extrações consistiu na vetorização das mesmas, classificadas conforme o tipo de extração e/ou a presença de outros tipos de materiais identificados.

### **3. Resultados e discussão**

De modo geral, os NDVIs contribuíram na análise espacial das potenciais áreas minerárias. Essa contribuição foi mais efetiva em municípios cujos territórios apresentaram maior percentual de cobertura vegetal densa e de porte arbóreo (e.g. Diamantina), isto é, em áreas onde os valores do NDVI variaram entre 0,33 e 1. Por outro lado, o uso desse Índice foi menos efetivo em municípios com maior percentual de vegetação rasteira, gramíneas e solos expostos (e.g. João Pinheiro), cujos valores variaram entre -1 e 0,33.

Na Tabela II, a seguir, é indicado o grau de efetividade do uso do NDVI na análise espacial das potenciais áreas minerárias em cada município. A efetividade foi estabelecida com base na dificuldade e tempo gasto na identificação das áreas minerárias, a partir da fotointerpretação ou percepção visual de cada pesquisador ou autor deste artigo.

As Figuras 3 e 4 apresentam os mapas realizados para os municípios de Diamantina e João Pinheiro, contendo as delimitações das áreas e as imagens dos NDVIs. Enquanto o grau de efetividade do uso do NDVI para Diamantina foi considerado alto, para João Pinheiro foi considerado pouco satisfatório.



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

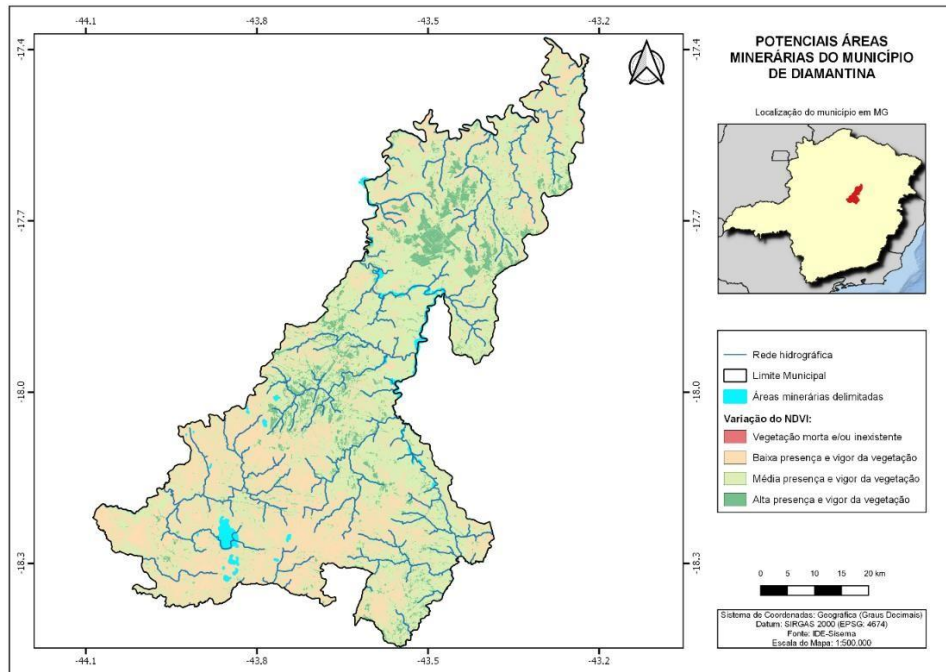


Figura 3. Potenciais áreas minerárias e NDVI no município de Diamantina

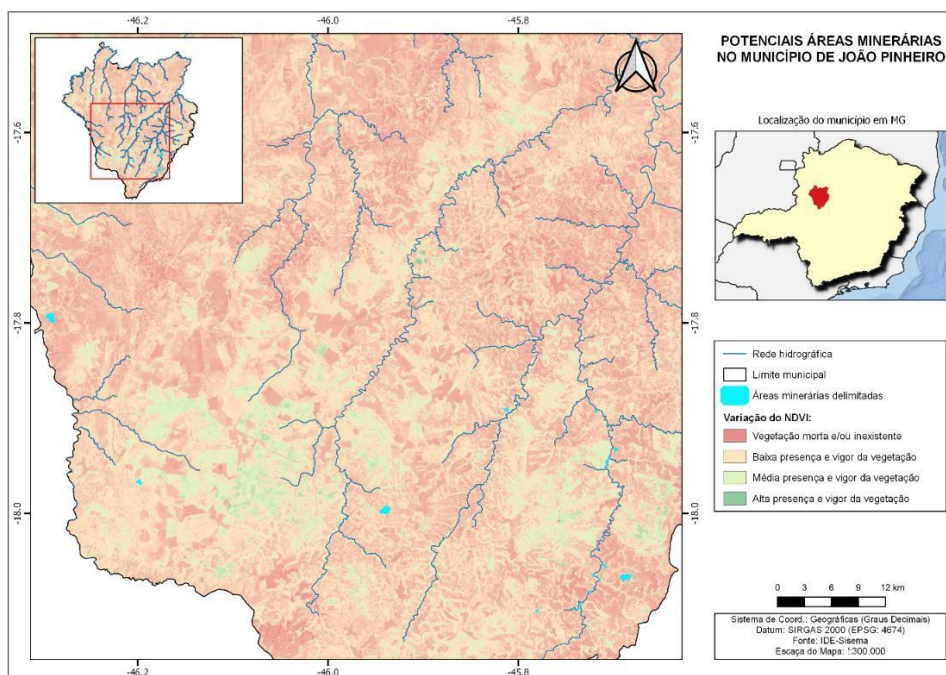


Figura 4. Potenciais áreas minerárias e NDVI no município de João Pinheiro



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

As análises espaciais permitiram identificar 546 potenciais áreas minerárias nos quinze municípios analisados. A Tabela II sintetiza os resultados obtidos, em que são apresentados os números de áreas delimitadas por município, bem como sua classificação. Os cinco municípios com as maiores ocorrências foram destacados na cor cinza escuro (Diamantina, Esmeraldas, Papagaios, Itapecerica e São Tomé das Letras), com o município de Diamantina se sobressaindo aos demais. Por outro lado, os cinco municípios com as menores ocorrências foram destacados na cor cinza claro (Grão Mogol, Brasilândia de Minas, Santo Antônio do Monte, Monte Belo e Juiz de Fora), Santo Antônio do Monte apresentando o menor número.

Além da areia, do cascalho e das rochas ornamentais foram identificadas, em alguns municípios, substâncias minerais do tipo argila e calcário. Inclusive, algumas áreas foram classificadas como áreas de beneficiamento, de empréstimo ou barragem de rejeitos e outras áreas não foram classificadas por falta de informações.

**Tabela II.** Resultados quantitativos e qualitativos obtidos por município

Município	Nº de áreas delimitadas	Classificação	Grau de efetividade do uso do NDVI
Taiobeiras	22	areia e/ou cascalho 9; rocha ornamental 1; argila 5; não classificado 7	Baixo
Grão Mogol	7	areia e/ou cascalho 2; rocha ornamental 2; não classificado 3	Baixo
João Pinheiro	23	Areia e/ou cascalho 21; não classificado 2	Baixo
Brasilândia de Minas	17	areia e/ou cascalho 8; rocha ornamental 7; argila 1; não classificado 1	Médio
Diamantina	125	areia e/ou cascalho 113; rocha ornamental 12	Alto
Teófilo Otoni	19	areia e/ou cascalho 7; rocha ornamental 8; não classificado 4	Alto
Conselheiro Pena	19	areia e/ou cascalho 2; rocha ornamental 17	Médio
Esmeraldas	106	areia e/ou cascalho 106	Alto
Papagaios	38	areia e/ou cascalho 5; rocha ornamental 12; argila 1; beneficiamento 12; área de empréstimo 3; não classificado 5	Médio
Santo Antônio do Monte	3	areia e/ou cascalho 2; não classificado 1	Médio
Itapecerica	32	areia e/ou cascalho 10; rocha ornamental 16; não classificado 6	Médio
Monte Belo	14	areia e/ou cascalho 14	Alto
São Tomé das Letras	55	rocha ornamental 52; argila 1; área de empréstimo 2	Alto
Juiz de Fora	11	areia e/ou cascalho 4; rocha ornamental 3; argila 3; não classificado 1	Alto
Uberaba	29	areia e/ou cascalho 8; argila 8; calcário 5; barragem de rejeitos 1; beneficiamento 1; área de empréstimo 1; não classificado 5	Médio
Araguari	26	areia e/ou cascalho 16; rocha ornamental 4; argila 3; não classificado 3	Baixo
<b>Total</b>	<b>546</b>	-	-





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

#### **4. Considerações finais**

O uso do NDVI, em linhas gerais, mostrou-se efetivo na análise espacial das atividades minerárias em Minas Gerais, sendo que em alguns municípios foram obtidos resultados melhores do que em outros. Nos casos em que o Índice foi considerado pouco efetivo, o uso de outros insumos cartográficos e/ou técnicas de análise espacial se mostrou mais adequado.

Municípios como Diamantina e Esmeraldas, por exemplo, apresentaram maior número de áreas minerárias identificadas, o que pode ser justificado pelos aspectos litológicos que favorecem o desempenho da atividade, bem como pelo contraste visual existente entre porções territoriais recobertas por vegetação e aquelas com predomínio de feições antrópicas e/ou afloramentos rochosos. Por outro lado, municípios como Grão Mogol e Santo Antônio do Monte não apresentaram números relevantes, ou não foi possível realizar a identificação das áreas através das imagens de satélite e técnicas de sensoriamento remoto utilizadas. Em ambos os casos, a situação de uso e ocupação do solo, bem como a conformação da paisagem foram fatores que condicionaram a qualidade dos resultados, tendo sido mais representativos em municípios de menor extensão territorial e, principalmente, naqueles com elevada presença de vegetação de maior porte.

Esta pesquisa tem o potencial de ser expandida a todo o território estadual e seus procedimentos metodológicos poderão ser replicados a outros casos. A pesquisa poderá interessar acadêmicos, analistas e representantes estatais que queiram agregar conhecimento sobre os territórios analisados e os tipos de atividades minerárias correlatas, buscando efetividade em áreas como a gestão territorial ambiental.

#### **5. Referências bibliográficas**

ALVARENGA, A. S.; MORAES, M. F. **Utilização de imagens LANDSAT-8 para caracterização da cobertura vegetal**. Revista Online Dronegócios, 2014. Disponível em: <https://mundogeo.com/blog/2014/06/10/processamento-digital-de-imagens-landsat-8-para->



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

obtencao-dos-indices-de-vegetacao-ndvi-e-savi-visando-a-caracterizacao-da-cobertura-vegetal-no-municipio-de-nova-lima-mg/. Acesso em: 25/01/19.

LIU, H; ZHENG, L.; YIN, S. **Multi-perspective analysis of vegetation cover changes and driving factors of long time series based on climate and terrain data in Hanjiang River Basin, China**. Arabian Journal of Geosciences, n. 11:509, 2018.

MORAES, A. M. L. **A Autorização Ambiental de Funcionamento como instrumento de regularização ambiental em Minas Gerais para a atividade de extração de areia e cascalho para construção civil**. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2013.

ROUSE, J. W; HASS, R. H.; DEERING, D. W. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Progress Report RSC 1978-1, Remote Sensing Center, Texas A & M University, p. 75–76, 1973.

TUCKER, C. J. **Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation**. Rem Sens Environ, n. 8(2), p. 127–150, 1979.