Recital
Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG.

ANÁLISE MULTITEMPORAL DE ÁREAS OCUPADAS POR ATIVIDADES DE MINERAÇÃO A PARTIR DE ÍNDICES ESPECTRAIS NO MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLIVAR, VENEZUELA

Multitemporal Analysis of occupied Areas by Mining Activities from Specific Indexes in the Municipality of Gran Sabana, Bolivar State, Venezuela

Daniel Andres HERNANDEZ RAMIREZ
Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais
Instituto Federal do Norte de Minas Gerais
hrdanniel@gmail.com

Arol Josue ROJAS
Instituto Federal do Norte de Minas Gerais
arol@ufop.edu.br

DOI: https://doi.org/10.46636/recital.v3i3.235

Resumo

Objetivou-se caracterizar, ao longo do tempo, áreas ocupadas por atividades de mineração (diamantes e ouro) no Município Gran Sabana do Estado Bolívar na Venezuela, por meio de imagens Landsat 8 e Sensor OLI, para produzir um conjunto de dados. Foram utilizados os chamados Índices de Vegetação (IVs), sendo eles o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) dos anos 2014, 2016, 2018 e 2020, que foram também confrontados em uma análise multitemporal. A área estudada é representada pela presença de grandes recursos minerais (ouro e diamantes) e uma vasta extensão de vegetação. A partir disso, os mapas de NDVI e SAVI possibilitaram a visualização da ação exercida pela mineração no meio ambiente, demostrando uma região impactada, com aumento do desmatamento e dos solos expostos, fato fundamentado nos valores do NDVI e

SAVI obtidos, quando são comparados com imagens anteriores. Pode-se destacar que o uso dos índices de Vegetação (IVs), como o NDVI e o SAVI, no mapeamento ambiental é apresentado de forma eficaz e simples compreensão.

Palavras-chave: Diamantes. Mineração. NDVI. SAVI.

Abstract

The objective was to characterize, over time, áreas that were occupied by mining activities (diamonds and gold) in the Gran Sabana Municipality of the Bolívar State in Venezuela using Landsat 8 images and OLI Sensor to produce the data set. So-called Vegetation Indices (IVs) were used, being the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) of the years 2014, 2016, 2018 and 2020 and we confront them in a multitemporal analysis . The studied area is represented by the presence of large mineral resources (gold and diamonds), and a vast expanse of vegetation. From that, the NDVI and SAVI maps made it possible to visualize the action taken by mining on the environment, showing an impacted region, with increased deforestation and exposed soil, a fact based on the NDVI and SAVI values obtained, when compared with previous images. It can be highlighted that the use of Vegetation indices (IVs) such as NDVI and SAVI in environmental mapping is presented in an effective and simple to understand way.

Keywords: Diamonds. Mining. NDVI. SAVI.

INTRODUÇÃO

A atividade extrativa mineral, no estado Bolivar ao Sul da República Bolivariana de Venezuela, tem um histórico longo, em que muitas vezes essa atividade é considerada como geradora de perda de "capital natural", fazendo referência a zonas impactadas com grande potencial de recursos naturais tanto mineral como florestal.

Na última década, tem surgido um avanço da Mineração de pequena escala na região do Município Gran Sabana do Estado Bolívar (Figura 1), através de operações não mecanizadas para a recuperação de ouro e diamantes aluviais. Isso ocasiona diferentes impactos nos aspectos físicos e sociais da região, desconhecendo-se muitas vezes alinhamentos e diretrizes de ordenamento territorial. Essas atividades no geral são desenvolvidas em áreas submetidas a regimes especiais como Parques Nacionais, Monumentos Naturais, Reservas Florestais, zonas que estão, a priori na legislação, livres de atividades de mineração.

De acordo com Dubocq *et al*. (1991), tal situação é oportuna à aplicação de metodologias que permitem a identificação e a avaliação de áreas degradadas por meio de geoespacialização. Através da análise espacial, permite-se a obtenção de conhecimentos reais da situação e o estado em que se encontram as coberturas dos solos a partir de um ponto de vista espectral, podendo realizar-se uma delimitação preliminar dessas áreas.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

Diante do crescimento do uso das geotecnologias, as técnicas de Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) estão sendo utilizados nos mais diversos campos do cotidiano humano, sendo o mapeamento de diferentes alterações ambientais um desses usos. Finalidade que se justifica por providenciar um cenário conjunto de grandes áreas, com verificação em intervalos temporais regulares. Segundo Baptista (2010), os Sistemas de Informação Geográfica são uma ferramenta fundamental na gestão ambiental devido à multiplicidade de informação que conseguem reunir.

Autores como Georganos *et al*. (2017) e Zhao *et al*. (2015) destacam o Índice de Vegetação por Diferencia Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) entre as principais técnicas aplicadas ao processamento de imagens de satélite para a análise da dinâmica vegetal.

Segundo Pinzon *et al*. (2014), o NDVI presenta uma excelente resposta à análise das mudanças na quantidade de biomassa verde, conteúdo de clorofila e stress hídrico. Já para Duan *et al*. (2017) e Stöckli (2005), o NDVI faz a monitorização da variabilidade periódica das plantas funcionando como um estimador de radiação que é utilizado dentro do processo de fotossínteses que ocorre nas folhas. Zanzarini (2013) salienta que, através do NDVI, podem ser analisados valores obtidos em diferentes datas, que vão permitir avaliar a variação da área verde em certo período de tempo.

Sendo assim, o NDVI se apresenta como um indicador sensível à quantidade e condição da vegetação, cujos valores variam no intervalo de -1 a 1. Nas superfícies que contêm água ou nuvens, essa variação é sempre menor do que 0. Esse índice é aplicado às imagens da faixa de espectro eletromagnético do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (R).

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) se trata de um índice que argumenta efeitos do solo exposto em imagens de sensores remotos, para ajuste do NDVI quando não há ocorrência de completa cobertura da superfície pela vegetação. Esse processo foi desenvolvido por Huete (1988), com o propósito de suavizar a influência do solo, aplicando um fator de ajuste chamado de (L), que atua na correção das intervenções do solo e das condições atmosféricas no cálculo do NDVI.

1.1 APLICAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (IVs) EM ZONAS DE MINERAÇÃO

Segundo Millán, Teuwsen e Münster (2013), a extração de recursos minerais implica em mudanças geológicas em razão da movimentação de solo e em afundamento do substrato rochoso. Essas mudanças são refletidas na superfície, uma vez que causam a degradação da vegetação em áreas previamente extraídas.

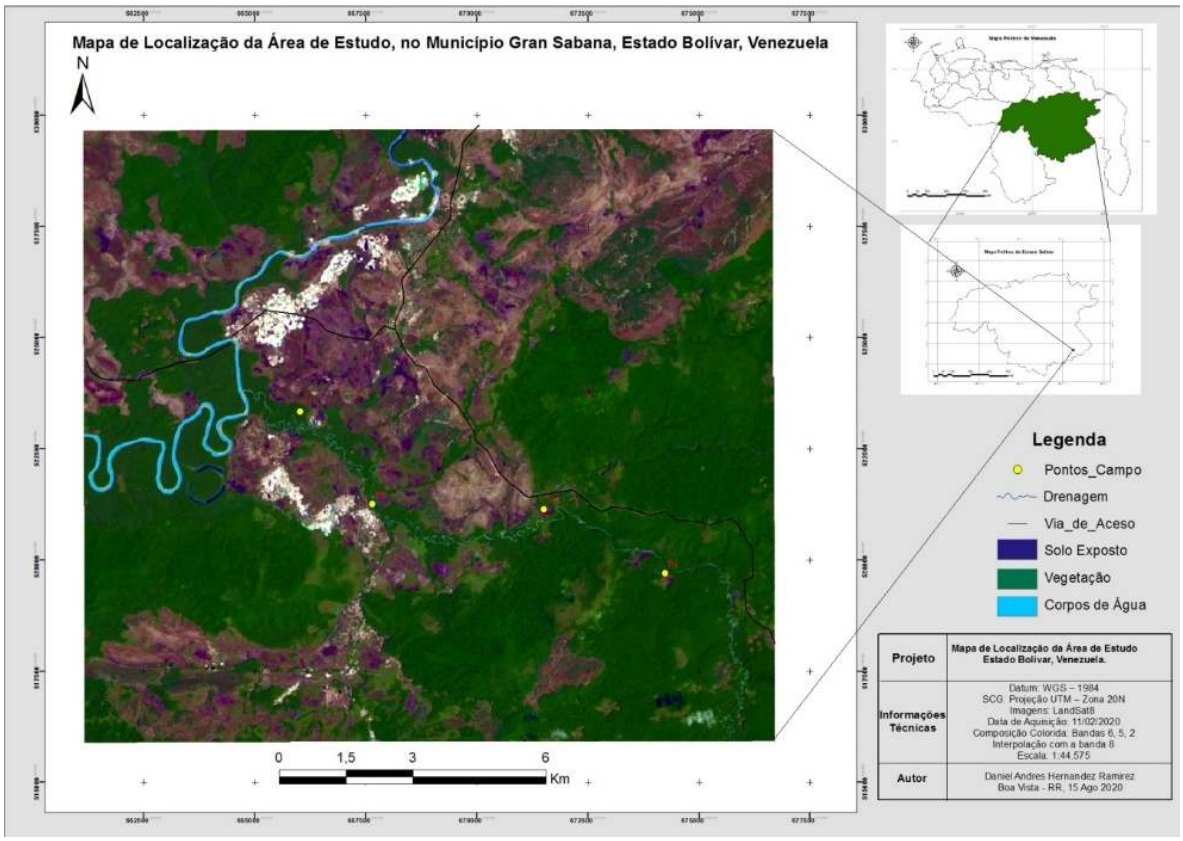
Nessa perspectiva, Hund e Varvarina (2013) inferem que as imagens de satélites multiespectrais permitem detectar mudanças graduais e ou abruptas em paisagens. Portanto, o uso de índices espectrais pode ser um elemento importante no auxílio da caracterização dessas mudanças de padrão, uma vez que realçam diferentes feições da superfície Omar *et al*. (2017).

RECITAL - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara, v. 3, n. 3, set./dez. 2021.
ISSN: 2674-9270. Disponível em: http://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital

1.2 ÁREA DE ESTUDO

O estado de Bolívar cobre 240.528 Km², aproximadamente um quarto do território da Venezuela. O Município de Gran Sabana que se encontra localizado no estado Bolívar é representado por uma superfície de 3.299.000 hectares com altitude de 847 metros acima do nível do mar (Figura 1). Já a chamada Gran Sabana, localizada no meio do Maciço das Guianas, é uma vasta região do sudeste da Venezuela, a qual é dividida por numerosos cursos de água, em que se combinam savanas, bosques, montanhas e colinas.

Figura 1 – Mapa de localização da Área de estudo.



Fonte: Autoria própria (2021).

2 METODOLOGIA

Com o intuito de alcançar os objetivos da pesquisa, foram selecionadas quatro imagens da série de satélites Landsat 8, Sensor OLI, correspondentes aos anos 2014, 2016, 2018 e 2020, para uma análise multitemporal da área compreendida no Município Gran Sabana do Estado Bolívar na Venezuela. As imagens correspondem às datas de 25/01/2014, 15/01/2016, 21/02/2018 e 27/02/2020. Todas as imagens foram baixadas gratuitamente no site da USGS (EUA Geological Survey) em formato geotiff.

RECITAL - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara, v.3, n. 3, set./dez. 2021.
ISSN: 2674-9270. Disponível em: http://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital

Os procedimentos metodológicos e o cálculo de reflectância foram realizados através da Calculadora Raster, e a correção atmosférica foi realizada com uma das ferramentas encontradas no plugin SCP do QGIS, no Sistema de Informação Geográfica – SIG QGIS Versão 3.16.4, utilizando as imagens selecionadas, por serem as mais atuais com as características desejadas: baixa presença de nuvens, o que possibilitou uma melhor classificação das imagens estudadas. O Índice de Vegetação foi calculado por Diferencia Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) para as quatro datas. O cálculo do NDVI foi realizado a partir da diferença entre as reflectâncias das bandas 5 (infravermelho próximo) e 4 (visível - vermelho) dividido pela soma das reflectâncias dessas duas bandas (Rouse *et al*., 1973).

Calculo do NVDI: Landsat 8;

$$NDVI = (Band\ 5 - Band\ 4) / (Band\ 5 + Band\ 4).$$

O resultado varia de -1 a 1, de modo que quanto mais próximo do -1, maior indício de presença de solos descobertos e rochas e quanto mais próximo do 1, maior indício de presença de vegetação. Sabendo que na faixa espectral do vermelho a clorofila absorve a energia solar ocasionando uma baixa reflectância, enquanto na faixa do infravermelho próximo, tanto a morfologia interna das folhas quanto a estrutura da vegetação ocasionam uma alta reflectância da energia solar incidente. Com o cálculo do NDVI foi possível adquirir o SAVI, de acordo com a Equação 2 (Huete, 1988):

$$SAVI = (1 + L)(\rho_{iv} - \rho_v) / (L + \rho_{iv} + \rho_v)$$

Para análise do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) foi aplicado o valor de L = 0,5, por se tratar de um valor comumente utilizado, porém também levou-se em consideração o padrão de vegetação da região.

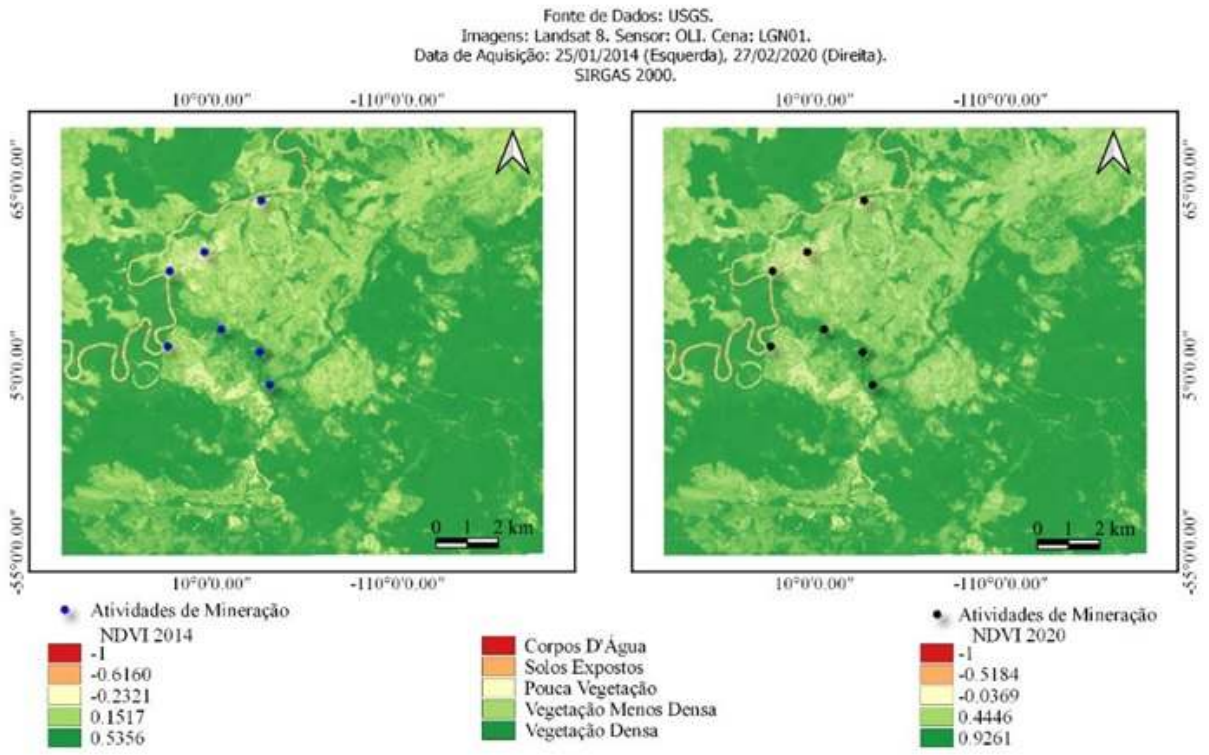
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise multitemporal realizada na pesquisa utilizando os índices NDVI (Figura 2) e SAVI (Figura 3), foi possível observar que as atividades de mineração exercidas na área de estudo têm grande influencia no que condiz ao desmatamento da área e à exposição de solos. Observa-se também que a vegetação mais densa tem maior representatividade nos locais onde não existe a presença dessas atividades de mineração.

Na Figura 2 observa-se o mapa da classificação das diferentes classes análisadas e, na Tabela 1, os valores das variações em área de ocupação das classes.

RECITAL - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara, v. 3, n. 3, set./dez. 2021.
ISSN: 2674-9270. Disponível em: http://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital

Figura 2 – Variação do NDVI, anos 2014 e 2020.



Fonte: Autoria própria (2021).

As mudanças nas diferentes classes que foram avaliadas na pesquisa utilizando o NDVI são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1– Variação das diferentes classes analisadas e calculadas pelo NDVI, anos 2014 e 2020.

Classe	Área (2014) (ha)	Área (2020) (ha)	Diferença (ha)
Corpos d'água	129,78	203,85	+74,07
Solos expostos	243,00	601,02	+358,02
Pouca vegetação	1.672,47	3.263,85	+1.591,38
Vegetação menos densa	4.928,04	3.702,24	-1.225,80
Vegetação densa	14.348,25	13.550,49	-797,76

Fonte: Autoria própria (2021).

Na tabela anterior, observa-se que houve um aumento nas áreas de solos expostos de 358,02 hectares, representando um acréscimo de (157,07%). A classe de Pouca Vegetação registrou um incremento bem considerável (1.591,38 hectares), representando um aumento de (195,15%), Já a categoria de Vegetação Menos Densa teve uma diminuição bem significativa de 1.225,80 hectares, indicando uma perdida desse tipo de vegetação de (75,12%) e, finalmente,

RECITAL - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara, v.3, n. 3, set./dez. 2021.
ISSN: 2674-9270. Disponível em: http://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital

a classe denominada de Vegetação Densa teve uma diminuição de 797,76 hectares, o que representa uma redução de (94,44%).

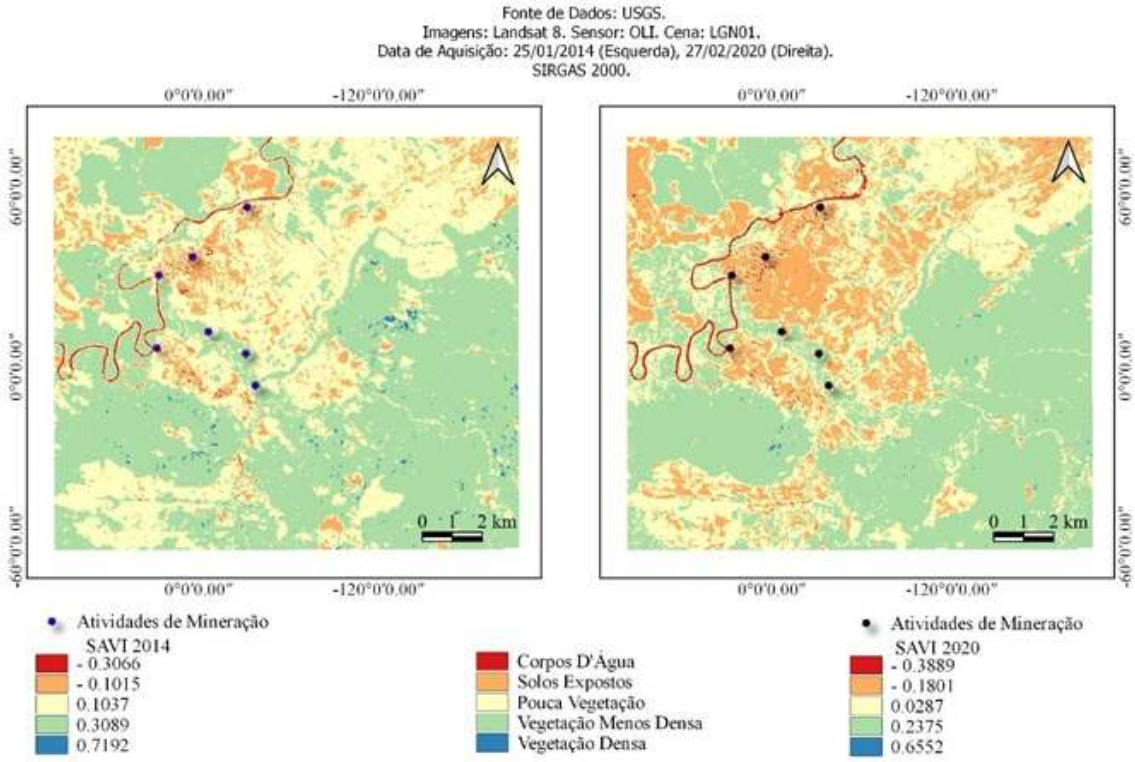
Os resultados sugerem um aumento nos solos expostos e pouca vegetação e uma diminuição na vegetação menos densa e a vegetação densa, o que condiz com discussões sobre a alão direta ou indireta das atividades de mineração no planeta.

Salazar-Gascón (2016), utilizou uma série temporal, para estudos realizados no Parque Nacional Canaima na Gran Sabana, encontrando um decréscimo nas áreas dominadas pelos sistemas arbóreos. O estudo indicou que esses decréscimos poderiam estar influenciados pelas secas e pelos incêndios acontecidos anteriormente. A mesma autora, a partir de análises do NDVI, evidenciou uma degradação da vegetação em prejuízo dos sistemas arbóreos na região.

Além das atividades de mineração, os autores Rodriguez (2004) e Rodriguez e Sletto (2009) expõem que, no território da Gran Sabana, os focos de queimadas constituem outro indicador da degradação na vegetação e apontam o homem como o ator responsável pelos incêndios. Enquanto que Bilbao *et al*. (2010) relatam que as queimadas produzidas na Gran Sabana são resultado de alterações variáveis e podem acontecer sob condição de clima e material combustível específicos no que se denomina sistemas de savanas. Esses mesmos autores Bilbao *et al*. (2009) indicam que, só após do primeiro ano das queimadas, são restabelecidas apenas 40% da cobertura original.

No mapa de detecção de mudanças a respeito do SAVI (Figura 3) e na Tabela 2, que sintetiza os dados do mapeamento das mudanças nas classes da área de estudo para o período de 06 anos, observam-se os valores em área e percentagem de ocupação dessas classes.

Figura 3 – Variação do SAVI, anos 2014 e 2020.



Fonte: Autoria própria (2021).

RECITAL - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara, v. 3, n. 3, set./dez. 2021.
ISSN: 2674-9270. Disponível em: http://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital

Na tabela seguinte, observa-se a existência de aumento nas classes de Corpos D'Água e Solos expostos, sendo para os solos expostos de 2.378,52 hectares, considerando-se um acréscimo muito significativo que corresponde a 234,12%, o que condiz com a pouca vegetação, caracterizada por uma redução de 1.296,27 hectares que significa um decréscimo de -83,58%. Para classe de vegetação menos densa, os resultados demostram uma diminuição de 1.059,48 hectares, sendo um decréscimo de -90,71%. Finalmente os valores para a degentação Densa foram expressados com uma diminuição de 96,84 hectares que representa um decréscimo de -14,33%. Esses resultados indicam, de forma geral, um acréscimo dos solos expostos e uma diminuição da vegetação local (Tabela 2).

Tabela 2– Variação das diferentes classes analisadas e calculadas pelo SAVI, anos 2014 e 2020.

Classe	Área (2014) (ha)	Área (2020) (ha)	Diferença (ha)
Corpos d'água	129,78	203,85	+74,07
Solos expostos	1.773,36	4.151,88	+2.,378,52
Pouca vegetação	7.899,21	6.602,94	-1.296,27
Vegetação menos densa	11.406,15	10.346,67	-1.059,48
Vegetação densa	113,04	16,20	-96,84

Fonte: Os autores (2021).

Sousa *et al*. (2008) reiteram que os prejuízos ambientais estão quase sempre relacionados ao uso indevido do solo pelas diversas atividades degradantes. O que resulta em um comprometimento a médio e longo prazo das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, inviabilizando essas áreas a uma exploração sustentável no futuro e transformando-as em áreas desertificadas.

CONCLUSÃO

Segundo a metodologia proposta nesta pesquisa e os respetivos resultados da análise multitemporal utilizando os índices NDVI e SAVI, conclui-se que os dados permitiram ratificar que a atividade de mineração produzida no local está gerando impactos de grande escala no ambiente, tendo consequências imediatas sobre a cobertura vegetal. Complementarmente, reitera-se a importância das informações oferecidas pelos Sistemas de Informação Geográfica através do cálculo do NDVI e o SAVI, enquanto ferramentas de grande auxílio para o conhecimento da situação ambiental da região de estudo. Isso permite, assim, que análises como esta sirvam de base para tomada de decisões e estudos no futuros.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, L. SIG e os desastres naturais. **Territórios Digitais**, v.2, n.8, p. 10-11, 2010.

BILBAO, B.; LEAL, A.; MENDEZ, C. Indigenous use of fire and forest loss in Canaima National Park, Venezuela. Assessment and tools for alternative strategies of fires management in Pemon indigenous land. **Human Ecology.** 80p. 2010.

BILBAO, B.; LEAL, A.; MENDEZ, C.; DELGADO-CARTAY, M.D. The role of fire in the vegetation dynamics of upland savannas of the Venezuelan Guayana. In: COCHRANE, M.(org.). **Tropical Fire: Climate change, land use, and ecosystem dynamics.** Chichester: Praxis Publishinhing. 451-480 pp. 2009

DUAN, T. *et al*. Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle. **Field Crops Research**, p.71-80, 2017.

DUBUCQ, M.; DARTEYRE, J.; REVEL, J. Identification et cartographie de surface de l'érosion et de la battance des sols du Lauragais à partir de croisement de données SPOT et d'un MNT. **ITC Journal**. v. 2, pp. 70-76, 1991.

GEORGANOS, S. *et al*. Examining the NDVI - rainfall relationship in the semi-arid Sahel using geographically weigted regression. **Journal of Arid Environments**, p.64-74, 2017.

HUETE, A. R. Adjusting Vegetation Indices for Soilin fluencies. **International Agrophysics**, vol.4, no. 4. pp.367-376, 1988.

HUND, T. L.; VARVARINA, E. A. Method of monitoring minerals using remote sensing data based on spectral index, **Vestnik OrelGAU**, v. n. 45, p. 44-48 , 2013.

MILLÁN, V. E. G.; TEUWSEN, S.; MÜNSTER, K. P. Description of a Flooding Process in Mining Areas using spectral Indices on multi-temporal Landsat Imagery, Photogrammetrie-Fer. **Geoinformation**. v.5,p.427-0436, 2013.

OMAR, H. A. *et al*. Detection of open-pit mining zon es by implementing spectral indices and image fusion techniques, **DYNA**, v. 84, n.201, p.42-49 pp, 2017.

PINZON, J.E.; TUCKER, C.J. A non-station 1981-2012 AVHRR NDVI3g time series. **Remote Ses**, p. 6929-6960, 2014.

RODRÍGUEZ, I. Conocimiento indígena vs. Científico: el conflicto por el uso del fuego en el Parque Nacional Canaima, Venezuela. **Interciencia.** v. 29,p. 121-129, 2004.

RODRÍGUEZ, I.; SLETTO, B. Apök hace feliz a Patá. Desafíos y sugerencias para una gestión intercultural del fuego en la Gran Sabana. **Antropológica**. v. 53, p.111, 2009.

ROUSE, J.W. *et al*. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In Earth Resources Tecnology Satellite- 1 Symposium,3, 1973. **Proceedings. Washington**, v.1, Sec. A, p. 309-317, 1973.

SALAZAR-GASCÓN, R. E. **Frequência e severidade de queimadas frente aos eventos ENOS e AMO desde 2003 até 2014 na Gran Sabana- Parque Nacional Canaima-Venezuela**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Juiz de Fora, 96 f, 2016.

SOUSA, R.F.; BARBOSA, M.P.; MORAIS NETO, J.M.; MENESES, L.F.; GADELHA, A. G. Vulnerabilidades e impactos sócios econômicos e ambientais. **Revista Engenharia** Ambiental, v.5, n.3, p.063-078. 2008.

STÖCKLI, D. F. Aplication of low-temperature thermochronometry to extensial tectonic setting. **Mineralogy & Geochemistry**, p. 411-448, 2005.

ZANZARINI, F. V. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB. v.17, n.6, p.608–614, 2013.

ZHAO, Z. *et al*. Exploring spatially variable relationships between NDVI and climate factors in a trasition zone using geographically weighted regression. **Theor. Appl. Climatol**, p.507-519, 2015.

Recebido em: *26 de agosto de 2021*

Aceito em: *13 de setembro de 2021*