

Mapeamento de áreas degradadas pela mineração de ouro através de técnicas de sensoriamento remoto ao longo do rio revue - Moçambique

Mapping of areas degraded by gold mining through remote sensing techniques along rio revue – Mozambique

Edson Fernandes Raso¹; Castigo David Augusto Machava ²; Eufráσιο João Sozinho Nhongo ³

¹ Universidade Púnguè, Faculdade de Geociência e Ambiente, Chimoio/Manica, Moçambique. Email: rasoedsonfernandes@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7848-9630>

² Universidade Zambeze, Faculdade de Engenharia Ambiental e de Recursos Naturais, Chimoio/Manica, Moçambique. Email: cmachava1985@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5904-9170>

³ Universidade Zambeze, Faculdade de Engenharia Ambiental e de Recursos Naturais, Chimoio/Manica, Moçambique. Email: eufrasionhongo@yahoo.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5453-7845>

Resumo: No Distrito de Manica – Moçambique, o ouro é atualmente extraído na escala industrial e artesanal, sendo a última a mais predominante. A etapa de extração e processamento deste mineral tem criado alterações nas classes de uso e cobertura de terra. Este trabalho visa mapear áreas degradadas pela mineração artesanal de ouro entre os anos de 2000 a 2019 na sub-bacia do rio Revue. Para o efeito, foi utilizada imagens do satélite Landsat 5 (TM) e Landsat 8 (OLI). As imagens foram pré-processadas, tendo sido feita a calibração radiométrica utilizando a plataforma ENVI 5.1 e correção atmosférica utilizando o algoritmo Dark Object Subtraction (DOS 1) do Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) do QGIS. As imagens foram posteriormente classificadas por meio do método da classificação supervisionada por máxima verossimilhança (MAXVER). O cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) permitiu obter valores quantitativos da vegetação removida pela prática da mineração artesanal. Os resultados mostraram que o atual padrão de uso e ocupação da terra é marcadamente caracterizado pela presença de áreas de mineração artesanal e pelo plantio de eucaliptos e pinheiros que se expandem em direção a áreas de vegetação natural esparsa e de solo exposto.

Palavras-chave: Deteção de mudanças. Mineração artesanal. Área degrada..

Abstract: In Mozambique, specifically in Manica, gold is currently extracted on an industrial and artisanal scale, being the artisanal most predominant. The extraction and processing stage of this mineral has created changes in land use and land cover classes. This study aims to map areas degraded by artisanal gold mining between 2000 and 2019 in the Revue river sub-basin. For this purpose, images from the Landsat 5 (TM) and Landsat 8 (OLI) satellites were used. The images were pre-processed, and radiometric calibration was performed using the ENVI 5.1 platform. The atmospheric correction were used the Dark Object Subtraction (DOS 1) algorithm of the QGIS Semi-Automatic Classification Plugin (SCP). The images were later classified using the method of supervised classification by maximum likelihood (MAXVER). The calculation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) allowed obtaining quantitative values of the vegetation removed by the practice of artisanal mining. The results showed that the current pattern of land use and occupation is markedly characterized by the presence of artisanal mining areas and by the planting of eucalyptus and pine trees that expand towards areas of sparse natural vegetation and exposed soil.

Keywords: Changing detection. Artisanal mining. Degraded área.

Recebido: 30/08/2020; Aceito: 25/11/2021; Publicado: 20/01/2022

1. Introdução

A atividade de mineração artesanal na província de Manica é secular e praticada pelas comunidades locais e cidadãos nativos oriundos de outras regiões do país. Apesar de constituir fonte de riqueza, esta atividade gera impactos negativos ao meio ambiente, adversos e severos que se manifestam na destruição da mata ciliar, modificação da topografia, degradação de solos, assoreamento dos rios, poluição e contaminação de água subterrânea e superficial, ocasionando distúrbios no ecossistema e perda da biodiversidade.

O conhecimento da dinâmica espacial e quantificação de área de exploração mineira é de extrema importância para o planejamento territorial e ambiental. Os produtos de sensoriamento remoto em nível orbital (imagens de satélite) têm sido nas últimas décadas uma fonte rica e constante de informações sobre a superfície terrestre.

As técnicas de Sensoriamento Remoto aliadas aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), têm-se mostrado de extrema relevância e bastante aplicadas, uma vez que proporcionam uma visão sinóptica de áreas muito grandes, permitindo avaliar áreas de difícil acesso e assim como detetar pequenas alterações de cobertura (RYAN et. al, 2011).

As imagens de sensoriamento remoto vem servindo de fontes de dados para estudos e levantamentos geológicos, ambientais, agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, oceanográficos, entre outros estudos. Passaram a representar uma das únicas formas viáveis de monitoramento ambiental em escalas locais e globais, devido à rapidez, eficiência, periodicidade e visão sinóptica que as caracterizam (CROSTA, 2002).

No sensoriamento remoto, os objetos interagem de maneira diferenciada espectralmente com a energia eletromagnética incidente, pois os objetos apresentam diferentes propriedades físico-químicas e biológicas. Estas diferentes interações é que possibilitam a distinção e o reconhecimento dos diversos objetos terrestres detetados remotamente, pois são reconhecidos devido a variação da percentagem de energia refletida em cada comprimento de onda (MORAES, 2002).

A vegetação sadia apresenta alta absorção da energia eletromagnética na região do espectro visível, que é capturada pela clorofila para a realização da fotossíntese. Dentro do espectro visível a absorção é mais fraca na região que caracteriza a coloração da vegetação. A alta reflectância no infravermelho próximo (até 1,3µm) é devido a estrutura celular, sendo que a partir deste comprimento de onda é o conteúdo de água na vegetação quem modula as bandas de absorção presentes no comportamento espectral desta (MORAES, 2002).

O emprego de índices de vegetação tem sido frequente em estudos sobre a detecção de mudança em imagem multiespectrais. O NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, proposto por ROUSE et al. (1974), é um dos mais aplicados e tem sido explorado em estudos climáticos e de culturas agrícolas e florestais (PONZONI et al., 2012).

O NDVI é calculado pela diferença de refletância entre a faixa de NIR (infravermelho próximo) pelo RED (vermelho). Essa diferença é normalizada pela divisão da soma das faixas de NIR e RED, conforme equação abaixo:

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED})}$$

Em que ρ representa o fator de refletância nas bandas do infravermelho próximo (NIR) e vermelho (RED).

O índice pode variar, teoricamente, entre -1 e 1. Os valores iguais ou menores a 0 (zero) indicam a ausência de vegetação ou solo exposto. Os valores próximos a 1 indicam grande quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa.

Dentre as atividades econômicas relacionadas diretamente à exploração de recursos naturais, a extração mineral é uma das que são capazes de causar grandes perturbações no meio ambiente em situações pontuais ou não.

A deterioração da qualidade de vida que geralmente acompanha a degradação ambiental, justifica a necessidade de se monitorar com frequência a atividade de extração mineral. Portanto, este estudo visa mapear as áreas degradadas pela mineração artesanal de ouro entre os anos de 2000 a 2019, na sub-bacia do rio Revue, Distrito Manica.

2. Metodologia

2.1. Área de estudo

A área de estudo, localiza-se entre as Latitudes 18°30'48.24" e 19° 6'15.22" Sul e Longitude 33°12'39.28" e 33° 8'11.71" Este, Província de Manica, centro de Moçambique. Compreende uma extensão de 45 km, num buffer de 2 km do leito principal do rio Revue, no distrito de Manica (Figura 1). É uma área de mineração artesanal de ouro, caracterizada por formações montanhosas, vegetação natural esparsa e antropogénica (plantações de eucaliptos e pinheiros).

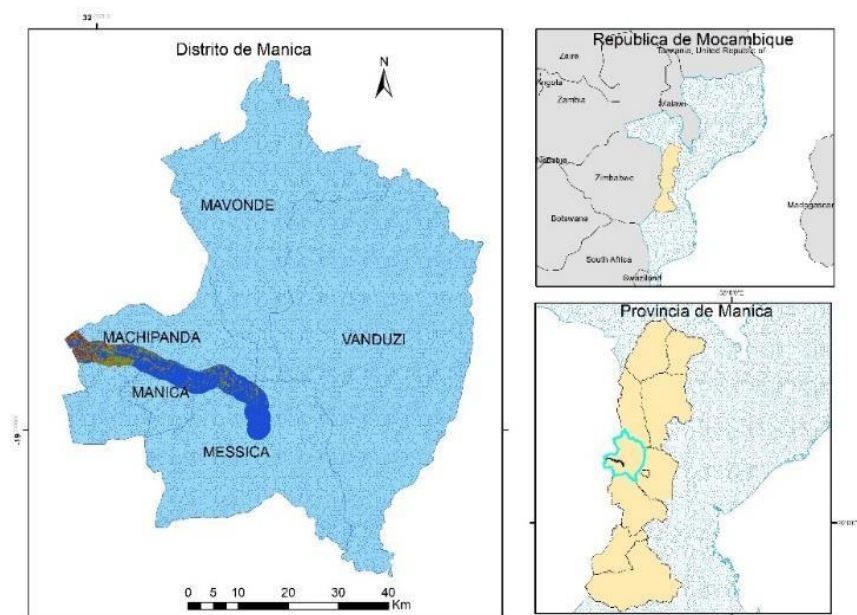


Figura 1: Localização da área de estudo.
Fonte: Autor (2020).

2.2. Métodos

Para este estudo foram utilizadas imagens dos satélites LANDSAT 05 TM e LANDSAT 08 OLI, adquiridas no site da U.S. Geological Survey – USGS. Todas as imagens adquiridas são do período seco (Agosto a Outubro) Ponto 74 e Orbits 167. A escolha pelo período referenciado, deveu-se à baixa cobertura de nuvens e de ruídos atmosféricos. As imagens foram pré-processadas tendo sido feita a calibração radiométrica utilizando a plataforma ENVI 5.1, na qual os números digitais (ND) da imagem foram transformados em valores de radiância. As imagens foram submetidas a correção atmosférica utilizando-se o método DOS1 (Dark Object Subtraction 1), acoplado ao programa SCP Plaguin do QGIS. Os demais dados utilizados neste estudo, foram obtidos da base de dados geográficos da CENACARTA (Centro Nacional de Cartografia e Teledeteção de Moçambique).

Com vista a analisar a expansão de áreas de mineração entre 2000 a 2019, foi realizado o mapeamento do uso e cobertura do solo através da classificação supervisionada - (MAXVER) de imagens do satélite Landsat. Na classificação foi definida quatro principais classes a saber: mineração, solo exposto, vegetação esparsa e floresta plantada.

Para estimar a quantidade de vegetação nativa suprimida pela atividade de mineração, aplicou-se o método de cálculo do NDVI. Em função do valor do NDVI de cada pixel, fez-se a reclassificação da mesma em seis classes, designadamente: moderada alta, alta, moderada, moderadamente baixa, baixa e solo exposto. Algumas dessas classes tiveram que ser reagrupados de modo a expressar maior semelhança com a realidade do terreno, como ilustra a Tabela 1. Por meio da ferramenta zonal geometry as table do spatial analyst tools do ArcGis 10.2.2, determinou-se a área em hectares de cada classe.

Tabela 1 - Reclassificação dos intervalos do NDVI, para todos anos de análise.

Notas de reclassificação dos intervalos de NDVI	Intervalo	Classes de NDVI
1	-1 a < 0,3	Solo exposto a baixa
2	0,3 a < 0,5	Moderadamente baixa
3	0,5 a < 0,7	Moderada
4	0,7 a 1	Moderadamente alta a alta

Fonte: autor (2020).

Por fim, quantificou-se as mudanças da cobertura em hectares através do método comparativo pós-classificação entre mapas dos anos em análise. Para estimar o quanto uma classe mudou para a outra, durante o período em análise, determinou-se a matriz de transição no software DINAMICA EGO.

Para todas as classificações, foram efetuadas as análises da acurácia temática por meio de matrizes de confusão, em que foram extraídos os coeficientes de concordância. As amostras de referência foram selecionadas de forma aleatória, utilizando o pixel como referência e unidade amostral. Essas amostras foram utilizadas como dados de referência (verdade de campo), para compor a matriz de confusão. Esta matriz possibilitou calcular os índices de exatidão de concordância total. Para este trabalho, escolheu-se o Índice Kappa para avaliar a acurácia temática, por ser mais sensível as variações de erros de omissão e inclusão (COHEN, 1960).

3. Resultados e discussão

Por meio do método da classificação supervisionada, por máxima verossimilhança (MAXVER) de imagens do satélite Landsat 05 e Landsat 08, obteve-se o conjunto de pixels correspondentes para cada classe de uso definido (Figura 2), o que permitiu a análise da variação das classes de uso e cobertura de terra.

Em relação à exatidão da classificação das imagens, os coeficientes Kappa determinados para as classificações de 2000 a 2019, mostraram a qualidade de classificação boa de acordo com os resultados da Tabela 2. Na Tabela 3, é possível observar a variação das classes de uso e cobertura de terra entre o período de 2000 a 2019.

Tabela 2 - Índice Kappa.

Ano	2000	2011	2015	2019
Kappa	0,76	0,64	0,73	0,75

Fonte: autor (2020).

Tabela 3 - Classes de uso e cobertura de terra em hectares (ha).

Classe	2000	2011	2015	2019
Mineração	41	201	360	734
Solo Exposto	9962	10124	8300	8370
Vegetação Esparsa	7064	6428	8600	7422
Floresta Plantada	2984	3299	2791	3525

Fonte: autor (2020).

Os dados demonstram aumento da área de mineração e floresta plantada na ordem de 3%, de 2000 a 2019. Em 2000, a classe de mineração ocupava uma área menor, sendo que a atividade era praticada em pequenos poços de dimensão menor

que a resolução espacial do Landsat 05. A floresta plantada ocupava cerca de 15%, passando a ocupar 18% de área total em 2019.

A classe de solo exposto foi diminuindo em função do aumento das outras classes. Ou seja, as plantações de eucaliptos e pinheiros que correspondem a áreas de floresta plantada e a classe de mineração foram aumentando sobre as áreas de solo exposto.

Para melhor entender a relação de variação entre classes, pode-se observar os resultados da matriz de transição na Tabela 4.

Tabela 4: Matriz de transição em percentagem (%), entre os anos 2000 e 2019.

2000	2019			
	Mineração	Solo exposto	Vegetação esparsa	Floresta plantada
Mineração	0,30	0,14	0,51	0,05
Solo exposto	0,04	0,56	0,29	0,012
Vegetação esparsa	0,04	0,24	0,54	0,18
Floresta plantada	0,00	0,06	0,21	0,73

Fonte: autor (2020).

De acordo com os dados da matriz de transição, ocorrida entre os anos 2000 e 2019 (Tabela 4) pode-se perceber que as classes solo exposto e floresta plantada, tiveram as maiores taxas de permanência. Contudo, 34% da área de solo exposto e 27% de floresta plantada transitaram para outras classes. As classes mineração e vegetação esparsa tiveram uma permanência mediana, sendo que a mineração ganhou 4% de área de solo exposto e de vegetação esparsa.

No mesmo período, pode-se observar o abandono e migração de áreas outrora mineradas que acabaram ganhando novo revestimento vegetal. A classe de mineração é a que verificou menor taxa de permanência, demonstrando o caracter migratório da mesma.

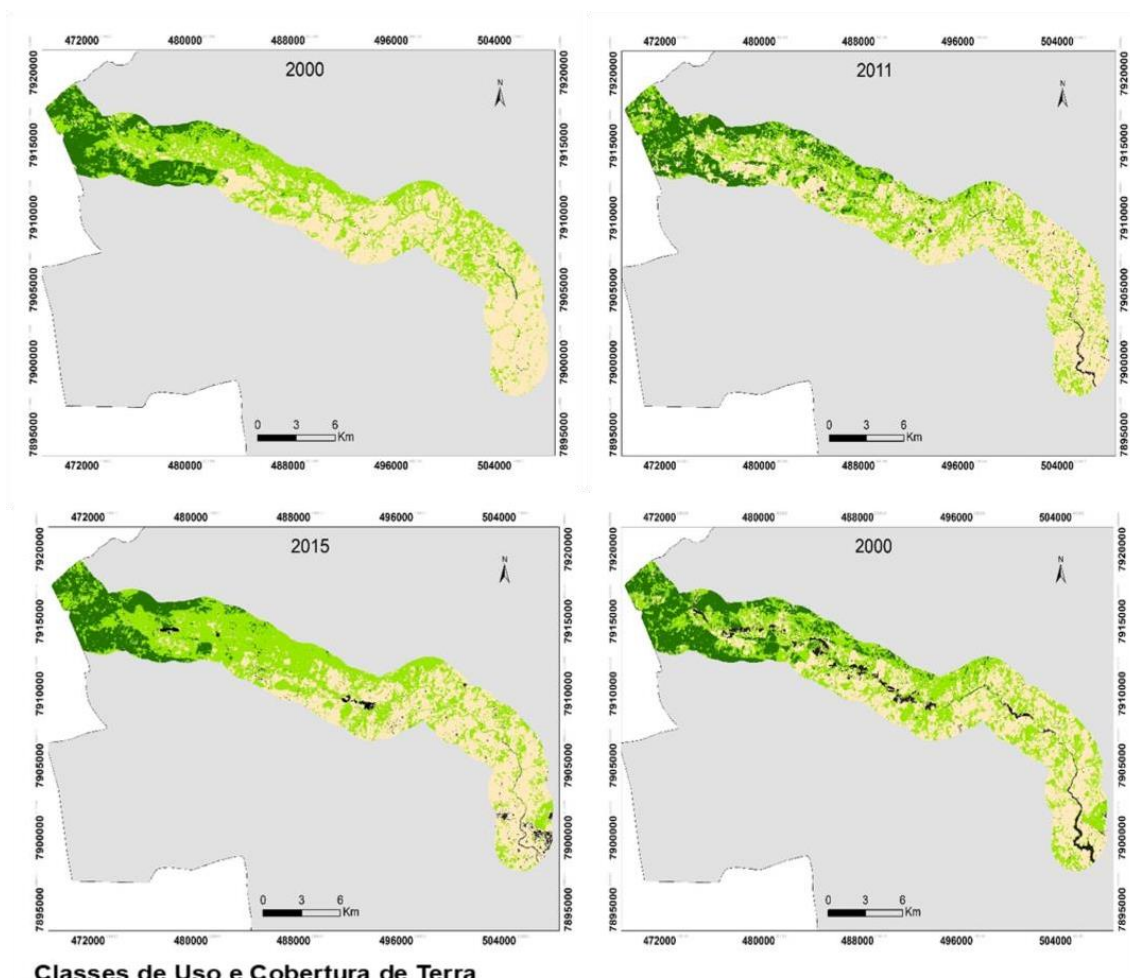


Figura 2 - Evolução do uso e ocupação de terra 2000, 2011, 2015 e 2019.
 Fonte: autor (2020).

Pelo método de cálculo do NDVI, obteve-se valores que refletem o comportamento da cobertura vegetal na área de estudo, conforme ilustra a Figura 3. Em relação às escalas de valores estabelecidas pelo índice de vegetação, a Tabela 5 apresenta dados da variação de classes do índice.

Tabela 5 - área em hectares de classes do NDVI 2000 a 2019.

Classe	2000	2011	2015	2019
Solo exposto a baixa	5054	5785	3715	3559
Moderadamente baixa	9791	10278	11588	10840
Moderada	3473	3961	3563	3702
Moderadamente alta a alta	1733	27	1185	1950

Fonte: autor (2020).

Os dados na tabela 5 permitem inferir ter havido a redução da classe de solo exposto a baixa que ocupava um pouco mais de 25% da área total, isto em 2000, mas no ano de 2019 ocupava menos de 18%. Fato similar foi verificado no comportamento da classe de solo exposto na classificação supervisionada.

O intervalo de valores próximos a zero ($-1 < 0,3$), exibem a presença de solos expostos e de cobertura vegetal reduzida representadas principalmente por áreas de mineração e de solos degradados.

O intervalo da classe moderadamente baixa ($0,3$ a $<0,5$) é caracterizado por um aumento considerável de 48% em 2000 para 54% da área total em 2019. Esta classe é constituída por vegetação nativa baixa e esparsa que também verificou um aumento no método de classificação supervisionada.

O intervalo da classe moderada ($0,5$ a $<0,7$), agrupa áreas de densidade média de cobertura vegetal constituídas principalmente por plantações jovens de eucaliptos e pinheiros. Esta classe não verificou aumento significativo, passando de 17% em 2000 para 18% em 2019.

O intervalo da classe moderadamente alta a alta ($0,7$ a 1) compreende áreas de elevado vigor vegetativo e de maior densidade de cobertura vegetal, fato característico das áreas de plantações de eucalipto e pinheiros. O comportamento espectral dessa vegetação antrópica é verificado com maior nitidez na imagem de 2000 (Figura 3) na qual ocupava uma área de cerca de 1700 hectares. Passado mais de 10 anos, as plantações de eucaliptos e pinheiros foram cortadas e a imagem de 2011 apresenta baixa percentagem da classe moderada alta a alta (Figura 3). Nos anos subsequentes, a vegetação antrópica foi ganhando maior expressão na área passando de 27 hectares em 2011 para 1185 em 2015 e 1950 hectares em 2019. A matriz de transição permite entender a relação evolutiva entre classes do NDVI (Tabela 6).

Tabela 6 - Matriz de transição em percentagem das classes de NDVI 2000 a 2019.

2000	2019			
	Solo exposto a baixa	Moderadamente baixa	Moderada	Moderadamente alta a alta
Solo exposto a baixa	0,36	0,61	0,03	0,00
Moderadamente baixa	0,16	0,63	0,15	0,02
Moderada	0,04	0,29	0,46	0,21
Moderadamente alta a alta	0,01	0,12	0,28	0,59

Fonte: autor (2020).

A maior transição entre os dois anos extremos, verificou-se entre as classes solo exposto e baixa para moderadamente baixa na ordem de 61%, demonstrando o reflorestamento de áreas outrora mineradas e/ou abandonadas. Também se verificou a transição entre a classe moderada para a moderada alta e alta, na ordem de 21% que representa o crescimento da vegetação antrópica.

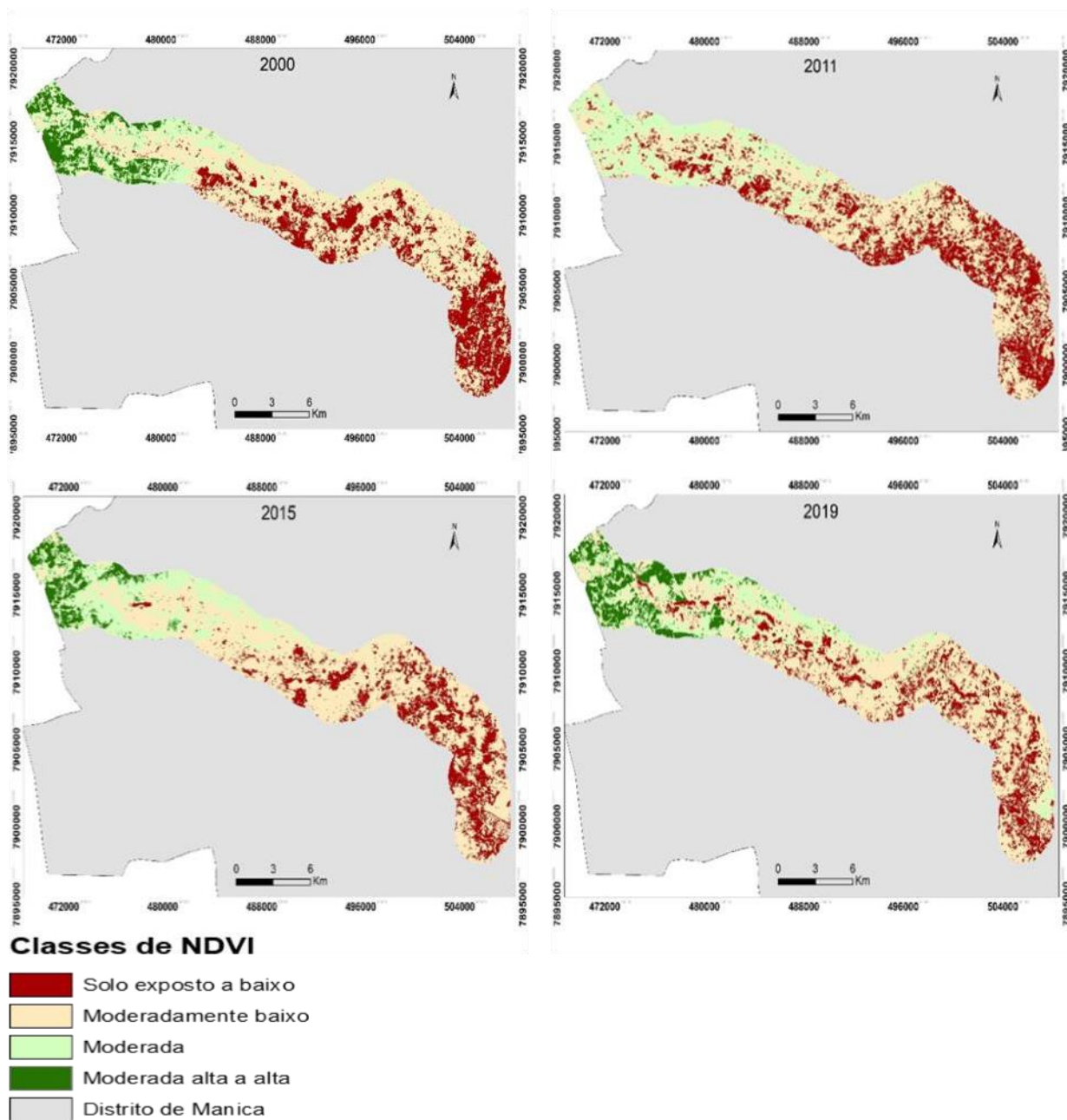


Figura 3 - Classes de NDVI 2000, 2011, 2015 e 2019.
 Fonte: autor(2020).

4. Considerações finais

O uso do solo nas áreas de extração artesanal de ouro mostra que a vegetação natural esparsa foi significativamente alterada, reflexo da expansão de áreas de mineração artesanal e de plantio de eucaliptos e pinheiros. Este cenário de perda de vegetação natural esparsa e avanço da atividade de mineração pode asseverar a degradação de elementos do sistema ambiental. Os valores de classes de uso e cobertura obtidos pela classificação supervisionada mostraram-se semelhantes

aos intervalos definidos na reclassificação do índice NDVI apesar de pequenas disparidades derivadas do reagrupamento de classes de solo exposto e da classe baixa no mesmo intervalo.

Esta pesquisa mostrou ser eficiente na análise da evolução do uso e cobertura de terra em área de mineração quer pelo método da classificação supervisionada por máxima verossimilhança de imagens de satélite, quer pelo cálculo do índice NDVI.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Fundo Nacional de Investigação (FNI) pelo financiamento do projecto.

A Universidade Púnguè pela logística.

A todos que contribuíram para a realização das actividades, desde os técnicos e agricultores, vai o grande apreso de agradecimento.

Referências

- COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, v.10, n.1, 37 – 46, 1960.
- CRÓSTA, A. P. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Campinas, São Paulo: IG/UNICAMP, 1992. 170p.
- MORAES, E. *Fundamentos de sensoriamento remoto*. INPE, São José dos Campos. 2012.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. *Sensoriamento remoto da vegetação*. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 160p.
- ROUSE, J.W. HAAS, R.H. SCHELL, J.A. DEERING, D.W. HARLAN, J.C. *Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation*. NASA/GSFC. 1974.
- RYAN, C. M., et al. Quantifying small-scale deforestation and forest degradation in African Woodlands using radar imagery. *Global Change Biology*. v. 18, n. 1, 243-257, 2017.