



**Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo de
Moçambique Utilizando a Plataforma Google Earth Engine**
Mapping Land Use and Land Cover of Mozambique Using Google Earth Engine Platform

Wellington Nunes de Oliveira; Fausto Miziara & Nilson Clementino Ferreira

*Universidade Federal de Goiás- Escola de Engenharia Civil e Ambiental - EECA- UFG
Praça Universitária s/n – Setor Universitário - CEP 74605-220 - Goiânia-GO, Brasil
E-mails: wellington.wno@gmail.com; faustomiziara@uol.com.br; nclferreira@gmail.com*

Recebido em: 08/10/2018 Aprovado em: 23/01/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_1_336_345

Resumo

No Brasil o bioma Cerrado, o segundo maior do nosso território, possui a ocupação pela agropecuária bastante consolidada. No continente africano, outra área savânica merece atenção, o miombo moçambicano, o qual apesar de bastante fragmentado se encontra em um menor estado de antropização se comparado com o Cerrado. Com isso, esse estudo teve por objetivo mapear o uso e cobertura do solo de Moçambique utilizando a Plataforma Google Earth Engine (GEE), o qual se mostrou uma importante ferramenta para exploração de uma elevada amplitude de dados. Para Moçambique esse mapeamento foi realizado utilizando imagens dos satélites Landsat-8 e Sentinel-2 o qual apresentou uma concordância global de 76,23% entre as classes de uso mapeadas. A cobertura de remanescentes de vegetação nativa do miombo moçambicano apresentou um valor médio de 62,25% de sua área preservada.

Palavras-chave: Miombo; Análise de Concordância; Mapeamento; Antropização

Abstract

In Brazil, the Cerrado biome, the second largest in our territory, has a well-established agricultural occupation. In the African continent, another savanna area deserves attention, the Mozambican miombo, which although quite fragmented is in a lower state of anthropization compared to the Cerrado. The objective of this study was to map the Mozambique Use Cover and Land Cover (UCLC) using the Google Earth Engine (GEE) Platform, which proved to be an important tool for exploring a high data range. For Mozambique this mapping was performed using images from the Landsat-8 and Sentinel-2 satellites, which presented a global agreement of 76.23% among the classes of use mapped. The cover of remnants of native vegetation of the Mozambican miombo had an average value of 62.25% of its preserved area.

Keywords: Miombo; Concordance Analysis; Mapping; Anthropization

1 Introdução

No Brasil, e em vários outros países do mundo, as atividades antropogênicas exercem grande pressão sobre a ocupação dos biomas, dentre eles destacam-se as savanas e, em particular, o Cerrado. Segundo Ferreira (2013) atualmente, metade da área do bioma cerrado está ocupada por áreas de pastagens utilizadas para bovinocultura, áreas agrícolas para cultivos de grãos, principalmente soja e milho, além da implantação, mais recentemente, de áreas para cultivo de cana-de-açúcar, e também de áreas urbanizadas. Essas ocupações, principalmente da agropecuária são bastante consolidadas e ocupam vastas áreas do bioma.

Em outro continente, outra área chama a atenção por possuir um bioma similar ao Cerrado Brasileiro, a Savana Africana. A Savana de Moçambique, também chamada de Miombo, ocupa quase toda a totalidade do país e ainda se encontra relativamente pouco antropizada devido a baixa ocupação fora dos centros urbanos e pela baixa produtividade agrícola. Segundo Cunguara & Moder (2011) a baixa produtividade agrícola está relacionada a vários fatores, tais como a distribuição irregular das chuvas, o baixo uso de tecnologias melhoradas, precário estado das infraestruturas rodoviárias com a fraca ligação entre o sul e o norte do país, e poucos investimentos na agricultura.

Atualmente está em fase de implantação a ferrovia Moatize/Nacala, que irá transportar carvão extraído em Moatize para o porto em construção em Nacala, sendo construída o abrigo do projeto Corredor Logístico Integrado do Norte (CLN). Esse empreendimento vem sendo executado pelo grupo brasileiro Vale e a estatal Portos e Caminhos de Ferro de Moçambique, o qual aumentará o potencial da atividade agrícola e conseqüentemente a antropização da região.

O miombo moçambicano, por ainda se encontrar em um estágio de conservação menos degradado que o Cerrado brasileiro, apesar de uma ocupação bastante irregular e fragmentada, pode servir de base para a melhor compreensão da dinâmica de ocupação de savanas. Esse mapeamento pode ser realizado utilizando técnicas de sensoriamento remoto

por meio de imagens de satélite. Segundo Oliveira (2013) atualmente, vários estudos fazem uso do Sensoriamento Remoto, visto que as alterações ambientais provocadas pelas ações antrópicas, podem ser monitoradas permitindo, inclusive, a aplicação do princípio da prevenção, sendo este, imprescindível quando se trata de preservação dos recursos naturais.

Segundo Bolfe *et al.* (2013) Moçambique tem sido objeto de levantamentos e mapeamentos de seus recursos naturais por diversas instituições e organizações de pesquisa e desenvolvimento nacionais e internacionais como o Centro Nacional de Cartografia e Teledeteção - CENACARTA, Instituto Nacional de Meteorologia - INAM, o Instituto de Investigação Agronômica de Moçambique – IIAM.

Esses estudos, em sua grande maioria, foram conduzidos independentes e, por consequência, não consolidaram uma única base de dados geográficos para o País. Em 2011, coordenada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) foi desenvolvido o WebGIS Moçambique, organizando e disponibilizando essas bases de dados geoespaciais, mesmo que em variadas escalas e sem padronização cartográfica.

Recentemente surgiu uma plataforma que pode auxiliar o mapeamento em escala global com o objetivo principal de realizar análises de dados ambientais. Segundo Google Earth Engine (2018) a plataforma GEE fornece ferramentas e uma vasta capacidade computacional para o desenvolvimento de análises e exploração de uma elevada amplitude de dados. Com isso, esse estudo tem por objetivo gerar o mapa de uso e cobertura do solo de Moçambique utilizando diferentes sensores remotos por meio da Plataforma GEE, verificando o seu padrão de ocupação, assim como as vantagens e limitações da utilização da plataforma para mapeamento de áreas fragmentadas como as savanas, buscando assim, contribuir para a compreensão do seu processo de antropização.

2 Material e Métodos

Para realização do trabalho inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o histórico

da ocupação de Moçambique, em seguida a aquisição e processamento dos dados geográficos necessários (imagens de satélite) para a geração dos mapas de uso e cobertura do solo de Moçambique por meio do GEE, conforme apresentado no tópico 2.2.1.

2.1 Área de Estudo

Segundo ONU (2013) Moçambique é um país com 801.590 km² cuja densidade demográfica é de 25,6 hab./km², com o IDH de 0,416, localizado no sudeste do continente africano, banhado pelo Oceano Índico a leste e que faz fronteira com a Tanzânia ao norte; Malawi e Zâmbia a noroeste; Zimbabwe a oeste e Suazilândia e África do Sul a sudoeste conforme apresentado na Figura 1.

Nas últimas décadas, Moçambique sofreu uma série de transformações com a implantação de políticas macroeconômicas, que resultaram em mudanças importantes na economia, mesmo com um baixo investimento em agricultura, a mesma é responsável por mais de 25% do Produto Interno Bruto (PIB). Por

um longo período e políticas de colonização, a guerra civil (1976-1992) e as estratégias de crescimento econômico ditaram a trajetória do desenvolvimento agrário do país. Em Moçambique foram construídos dois polos de desenvolvimento, os portugueses alojaram-se na sua maioria na porção sul do território, tornando aquela região a mais urbanizada do país. As regiões centro e norte, que possuem maior potencial agrícola, permaneceram menos urbanizadas. O final da guerra civil que culminou com o acordo geral de paz em 1992, criou novas oportunidades para o crescimento econômico e a transformação do setor produtivo rural. (Cunguara *et al.*, 2013)

Segundo Batistella & Bolfe (2010) um marco importante na economia de Moçambique é a criação do Corredor de Nacala, o qual é considerado uma das maiores linhas ferroviárias de circulação de mercadorias da África Oriental e encontra-se no norte do país. Seu objetivo é a partir de 2018 conseguir exportar 18 milhões de toneladas de carvão por ano a custos mais baixos graças a um corredor de transporte mais eficiente.

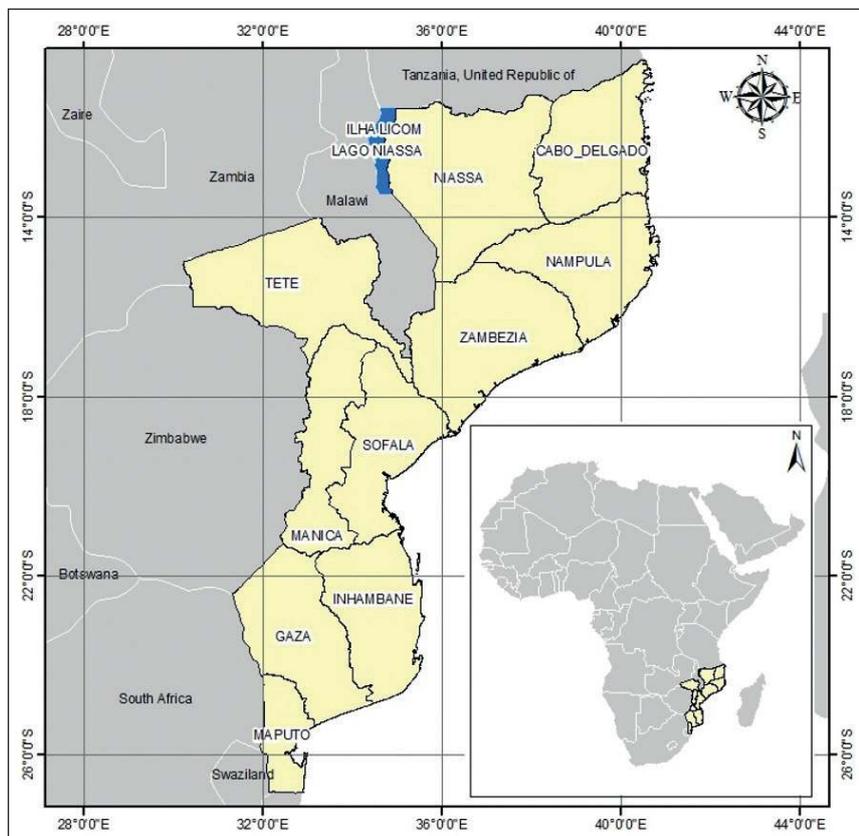


Figura 1
Localização de Moçambique.

2.2 Materiais e Métodos

2.2.1 Imagens de Satélite

Para o mapeamento do uso e cobertura do solo de Moçambique foram utilizadas imagens Landsat-8 e Sentinel-2.

O Landsat-8 (também chamado de *Landsat Data Continuity Mission*) é um satélite estadunidense de observação da terra. É o oitavo da série de satélites do Programa Landsat e o sétimo a alcançar com sucesso a órbita terrestre. O satélite foi construído pela *Orbital Sciences Corporation* e lançado em 02 de novembro de 2013 em uma altitude de 705 km e faixa imageada de 185 km. O Instrumento/Sensor OLI e TIRS possui Resolução Espacial de 30 metros no modo multiespectral e 15 metros no pancromático. Possui resolução temporal (taxa de revisita) de 16 dias e resolução espectral com 3 bandas no visível, 1 (uma) no infravermelho próximo, 2 (duas) no infravermelho médio e 1 (uma) pancromática.

Os Sentinel-2A e 2B formam uma missão imageadora multispectral do Programa GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*) conjuntamente administrada pela Comunidade Europeia e a ESA (*European Space Agency*), para observação da Terra, lançado em 23 de junho de 2015 em uma altitude de 786 km e faixa imageada de 290 km. Os

sensores S2A e S2B possuem Resolução Espacial de 10 metros (além de 20 e 60 variando por banda espectral) no modo multiespectral. Possui resolução temporal (taxa de revisita) de 5 dias e resolução espectral com 13 bandas no visível, infravermelho próximo e infravermelho curto.

2.2.2 Google Earth Engine

O Google Earth Engine (Figura 2) trata-se de uma plataforma utilizada em escala global com o objetivo principal de realizar análise de dados ambientais. Uma das grandes vantagens dessa plataforma é o fato de ela reunir mais de 40 anos de imagens globais de satélites.

Essa plataforma também fornece ferramentas e uma vasta capacidade computacional para o desenvolvimento de análises e exploração de uma elevada diversidade de dados. De acordo com o site da plataforma, a detecção de desmatamento, a classificação da cobertura da terra e suas alterações correspondentes, as estimativas de biomassa florestal e de carbono assim como o mapeamento de áreas sem estradas no mundo destacam-se como uma das principais aplicações atuais (GOOGLE EARTH ENGINE, 2018).

A ferramenta integra um conjunto de dados geoespaciais com cobertura global, a capacidade de

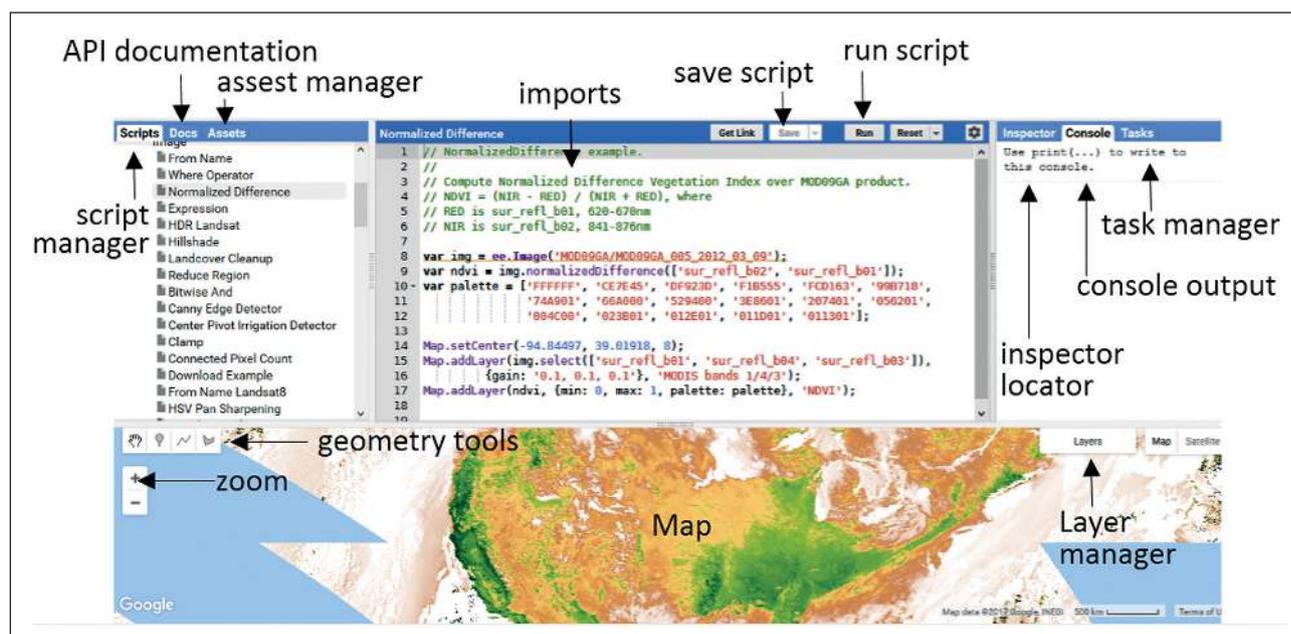


Figura 2 Interface do Google Earth Engine. Fonte: Google Earth Engine.

armazenamento e processamento altamente elevados correspondentes ao ambiente de computação da nuvem Google, e um ambiente de desenvolvimento integrado suportando a implementação de algoritmos de análise e processamento de dados geoespaciais nas linguagens *Java Script* e *Phyton* (Gorelick *et al.*, 2017).

2.3.1 Geração do Mosaico Temporal

O Mosaico Temporal permite obter um conjunto de cenas de imagens para um dado ano, no período definido, cobrindo a área selecionada para o processamento. Esse conjunto de cenas é processado com o objetivo de gerar um mosaico temporal com a menor cobertura de nuvens para a área de interesse das classes de cobertura do solo que serão mapeadas.

O período considerado para a geração do mosaico temporal foi de 01/01/2017 a 31/12/2017 para ambos os sensores e o percentual de nuvens considerado foi de 1%. Isso resultou num mosaico de alta qualidade em termos visuais, composto por um total de 71 cenas do satélite Landsat-8 e 127 do satélite Sentinel-2 (Figuras 3). Para obter o mosaico temporal (Figura 4), inicialmente removeu-se a borda da cena da imagens para suprimir eventuais ruídos. São considerados ruídos os pixels das cenas que não possuem dados em todas as bandas.

Conforme já citado, em relação ao uso da plataforma GEE, uma grande vantagem é a sua ampla capacidade de armazenamento e processamento de dados trabalhados, para compor os mosaicos cobrindo a área de estudo foram utilizados 17 GB e 223 GB (Gigabytes) para as cenas Landsat-8 e Sentinel-2,

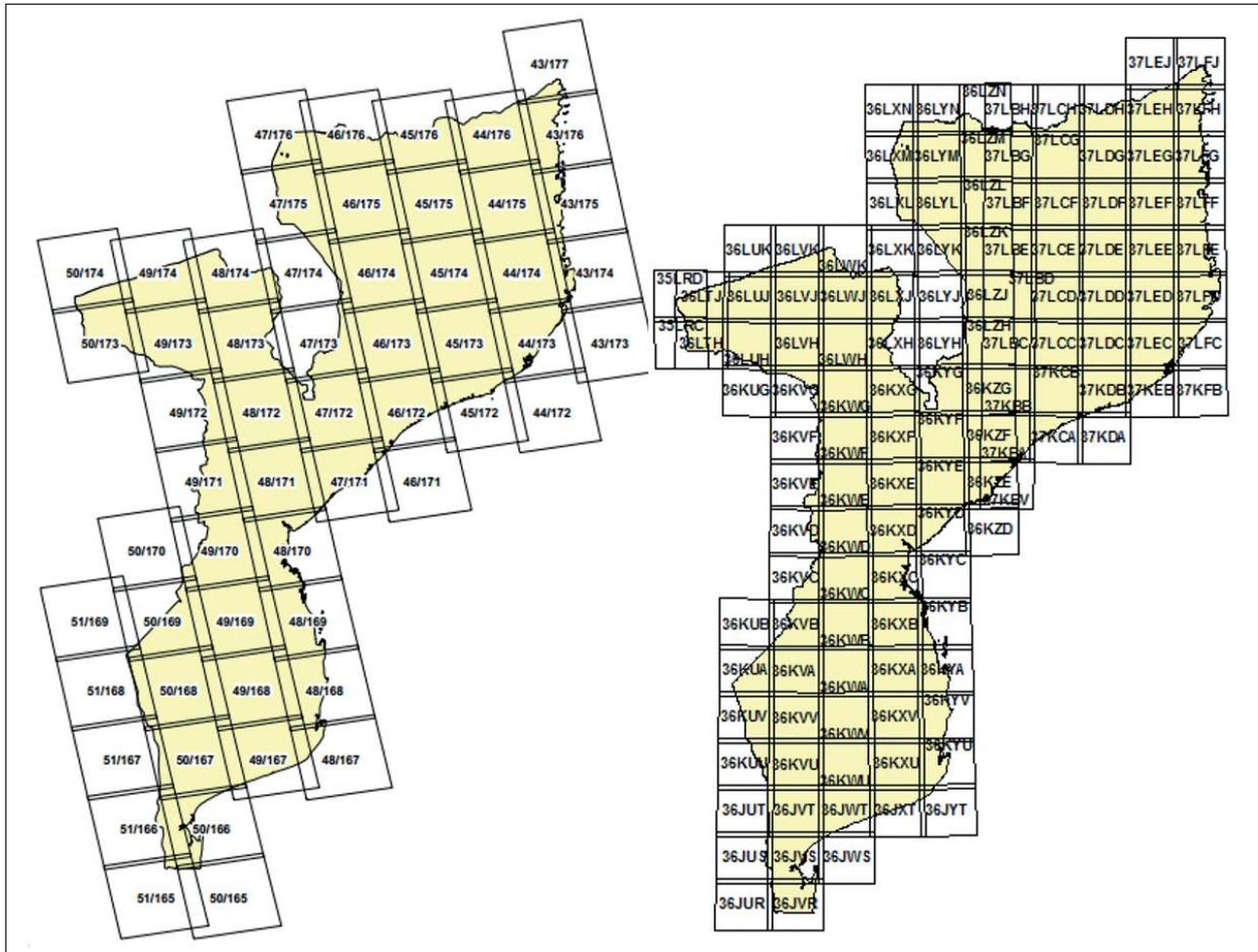


Figura 3 Cobrimento de cenas Landsat-8 e Sentinel-2 para o território de Moçambique, respectivamente

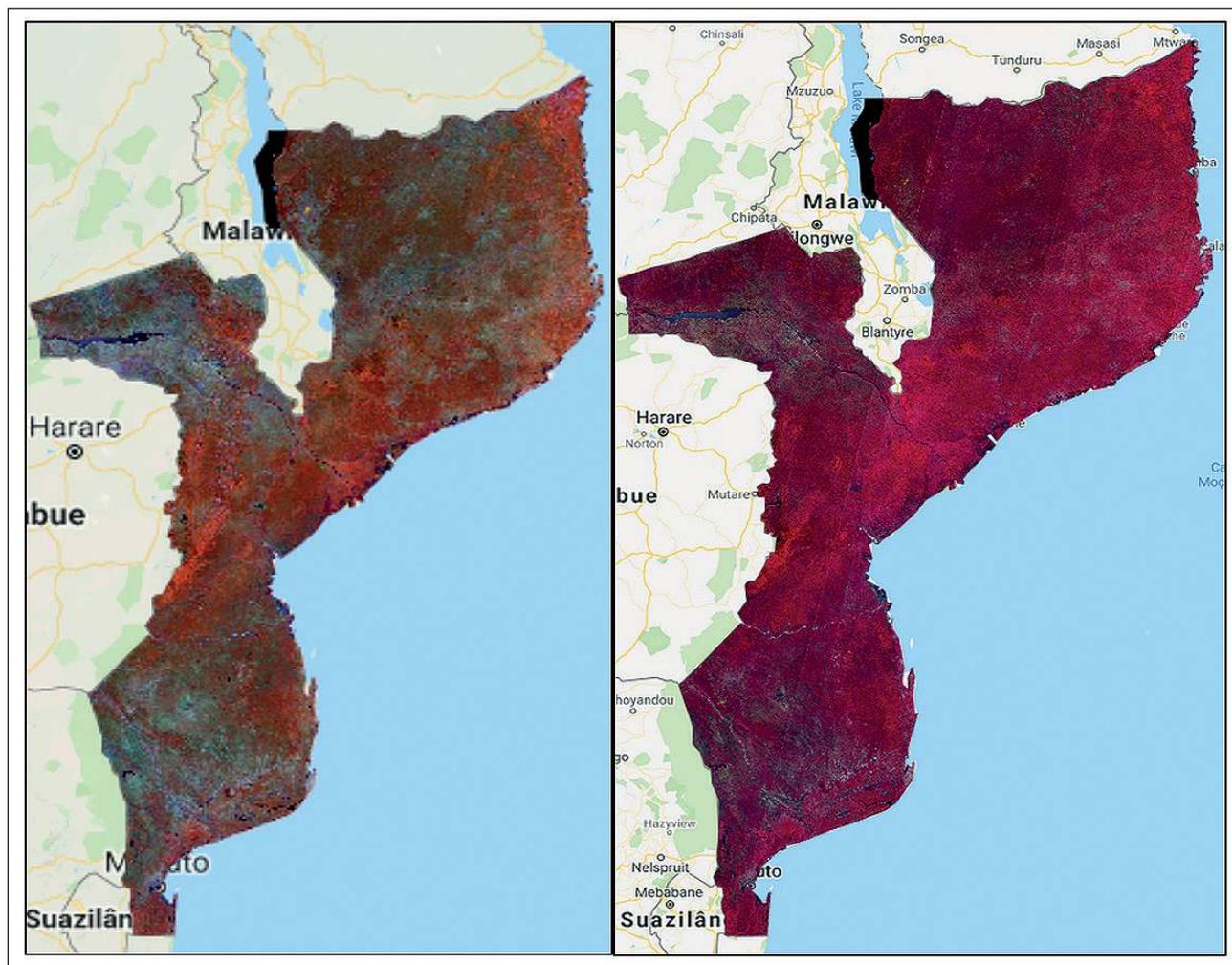


Figura 4 Mosaico Imagens Landsat-8 e Sentinel-2 de Moçambique, respectivamente.

respectivamente. Processamento esse, que em um *software* de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) se tornaria mais dispendioso em volume e capacidade processamento.

2.3.2 Coleta de Pontos de Apoio para Classificação

Para a confecção dos mapas de uso e cobertura do solo de Moçambique foram determinadas classes ocupação conforme apresentado na Tabela 1.

Após a determinação das classes, a etapa seguinte foi a de coleta de dados de treinamento para a realização da classificação, como esse estudo não contou com coleta de amostras “*in loco*” a alternativa encontrada foi a interpretação visual das imagens.

Classe	Descrição
Corpos d'Água	Incluem-se todas as classes de água, tais como: rios, riachos, lagos naturais e reservatórios artificiais, entre outros.
Remanescentes de Vegetação Nativa	Inclui Floresta Estacional Decidual e Semidecidual, Savana-Estéptica Florestada, Arborizada, Parque e Gramíneo-leñhosa. Baseado no Manual Técnico de Vegetação do IBGE (2012).
Agropecuária	Terra utilizada para a produção de alimentos, terras em descanso, lavouras temporárias, permanentes e pastagens plantadas.
Áreas Urbanas	Áreas edificadas de baixa, média ou alta densidade.

Tabela 1 Caracterização das classes de cobertura mapeadas.

Porém a alta fragmentação do miombo e a limitação da resolução espacial dos sensores utilizados nesse estudo (10 e 30 metros) dificultaram a coleta de amostras, conforme é apresentado na Figura 5.

Para auxiliar na coleta de dados de treinamento, foi utilizado como base de apoio para classificação o estudo “*Global Forest Change*” de Hansen *et al.* (2013), o qual mapeou as áreas de cobertura florestal de todo o globo, assim como suas perdas por desmatamento para diferentes anos, para esse estudo, considerou-se o ano de 2017. Esse mapeamento serviu de apoio para coleta de dados para a classe

de Remanescentes de Vegetação Nativa, conforme apresentado na Figura 6.

Segundo Hansen *et al.* (2013) os dados de treinamento relacionados às métricas do Landsat foram derivados de métodos de interpretação de imagem, incluindo o mapeamento das categorias copa / sem copa usando dados de alta resolução espacial (60 cm) do sensor *Quickbird* disponibilizados no *Google Earth*. O exercício de validação foi realizado independentemente do exercício de mapeamento. Áreas de perda e ganho florestal foram validadas usando uma amostra aleatória estratificada baseada



Figura 5 Comparação de áreas fragmentadas com imagem de alta resolução do Google Earth e Landsat-8 na região sul de Moçambique.

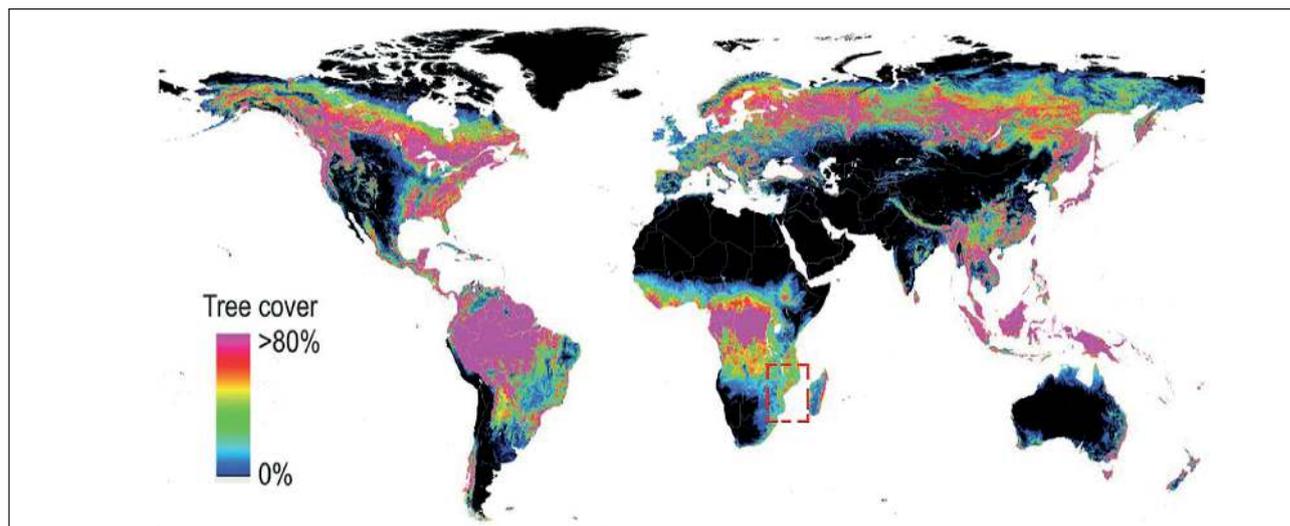


Figura 6 Mapeamento de cobertura vegetal global desenvolvido por Hansen *et al.* (2013).

em probabilidades de blocos de 120 m por bioma. Floresta boreal, floresta temperada, floresta tropical úmida e biomas florestais tropicais secos e outras terras constituíram os cinco estratos principais, e foram retirados do nosso estudo anterior sobre a perda de cobertura florestal global.

Com base nos dados do mapeamento de cobertura vegetal global, foram utilizados 150 pontos amostrais para a realização da classificação das *áreas de remanescentes de vegetação nativa*. A coleta de amostras das demais classes (*corpos d'água e agropecuária*) foram determinadas por interpretação visual. É importante ressaltar que a classe *agropecuária* envolve tanto cultivos agrícolas quanto áreas de produção pecuária, como pastagens, com isso, tendo como base uma abordagem bastante genérica e abrangente, considerando ainda a alta fragmentação da área de estudo. Quanto a delimitação das *áreas urbanas*, as mesmas foram realizadas por meio de vetorização com base em arquivos disponibilizados pelo WEBGIS Moçambique, o qual foi desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, totalizando 481 áreas.

3 Resultados e Discussões

Como resultado da classificação das imagens Landsat-8 e Sentinel-2, foram gerados os seus respectivos mapas de uso e cobertura do solo. Além dos mapas, foram calculadas o percentual de cobertura de classe, conforme apresentados na Tabela 2 e Figura 7.

Classe	Landsat-8 (30 m)	Sentinel-2 (10 m)
Remanescentes de Vegetação Nativa	57,1 %	67,4 %
Corpos D'água	1,9 %	1,7 %
Agropecuária	40,7 %	30,6 %
Áreas Urbanas	0,3 %	0,3 %

Tabela 2 Comparativo entre áreas classificadas dos sensores Landsat-8 e Sentinel-2.

Além da comparação entre os percentuais de ocupação entre as classes, foi calculada também a matriz de confusão e sua concordância global (Tabela 3). Nesse cálculo não foi considerada a classe *Áreas Urbanas* já que a mesma foi delimitada manualmente e corresponde a 0,3% da cobertura de todo o território moçambicano.

Segundo Lillesand *et al.* (2004) a matriz de erro, também denominada matriz de confusão ou tabela de contingência, compara basicamente, categoria por categoria, a relação entre os dados de referência conhecidos e os resultados correspondentes de uma classificação automatizada.

A partir da matriz de confusão pode desenvolver-se medidas estatísticas que concluem o processo de validação, entre estas, a exatidão global é a medida mais simples e relaciona os elementos da diagonal com o total de pontos amostrados, sendo dada pela fórmula:

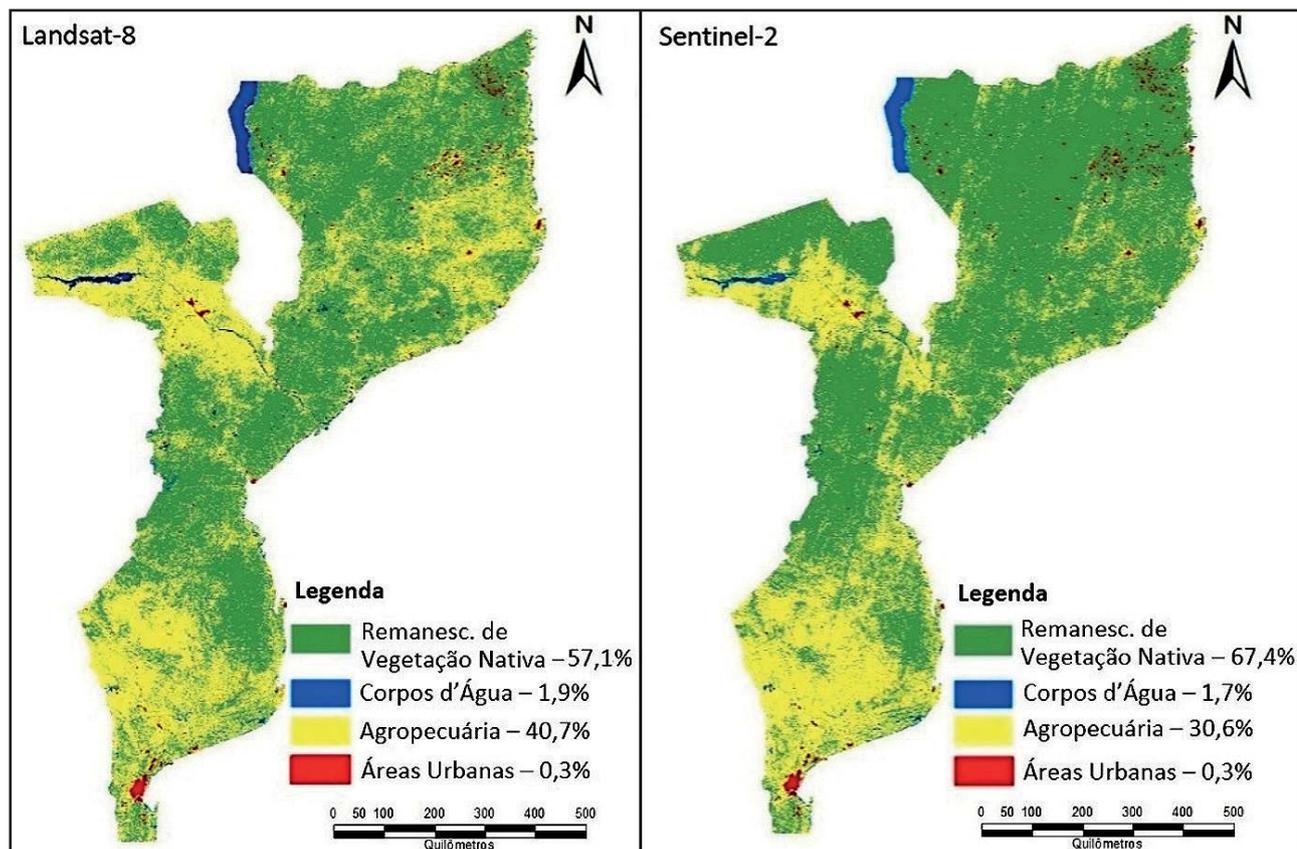


Figura 7 Mapa de uso e cobertura de solo de Moçambique em 2017 utilizando imagens Landsat-8 e Sentinel-2, respectivamente.

		Sentinel-2				
		Pixels	5560964120	144351436	2585691939	
		Classes	Remanescentes	Corpos D'água	Agropecuária	Acurácia
Landsat-8	4810890780	Remanescentes	4210316746	3510047	596824516	87,52%
	157934970	Corpos D'água	6855035	136217181	14622362	86,25%
	3323032227	Agropecuária	1343786161	4619022	1974238895	59,41%
		Acurácia	75,71%	94,36%	76,35%	F_m = 76,23%

Tabela 3 Matriz de Confusão e aplicação da Concordância Global.

$$F_m = \frac{\sum X_i \times 100}{N} \quad (1)$$

F_m = Concordância global

X_i = elementos na diagonal

N = total de elementos amostrados

Nesse estudo, por não terem sido utilizados dados considerados como verdade de campo, e sim

a comparação entre a concordância da classificação dos sensores Landsat-8 e Sentinel-2, não será utilizado o termo “exatidão global” e sim “concordância global”. A Tabela 3 apresenta a matriz de confusão e a concordância global entres os sensores, na qual a concordância global calculada pela matriz de confusão foi de 76,23%, com confusão maior na classe “Agropecuária”. Esse resultado esse justificado pela limitação da resolução espacial dos sensores, o grau de fragmentação do miombo, e a adoção da classe “Agropecuária” como abrangente e genérica, devido

a dificuldade em se diferenciar algumas fitofisionomias savânicas comumente encontradas (ex. campo limpo vs. Pastagens nativas / áreas cultivadas).

Outro fator a ser considerado é a geração do mosaico temporal. Em Moçambique o período entre os meses de maio e setembro geralmente tendem a contribuir para características mais secas na imagem, especialmente ao compor o mosaico temporal por meio do filtro de mediana, onde pixels de nuvens, que geralmente ocorrem em abundância na época chuvosa, acabam sendo substituídos pelos pixels com informações dos alvos compreendendo a estação seca, que costumam apresentar menor presença de nuvens. A criação desse mosaico temporal, o qual substitui os pixels contaminados por nuvens, gera também uma mistura da resposta espectral e conseqüentemente a divergência entre as áreas classificadas, principalmente de vegetações. Como a substituição desses pixel se dão em dois conjuntos de imagens diferentes, mesmo que na mesma janela temporal (01/01/2017 à 31/12/2017) a incidência de nuvens é bastante variável nesse intervalo, deixando assim o resultado dos mosaicos heterogêneos em ambos os sensores, no que se refere a data dos mesmos.

4 Conclusão

Os resultados obtidos com o mapeamento do uso e cobertura e solo de Moçambique utilizando imagens Landsat-8 e Sentinel-2 foram de 57,1% e 67,4% respectivamente, para a classe “Remanescentes de Vegetação Nativa”, o que apesar da variação, apresenta o cenário de preservação do miombo em um relativo estágio de antropização. Apesar das limitações apresentadas em relação a determinação da classe “Agropecuária”, a fragmentação do bioma, a heterogeneidade do mosaico temporal e ainda a resolução espacial das imagens utilizadas, esse estudo possibilitou avaliar o cenário do uso e cobertura do solo do território moçambicano para o ano de 2017 com uma concordância global de 76,23% entre os sensores utilizados.

Outro resultado a ser considerado é que o GEE possibilitou o processamento e análise de um grande volume de dados, os quais se processados em um

software de SIG desktop poderia até tornar-se inviável, se mostrando assim uma importante ferramenta para análise de dados ambientais devida a sua vasta capacidade computacional e exploração de uma elevada amplitude de dados. Se comparada com a Plataforma WEB GIS Moçambique, o mapeamento realizado pelo GEE pode ser considerado um avanço, pois o mesmo possibilita uma maior padronização e integração de diferentes dados oriundos de sensores distintos, além de uma constante atualização e disponibilização desses dados também em ambiente on-line.

5 Referências

- Batistella, M. & Bolfe, E. L. 2010. *Paralelos: Corredor de Nacala*. Campinas, SP, Embrapa Monitoramento por Satélite. 80 p.
- Bolfe, E.L.; Batistella, M.; Custódio, D. O.; Victória, D.C.; Silva, G.B.S. & Jalane, O.I. 2013. WebGIS Moçambique. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 16 Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013. *Resumos expandidos*, Foz do Iguaçu, INPE, p. 5955-5962.
- Brasil. 2012. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 275p.
- Cunguara, B.; Garrett, J.; Donovan, C. & Cássimo, C. 2013. *O Sector Agrário em Moçambique: Análise situacional, constrangimentos e oportunidades para o crescimento agrário*. Maputo, Moçambique. 86 p.
- Cunguara, B. & Moder, K. 2011. Is agricultural extension helping the poor? Evidence from rural Mozambique. *Journal of African Economies*, 1: 01-34.
- Ferreira, M.E.; Ferreira, L.G.; Miziara, F. & Soares-Filho, B.S. 2013. Modeling landscape dynamics in the central Brazilian savanna biome: future scenarios and perspectives for conservation. *Journal of Land Use Science*, 8: 403-421.
- Google Earth Engine. Introdução ao Google Earth Engine. 2018. Disponível em: <https://www.google.com/intl/pt-R/earth/outrreach/tutorials/eartheng_gettingstarted.html>. Acesso em: 10/07/2018.
- Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S; Thau, D. & Moore, R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202:18–27. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>. Acesso em: 08/05/2018.
- Hansen, M.C.; Potapov, P.V.; Moore, R.; Hancher, M.; Turubanova, S. A.; Tyukavina, A.; Thau, D.; Stehman, S.V.; Goetz, S.J.; Loveland, T.R.; Kommareddy, A.; Egorov, A.; Chini, L.; Justice, C.O. & Townshend, J.R.G. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342:850-853. Disponível em: <<http://science.sciencemag.org/content/342/6160/850.full>>. Acesso em: 19/10/2018.
- Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W. & Chipman, J.W. 2004. *Remote sensing and interpretation*. Madison: Wiley, 763 p.
- Oliveira, W. N. 2013. *Avaliação da qualidade ambiental da paisagem da bacia hidrográfica e do reservatório do Ribeirão João Leite*. Programa de Pós-graduação em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Dissertação de Mestrado, 172 p.
- Organização das Nações Unidas. 2013. *World Population Policies 2013*. Disponível em: <<http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/policy/WPP2013/wpp2013.pdf>>. Acesso em: 05/08/2018.