

Dinâmica espacial da ocupação do solo em regiões do Moçambique e Zâmbia

Sabil Damião; Mandala^a.

Denis Araujo Mariano^b

^a*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Caixa Postal 515 – 12245-970, São José dos Campos, SP, Brasil, contato: denis.m@dsr.inpe.br*

^b*Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Campus Rio Claro, Av. 24 A, 1515, 13506-900, Rio Claro, SP, Brasil; contato: sabildamiao@hotmail.com*

Abstract

The sub-Saharan Africa land use change has an intense dynamic. The region economy is based upon agriculture mainly on a subsistence basis. However, internal issues such as political disinterest and armed conflicts have been constrained the agricultural development of this region. In Mozambique the armed conflicts took a long time until its end on 1992 while in Zambia the peace were already stabilised. Those facts led to different degrees of agricultural development between these two countries. In this study, we assessed these differences by comparing the rate of agricultural expansion acreage and Miombo restoration. The physical environment were also analysed in order to find possible natural issues which could be a boundary for agricultural development. Based upon TM and OLI onboard of Landsat series satellites imagery, the analysis of land use change was performed encompassing the period between 1991 and 2013. An expansion of about 24 % percent were observed while Miombo regeneration was only 8,4 %. The expansion was about at the same rate in both countries, however, the regeneration in Mozambique was less intense (4,4 %) which lead us to conclude that this country is experiencing a true agricultural acreage expansion, locally more intensive close to the north boundary. The Landsat imagery analysis was satisfactory to characterize the area changes in the region, even for detecting burned areas and burn scars, however, these last could not be computed due to the extreme dynamic occurrence of these phenomena.

Keywords: Miombo; deforestation; remote sensing; agriculture;

1. Introdução

A África austral concentra um grupo de países que estão entre os mais pobres do planeta. Dentre os biomas que compõem a região, o mais povoado é o Miombo. Trata-se de uma vegetação savânica, onde aproximadamente 40 milhões de pessoas vivem e de onde extraem vários produtos primordiais à sua sobrevivência, tais como lenha, madeira, frutos e animais.

As principais atividades econômicas exercidas são a agricultura, pecuária e mineração. A dinâmica populacional e situação política têm forte influência no modo como estas atividades são realizadas e desenvolvidas. Devido a razões ambientais, sociais e econômicas, o Miombo experimenta processos de constante transformação. As principais motivações para esta dinâmica espacial são a prática da agricultura itinerante e, ultimamente, o aporte de investimentos estrangeiros com vista a explorar os recursos naturais da região, tanto via agricultura quanto por mineração (SEDANO *et al.*, 2005).

No contexto político, várias nações africanas tornaram-se independentes somente após a metade do século passado, incluem-se aí Moçambique e Zâmbia. No entanto, mesmo após independentes, alguns países permaneceram em guerra civil, o que notadamente impactara em suas dinâmicas econômicas, prolongando este recesso de desenvolvimento até os dias de hoje. No caso de Moçambique, sua independência se deu em 1975, através de luta armada, porém, até o ano de 1992 o país permaneceu em guerra civil (Guerra de Desestabilização), enquanto a Zâmbia não enfrentou tantos problemas em tempos recentes, o que possibilitou um melhor desenvolvimento agrícola.

Considerando os fatos citados, o presente trabalho tem como objetivo, por meio de imagens de sensores a bordo de satélites da série Landsat (5 e 8), mapear a evolução da ocupação da região sul da Zâmbia e norte do Moçambique entre os períodos de 1991 e 2013. Os objetivos específicos consistem em: *i*) por meio de levantamento de dados, avaliar o ambiente físico agrícola; *ii*) verificar as diferenças no modo de ocupação das áreas, e elaborar conjecturas que expliquem a disparidade entre os dois países analisados.

2. Materiais

1.1. Área de estudo

A área de estudo situa-se nos planaltos de Marávia e Angônia, ao norte do Rio Zambeze. Compreende o sudeste da Zâmbia e noroeste do Moçambique, como pode ser observado na Figura 1. A região totaliza 22.123 km², porém, as áreas de ocorrência de morros foram descartadas da análise, sendo o novo total 17.692 km². O bioma predominante é um tipo de savana chamada Miombo, o qual é uma formação florestal caracterizada pela presença dominante de espécies da família Casealpinaceae, tais como *Brachystegia*, *Julbernandia* e *Isoberlinia*. As variações naturais e antrópicas no Miombo resultam em florestas abertas, gramíneas de diversos portes e árvores esparsas. (MALAISSE,1978).

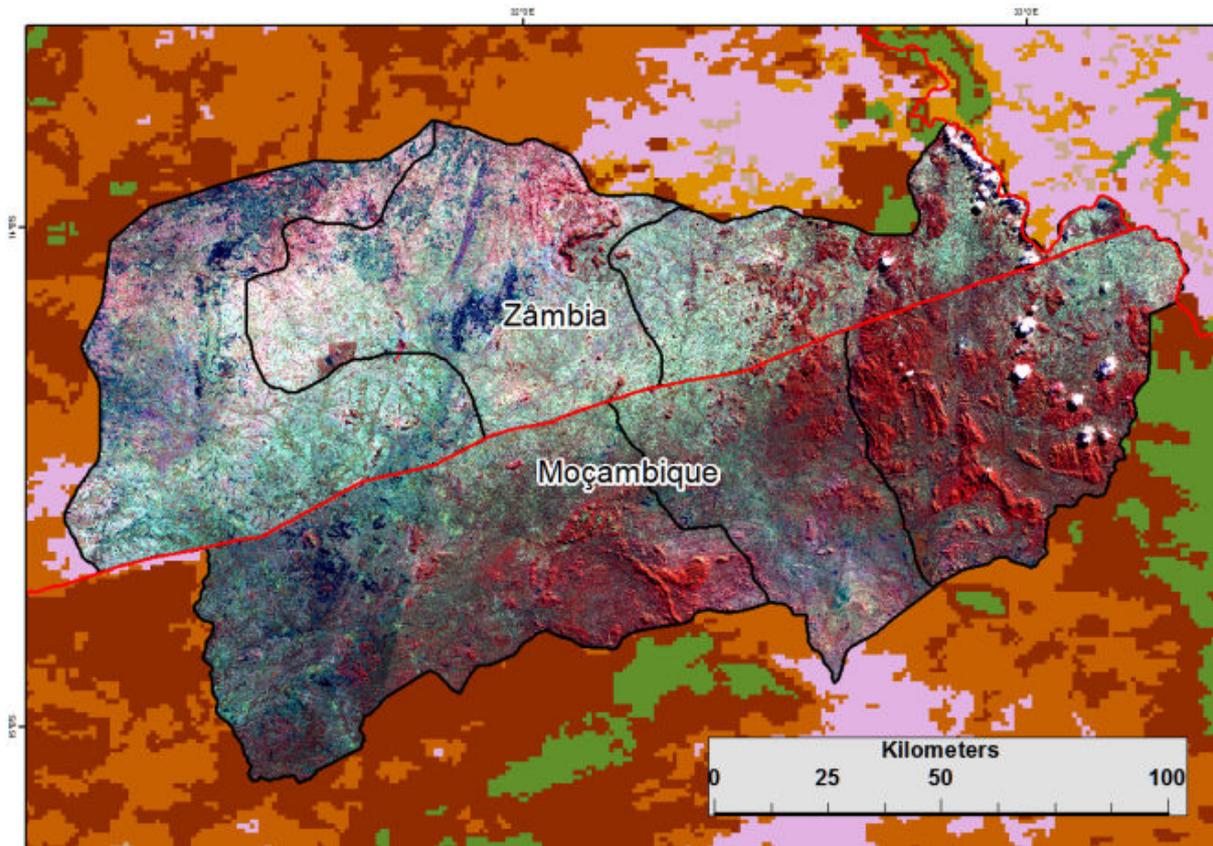


Figura - Localização da área de estudo. A imagem apresentada é uma composição RGB 465 do sensor OLI (Julho de 2013) sobre o produto LandCover 2000.

Na área estudada distinguem-se dois principais tipos de clima: o tropical modificado pela altitude e o tropical úmido (ao longo do vale do Rio Zambeze). O clima modificado pela

altitude é caracterizado por bons níveis de precipitação de Outubro a Abril, variando de 800 a 1.800 mm, com média de 1.300 mm e risco moderado (31 a 45 %) de seca para agricultura de sequeiro. Os principais cultivos são o milho, algodão, mandioca, banana, cítricos, cana-de-açúcar, sorgo, mapira, mexoeira e amendoim (GOVATE, 2004).

De acordo com Muchangos (1999), o clima da região é influenciado pela corrente quente do Canal de Moçambique e pelos ventos marítimos do leste. O balanceamento anual deste sistema planetário de centros de baixas pressões e de ventos marítimos de quadrante leste, ora para o norte, ora para o sul, acompanhando o movimento anual aparente do sol, provoca um regime climático com duas estações distintas, as quais são descritas a seguir:

i) Estação quente e úmida: compreende os meses de Outubro a Março. Os valores mais elevados da precipitação e de temperatura registram-se nos meses de Janeiro e Fevereiro (24° a 25° C). As somas anuais de pluviosidade oscilam entre 1000 e 1600 mm. Neste período são registrados os valores mais elevados de precipitação, que correspondendo a cerca de 84% total anual. Este é também o período que a temperatura, umidade e evapotranspiração atingem seus valores máximos. Nestas condições, o balanço hídrico é positivo e corresponde ao período vegetativo mais intenso do ano.

ii) Estação seca e fresca: vai de Abril a Setembro. Esta estação coincide com o mês mais frio do ano (Julho com média de 20°C e também o mês menos chuvoso (Agosto).

1.2. Características da agricultura da região

Os processos de cultivo e o grau de desenvolvimento são muito variados em toda a região estudada. As áreas média agricultada por família varia desde 1,1 ha a 4 ha. De uma maneira geral, nota-se que todas as técnicas utilizadas são rudimentares, sendo incomum o emprego de técnicas e utensílios que possam diminuir o esforço e aumentar a produtividade. A atividade agrícola praticada é exercida por mão de obra familiar, geralmente desprovida de tratores ou quaisquer, recorrendo às vezes à tração animal. Neste tipo de agricultura, as culturas são mistas e cada família possui campos dispersos ao redor da aldeia (GOVATE, 2004).

1.3. Planos de informação utilizados

Por uma questão logística não se pôde visitar a área estudada, portanto, o máximo de dados possível teve de ser levantado, de modo a criar uma base sólida para análises. Dois mapeamentos sistemáticos do uso e ocupação do solo foram realizados compreendendo o continente africano. Um destes é o projeto *Global Land Cover* (GLC) (BARTHOLOMÉ *et al.*, 2003), realizado em 2000/2001 pela União Européia e elaborado principalmente a partir da análise de imagens do sensor *Vegetation* do satélite SPOT. Outro mapeamento é o projeto GlobCover, realizado pela *European Space Agency* (ESA), sendo utilizado para o presente trabalho a versão do ano de 2009. Os mapas gerados por estes projetos foram tomados como ponto de partida para o reconhecimento de padrões típicos da região de estudo. No entanto, outros planos de informação foram utilizados, como descritos a seguir:

- Modelo digital de elevação (MDE), produto ASTER GDEM v2, com resolução espacial de 30 x 30 m² por pixel;
- Mapa de biomassa sobre o solo (*Aboveground biomass*) elaborado a partir do projeto SAFARI 2000 (LOBERT *et al.*, 2004);
- Série temporal de médias mensais de umidade do solo apresentadas pelo produto *Essential Climate Variable Soil Moisture* (DORIGO *et al.*, 2011);
- Série temporal do produto eMODIS NDVI, que consiste das médias de cinco dias para dez anos de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), obtido a partir do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo dos satélites Terra e Aqua;
- Imagens obtidas pelos sensores *Thematic Mapper* (TM) do Landsat-5 e *Operational Land Imager* (OLI) do Landsat-8 para as órbitas/ponto 169/70 e 170/70, nas datas de Julho de 2013 e Julho de 1991, todas as imagens com resolução espacial de 30 x 30 m e já georreferenciadas, disponíveis na base de dados do *United States Geological Survey* (USGS).

3. Métodos

3.1. Análise da umidade do solo

A análise primária da aptidão agrícola da região se deu pela umidade do solo. O produto *ECV Soil Moisture* disponibilizado pela *European Space Agency* (ESA) fornece as estimativas mensais para o teor de umidade do solo (em m³/m³) para grande parte do globo terrestre,

disponibilizando dados desde 1978 até os dias atuais. Como este produto incorpora uma ampla gama de variáveis edafoclimáticas, foi tomado como ponto de partida para o estudo. O *ECV Soil Moisture* fornece a informação espacializada, compreendendo médias mensais de umidade do solo para uma série de 36 anos.

3.2. Análise de relevo

A região é composta por partes dos planaltos de Marávia e Angônia. Na área estudada, as altitudes variam de 460 m a 1650 m, com declividades predominantemente abaixo de 7%. As regiões de maior declividade (em amarelo) (Figura 3-a) estão em grande parte cobertas por vegetação nativa. Numa rápida análise das imagens do sensor OLI e TM (2013 e 1991), sendo evidente a manutenção da integridade da cobertura vegetal nativa nas áreas de declividade acentuada. Foi criada uma máscara para excluir tais áreas declivosas (4431 km²) da análise, restando assim 17692 km².

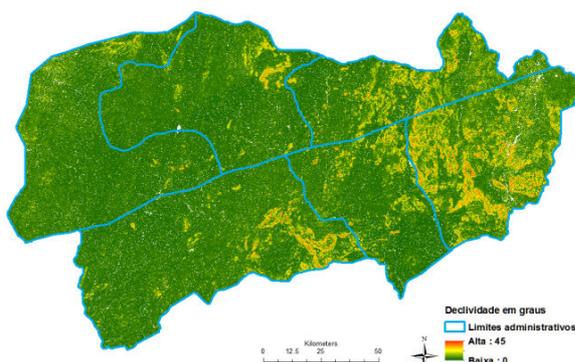


Figura - a) declividade em graus; b) biomassa nativa em 2000 (em toneladas/hectare) (Fonte: SAFARI 2000).

3.3. Análise multitemporal de alvos

Ainda no âmbito de se entender o comportamento dos alvos típicos da região em estudo, foram coletados pontos referentes a diferentes classes de cobertura do solo obtidos a partir do mapeamento fornecido pelos produtos LandCover-2000 e GlobCover 2009. Procurou-se entender o comportamento do NDVI ao longo de 10 anos, por meio de uma série temporal de imagens dos sensores MODIS dos satélites Terra e Aqua. Foram escolhidos alvos cujas classes coincidiram em ambos os mapeamentos (2000 e 2009). Assim, foi possível entender o comportamento do NDVI ao longo da série para cada tipo de alvo, sendo eles: Miombo denso,

Miombo esparsos e solo nu/agricultura. A série temporal corresponde às médias de NDVI dos mesmos cinco dias para 10 anos, ou seja, são seis imagens por conjunto de meses (e.g. 6 imagens correspondente aos meses de Janeiro e assim por diante), totalizando 72 imagens.

3.4. Mapeamento de mudança do uso do solo

Por motivos de pouca cobertura por nuvens e razoável diferença vegetativa entre as classes analisadas, foram utilizadas para o mapeamento imagens de Julho dos anos 1991 e 2013, obtidas a partir do sensor TM do Landsat 5 e OLI do Landsat 8, respectivamente.

Os seguintes procedimentos foram realizados: *a)* mosaicagem das cenas 169/70 e 170/70 de Julho para cada ano; *b)* recorte da área de interesse inicial; *c)* composição de bandas RGB-453 para o TM e RGB-564 para a imagem OLI; *d)* aquisição de polígonos de amostragem para as classes miombo, queimada, cicatriz de queimada e solo exposto; *e)* aplicação do algoritmo Máxima Verossimilhança (MaxVer) para cada data utilizando a máscara de exclusão de áreas de topografia acidentada; *f)* análise de mudanças (*Change Detection Statistics & Map*) entre as datas.

4. Resultados e discussão

4.1. Análise física do ambiente agrícola

Após a análise dos parâmetros físicos do ambiente verificou-se que de fato as ações antrópicas se concentram ao longo da planície, na forma de agricultura, por motivo da viabilidade da atividade na região. As taxas de umidade no solo ao longo do ano, regime de chuvas, a baixa declividade, estações bem definidas e ampla rede de drenagem são fatores que impactam positivamente na aptidão agrícola da área. A região, de modo geral, apresenta boa disponibilidade hídrica, como demonstrada na Figura 3 para as séries de dois pontos de ocorrência de agricultura dentro da área de estudo, sendo um na Zâmbia e outro no Moçambique. Note o comportamento muito semelhante entre ambos. Foi verificado que o mesmo ocorre ao longo de praticamente toda a região estudada.

A existência de áreas agrícolas cobrindo quase a totalidade da região analisada correspondente à Zâmbia, ao longo do período analisado (1991 a 2013) e em condições edafoclimáticas muito semelhantes às do Moçambique, é outra evidência da boa aptidão

agrícola da região. As diferenças entre a ocupação para os dois países serão discutidas mais adiante.

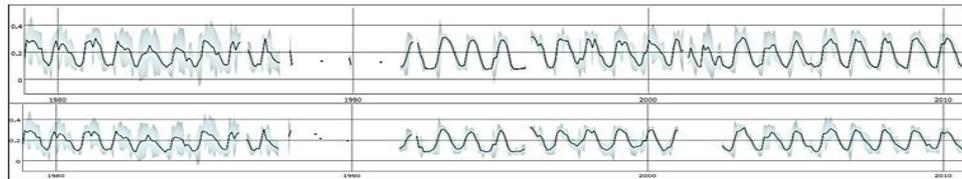


Figura - Séries temporais de 32 anos de umidade do solo em m^3/m^3 para uma área agrícola na Zâmbia (série de cima) e outra no Moçambique (série de baixo), IDs 435724 e 432847, respectivamente. Dados gerados pelo produto *ECV Soil Moisture*. Acessado em Julho de 2013, <http://www.ipf.tuwien.ac.at/radar/dv_new/ipfdv/index.php?dataviewer=wacmos>

4.2. Análise temporal do NDVI dos alvos

A análise temporal do NDVI para os diferentes alvos permitiu caracterizar, para cada um, as épocas de maior acúmulo de biomassa e assim distingui-los. Verifica-se pela Figura 4, que no período compreendido entre o 1° e o 100° dia do ano (DDA) ocorrem as maiores diferenças entre as classes solo-agrícola e Miombo esparsa, que são classes que podem ser confundidas quando analisadas via imagens de sensoriamento remoto. No entanto, esta época é também a qual se concentra boa parte da precipitação anual e portanto, a cobertura por nuvens dificulta o uso de imagens TM e OLI, optando-se então pelas imagens de Julho.

Também é possível notar a grande diferença de magnitude do NDVI quando a agricultura/solo nu são comparados aos alvos de vegetação nativa, o que evidencia o quão descontínua são as áreas agrícolas, de tal forma que raramente ocupam densamente um pixel do produto NDVI do MODIS (500 x 500 m). A resposta do solo é mais evidente que a da agricultura.

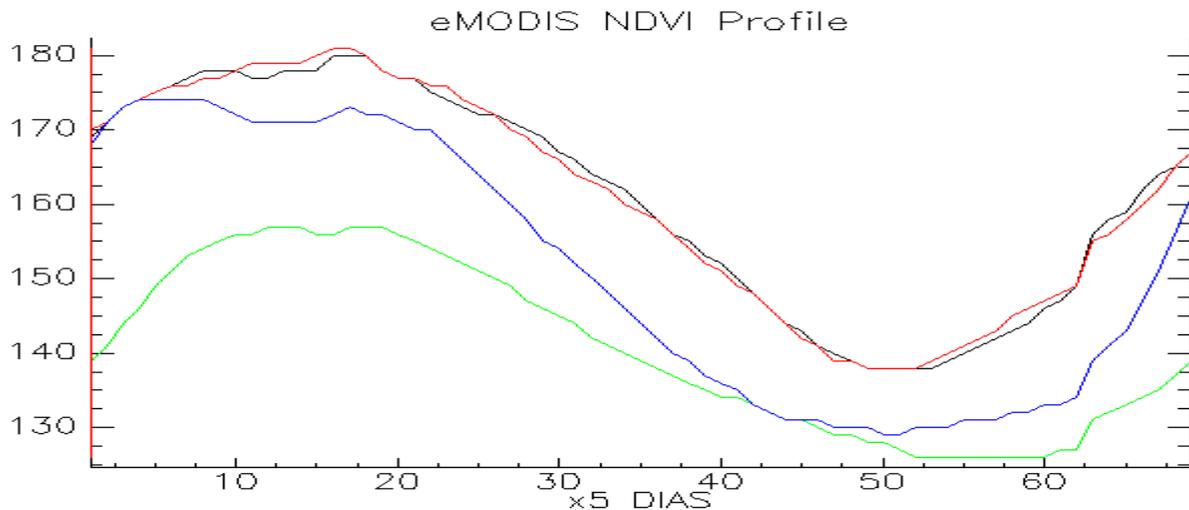


Figura - comportamento temporal dos alvos para o produto eMODIS NDVI (não corrigido). Em vermelho e preto - Miombo denso; em azul - Miombo espesso; em verde - solo nu/agricultura.

4.3. Mapeamento da área de estudo

Após a efetivação das classificações automáticas, foram computadas as mudanças entre classes para o período de 1991 a 2013. Os resultados desta primeira análise encontram-se resumidos na Figura 5.

Figura - Detecção de mudanças entre 1991 e 2013. Os índices *i* e *f* correspondem a *inicial* (1991) e *final* (2013), respectivamente. As classes são: *cQ* - cicatriz de queimada, *Qu* - queimada, *SA* - solo/agricultura e *M* - Miombo. As linhas vermelhas separam: mudanças ocorridas, totais iniciais (1991) e situação final (2013).

Ao analisar a Figura 5, é possível notar que houve um decréscimo de aproximadamente 1.440 km² de *cQ*, aumento de cerca de 895 km² de *Qu* e decréscimo aproximado de 647 km² de *SA*. No entanto, estes números não condizem com o que de fato ocorreu. Há uma grande dificuldade em diferenciar *cQ* de *SA*, o que leva a interpretações erradas. Também ocorre a situação de confusão entre Miombo espesso com *cQ* e *SA*. A Figura 6 exemplifica a situação ocorrida numa imagem obtida pelo OLI.

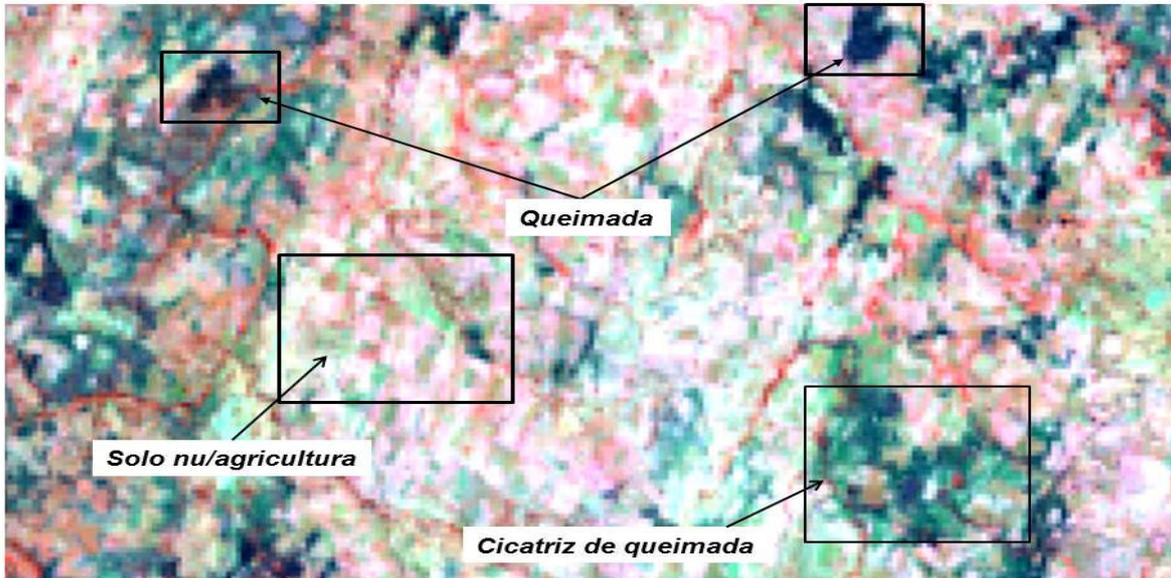


Figura - Exemplo de mosaico de classes.

É nítida a irregularidade das formas e a existência de um contínuo entre solo nu e cicatriz de queimada, tornando difícil a diferenciação dos mesmos. Aqui reside a dificuldade em se aplicar técnicas de sensoriamento remoto para classificar estas áreas. A existência de queimadas nesta zona tem várias motivações, descritas a seguir:

i) caça - durante o período de pouca atividade agrícola que vai deste mês de maio a setembro/outubro, a população concentra-se na caça de animais. Uma das técnicas consiste em atear fogo em áreas de Miombo esparsas de modo a encurralar os animais. As aldeias ao redor se organizam para o dia da caça e seus habitantes capturam os animais encurralados. Este tipo de queimada contribui com uma parte das cicatrizes apresentadas nos mapas.

ii) limpeza de campos - durante os meses secos, normalmente, junho a outubro os camponeses preparam os campos para a nova época agrícola. Para tal, queimam todo o campo ou cortam-se as herbáceas, amontoam-nas e queimam.

iii) queimadas descontroladas - ocorrem em decorrência de descuidos de caçadores e alta combustividade da vegetação seca. Pode ocorrer por ocasião da mudança de direção do vento durante as queimadas programadas (*i* e *ii*).

Como relatado, os fenômenos relacionados às queimadas são em geral, de natureza antrópica. Para melhor caracterizar a dinâmica espacial agrícola da região, as classes *queimada* e *cicatriz de queimada* foram incorporadas à classe *solo nu/agricultura*. Foram então realizadas novas classificações e computadas as mudanças, resumidas na Figura 7.

Figura - análise de mudanças entre as classes de solo nu/agricultura e Miombo.

A ocorrência de regeneração do Miombo (1.489,4 km²) é decorrente da prática de agricultura itinerante, que é um sistema de cultivo tradicional, adotado historicamente nos ecossistemas de florestas tropicais. Os camponeses eliminam a floresta (corte ou queima) e preparam a área para cultivos de subsistência. Após 3 ou 4 anos, a área é abandonada por apresentar decréscimo na fertilidade, uma vez que a adubação é inexistente. Muitas vezes, nos terrenos abandonados estabelece-se a floresta secundária, podendo esse terreno voltar a ser utilizado para o cultivo após dez a vinte anos.

Este tipo de agricultura envolve o deslocamento da população para os locais de cultivo, sendo nas suas formas mais tradicionais e culturais, um modo de agricultura ecologicamente viável e economicamente racional, desde que as densidades populacionais sejam baixas e os períodos de pousio suficientemente longos para manter a fertilidade dos solos. Este tipo de agricultura é, na sua essência, uma forma de exploração da terra com rotações de longo prazo, sendo a floresta secundária um dos elementos da rotação. Na perspectiva da intensidade de uso da terra, os sistemas de agricultura itinerante são bastante influenciados pela densidade populacional. O cultivo contínuo marca o fim da agricultura itinerante. A densidade populacional é a força motriz na transformação da agricultura itinerante em formas de agricultura permanente.

4.4. Análise regional

Para caracterizar as diferenças entre o avanço da agricultura entre os dois países foi feita a quantificação dos processos de expansão agrícola e regeneração de Miombos para cada região. A Figura 8 apresenta os locais de ocorrência destes fenômenos e na Tabela 1 estão contidos os resultados.

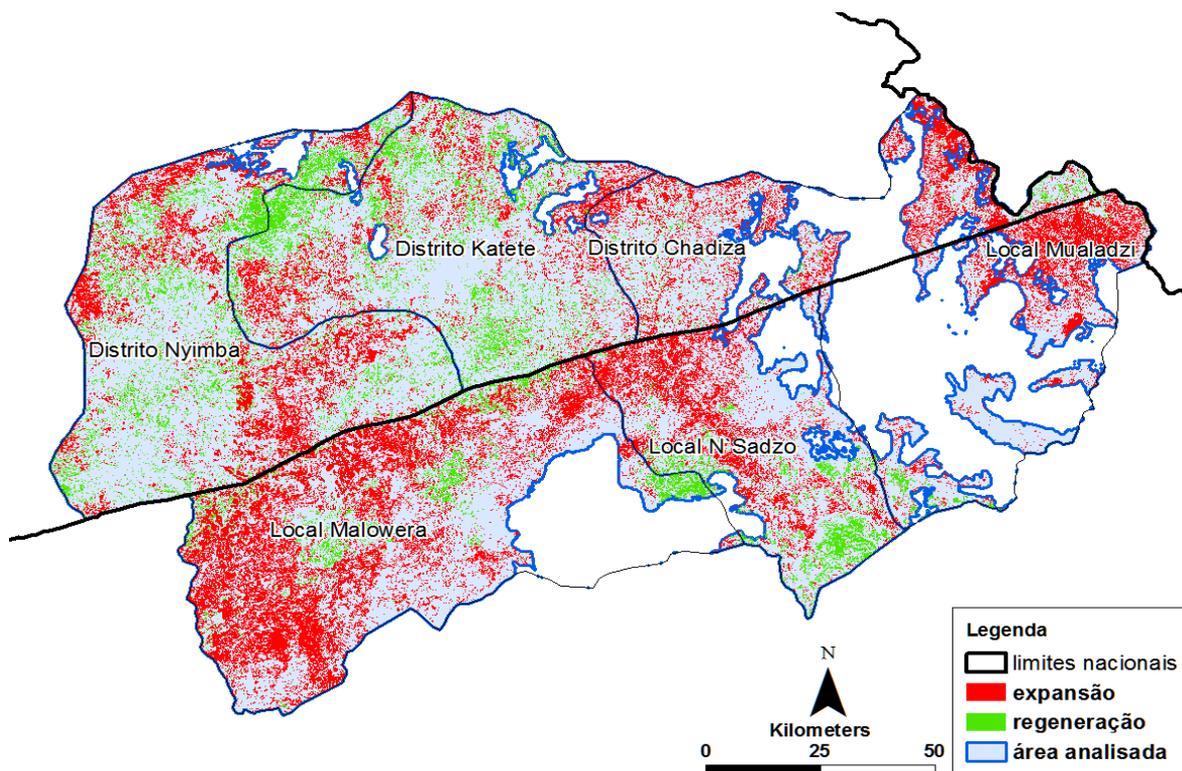


Figura - Expansão agrícola e regeneração de Miombos.

Foi verificada uma expansão de áreas agrícolas percentualmente muito próxima entre os dois países, sendo de 23,6 % na Zâmbia (1.857,8 km²) e 25,3 % no Moçambique (2484,6 km²). Em relação à regeneração de Miombos, o Moçambique teve uma taxa menor (4,4 %), o que indica uma expansão agrícola com pouca itinerância. A localidade de Malowera, localizada a noroeste da província de Tete (Moçambique), foi onde verificou-se a expansão agrícola mais intensa (79,8 %), também apresentou a maior taxa de regeneração do Moçambique (11,9 %).

É possível notar pela Figura 8 que a região imediatamente ao sul da fronteira entre os dois países foi onde se concentrou a maior parte da expansão agrícola. No Moçambique, com o fim dos conflitos armados, a população pôde enfim, tentar se estabelecer nas regiões até então abandonadas, praticando agricultura, ainda que rudimentar. Na Zâmbia, esta estabilização já estava concretizada em décadas anteriores ao período estudado, o que justifica um menor ritmo de expansão agrícola.

Tabela - Resumo da expansão agrícola e regeneração de Miombos por região.

Região	Área	Expansão	Regeneraç
--------	------	----------	-----------

		km ²	km ²	%	km ²	%
Zâmbia	Distrito de Chadiza	1.404,1	523.6	37.3	64.9	4.6
	Distrito de Katete	2.226,9	544.8	24.5	483.3	21.7
	Distrito de Nyimba	4.230,1	789.4	18.7	510.9	12.1
Total		7.861.1	1.857.8	23.6	1.059.1	13.5
Moçambique	Localidade de	1.857.6	1.482.0	79.8	221.7	11.9
	Localidade de	3.647.8	416.7	11.4	29.6	0.8
	Localidade de N'Sadzo	4.325.6	586.0	13.5	178.9	4.1
Total		9.831,0	2.484.6	25.3	430.3	4.4
Total geral		17.692.1	4.342.4	24.5	1.489.4	8.4

5. Conclusões

Através da análise temporal da umidade do solo, foi verificado que a região de modo geral oferece condições para a agricultura de sequeiro, embora o risco de seca exista. As variáveis topográficas não são limitantes para a atividade na região. Em suma, a disparidade inicial entre graus de ocupação ao norte e sul da fronteira não tem relação com as variáveis edafoclimáticas, que são homogêneas para toda a área.

Os processos de expansão das áreas agrícolas e regeneração natural de áreas desmatadas foram muito intensos e dinâmicos na região, considerando o período de 23 anos analisados. Estes fenômenos ocorrem de forma desorganizada e com padrões bastante heterogêneos, o que dificulta o mapeamento, pois um mosaico de paisagens é formado, sendo aí incluídos Miombo denso, Miombo esparso, solo nu, queimadas, cicatriz de queimadas e áreas em regeneração.

Outra dificuldade encontrada é a extrema irregularidade de formatos de talhões agrícolas, a grande heterogeneidade de culturas, o que inviabiliza um mapeamento mais preciso. De modo a superar as dificuldades em diferenciar estas classes por meio de análise visual de imagens de satélites uma generalização foi necessária, separando os alvos em apenas duas classes: uma decorrente de ações antrópicas (solo nu/agricultura) e outra de vegetação nativa (Miombo). Desta forma foi possível caracterizar os processos de expansão e regeneração na região sul da Zâmbia e norte do Moçambique.

Durante o período considerado, foi verificado que os processos de desmatamento foram mais intensos no Moçambique, principalmente nas proximidades entre as fronteiras entre os dois países. A intensidade se deve ao fim dos conflitos armados, o que possibilitou o estabelecimento da população nas áreas de potencial cultivo. A localização desta expansão é reflexo do potencial produtivo já verificado ao norte da fronteira. Notadamente, a expansão se dá em ritmo muito maior que o de regeneração de Miombos.

Referências bibliográficas

BARTHOLOMÉ, E., BELWARD, A.S., ACHARD, F., BARTALEV, S., CARMONA-MORENO, C., EVA, H., FRITZ, S., GREGOIRE, J-M., MAYAUX, P., STIBIG, H-J.; **GLC 2000: Global Land Cover mapping for the year 2000**, EUR 20524 EN, European Commission, Luxembourg, 2002.

DORIGO, W. A., WAGNER, W., HOHENSINN, R., HAHN, S., PAULIK, C., XAVER, A., GRUBER, A. The International Soil Moisture Network: a data hosting facility for global in situ soil moisture measurements. **Hydrology and Earth System Sciences** 15, no.5 , 2011.

GOVATE, H. L. **Efeitos da produção do sistema de produção e na redução da pobreza em Angónia**. Maputo, FAEF/UEM, 2004. 75 p.

LOBERT, J.M., KEENE, W.C., CRUTZEN, P.J. **SAFARI 2000 Biomass Burning Emissions, Selected Sites, Dry Season 2000**. Data set. Available on-line [<http://daac.ornl.gov/>] from Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A., 2004.

MALAISSE, F. The Miombo ecosystem. **Tropical Forest ecosystems** (pp. 589-606). Paris: Unesco/UNEP/FAO, 1978.

MUCHANGOS, A. **Moçambique: Paisagens e regiões naturais**. Maputo, 1999.163 p.

SEDANO, F., GONG, P., FERRÃO, M. Land cover assessment with MODIS imagery in southern African Miombo ecosystems, **Remote Sensing of Environment** v. 98, 2005.