



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Programa de Pós-graduação em Análise e Modelagem
de Sistemas Ambientais



CASTIGO DAVID AUGUSTO MACHAVA

**MODELAGEM DINÂMICA DO DESMATAMENTO NA PROVÍNCIA DE MANICA –
MOÇAMBIQUE**

BELO HORIZONTE

2020

CASTIGO DAVID AUGUSTO MACHAVA

**MODELAGEM DINÂMICA DO DESMATAMENTO NA PROVÍNCIA DE MANICA –
MOÇAMBIQUE**

Versão Final

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para obtenção do título de mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientadora:

Prof^a Dr^a. Sónia Maria Carvalho Ribeiro

BELO HORIZONTE

2020

M149m Machava, Castigo David Augusto.
2020 Modelagem dinâmica do desmatamento na província de Manica –
Moçambique [manuscrito] / Castigo David Augusto Machava. – 2020.
ix, 74 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientadora: Sónia Maria Carvalho Ribeiro.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais,
Instituto de Geociências, 2020.

Bibliografia: f. 67-70.

Inclui anexos.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2.
Desmatamento – Manica (Moçambique) – Teses. I. Carvalho-Ribeiro,
Sónia Maria. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de
Geociências. III Título.

CDU: 911.2:519.6(679)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS
AMBIENTAIS



FOLHA DE APROVAÇÃO

Modelagem Dinâmica do Desmatamento da Província de Manica - Moçambique

CASTIGO DAVID AUGUSTO MACHAVA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, área de concentração ANÁLISE, MODELAGEM E GESTÃO DE SISTEMAS AMBIENTAIS.

Aprovada em 11 de fevereiro de 2020, pela banca constituída pelos membros:

Profª. Sônia Maria Carvalho Ribeiro - Orientadora
UFMG

Prof. Inocêncio Pereira
Universidade Eduardo Mondlane

Prof. Britaldo Silveira Soares Filho
UFMG

Belo Horizonte, 11 de fevereiro de 2020.

Dedico

A minha mãe lutadora

A minha esposa

Aos meus filhos

Aos meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer em primeiro lugar a Deus pelo dom da vida.

Aos meus pais, Augusto Machava (*in memoriam*) e Cristina João por terem moldado o homem que sou.

À minha esposa Meves Carlos Manuel Chapo Machava, meus filhos Yuna Machava, Arnaldo Machava, Ailin Machava, Benvinda Machava pela paciência, coragem, superação durante os meus anos de formação no Brasil.

À minha orientadora Professora Doutora Sónia Maria Carvalho Ribeiro que incansavelmente foi costurando as linhas que fizeram a presente dissertação. Obrigado pelo apoio, ensinamentos, contribuições e elucidações em cada reunião de orientação.

À coordenação do programa de pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais na pessoa do Professor Doutor Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega, que abriu as portas para o primeiro africano moçambicano ingressar no programa.

Ao Centro de Sensoriamento Remoto (CSR – UFMG), pelo acolhimento e aprendizado.

Ao IBE (Instituto de Bolsas de Estudo – Moçambique) e a CAPES pelo financiamento durante o período de formação.

À Cora de Alvarenga Guimarães (secretária do programa) pela flexibilidade, sorriso e simplicidade.

Aos meus colegas do curso, Miluska Blas Leon, Marina Teixeira, Sande Oliveira, Welisson Wendel (Dedé), Natália Souza, Clarice Malard, Marcos de Paulo Ramos, João Pedro, Thomas Rickard, Guilherme Pinto, Matheus Santos, Túlio Lage, António Filho, Charles Rezende, Daniel Araújo, pela amizade e ideias compartilhadas.

Aos meus amigos moçambicanos em Belo Horizonte Edson Raso, Frederico Machado Almeida, Luís Comissario Manjate, Tiago Pinto, Francisco Macaringue, Xavier Mariano Maia, Marta Maputere, Júlia Beira, Bonifácio Langa, Albino Simione pelo agradável convívio.

Por último e não menos importante a todos que de forma direta ou indireta, contribuíram na produção da presente dissertação. O meu muito obrigado, Tabhonga maning, Maita Bhassa.

“A maior desgraça de uma nação pobre é que, em vez de produzir riqueza, produz ricos. Mas ricos sem riqueza”.

Mia Couto

RESUMO

Moçambique é um país da África Austral que possui extensa e diversificada cobertura vegetal. Essa riqueza natural está sendo ameaçada por um conjunto de fatores sendo a expansão de áreas agrícolas recorrentemente apontada como principal causa do desmatamento. No sentido de conter desmatamento a intensificação da produção agrícola tem sido apontada como solução. A presente pesquisa tem como objetivo analisar o fenómeno de desmatamento para entender a sua dinâmica na Província de Manica – Moçambique e explorar as possíveis contribuições da intensificação da agricultura na diminuição do desmatamento. Pretendeu-se também efetuar a simulação de cenários futuros para o desmatamento a partir das tendências passadas. Para alcançar os objetivos propostos, foi primeiramente realizado o mapeamento do uso e cobertura do solo através da classificação de imagens satélite Landsat 5 (TM) do ano de 2007 e Landsat 8 (OLI) dos anos de 2015 e 2018. Seguidamente foi aplicado um questionário a 227 chefes de famílias entre Dezembro de 2018 a Março de 2019 na região centro da província de Manica para caracterizar o sistema de produção dos agricultores familiares e identificar variáveis espaciais relacionadas com o desmatamento. Depois da codificação e processamento de dados do questionário, foram realizadas a Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise de Clusters (CA) para criar uma tipologia dos agricultores da região. Foi ainda estimada a aptidão agrícola das terras aplicando o método de análise multicritério de modo a definir e delimitar áreas mais favoráveis para intensificação da agricultura. Por fim foi aplicado a metodologia de modelagem dinâmica do desmatamento no *software* DINAMICA EGO. Na análise dos questionários e através da utilização da PCA foi possível reduzir 24 variáveis iniciais em 7 componentes que explicam 76% da variância total. A Análise de Clusters (CA) realizada a partir das 7 principais componentes identificou 3 grupos de agricultores familiares com características específicas dos modos de produção agrícola e suas associações com o desmatamento. O Grupo 1 (N=86) é o majoritário, constituído por agricultores imigrantes para os quais a diminuição de área de floresta é causada principalmente pela expansão de áreas agrícolas e exploração da energia da biomassa (lenha e carvão). O Grupo 2 (N=59) é de agricultores que vivem na área desde a nascença maioritariamente líderes comunitários. Para estes agricultores o aumento da área de produção é motivado pela necessidade de produzir mais para comercializar excedentes. O Grupo 3 (N=82) é de jovens agricultores e produtores de combustível da biomassa. Essa análise permitiu concluir que são múltiplas e complexas as causas do desmatamento cuja resolução tem que ir muito além da atual proposta de intensificação da agricultura. A avaliação da aptidão agrícola das terras identificou cerca de 1268400 hectares com alta aptidão para a intensificação agrícola sem que ocorra a supressão de áreas de floresta remanescente. As áreas de alta aptidão são as mais adequadas para expandir e intensificar a produção agrícola e assim evitar a expansão das mesmas sobre a floresta. Finalmente, com a modelagem dinâmica foi possível notar que o desmatamento ocorre nas proximidades de estradas principais e secundárias, na zona tampão de áreas de proteção, nas menores declividades e nas áreas próximas de principais vilas e cidades da província. Os cenários futuros de desmatamento baseados na tendência histórica do período analisado estimam uma diminuição de área de cobertura florestal em cerca de 1592000 hectares até ao ano de 2025, no qual a província terá apenas 5% de floresta. Este trabalho pode contribuir para auxiliar a formulação de Políticas Públicas em Moçambique no sentido de aliar desenvolvimento socioeconómico à conservação da natureza.

Palavras-Chaves: Modelagem dinâmica, desmatamento, simulação de cenários, Manica - Moçambique.

ABSTRACT

Mozambique is a Southern African Country with high and diversified plant cover. This natural wealth is being threatened by a set of related factors being the expansion of agricultural areas most cited as the main cause of deforestation. In order to stop deforestation the intensification of agricultural production has been pointed as a solution. The continuous anthropic pressure on forest resources has led to decreased patterns of vegetation cover. This research aims to analyze the deforestation phenomenon in order to understand its dynamics in Manica Province - Mozambique and to explore the possible contributions of the intensification of agriculture in the reduction of deforestation. It was also intended to simulate future scenarios for deforestation from past trends. To achieve the proposed objectives, the mapping of land use and land cover was first carried out through the classification of satellite images Landsat 5 (TM) from the year 2007 and Landsat 8 (OLI) from the years 2015 and 2018. Then a questionnaire was applied to 227 heads of families between December 2018 and March 2019 in the central region of Manica province to characterize the production system of family farmers and identify spatial variables related to deforestation. After coding and processing the questionnaire data, Principal Component Analysis (PCA) and Cluster Analysis (CA) were performed to create a typology of farmers in the region. The agricultural suitability of the lands was also estimated by applying the multicriteria analysis method in order to define and delimit more favorable areas for agricultural intensification. Finally, the dynamic deforestation modeling methodology was applied in the DINAMICA EGO software. In the analysis of the questionnaires and by using the PCA it was possible to reduce 24 initial variables in 7 components that explain 76% of the total variance. The Clusters Analysis (CA) based on the 7 main components identified 3 clusters of family farmers with specific characteristics of agricultural production modes and their associations with deforestation. Cluster 1 (N = 86) is the majority, consisting of immigrant farmers for whom the decrease in forest area is mainly caused by the expansion of agricultural areas and exploitation of biomass energy (firewood and coal). Cluster 2 (N = 59) consists of farmers living in the area since birth, mostly community leaders. For these farmers the increase in production area is motivated by the need to produce more to sell surpluses. Cluster 3 (N = 82) is young farmers and producers of biomass fuel. This analysis led to the conclusion that the causes of deforestation are multiple and complex and their resolution must go far beyond the current proposal for intensifying agriculture. The assessment of the agricultural suitability of the land identified about 1268400 hectares with high aptitude for agricultural intensification without the suppression of remaining forest areas. Areas of high suitability are propitious for expanding and intensifying agricultural production and thus preventing their expansion over the forest. Finally, with dynamic modeling it was noted that deforestation occurs near of major and minor roads, in the buffer zone of protection areas, in the smallest slopes and in the areas near the main towns and cities of the province. Future deforestation scenarios based on the historical trend of the analyzed period estimate a decrease in forest cover area by about 1592,000 hectares by the year 2025, in which the province will remain only with 5% of forest area. This research can contribute to assist the formulation of Public Policies in Mozambique to combine socioeconomic development with nature conservation.

Keywords: Dynamic modeling, deforestation, scenarios simulation, Manica - Mozambique.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área florestal total por província	1
Figura 2 - Mapa dos diferentes tipos de vegetação natural de Moçambique	4
Figura 3 - Zonas do mundo afetadas pela desflorestação	4
Figura 4 – Comparação entre importações Chinesas e exportações Moçambicanas de madeira em tora e serrada, 2007-2012	10
Figura 5 - Localização da área de estudo	18
Figura 6 - População da província de Manica (1997-2017)	21
Figura 7 - Fluxograma do modelo metodológico	24
Figura 8 - Variáveis estáticas	35
Figura 9 - Imagens classificadas da área de estudo.	39
Figura 10 - Pontos de validação de campo da área de estudo	41
Figura 11 - Fotos da área de estudo – Áreas de floresta e de Não Floresta	42
Figura 12 - Forma de aquisição de direito de uso e aproveitamento dessa terra	44
Figura 13 - Causa da expansão de áreas de produção	45
Figura 14 - Número de agricultores familiares de cada cluster por posto administrativo	51
Figura 15 - Clusters de agricultores familiares	51
Figura 16 - Modelo conceitual do desmatamento na província de Manica – Moçambique	54
Figura 17 - Relação do uso e cobertura da terra e aptidão agrícola	55
Figura 18 - Aptidão agrícola das terras preservando a floresta	56
Figura 19 - Variação de área de floresta 2007 – 2018	57
Figura 20 - Variação dos pesos de evidência	59
Figura 21 - Mapa de probabilidade de mudança 2018	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativas de taxa de desflorestação por província, MARZOLI, 2007	5
Tabela 2 - Imagens Landsat 5 e 8 órbita ponto 167/71-75	22
Tabela 3 - Qualidade da classificação associada ao índice Kappa	26
Tabela 4 - Métricas da paisagem analisadas	27
Tabela 5 - Notas e pesos por cada fator de aptidão das terras	31
Tabela 6 - Níveis de aceitação encontrados nos valores do Índice de Kappa	39
Tabela 7 - Pontos de validação	40
Tabela 8 - Métricas da paisagem	42
Tabela 9 - Setor de atividade	43
Tabela 10 - Causas do desmatamento	44
Tabela 11 - Aumento de área de produção	46
Tabela 12 - Toneladas de milho por hectare	46
Tabela 13 - Teste de KMO e Bartlett	46
Tabela 14 - Variância total explicada	47
Tabela 15 - Matriz das componentes	48
Tabela 16 - Centro final do Cluster	50
Tabela 17 - Área das classes de uso e cobertura e da aptidão agrícola das terras	55
Tabela 18 - Área de classes de uso e cobertura de terra e da aptidão agrícola preservando a floresta.....	56
Tabela 19 - Quantificação das classes temáticas 2007 - 2018	57
Tabela 20 - Matriz de Transição 2007 – 2018 (single step)	58
Tabela 21- Correlação entre mapas	61
Tabela 22 - Validação do índice de similaridade Fuzzy com diferentes tamanhos de janela	62
Tabela 23 - Percentual de classe do mapa observado e simulado	62
Tabela 24 - Quantificação da probabilidade de cenários futuros	64
Tabela 25 - Probabilidade de área desmatada entre 2019 a 2025	64

LISTA DE SIGLAS

AC – Autómatos Celulares

CAP – Censo Agropecuário

DDF – Desmatamento e Degradação Florestal

DNTF – Direção Nacional de Terra e Floresta

FAEF – Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal

IOF – Inquérito sobre Orçamento Familiar

INE – Instituto Nacional de Estatística

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LULCC – Land Use and Land Cover Change

MICOA – Ministério para a Coordenação da Ação Ambiental

MINAG – Ministério da Agricultura

MISA – Ministério de Agricultura e Segurança Alimentar

MITADER – Ministério de Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural

PEDPM – Plano Economico de Desenvolvimento da Província de Manica

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

TM – Thematic Mapper

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE SIGLAS	vii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 DESMATAMENTO E SUAS CONSEQUÊNCIAS AMBIENTAIS.....	1
1.2 O CONTEXTO DO DESMANTAMENTO EM MOÇAMBIQUE	2
1.3 CAUSAS DO DESMATAMENTO EM MOÇAMBIQUE	8
2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO ESTUDO.....	11
3. OBJETIVOS	13
3.1 Objetivo geral	13
3.2 Objetivos Específicos	13
4. REFERENCIAL TEÓRICO	14
4.1 MODELAGEM DINÂMICA DO USO E COBERTURA DE TERRA	14
4.1.1 Análise Temporal da Paisagem	15
4.1.2 Análise Espacial da Paisagem	15
4.1.3 Simulação de Cenários	17
5. MATERIAL E MÉTODOS	18
5.1 ÁREA DE ESTUDO	18
5.1.1 Características físico-geográficas e socioeconómicas da província de Manica.....	19
5.2 MATERIAL	22
5.3 MÉTODOS	24
5.3.1 Processamento digital de imagens	24
5.3.1.1 Pré-processamento	25
5.3.1.2 Classificação digital.....	25
5.3.1.3 Validação da exatidão da classificação	26
5.3.2 MÉTRICAS DA PAISAGEM	27

5.3.3	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DOS AGRICULTORES FAMILIARES	28
5.3.4	AVALIAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS	30
5.3.4.1	Níveis de avaliação da aptidão	30
5.3.5	MODELAGEM DINÂMICA	32
5.3.5.1	Calibração do modelo	32
5.3.5.2	Simulação e validação	36
5.3.5.3	Obtenção de cenários futuros	38
6.	RESULTADOS	39
6.1	VALIDAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO	39
6.1.1	Índice Kappa	39
6.1.2	Validação de campo	40
6.2	QUANTIFICAÇÃO DAS MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DO SOLO	42
6.2.1	Métricas da paisagem	42
6.3	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DOS AGRICULTORES FAMILIARES DA PROVÍNCIA DE MANICA	43
6.3.1	Análise de Componentes Principais	46
6.3.2	Análise de Clusters	49
6.3.2.1	Caracterização dos clusters	50
6.3.3	Modelo conceitual do desmatamento na província de Manica	52
6.4	APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS	53
6.5	CALIBRAÇÃO DO MODELO DINÂMICO DO DESMATAMENTO E ANÁLISE DA PAISAGEM.....	57
6.5.1	Matriz de transição	57
6.5.2	Pesos de evidência	58
6.5.3	Correlação entre mapas	60
6.5.4	Simulação e validação	61
6.5.5	Obtenção de cenários futuros	64
7.	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	65
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
9.	ANEXOS	71

1. INTRODUÇÃO

1.1 DESMATAMENTO E SUAS CONSEQUÊNCIAS AMBIENTAIS

Desmatamento é entendido como operação/processo que objetiva/resulta na supressão total da vegetação nativa de determinada área para o uso alternativo do solo (implantação de projetos de assentamento de população, agropecuários; industriais; florestais; de geração e transmissão de energia; de mineração; e de transporte) (IBAMA 2010). Com o processo de desmatamento, uma área de floresta é convertida para uma área de não floresta (UNFCCC, 2011). A FAO define floresta como terreno medindo mais de 0,5 hectares com árvores com altura superior a 5 metros e cobertura de copa superior a 10%, ou árvores capazes de alcançar estes parâmetros *in situ*.

Nos últimos 30 anos vários estudos foram realizados sobre as alterações no coberto florestal mundial pelas organizações e instituições como a FAO, UNEP (United Nations Environment Programme), WRI (World Resources Institute), entre outras. Pese embora tais estudos divergirem quanto à metodologia e às conclusões específicas, mas no essencial todos afirmam uma constatação geral da diminuição e contínua degradação das florestas, especialmente nos países em desenvolvimento. O mundo perdeu mais de 3% da sua cobertura florestal entre 1990 e 2005 e cerca de 96% da desflorestação recente teve lugar nas regiões tropicais (Figura 1) e a mais significativa perda líquida de coberto florestal registou-se entre 2000 e 2005 em dez países - Brasil, Indonésia, Sudão, Mianmar, Zâmbia, República Unida da Tanzânia, Nigéria, República Democrática do Congo, Zimbabué e Venezuela (FAO, 2007).

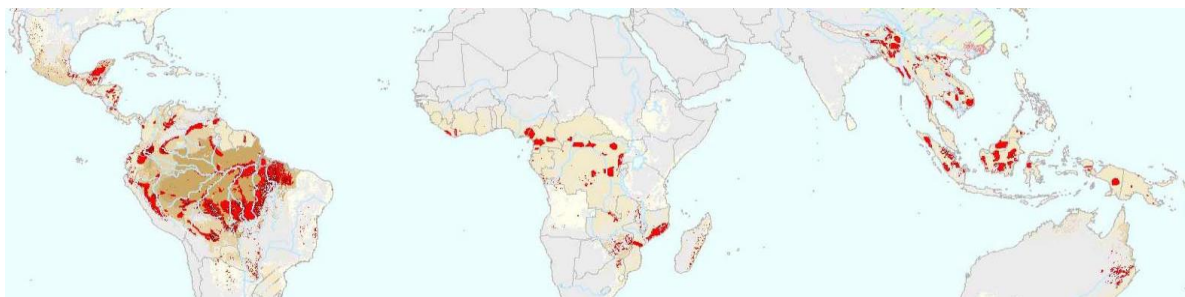


Figura 1: Zonas do mundo afetadas pela desflorestação. As zonas a vermelho ilustram as principais frentes ativas de desflorestação (Fonte: CCE, 2008)

A redução do tamanho das manchas/fragmentos florestais naturais em todo o mundo tem ocorrido como resultado, principalmente, de incêndios (DIAS, 2009), corte de árvores para propósitos comerciais (MPF, 2015), devastação de terras para utilização da agropecuária

(RIVERO, 2009). Ao longo da história, indivíduos têm sempre se beneficiado da remoção de árvores para usos diversos como fonte de energia, construções de habitações e tornar terra disponível para agricultura. Em muitos aspectos, os desmatamentos que ocorrem atualmente em regiões tropicais não são significativamente diferentes dos que ocorreram em regiões temperadas séculos atrás (ARAES, 2012). O desmatamento, além de apresentar consequências no âmbito local e regional, afeta também o planeta, resultando em mudanças climáticas causadas pela perda do revestimento florestal, o efeito estufa causado pela queima de madeira, aumento da sedimentação dos rios, erosão, degradação do solo e perda da biodiversidade (KITAMURA, 1994 e FEARNSSIDE, 2005).

1.2 O CONTEXTO DO DESMANTAMENTO EM MOÇAMBIQUE

Moçambique é um país da África Austral que se situa entre a foz do Rio Rovuma e a República da África do Sul, mais concretamente entre os paralelos 10° 27' e 26° 56' latitude Sul e os meridianos 30°12' e 40°51' longitude Este. Faz fronteira com a República da Tanzânia, a Norte, Malawi, Zâmbia, Zimbabué, África do Sul e Swazilândia, a Ocidente, República da África do Sul a Sul e é banhado pelo Oceano Índico em toda a sua extensão a Leste. O país ocupa uma área de cerca de 799.380 km² (CNDS, 2002, MAE, 2005) e, segundo dados do censo de 2017, Moçambique conta com cerca de 28,9 milhões de habitantes e cerca de 70% da população vive nas áreas rurais (INE, 2018). É um dos países com baixo índice de desenvolvimento humano situando-se em 180 lugar dos 188 países (PNUD, 2018).

A República de Moçambique organiza-se territorialmente em províncias, distritos, postos administrativos, localidades e povoações. Moçambique está dividido em 11 Províncias: ao Norte, Niassa, Cabo Delgado e Nampula, ao Centro, Zambézia, Tete, Manica e Sofala, e a Sul, Inhambane, Gaza, Maputo e Cidade de Maputo - a capital do país com estatuto de província (CRM, 2004).

Em Moçambique, 70% do território está coberto por formações vegetais, sendo 51% coberto por florestas e 19% por outras formações lenhosas. É um dos poucos países na região que ainda mantém uma proporção considerável da sua cobertura com florestas naturais (aproximadamente 45 milhões de hectares). Uma parcela com 30% de copa é considerada uma floresta, de acordo com a definição nacional de floresta, mesmo que possua mais de 20% dos assentamentos, agricultura ou outros tipos de uso (MITADER, 2018).

Cerca de metade da floresta natural (27 milhões de hectares) são consideradas florestas produtivas com potencial para produção de madeira geralmente localizados fora de áreas de protegidas (BERF 2017; FAO 2010 e MARZOLI 2007). Mais de 13 milhões de hectares de florestas estão localizadas em áreas de conservação (MITADER, 2018)

Segundo MICOA (2009) e UETELA, (2014), oito tipos amplos de vegetação foram descritos e mapeados para Moçambique sendo:

1. **Floresta de Miombo** com maior abrangência espacial (2/3 do território nacional), dominando no norte e centro do país. A palavra “Miombo” provém de várias línguas faladas no centro da África e é dominado por espécies de gênero *Brachystegia*, *Julbernardia*, e *Isoberlina angolensis* (Fabaceas, Subfamília Caesalpinioideae). Na sua forma original é fisionomicamente uma vegetação fechada, decídua a semidecídua, constituída de um estrato arbóreo que varia entre os 10 e 20 metros de altura, quando maduro e não degradado, de árvores de folhas pinadas.
2. **Floresta de Mopane** que ocorre nas partes do sul e do norte do país. O terceiro tipo de vegetação mais frequente. Floresta de Mopane é um tipo de vegetação caracterizada pela dominância da espécie arbórea *Colophospermum mopane*, sendo a única espécie de copa em quase toda sua extensão e distribui-se habitualmente em unidades descontínuas.
3. **Floresta Indiferenciada**, que abrange extensas partes do sul, centro e partes do norte do país.
4. Os tipos de vegetação remanescentes incluem Elementos Afromontane, Mosaicos litorais, Vegetação Halofítica, Mangais e Vegetação de Pântano.

Em relação à distribuição da área florestal total, cerca de 40,1 milhões de hectares, as províncias de Moçambique apresentam valores consideravelmente diferentes (Figura 2). As Províncias do Niassa, Zambézia e Cabo Delgado são as mais representativas enquanto as Províncias de Maputo, Inhambane e Nampula são as que apresentam uma área de floresta mais reduzida (DNTEF, 2008).

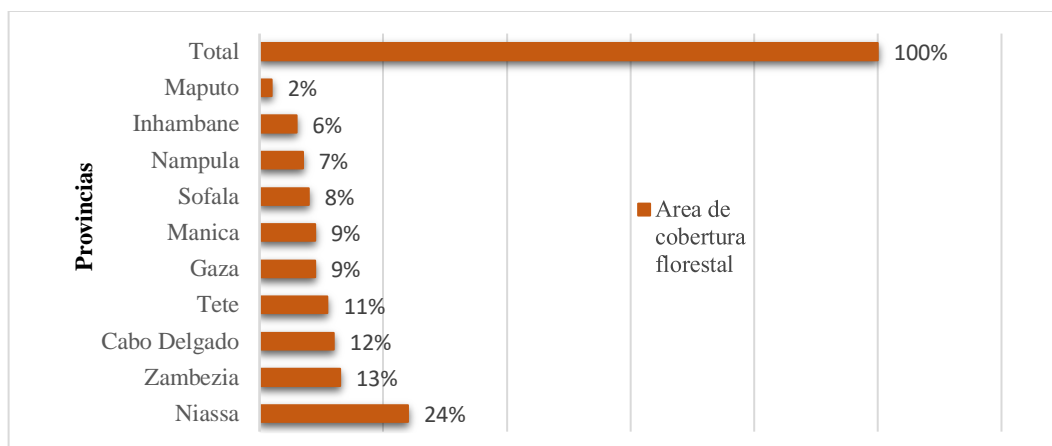


Figura 2: Área florestal total por província. Fonte: Falcão, 2013

Apesar deste grande potencial florestal, Moçambique enfrenta enormes desafios na gestão destes recursos, em parte devido a grande demanda da indústria florestal, e pelo facto de cerca de 85% das necessidades energéticas serem satisfeitas pela energia de biomassa (FALCÃO e NOA, 2016). Cerca de 0.58% (219000 ha) da cobertura total perde-se anualmente (MARZOLI, 2007). Estudo desenvolvido pelo MITADER (2016), demonstra que cerca de 220000 hectares de floresta perdem-se anualmente devido ao desmatamento (Figura 3). A conversão de áreas de florestas em áreas de cultivo pela prática de agricultura itinerante é apontada como uma das causas dominantes do desflorestamento.

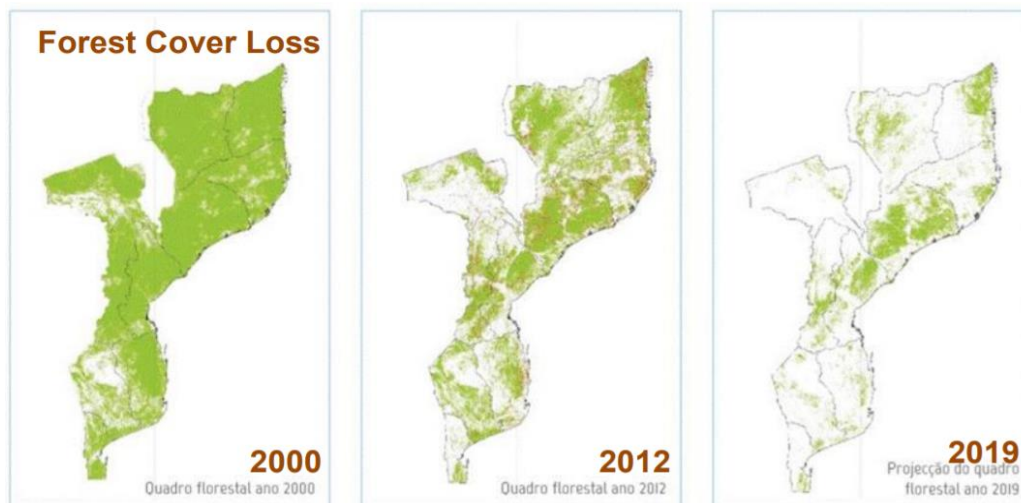


Figura 3: Perda de cobertura florestal. Fonte: MITADER, 2016

Para além da expansão de áreas agrícolas, também constituem causas do desflorestamento a exploração de combustíveis lenhosos para abastecimento dos centros urbanos e as queimadas descontroladas. Essas práticas estão desflorestando vastas zonas do território a um ritmo

alarmante, especialmente ao longo dos corredores económicos e em redor dos principais centros urbanos do país (MINAG, 2011). Segundo RIBEIRO e NHABANGA (2009), apenas 7 a 9% da população total de Moçambique tem acesso à eletricidade, cabendo à restante população fazer o uso da lenha, do carvão, petróleo e do gás. No entanto, o baixo acesso à eletricidade, não se deve à baixa produção de energia no país, mas à priorização desta para exportação e industrialização. Consequentemente, a coleta de lenha e a produção de carvão vegetal para efeitos de cozinha e aquecimento representa mais de 85% do consumo total de energia no país.

Dados do estudo desenvolvido por MARZOLI, (2007) (Tabela 1) revelam que Manica é uma das províncias com um grande potencial florestal porém, registra elevadas taxas de desmatamento. Cerca de 348,000 hectares de floresta densa nesta província foram desflorestadas de 1990 a 2002, correspondendo a uma taxa anual de 1.27%, adicionalmente um total de 85,132 hectares de florestas abertas foram desflorestadas. Combinando as duas categorias a taxa anual de desflorestamento foi de 30,962 hectares por ano (0.81% da província por ano). A maior parte das áreas desflorestadas foram convertidas para terras agrícolas. No sistema produtivo local existem duas formas de utilização pousio longo (4 anos) e pousio curto (2 anos). A maior mudança das florestas densas foi para a categoria de florestas com agricultura itinerante (pousio de longa duração) (67%), em seguida para a categoria agricultura itinerante/florestas (pousio de curta duração) (19%) e culturas agrícolas, principalmente o tabaco (7.5%).

Província	Área de floresta e outras coberturas lenhosas estimadas para 1990	Área de floresta e outras coberturas lenhosas estimadas para 2002 ('000 ha)	Mudança anual de florestas e outras coberturas lenhosas ('000 ha)	Mudança anual de área de florestas ('000 ha)	Taxa anual de desflorestamento 1990-2002 (%)
Cabo Delgado	5322	4989	28	25	0.54
Gaza	5182	5027	13	13	0.33
Inhambane	4585	4424	13	11	0.52
Manica	4340	4005	28	23	0.75
Maputo	1280	1078	17	16	1.67
Nampula	3958	3509	37	33	1.18
Niassa	9635	9379	21	21	0.22
Sofala	4430	4161	22	20	0.63
Tete	7376	7025	29	27	0.64
Zambézia	5819	5356	39	31	0.71
Total	51927	48953	247	220	0.58

Tabela 1: Estimativas de taxa de desflorestação por província, MARZOLI, 2007

De acordo Constituição da República de 2004, o Estado Moçambicano deve promover iniciativas para garantir o equilíbrio ecológico e a conservação e preservação do ambiente visando a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos (número 1 do artigo 117). O Estado Moçambicano deve também garantir o direito ao ambiente no quadro de um desenvolvimento sustentável sendo de destacar a política para garantir o aproveitamento racional dos recursos naturais com salvaguarda da sua capacidade de renovação, da estabilidade ecológica e dos direitos das gerações vindouras.

O elevado nível de pobreza em Moçambique constitui o principal constrangimento para a gestão sustentável dos recursos naturais. A fome e a urgência de satisfação de necessidade básica não permitem que a comunidade tenha um horizonte de planificação e uso dos recursos em longo prazo (NHANTUMBO e MACQUEEN, 2002). Assim, o Governo de Moçambique definiu, na sua Política e Estratégia de Florestas e Fauna Bravia o objetivo social referente ao “*envolvimento das comunidades locais no manejo e conservação dos recursos florestais*”, tendo em consideração a dependência das comunidades dos recursos naturais. Com base nesse conhecimento, surgiram as iniciativas de manejo comunitário dos recursos naturais que visam melhorar simultaneamente as condições de vida das comunidades rurais e garantir a participação e a gestão sustentável dos recursos disponíveis (CUCO, 2005).

Estudos recentes sobre o desmatamento em Moçambique (CEAGRE & WINROCK, 2016, MITADER 2016) demonstram uma tendência cada vez mais crescente deste problema causado principalmente por dois processos: 1) expansão da agricultura itinerante e 2) exploração de madeira, carvão vegetal e lenha. SITOIE e SÁ-NOGUEIRA (2017) fazem referência da insustentabilidade dos atuais níveis de desflorestamento na perspetiva económica e ambiental.

A expansão e a intensificação da agricultura é vista pelo Governo de Moçambique como sendo importante para o aumento da produção e produtividade agrária e para aumentar sua competitividade de modo a garantir a segurança alimentar e renda dos produtores rurais (MINAG, 2011). Através do plano estratégico para o desenvolvimento do setor agrário (2011 – 2020), o Governo pretende que: *A agricultura cresça, em média, pelo menos 7% ao ano. As fontes de crescimento serão a produtividade (ton/ha) combinada com o aumento da área cultivada, perspetivando duplicar os rendimentos em culturas prioritárias e aumentar em 25% a área cultivada de produtos alimentares básicos até 2020, garantindo a sustentabilidade dos recursos naturais.*

Dado o fato da expansão de áreas agrícolas (paradoxalmente incentivado pelo Governo de Moçambique) constituir principal causa do desmatamento, têm sido apontadas várias iniciativas para estancar essa expansão dentre as quais a intensificação da produção e aumento da produtividade e a prática de agricultura de conservação associado ao uso de tecnologias limpas de baixo capital que garantam a maximização de rendimentos e lucros (EGAS, et al, 2016, SITOIE, A., SALOMÃO, A. & WERTZ-KANOUNNIKOFF, S 2012, e GRAINGER et al 2002)

De acordo com KISSINGER et al, (2012), numa economia de elevada demanda por produtos agrícolas e *commodities*, o aumento da produtividade não reduz a expansão de áreas agrícola. Para que essa medida não provoque o desmatamento, é imprescindível que seja combinada com outras medidas tais como o zoneamento da terra e atribuição do direito de uso e aproveitamento de terra. Muitos países adotam a estratégia da intensificação da agricultura para o combate de vetores do desmatamento no entanto, não se faz a explícita ligação espacial ou política entre a estratégia da intensificação e a reutilização de áreas agrícolas abandonadas (em pousio) ou degradadas (KISSINGER et al, 2012).

Para além do que tem sido proposto, torna necessário a identificação de áreas adequadas para a intensificação da agricultura ou seja, é importante definir onde é possível e desejável intensificar. A identificação da variabilidade espacial da aptidão agrícola é essencial para um planejamento adequado do uso de terra nas pequenas propriedades de agricultores familiares e assim, limitar sua expansão garantindo deste modo a preservação de áreas florestais remanescentes. Não basta avançar com estratégia de expansão e intensificação da agricultura sem se alicerçar numa base técnica científica que permita orientar o uso mais adequado das terras pela identificação de suas potencialidades ou limitações.

A disponibilidade de área para expansão da agricultura é, sem dúvida, um dos principais direcionadores de tomada de decisão para o uso adequado das terras sem comprometer a sustentabilidade dos recursos ambientais. Segundo RAMALHO FILHO e PEREIRA (1999), o conhecimento da aptidão de terras é fator de grande importância para propiciar o uso adequado da oferta ambiental e, sobretudo, evitar possível sobreutilização dos recursos naturais. Para SUGAMOSTO, (2002) a utilização dos sistemas de informação geográfica (SIG) na avaliação de aptidão das terras pode minimizar o grau de subjetividade de estimativas feitas a partir de cruzamentos que anteriormente eram realizados de forma manual.

A avaliação da aptidão agrícola possibilita não apenas identificar o potencial produtivo das terras, nas suas diferentes categorias de uso e manejo, mas também oferece importantes subsídios para planejamento do uso e manejo do solo de forma sustentável (NETO et al, 2018).

No caso específico de Moçambique, a definição de áreas adequadas para uma maior produção e rendimento pode limitar a expansão de áreas agrícolas e permitir o manejo adequado de terras para fins agrícolas. É nessa ótica que achamos pertinente a avaliação da taxa de adequação das terras para o uso agrícola de modo a subsidiar o planejamento de pequenas propriedades de agricultores familiares da região centro da Província de Manica em Moçambique.

1.3.CAUSAS DO DESMATAMENTO EM MOÇAMBIQUE

Estudo desenvolvido pelo CEAGRE e WINROCK INTERNATIONAL 2016, concluiu que as causas de desmatamento em Moçambique são na realidade múltiplas e complexas, e que muitas das causas diretas agem de forma combinada sendo por vezes difíceis de separar, podendo numa mesma região atuar em combinação num mesmo período de tempo ou em sequência. Com base na análise levada a cabo neste estudo, sete sistemas de múltiplos agentes e causas de desmatamento agindo em interação são propostos, apresentando um conhecimento compreensivo das sinergias e interações sistémicas entre agentes e causas de desmatamento singulares. Estes sete sistemas descrevem as interações sistémicas entre múltiplos agentes, e são dominados por:

1. Agricultura comercial – S1
2. Agricultura itinerante ou familiar de pequena escala – S2
3. Exploração de produtos florestais – S3
4. Lenha e carvão – S4
5. Expansão urbana e outras infraestruturas – S5
6. Mineração – S6
7. Pecuária – S7.

O resultado mais evidente é a dominância do sistema representado por agricultura itinerante (S2) como principal causa de desmatamento, tendo a proporção de desmatamento associado a este sistema variado entre 72% nos distritos da região Centro e Norte de Moçambique e 59% nos distritos do Sul do país. A expansão urbana (S5) também representa uma proporção

considerável (12%), sobretudo no Sul do país (23%). O tipo de floresta também influencia na taxa de desmatamento, por exemplo, a floresta de mopane é a mais afetada pela produção de carvão, exploração madeireira e pastagem. As florestas de miombo são as mais afetadas pela expansão de áreas agrícolas (CEAGRE & WINROCK INTERNATIONAL, 2016).

A agricultura de subsistência é a maior causa do desmatamento, devido à necessidade constante de abertura de novos campos agrícolas, motivada pelo baixo rendimento das explorações agrícolas e pelo crescimento populacional (SITOE, A., SALOMÃO, A. & WERTZ-KANOUNNIKOFF, S, 2012).

A exploração de madeira comercial tem vindo a crescer nos últimos anos, em resultado da crescente demanda dos mercados asiáticos (SITOE, A., SALOMÃO, A. & WERTZ-KANOUNNIKOFF, S 2012). Esta crescente demanda também tem motivado um aumento das exportações ilegais, tendo sido estimado que o volume exportado ilegalmente é o dobro do volume licenciado (FAEF, 2013).

Um estudo da Environmental Investigation Agency (EIA) publicado em 2013 indica que em 2012, o Governo de Moçambique registrou exportações de 260.385 m³ de madeira em tora e serrada, enquanto por exemplo a China registrou importações de 450.000 m³ de madeira em tora e serrada proveniente de Moçambique (EIA, 2013). A discrepância é de 189.615 m³, constituída quase inteiramente de madeira em tora ilegalmente exportada para fora de Moçambique por empresas Chinesas, e provavelmente composta primariamente por espécies de 1^a classe – as quais se encontram proibidas de serem exportadas em tora (Figura 4) (FALCÃO, 2013).

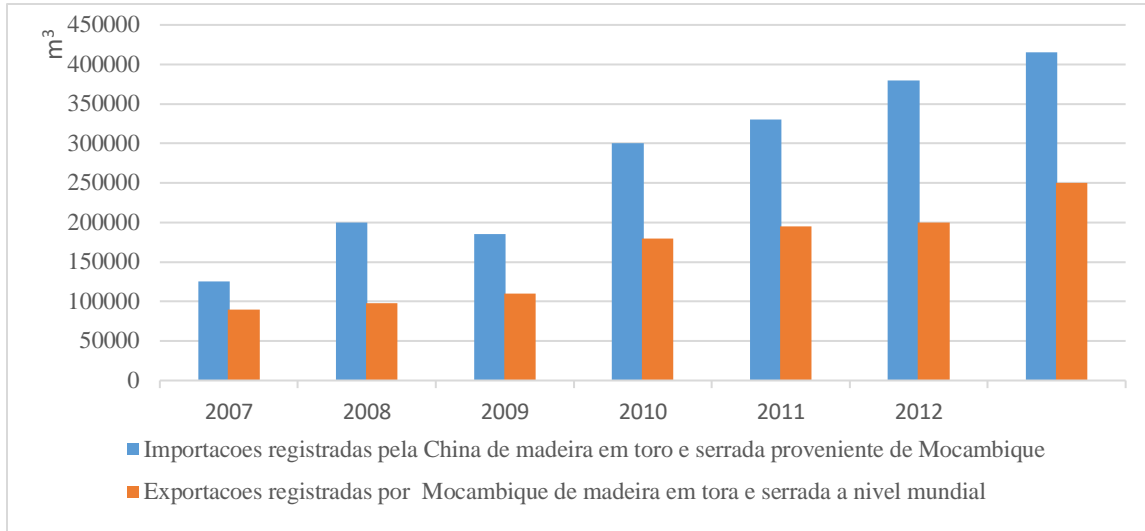


Figura 4: Comparação entre importações Chinesas e exportações Moçambicanas de madeira em tora e serrada, 2007-2012

Mais de 90% da produção de carvão em Moçambique é ilegal, havendo poucas licenças florestais para a produção de carvão (CUVILAS *et al.*, 2010), o que implica que não há uma exploração com reposição das árvores cortadas. Em resultado desta falta de reposição, o elevado consumo per capita 1,2 m³/ano, (BROUWER e FALCÃO, 2004)), especialmente perto dos grandes centros de consumo (CUVILAS *et al.*, 2010), resulta na redução da cobertura florestal nos locais de produção.

A expansão urbana tem vindo a aumentar nos últimos anos, em resultado do crescimento populacional e migração das zonas rurais para zonas urbanas, especialmente no sul do país (SITOE, A., MIRIRA, R. & TCHAÚQUE, F 2007). A expansão urbana está também muito interligada com a produção de carvão, devido ao facto deste constituir a principal fonte energética nos principais centros urbanos (ATANASSOV *et al.*, 2012).

2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO ESTUDO

Em Moçambique, as mudanças na cobertura florestal foram reportadas pelo inventário florestal de MARZOLI (2007), e ocorrem sobretudo, ao redor de grandes cidades, corredores de desenvolvimento, áreas de conservação, assim como em florestas de gestão comunitária (SAKET, 1994). É um fenómeno comum em Moçambique e é resultado do corte seletivo de árvores (exploração madeireira), queimadas descontroladas ou abertura de pequenas áreas de machambas dentro de áreas de vegetação densa ou esparsa (SITOE, A., SALOMÃO, A. e WERTZ-KANOUNNIKOFF, S. 2012), desta forma, áreas de cobertura vegetal densa são convertidas em áreas de vegetação esparsa ou em áreas agrícolas e de cidades e vilas.

O desmatamento em Moçambique está associado a forte dependência da população em relação aos recursos naturais, visto que cerca de 80% da população total depende dos recursos florestais para sua subsistência. Estudos mostram que a elevada dependência da população moçambicana em relação aos recursos florestais, associado ao lento crescimento das florestas naturais pode levar a escassez dos recursos florestais num futuro próximo caso este cenário prevaleça (NHANTUMBO et al, 2009). As florestas desempenham um papel preponderante na economia moçambicana e nos modos de vida da população rural. O setor de florestas contribui com cerca de 3% a 4% do PIB do país e além disso, satisfaz as necessidades básicas da população rural, no que concerne a comida, combustível, abrigo, medicamento e subsistência (MITADER, 2016 e BILA, 2005).

O monitoramento do desmatamento com o uso de dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento, associados ao desenvolvimento de modelagem espacialmente explícita podem contribuir para melhor compreensão das variáveis relacionadas ao desmatamento, permitindo também a simulação de prováveis trajetórias futuras deste fenómeno (MATRICARDI et al, 2017).

As pesquisas com modelagem se apresentam como ferramenta que pode contribuir para o melhor entendimento dos efeitos de atividades antrópicas sobre os recursos naturais. Os modelos podem prever possíveis trajetórias de impactos ambientais, utilizando informações das práticas do passado (MATRICARDI, 2017).

Segundo SOARES-FILHO et al., (2007) modelos espaciais de simulação têm-se tornado um importante instrumento de auxílio ao ordenamento territorial, considerando que qualquer

planejamento regional ou estratégia de conservação ambiental que não leve em conta o fator tempo está fadado ao insucesso. Portanto, modelos espaciais de simulação, que realisticamente reproduzem padrões espaciais de mudanças, são, hoje, requisito para o entendimento e avaliação de complexas questões ambientais em escalas local, regional e global.

A construção de políticas voltadas para a conservação do meio natural pode utilizar-se da modelagem espacial visto que a mesma permite aos planejadores: ter uma visão global do ecossistema estudado, ultrapassando limites territoriais definidos pelo homem; identificar as variáveis-chaves que influenciam no processo de mudanças no uso do solo naquela localidade e criar mecanismos específicos para as mesmas; além de facilitar a integração dos objetivos de planejamento no âmbito local e regional (MORAN-ORDONÉZ et al, 2011).

Em Moçambique são escassos estudos sobre a modelagem dinâmica do desmatamento com perspectiva de simular cenários futuros. A reduzida investigação nessa área pode constituir entrave para uma eficiente definição de estratégias de conservação e preservação de recursos ambientais e, constitui desafio para a presente pesquisa trazer um suporte científico da simulação de cenários futuros de desmatamento de modo a que os tomadores de decisão vislumbrem com antecedência os possíveis danos e assim, auxiliar na definição de políticas públicas e tomada de decisão mais consentânea para um planejamento eficiente de uso de recursos florestais na região de estudo assim como em outras regiões de Moçambique que experimentam cenários idênticos de desmatamento.

A proteção de áreas florestais remanescentes associada à prática de agricultura de conservação pode garantir o equilíbrio dos ecossistemas proporcionando maior produtividade, geração de renda e redução da pobreza nas comunidades rurais moçambicanas. Por isso, torna imprescindível a avaliação da aptidão agrícola das terras associada a dados de desmatamento para auxiliar na identificação de áreas com elevado potencial de produção agrícola e que as mesmas não coincidam com áreas de florestas.

Ao longo desse trabalho pretendemos estudar o processo de desmatamento à escala nacional e regional tendo como área de estudo a província de Manica. Nesta perspectiva, busca-se responder o seguinte questionamento para o presente estudo: *Como a modelagem dinâmica do desmatamento pode contribuir para a definição de políticas públicas capazes de conciliar desenvolvimento socioeconómico e preservação da floresta nativa e seus serviços ambientais?*

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

- ✓ Analisar a dinâmica do desmatamento e efetuar a simulação de cenários na Província de Manica - Moçambique.

3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Quantificar as mudanças no uso e cobertura do solo entre os anos de 2007 a 2018;
- ✓ Caracterizar a dinâmica da agricultura familiar através do desenvolvimento de uma tipologia de agricultores
- ✓ Identificar variáveis espaciais relacionadas com desmatamento especialmente o papel da intensificação da agricultura para redução do desmatamento;
- ✓ Construir e validar o modelo dinâmico de desmatamento e efetuar a simulação de cenários de intensidade e localização de desmatamento;

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 MODELAGEM DINÂMICA DO USO E COBERTURA DE TERRA

O termo modelo refere-se a uma abstração da realidade, que se aproxima do comportamento que se observa em um sistema, mas que inevitavelmente é mais simples do que o próprio sistema real (ABDALLA et al, 2015). Para SOARES-FILHO (1998), o termo modelar, pode ser visto como a tentativa de representar a realidade de forma simplificada. Ainda de acordo com SOARES-FILHO (1998) a modelagem é o processo de pesquisa que leva a geração do modelo (representação) de um sistema, o qual se desenvolve definindo um conjunto de hipóteses ou predições que podem ser comparadas com medidas do mundo real. O modelo pode ser aceito, rejeitado ou modificado para novamente ser testado dependendo da concordância entre o resultado deste e o observado.

A questão de mudanças nos padrões de Uso e Cobertura da Terra tem despertado interesse, dentro e fora do meio científico, devido ao acelerado processo de mudança das últimas décadas e aos possíveis impactos ambientais e socioeconômicos dessas mudanças, os quais causam preocupações desde o nível local até o global (AGUIAR, 2002)

A questão mais importante que se coloca atualmente é a sustentabilidade do desenvolvimento, e o balanço adequado entre as questões sociais, econômicas e ambientais envolvidas. Devido a essas preocupações, inúmeras iniciativas tem ocorrido no sentido de: (a) entender os processos de mudanças de uso e cobertura do solo e seus principais fatores determinantes; (b) diagnosticar regiões de maior incidência de mudanças e projetar áreas de risco em curto prazo; (c) prever a intensidade e/ou a localização das mudanças a médio e longo prazo; e (d) analisar os impactos de tais mudanças. O processo de mudança e seus impactos têm sido observados e analisados por diversas disciplinas (ecologia da paisagem, economia, etc.), em diferentes escalas (local, regional e global), mas, na maior parte das vezes, de modo não integrado (AGUIAR, 2002).

SANTOS (2004) explica que a partir de uma escala espacial e temporal, podem ser construídos cenários pela interpretação das mudanças ocorridas no uso da terra, que podem resultar em mapas ambientais, que por sua vez vêm a contribuir para planejamento ambiental sendo de destacar dois processos de estudo inseridos nessa temática: a **análise temporal da paisagem** e a **modelagem dinâmica espacial**.

4.1.1 Análise temporal da paisagem

A análise temporal da paisagem segundo HUANG *et al.* (2000), tornou-se possível a partir da disponibilidade de imagens de satélite de uma mesma região da Terra ao longo do tempo, que permite a realização de comparações dos dados de diferentes períodos em uma dimensão temporal. O geoprocessamento permite a comparação de cenários para comparação de séries de dados temporais, resultando na detecção das mudanças ocorridas em uma superfície, tornando possível a interpretação do modelo de uso e cobertura da Terra SANTOS (2004).

4.1.2 Modelagem dinâmica espacial

Um modelo para ser dinâmico, segundo WEGENER, et al (1986), precisa possuir uma dimensão temporal explícita, entradas e saídas variando de acordo com o tempo e estados atuais dependendo dos anteriores.

A modelagem dinâmica espacial presta-se a simular, em ambiente computacional, fenômenos do mundo real que possuem uma dimensão tanto espacial quanto temporal. Modelos dinâmicos espaciais envolvem uma ampla gama de aplicações, que compreendem a simulação de incêndios florestais, escoamento superficial e enchentes, expansão de epidemias, migração de espécies florestais, circulação de pedestres e veículos, mudanças de uso e cobertura da terra como expansão urbana, desmatamento, entre outras (SOARES-FILHO et al., 2002; ALMEIDA, 2003).

Para BENEDETTI (2010), a modelagem dinâmica tem como propósito simular mudanças espaço-temporais nos atributos do meio ambiente atreladas a um território geográfico, e permite avaliar como um sistema evolui diante um conjunto de circunstâncias definidas pelo modelador entendendo os mecanismos que influem na determinação da função de mudança.

Os modelos de simulação dinâmica se desenvolvem mais dedutivamente e tomam como ponto de partida o que se conhece sobre um sistema e o utiliza para informar pressupostos de um modelo e avaliar o comportamento do sistema. Isso também libera a modelagem de simulação dinâmica de exigências para trabalhar somente com unidades espaciais à mão em dados disponíveis (PERZ et al, 2009).

Os modelos dinâmicos de simulação de mudanças de uso e cobertura da terra tentam replicar possíveis padrões da evolução da paisagem e assim possibilitar a avaliação de futuras implicações ecológicas sobre o meio ambiente (SOARES-FILHO et al., 2002).

Os modelos espaciais dinâmicos têm a função de realizar simulações matemáticas de processos identificados no mundo real, onde se observa a mudança de variáveis e, em consequência a variações de suas forças direcionadoras (BURROUGH, 1998). Segundo SOARES-FILHO (1998), são os modelos mais complexos e detalhados, dentre os modelos de paisagem, e tem a capacidade de modelar a tendência da configuração e divisão da paisagem. É este tipo de modelo que gera os mapas de mudanças.

Os modelos espaciais, segundo SOARES-FILHO (1998), vêm se tornando cada vez mais importantes, resultado da vasta disponibilidade de dados espaciais obtidos pelo sensoriamento remoto e da possibilidade de processamento desses dados através dos SIGs. Portanto, os modelos dinâmicos espaciais possuem capacidade de modelar uma paisagem, sua configuração e localização.

Os modelos de alteração do uso do solo são úteis aos planejadores, pois possibilitam compreender a dinâmica das atividades humanas, verificar seus efeitos no presente e tentar prever seus impactos no futuro a fim de concentrar esforços nos pontos críticos, constituindo-se em uma ação preventiva (PONTIUS, CORNELL, HALL 2001). A construção de políticas voltadas para a conservação do meio natural pode utilizar essa ferramenta visto que a mesma permite aos planejadores: ter uma visão global do ecossistema estudado, ultrapassando limites territoriais definidos pelo homem; identificar as variáveis-chaves que influenciam no processo de mudanças no uso do solo naquela localidade e criar mecanismos específicos para as mesmas; além de facilitar a integração dos objetivos de planejamento no âmbito local e regional (MORAN-ORDONÉZ et al, 2011).

Não há modelo perfeito que represente a realidade, nem existe um modelo único; entretanto, pode existir aquele que melhor descreve determinado fenômeno (ABDALLA et al, 2015). Dependendo da concordância entre o observado e o simulado, o modelo será aceito, rejeitado ou modificado, para novamente ser testado (SOARES-FILHO, 1998).

Na modelagem dinâmica de uso e ocupação de terra é importante definir principais classes de variáveis estáticas para melhor compreender o direcionamento das mudanças. E segundo XIMENES et al. (2008) a escolha adequada das variáveis explicativas é determinante para o sucesso do uso de modelos, pois com base nas suas relações com a variável dependente, são definidas as células com maior ou menor probabilidade de transição de cobertura da terra.

4.1.3 Simulação de cenários

O objetivo imediato do desenvolvimento de cenário é vislumbrar múltiplas trajetórias plausíveis de mudança, dada a incerteza sobre o futuro. Essa projeção frequentemente é feita mediante a colaboração entre cientistas, formuladores de políticas públicas e gestores informados sobre a região e suas questões de interesse (PERZ et al, 2009).

Para MACEDO et al (2013), através de modelagem, é possível propor cenários prospectivos, os quais podem representar a continuidade das alterações pretéritas (cenários estacionários), simular alterações prescritas (cenários prescritivos), ou ainda, explorar diferentes conjeturas político-socioeconômicas (cenários exploratórios não-estacionários).

Com cenários em mãos, podem-se identificar as forças que determinam resultados desejáveis e não desejáveis da mudança, as quais, por sua vez, dão suporte às formulações de políticas públicas e ações sociais de modo a encorajar as desejáveis e desencorajar as indesejáveis (PERZ et al, 2009).

Uma questão chave para o desenvolvimento de cenário quantitativo diz respeito à escala temporal dos cenários; cenários de mais longo prazo devem ser considerados mais especulativos do que prováveis em razão das incertezas crescentes sobre as mudanças projetadas para períodos mais longos de tempo. Retroalimentações a partir de mudanças iniciais, surpresas (“choques”), e outras fontes de mudanças não lineares tornam os cenários de longo prazo mais difíceis de serem articulados plausivelmente e em detalhes (PERZ et al, 2009).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a província de Manica (Figura 5) situada na região centro de Moçambique, sendo limitada a norte pelo rio Zambeze e Luenha que a separa da província de Tete, a sul pelo rio Save que a separa da província de Inhambane e Gaza, a oeste pela fronteira com Republica do Zimbabwe e a leste encontra-se a província de Sofala. Tem uma área de 61 661 km² e uma população de 1 911 237 habitantes de acordo com o censo geral da população e habitação de 2017.

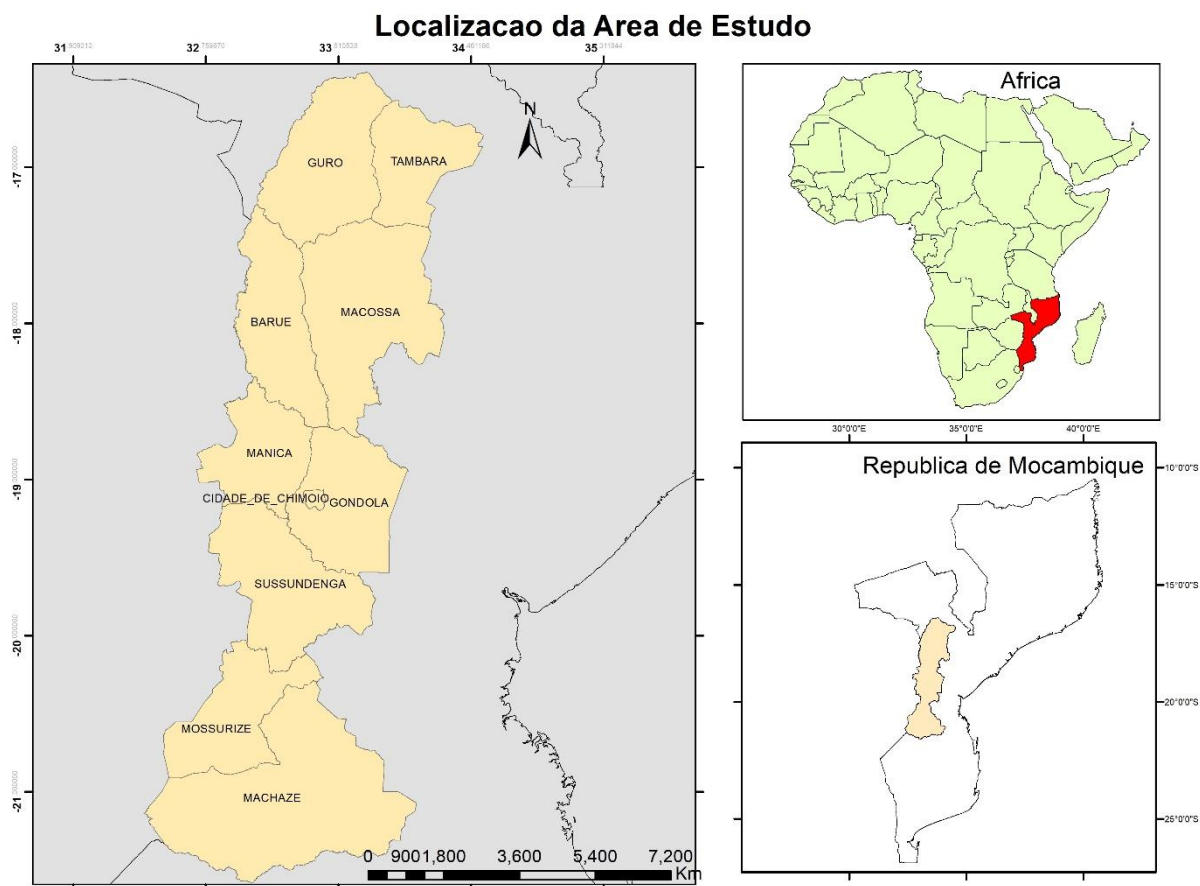


Figura. 5: Localização da área de estudo

A Província está dividida em 10 distritos nomeadamente, Barué, Gondola, Machaze, Macossa, Mossurize, Sussundenga, Guro, Tambara e a cidade de Chimoio. É nesta Província onde se localiza o ponto mais alto do país, o monte Binga, com 2436 m de altitude.

5.1.1 Caracterização físico-geográfica e socioeconómica da província de Manica

A Província de Manica é caracterizada por um clima tropical alterado pela altitude (altitude mínima de 100m e máxima 2436m) com tendência para quente e úmido, com duas estações distintas: Uma chuvosa, a qual é quente e húmida, estende-se de Novembro a Março, sendo seguida por uma estação seca e relativamente fria entre Abril e Outubro (BAZIMA *et al.*, 2011).

As temperaturas médias no verão são de 20°C e ocorrem em metade da província. Contudo, as temperaturas mais quentes (25°C) ocorrem nos vales do Save e do Zambeze. As temperaturas mais amenas (15 a 20°C) ocorrem nos distritos de Gondola, Manica, Mossurize, Barué e nas zonas montanhosas junto à fronteira com o Zimbabwe (PEDPM, 2015).

Em relação aos aspetos de relevo, a província é constituído por três zonas altimétricas, designadamente áreas de montanhas, planaltos e planícies. As montanhas situam-se essencialmente no extremo Oeste, com mais de 1000m de altitude, junto a fronteira com o Zimbabwe. É nesta zona que se localizam os pontos mais altos da província, nomeadamente: O Monte Binga, localizado na cordilheira de Chimanimani com 2.436m, por sinal o pico mais alto do País; O Monte Gorongue, localizado na Serra de Espungabera com 1.887m e; A Serra Choa, localizada no Posto Administrativo do mesmo nome, com 1.844m (BAZIMA, *et al.*, 2011).

Os planaltos com altitudes que variam entre 200 e 1000m localizam-se na região Central e Este, e ocupam cerca de 70% da área da província. As planícies, com altitudes que variam de 100 a 200m estão localizadas no extremo Sudeste da província (BAZIMA, *et al.*, 2011).

Ocorrem na Província de Manica três tipos de solos principais: os francos argilosos-arenosos vermelhos com camada superficial mais leve, profundidade variável, fertilidade baixa e suscetíveis à erosão, estão localizados na faixa Central e Norte; os solos arenosos, com fertilidade muito baixa e baixa retenção de água, localizam-se no Sul e no extremo Nordeste; e, os solos pesados, de difícil lavoura, localizam-se a Sul da província (MAE, 2014 e BAZIMA *et al.*, 2011).

Quanto à hidrografia, a província de Manica possui quatro principais bacias hidrográficas que são: **Bacia do Zambeze**, no extremo Norte é constituída pelo rio do mesmo nome. É o maior rio de Moçambique e o quarto maior do continente africano; **Bacia do Púnguè** - Nasce no Zimbabué e segue para leste. Em território inteiramente moçambicano, ruma para sueste, bordeja o limite meridional do Parque Nacional da Gorongosa e desagua a norte da baía de Sofala, formando um estuário baixo e pantanoso em cuja margem esquerda se situa a cidade da Beira;

Bacia do Búzi - Nasce no lado moçambicano da fronteira com o Zimbabué, seguindo depois sensivelmente de sudoeste para nordeste, até desaguar imediatamente a sul do estuário do Púnguè e; **Bacia do Save** - Nasce no Zimbabué e corre de norte para sul até à confluência com o Runde, a partir da qual inflete para leste e penetra em território inteiramente moçambicano e vai desaguar no Oceano Índico, junto à povoação de Mambone, entre a baía de Sofala e a ilha do Bazaruto (BAZIMA, et al, 2011).

A vegetação da província de Manica é predominantemente constituída por floresta de miombo com estratos diferenciados (altos, médios e baixos), cobrindo cerca de 25.2% de cobertura florestal total. As espécies dominantes neste tipo de vegetação são *Brachystegia speciformis* frequentemente misturada com *Jubernardia globiflora* e *Isoberlinia spp.*; savanas (árvores e arbustos) cobrindo 13.5%; floresta de mopane (aberta e fachada) cobrindo 10.1% e áreas de florestas com mosaico de agricultura itinerante ocupando 13.2% (JANSEN *et al.*, 2008, e MICOA, 2014).

De acordo com os resultados do Censo de 2017, a província de Manica tem 1911237 habitantes em uma área de 61 661km² e, portanto, uma densidade populacional de 31 habitantes por km². O valor de 2017 representa um aumento de 472851 habitantes (32,9%) em relação aos 1438386 residentes registados no censo de 2007.

De acordo com as projeções do INE (2018) para o ano de 2030, a província de Manica terá 3 056 583 habitantes, sendo 684 033 na área urbana e 2 372 550 na área rural.

A província de Manica registra elevadas taxas de mortalidade infantil (75/1000 nados vivos), uma baixa expectativa de vida (49,4 a 53,6 anos), e um número elevado de crianças por mulher (6 por mulher).

De acordo com IOF (2008 – 2009), a incidência de pobreza da Província é de 55,1% com uma taxa abaixo da linha de pobreza abaixo de 15,2%.

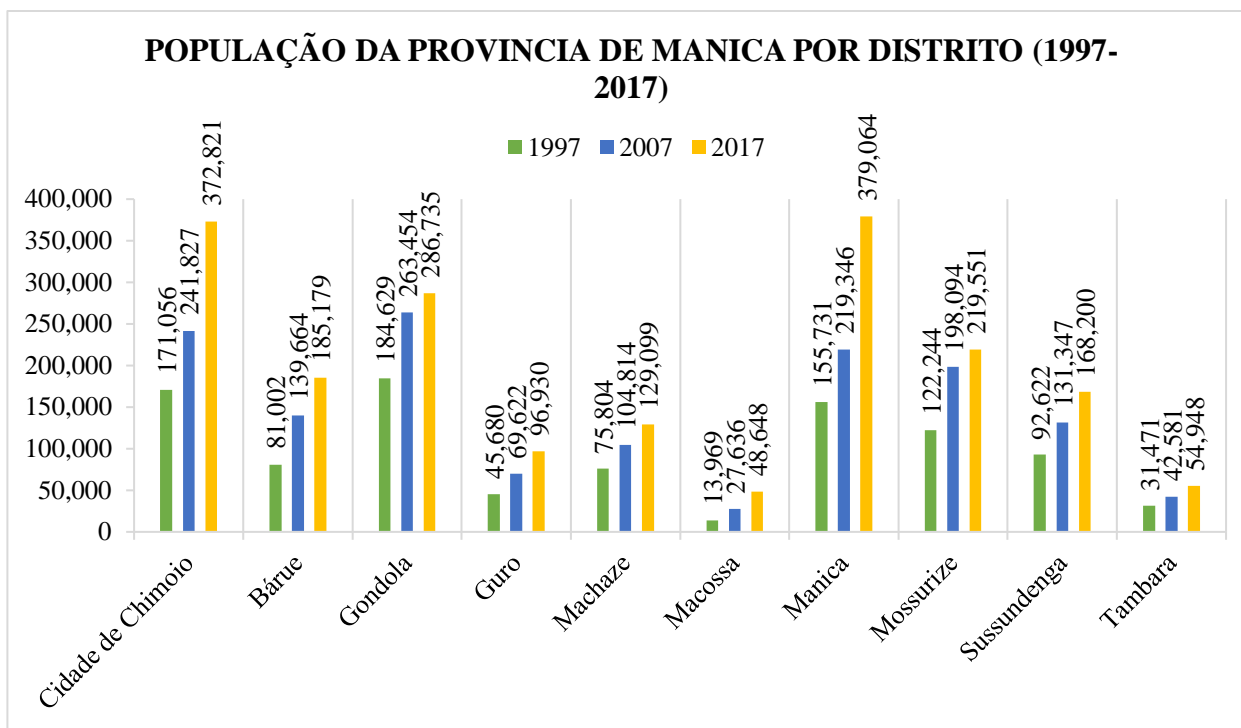


Figura 6: População da província de Manica (1997-2017). Fonte: INE, 1997, 2007 e 2018

Predomina na província de Manica agricultura familiar caracterizada por uma forte dependência a condições naturais e baixa produtividade. Em relação aos produtos básicos alimentares a Província de Manica produz, de entre vários, o milho (93%), Feijão Nhemba (53%), Mapira (44,4%) e batata-doce (11%). Na mesma perspetiva, as culturas de rendimento mais cultivadas são: O girassol com 24%, o Chá (32%), Trigo (23, 7%), Gergelim (12, 4%), Paprica (23%) e a Jatrofa com 30% (INE, 2011).

5.2 MATERIAL

Para a modelagem dinâmica do desmatamento na província de Manica foram utilizado os seguintes materiais:

1. Imagens do satélite Landsat 5 TM referente ao ano de 2007 e, Landsat 8 OLI (*Operational Land Imager*) referente aos anos de 2015 e 2018 com as órbitas/pontos 167/75 e 168/71-75, resolução espacial 30 m, que cobrem a área de estudo em período seco (Agosto) e sem interferência de nuvens, disponibilizadas gratuitamente no site do Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) (Tabela 2).

Satélite	Data de Aquisição	Orbita/ponto	Resolução espacial	Bandas espectrais usadas	Intervalo Espectral (μm)
Landsat 05	08 / 2007	167/75	30	3	(0,63-0,69)
		168/71-75		4	(0,76-0,90)
				5	(1,55-1,75)
Landsat 08	08 / 2015 e 08 / 2018	67/75	30	4	(0,64-0,67)
		168/71-75		5	(0,85-0,88)
				7	(2,11-2,29)

Tabela 2 - Imagens Landsat 5 e 8 órbita ponto 167/71-75, selecionadas nos diferentes anos analisados.

Essas imagens foram pré-processadas e classificadas pelos Sistemas de Informação Geográfica (SPRING 5.5.2, ArcGis 10.2.1 e QGis 3.2.3).

2. Imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), adquiridas em formato matricial *Tiff/GeoTiff*, que foram usadas para compor um Modelo Numérico do Terreno (MNT), gerando um mapa de declividade da área de estudo.
3. Dados vetoriais da área de estudo (limite administrativo da província, hidrografia, rede viária, solo e relevo) disponibilizados pela CENACARTA (Centro Nacional de Cartografia e Teledeteção) - www.cenacarta.com. Os mesmos foram posteriormente rasterizados.

4. O *software* ArcGis versão 10.2.1 para o pré-processamento de imagens Landsat e geração do layout dos mapas de uso do solo e mapas simulados dos cenários futuros da área de estudo.
5. O *software* QGis 3.2.3 para o pré-processamento de imagens Landsat especificamente para a correção atmosférica.
6. O *software* Sistema de SPRING (Processamento de Informações Georreferenciadas) versão 5.5.2 gratuita obtida no site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), utilizado na classificação de imagens Landsat para a geração das classes de uso e cobertura de terra no qual foi criado um banco de dados para o armazenamento das informações processadas.
7. O *Software FRAGSTATS 4.2.1.* para a quantificação da estrutura da paisagem e função de sua cobertura florestal através do cálculo de métricas da paisagem.
8. O *software* estatístico SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*), versão 19 para análise de dados de entrevista de modo a conhecer o padrão e funcionamento dos sistemas de produção e sua relação com o desmatamento.

Como plataforma para simulação foi utilizado neste estudo o *software* DINAMICA EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*). O DINAMICA EGO se baseia em um algoritmo de Autômato Celular, sendo um modelo de simulação espacial da dinâmica da paisagem (SOARES-FILHO et al, 2007). Num estudo comparativo entre programas para modelagem de mudanças de uso e cobertura da terra (CLUE, DINAMICA EGO, CA_MARKOV e Land Change Modeler), MAS et al (2014) apontam DINAMICA EGO como aplicativo com maior potencial, devido a sua grande flexibilidade e possibilidade de interação com outras ferramentas.

5.3 MÉTODOS

Os principais passos metodológicos aplicados para o presente estudo estão descritos no fluxograma da figura 4.

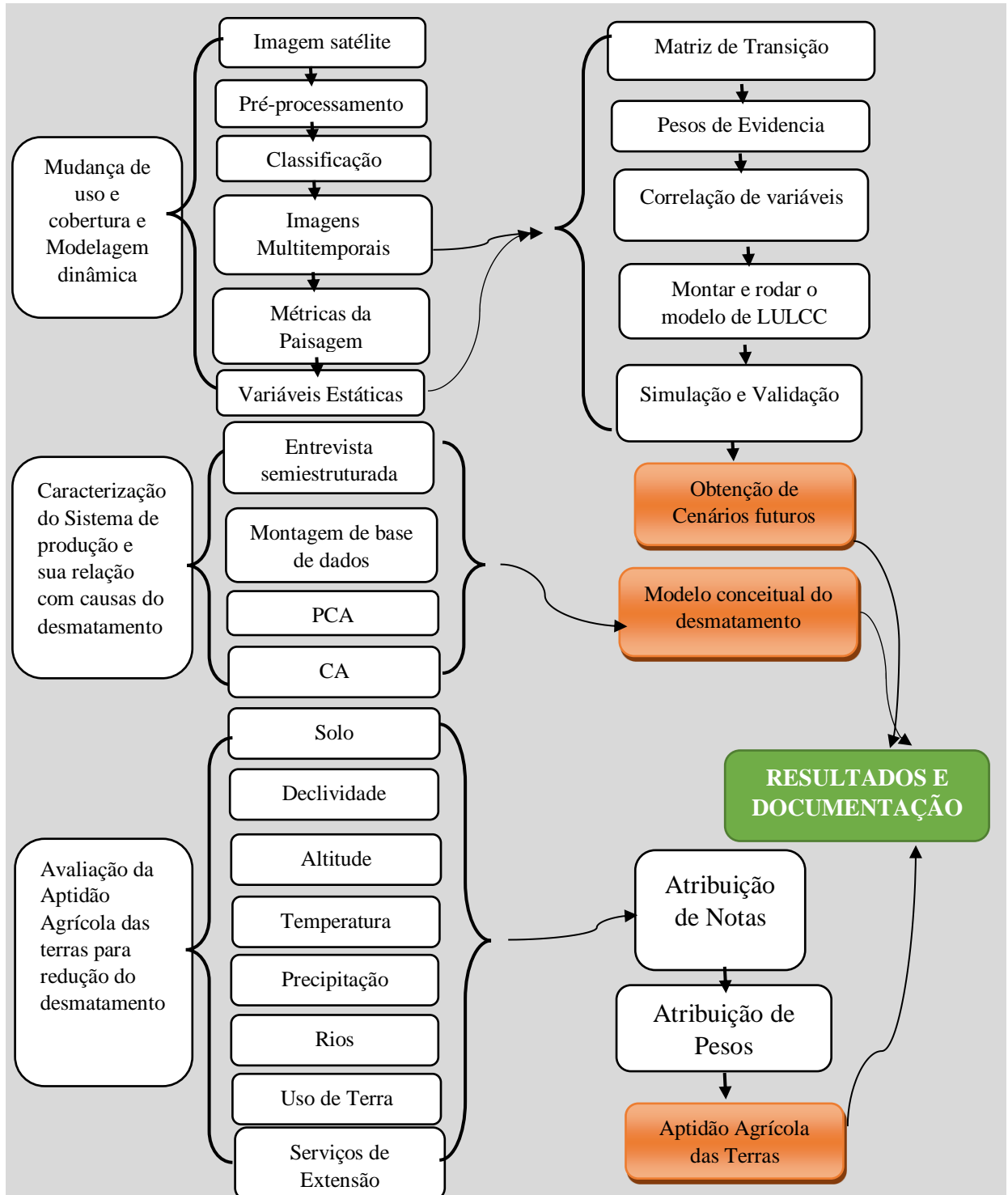


Figura 7: Fluxograma do modelo metodológico

5.3.1 Processamento digital de imagens

As imagens utilizadas foram analisadas inicialmente quanto à necessidade de melhoria do aspeto visual e geração de produtos para posteriormente serem submetidos a outros processamentos metodológicos. As imagens foram pré-processadas e classificadas pelos Sistemas de Informação Geográfica (SPRING 5.5.2, ArcGIS 10.2.1 e QGIS 3.2.3).

5.3.1.1 Pré-processamento

As técnicas de pré-processamento são, essencialmente, funções operacionais para remover ou corrigir os erros e as distorções introduzidos nas imagens pelos sistemas sensores devidos a erros instrumentais (ruídos espúrios), às interferências da atmosfera (erros radiométricos) e à geometria de imageamento (distorções geométricas) (MENESES, 2012).

As imagens Landsat em uso nesse estudo passaram pela correção atmosférica, radiométrica, georreferenciamento tendo como base as imagens de um banco de dados já existentes (CENACARTA) e por fim a criação de mosaico.

5.3.1.2 Classificação digital

Existem essencialmente duas abordagens na classificação de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto. A primeira delas denomina-se **classificação supervisionada** e nela o usuário identifica alguns dos pixels pertencentes às classes desejadas e deixa ao computador a tarefa de localizar todos os demais pixels pertencentes àquelas classes, baseado em alguma regra estatística pré-estabelecida. A segunda abordagem é chamada de **classificação não-supervisionada** e nela o computador decide, também com base em regras estatísticas, quais as classes a serem separadas e quais os pixels pertencentes a cada uma (CRÓSTA, 1992).

No presente trabalho foi usado a classificação supervisionada de imagem do satélite Landsat, utilizando-se o classificador estatístico MAXVER (máxima verossimilhança), integrante do aplicativo SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas versão 5.5.2. Em função da problemática que se pretende estudar – o desmatamento, foram definidas duas classes (floresta e não floresta). Na classe floresta inclui as áreas de floresta de miombo, de mopane e de floresta indiferenciada que ocorrem dentro da província (vede figura 1) sendo que o restante do tipo de uso e cobertura de terra foi incluída na classe não floresta.

5.3.1.3 Validação da Exatidão da Classificação

A validação da exatidão da classificação visa avaliar o grau de concordância dos resultados da classificação obtidos pela interpretação de imagens de satélite. Conforme JANSEN *et. al.*, (2009) uma das formas mais usadas para avaliar a exatidão da classificação temática de cobertura de terra é a matriz de confusão também denominada matriz de erro ou tabela de contingência. Neste estudo empregou-se a análise de qualidade de mapeamento a partir do índice Kappa (*K*) construído da matriz de confusão de cada um dos anos analisados (2007 a 2018), gerado em relatório no software SPRING após a classificação. O índice Kappa foi calculado pela equação a baixo indicada:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^l X_{ii} - \sum_{i=1}^l (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^l (X_{i+} * X_{+i})}$$

Onde:

K - Índice Kappa

L - Número de categorias analisadas na matriz

X_{ii} - Número de parcelas corretamente classificados na linha *i* coluna *i*

X_{i+} - Total marginal da linha *i*

X_{+i} - Total marginal da coluna *j*

N - Número total de parcelas contempladas na matriz

O resultado da estatística Kappa normalmente é comparado aos valores contidos na TABELA 3, a fim de indicar a qualidade do mapa temático.

Índice Kappa	Desempenho
< 0	Péssimo
0 < k ≤ 0,2	Ruim
0,2 < k ≤ 0,4	Razoável
0,4 < k ≤ 0,6	Bom
0,6 < k ≤ 0,8	Muito Bom
0,8 < k ≤ 1,0	Excelente

Tabela 3 - Qualidade da classificação associada ao índice Kappa. Fonte: Adaptada de Landis e Koch (1977).

A validação também foi realizada a partir da marcação de pontos georreferenciados com auxílio do aparelho GPS tendo sido obtido registros fotográficos para comparação de padrões de realidade terrestre com dados de classificação digital da imagem do ano de 2018.

5.3.2 MÉTRICAS DA PAISAGEM

Uma das formas de caracterizar as mudanças de uso e cobertura da terra é a utilização das métricas da paisagem. As métricas da paisagem possibilitam a quantificação da composição e da configuração da paisagem. Com este propósito, foram utilizadas imagens multitemporais de uso e cobertura de terra dos anos de 2007, 2015 e 2018, através do cálculo pelo *software FRAGSTATS 4.2.1*, de métricas da paisagem e posterior sua análise, (Tabela 4)

Métricas	Formula	Unidade	Descrição
Índice de Área (CA)	$CA = \sum_{i=1}^n C_i$	ha	CA - Área total de cada classe presente na paisagem. Maiores valores de CA indicam domínio da matriz.
Percentual de Área por Classe (PLAND)	$PLAND = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A}$	%	PLAND – proporção ocupada por cada classe na paisagem. Onde: a_{ij} - Área (m) da mancha ij . A – Área total da paisagem. A interpretação de PLAND é a mesma descrita para CA, porém expressa em porcentagem.
Tamanho médio das manchas (MPS)	$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \left(\frac{1}{10000} \right)$	ha	É calculado com base na área total da classe e de seu respectivo número de fragmentos (n_i) o que permite estimar o tamanho médio para seus fragmentos. As paisagens que apresentam menores valores para tamanho médio das manchas devem ser consideradas como as mais fragmentadas.
Número Manchas (NP)	$NP = n_i$	Adimensional	Número total de manchas numa classe ou paisagem (maior número de manchas é indicador de uma maior fragmentação da classe ou paisagem). NP deve ser analisado juntamente com a métrica CA e PLAND. Por exemplo: Se NP diminui, porém CA e PLAND aumentam, isso indica que houve união de fragmentos, mas se NP diminui, entretanto CA e PLAND também diminuem, isso indica que fragmentos foram extintos da paisagem.
Densidade manchas (PD)	$PD = \frac{n_i}{A} \times 10000 \times 100$	Número por 100 hectares	(Número de manchas/100 ha) é o número de fragmentos da classe em 100 hectares da paisagem. A interpretação de PD é a mesma descrita para NP.
Índice da maior mancha (LPI)	$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} (100)$	%	LPI - Informa a área da maior mancha encontrada em toda a paisagem ou seja, é a porcentagem da área da paisagem (A) ocupada pela maior mancha ($\max a_{ij}$). Permite perceber se a paisagem é dominada por uma só mancha e portanto da sua homogeneidade. Quando LPI próximo de 100 significa que a maior mancha ocupa quase a totalidade da área da paisagem.

Tabela 4: Métricas da paisagem analisadas. Fonte: MCGARIGAL, 2015 e LUDWIG & REYNOLDS, 1988.

5.3.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DOS AGRICULTORES FAMILIARES DA PROVÍNCIA DE MANICA

Entre Dezembro de 2018 a Março de 2019 foi realizado o trabalho de campo em Moçambique e especificamente na província de Manica, com dois objetivos chave: i) coletar dados e informações relevantes junto dos agricultores familiares para caracterizar os modos de produção agrícola e explorar suas associações com o desmatamento e, ii) obter com auxílio de GPS posições geográficas de pontos e seus respetivos usos da terra que permitissem a validação da classificação do uso e cobertura de 2018.

Para a obtenção das informações, foi aplicado uma entrevista semiestruturada (Anexo 1) a um número de 228 chefes de família nos distritos da região centro da província de Manica (Gondola, Manica e Sussundenga). A entrevista não obedeceu nenhum critério de seleção do grupo alvo sendo que qualquer chefe de família que estivesse disponível era entrevistado. Buscou-se levantar informações sobre: Tipo de uso e cobertura de terra que predominava quando foi ocupada a área; tamanho de propriedade; funcionamento de sistemas de produção; presença ou ausência de desmatamento; causas do desmatamento; Dimensão de área de produção com as respetivas culturas e rendimento por hectare. Todas as respostas do questionário foram codificadas para facilitar a análise.

Todas as respostas do questionário foram codificadas para facilitar a análise. Depois da codificação, o processamento de dados foi realizado através do pacote estatístico SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*), versão 19 e Excel. Uma análise multivariada foi conduzida para se conhecer o grau de relacionamento entre a expansão de áreas agrícolas e o desmatamento a partir da matriz constituída por 24 variáveis.

A análise multivariada realizada numa primeira fase foi a Análise de Componentes Principais (PCA – *Principal Component Analysis*) que é um método que tem por finalidade básica, a análise de dados usados, visando sua redução e escolha de formas mais representativas de dados a partir de combinações lineares das variáveis originais (PAIVA, 2006, VICINI, 2005, HAIR, et al 2005). Por meio desta técnica foi possível identificar as variáveis que melhor explicam a relação da expansão de áreas agrícolas e o desmatamento.

De acordo com ALCÂNTARA, et al (2011) e SILVA, et al, (2012), para a determinação da validade e aplicação da Análise de Componentes Principais faz-se necessário avaliar a existência da relação entre as variáveis pois, só assim é possível reduzir o número de variáveis a um número menor de componentes principais sem perda significativa de informação. Esta avaliação pode ser realizada através da matriz de correlações ou de covariâncias.

Existem dois principais testes estatísticos usados para avaliar se as variáveis são significativamente correlacionadas entre elas. São o teste de **esfericidade de Bartlett** (*Bartlett's Test of Sphericity*) e o **KMO** (*Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy*) (CARVALHO, 2013).

O teste de **esfericidade de Bartlett** é utilizado para observar se as correlações entre as variáveis são significativas. Caso sejam, permitem a Análise dos Componentes Principais através da Matriz de Correlações. Um valor elevado da estatística de teste favorecerá a rejeição da hipótese nula. Se a hipótese nula não puder ser rejeitada, então deve-se reconsiderar a utilização do PCA. No entanto, este teste é sensível ao tamanho das amostras no sentido de que para amostras grandes até pequenas correlações poderão ser estatisticamente significantes, pelo que se torna preferível usar o KMO. O teste KMO explica o grau de ajuste das variáveis com o fenómeno em estudo. Valores próximos a 1 indicam que o método de análise das componentes principais é perfeitamente adequado para a o tratamento de dados. Por outro lado, valores menores a 0.5 indicam a inadequação do método (ALCÂNTARA et al 2011).

A segunda técnica de análise multivariada utilizada nesta pesquisa foi a análise de agrupamentos (Análise de Clusters) que consiste em associar dados observados através de medidas de proximidade, semelhança, similaridade ou correlação. Essa análise foi utilizada usando o método K-Means que se baseia na escolha antecipada pelo usuário de um número de agrupamentos que conterão todos os casos. Segundo LINDEN (2009), o K-Means é uma heurística de agrupamento não hierárquico que busca minimizar a distância dos elementos a um conjunto de k centros dado por $c=\{X_1, X_2, \dots, X_k\}$ de forma iterativa. A distância entre um ponto P_i e um conjunto de clusters, dada por $d(P_i, X)$, é definida como sendo a distância do ponto ao centro mais próximo dele. A função a ser minimizada então, é dada por:

$$d(P, \chi) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d(p_i, \chi)^2$$

5.3.2 AVALIAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS

A FAO (1976) define avaliação da terra como um processo de prever o comportamento da terra quando usada para atividades específicas, envolvendo a execução e interpretação de levantamento do relevo, solos, vegetação, clima e outros aspectos do ambiente, com o objetivo de identificar e comparar tipos potenciais de uso aplicáveis à finalidade da avaliação.

No presente estudo, a avaliação da aptidão agrícola das terras baseou-se na metodologia descrita por RAMALHO FILHO e BEEK (1995) e FAO (1976) com modificações. O método adotado para a definição da aptidão agrícola é qualitativo¹ e com forte dominância de fatores ecológicos. Foi considerado apenas um nível de manejo (nível A)².

5.3.2.1 Níveis de classificação da aptidão

Foram considerados duas categorias ou níveis de classificação: ordens; classes. **As ordens** separam as terras em aptas (S) e não aptas (N). **As classes** indicam o grau de aptidão, dentro da ordem de terras aptas e divide-se em: muito aptas (S1); moderadamente aptas (S2); marginalmente aptas (S3).

Para estimar a quantidade potencial de áreas propícias para a agricultura foi utilizada a sobreposição de planos de informação (PI's) de solos, declividade, altitude, temperatura, precipitação, distância aos rios, serviços de extensão agrária de instituições de ensino e mapa atual de uso e cobertura de solo. Para cada fator de aptidão agrícola foram atribuídas notas que variam de 1 a 4 através da reclassificação de acordo com sua importância de influência (TABELA 7). Posteriormente, para cada fator foi atribuído peso percentual de influência no modelo. Por

¹ É aquela em que a aptidão da terra é expressa em termos qualitativos em relação a cada uso específico (exemplo: aptidão elevada; aptidão moderada ou marginal; sem aptidão)

² **Nível de manejo A:** reflete baixo nível tecnológico; quase ausência de aplicação de capital; trabalho fundamentalmente braçal;

Nível de manejo B: reflete um nível tecnológico médio; modesta aplicação de capital; trabalho com base na tração animal ou na tração motorizada, apenas para desbravamento e preparo inicial do solo e;

Nível de manejo C: reflete um alto nível tecnológico; aplicação intensiva de capital; trabalho mecanizado em quase todas as fases de atividades (RAMALHO FILHO, 1995).

fim e com o uso do método de análise multicritério, foram cruzados os planos de informação para a geração de mapa de favorabilidade agrícola no DINAMICA EGO.

Variável	Peso	Intervalos	Nota
Altitude	15%	100 a 200 – S1	1
		200 a 500 – S2	2
		500 a 1000 – S3	3
		1000 a 2500 – N	4
Declividade	15%	0 a 3% (Plano) – S1	1
		De 3% a 13% (Suave Ondulado) – S2	2
		De 13% a 45% (Ondulado) – S3	3
		> 45% (Forte ondulado a montanhoso) – N	4
Temperatura	15%	Entre 17.5 a 25 graus – S1	1
		Entre 15 a 22.5 graus – S2	2
		Entre 10 a 15 graus – S3	3
		Acima de 25 – N	4
Precipitação	15%	Entre 1400 a 1600 mm – S1	1
		Entre 1200 a 1400 mm – S2	2
		Entre 1000 a 1200 mm – S3	3
		De 800 a 1000 mm – N	4
Rios	10%	30 a 1000 metros – S1	1
		1000 a 2000 metros S2	2
		2000 a 5000 metros – S3	3
		Maior que 5000 metros – N	4
Serviços Agrários	10%	0 a 25 km – S1	1
		25 a 35 km – S2	2
		35 a 50 km – S3	3
		50 a 122 km – N	4
Solos	20%	Solos argilosos vermelhos, pretos e profundos	1
		Solos franco-arenosos, castanhos e acinzentados, de textura média	2
		Solos de aluviões estratificados, vermelhos de textura média, castanhos de textura arenosa, solos de aluviões e de mananga	3
		Solos líticos, vermelhos argilosos oxícos, arenosos alaranjados, solos pouco profundos.	4

Tabela 5: Notas e pesos por cada fator de aptidão das terras

As terras inaptas para todos os tipos de uso devem ser utilizadas para proteção da vida selvagem (fauna e flora), apicultura, cinegética ou mesmo atividades recreativas.

As notas para a classe dos solos foram definidas tomando em consideração fatores limitantes como condições de enraizamento; fertilidade; drenagem e riscos de erosão. O grau de

aptidão muito apto (S1) é constituído por solos que apresentam boas condições pedológicas para o cultivo de várias culturas. São solos de boa drenagem, menor acidez, teor médio a alto de matéria orgânica, de menor declividade, baixa suscetibilidade a erosão, maior profundidade. O grau de inaptidão (N) é constituída por solos de excessiva drenagem, maior acidez, menor teor de matéria orgânica, de maior declividade (acima de 45%), maior suscetibilidade a erosão, menor profundidade).

O balanceamento entre as duas classes extremas de aptidão definiu a classe media a baixa.

No modelo final, o grau de inaptidão também é constituído por áreas de florestas remanescentes mesmo que essas sejam de grau muito apto (SI) para a lavoura.

5.3.3 MODELAGEM DINÂMICA

Os principais procedimentos aplicados para a modelagem dinâmica do desmatamento para a província de Manica usando o *software* DINAMICA EGO foram:

1. Calibração do modelo e análise da dinâmica da paisagem;
2. Simulação e validação do modelo;
3. Obtenção de cenários futuros.

5.3.3.1 Calibração do modelo

A calibração de um modelo consiste na adequação e preparação de dados de entrada, no DINAMICA EGO. O processo inclui o cálculo do percentual das mudanças de classe, efetuado através do cálculo das matrizes de transição; do cálculo dos pesos de evidência; e análise da correlação dos pesos entre as variáveis de entrada para todas as transições (FURLAN, 2012).

A base para estruturação da modelagem foi composta com os mapas classificados da paisagem dos anos de 2007 (mapa de uso e cobertura inicial) e de 2015 (mapa de uso e cobertura final) com informações sobre os aspetos de uso e ocupação do solo. Desses mapas de entrada, foram geradas as matrizes de transição entre 2007 a 2015 com um intervalo de 08 passos.

A matriz de transição compreende o processo de estimativa das taxas de transição ou mudanças na paisagem ocorridas entre o ano inicial e final do período de estudo. Define as taxas de transição de áreas com vegetação nativa para áreas desmatadas ocorrido entre o ano inicial e final do período de estudo.

Utilizou-se a ferramenta *Determine Transition Matrix*, um *functor* da modelagem no DINAMICA EGO, que permite estimar as taxas denominadas “*Single Step*” e “*Multiple Step*” (SOARES-FILHO et al., 2009). O termo “*Single Step*” refere-se à matriz de transição ocorrida durante todo período de tempo da análise (global) e o termo “*Multiple Step*” refere-se a matriz de transição gerada por intervalo de tempo durante o período da análise (anual).

A determinação de componente que assinala a localização das mudanças foi possível através da definição de pesos de evidência baseado no teorema da probabilidade condicional de Bayes, que se refere à disposição de um evento ocorrer em face da ocorrência passada de outro evento. Os pesos de evidência definem as células com maior ou menor probabilidade de transição de cobertura da terra (NOVAES, 2010). Para SOARES-FILHO et al., (2007), os mapas resultantes da integração dos pesos assinalam as áreas mais favoráveis para cada tipo de mudança, podendo, portanto, ser interpretados como mapas de probabilidades espaciais de transição. Os pesos são obtidos a partir das formulações 1 e 2.

$$O\{D/B\} = O\{D\} \frac{P\{B/D\}}{P\{B/D\}} \quad (1)$$

$$\log\{D/B\} = \log\{D\} + W^+ \quad (2)$$

Em que $O\{D\}$ e $O\{D/B\}$ são os odds ou chances, respetivamente, de ocorrer *a priori* o evento **D** e ocorrer **D** dado um padrão espacial **B**. W^+ é o peso de evidência de ocorrer o evento **D**, dado um padrão espacial **B**. A probabilidade a posteriori de uma transição $i \rightarrow j$, dado um conjunto de dados espaciais e considerando que $O\{D\}=1$, pois esta já é passada ao modelo via matriz de transição, é expressa pela seguinte equação:

$$P(i \Rightarrow j(x, y) / V) = \frac{e^{\sum_k W_k n_{i \Rightarrow j(V)}^{xy}}}{1 + \sum_{ij} e^{\sum_k W_k n_{i \Rightarrow j(V)}^{xy}}} \quad (3)$$

Onde V representa um vetor de k variáveis espaciais, medidas nas localidades x , y e representadas por seus pesos W^+_{k1xy} , W^+_{k2xy} , ..., W^+_{knxy} , sendo n o número de categorias de cada variável k . (BONHAM-CARTER, 1994; SOARES-FILHO et al., 2003; TRENTIN, 2010).

Os valores de pesos de evidência positivos referem-se à associação positiva entre a evidência e o evento, ou seja, favorecem a mudança de estado; já valores negativos indicam a repulsão causada pela evidência (variável) para a ocorrência do fenômeno (evento de mudança),

e valores próximos de zero significam que a variável não exerce efeito sobre a transição (SOARES-FILHO et al., 2009).

Antes do cálculo de pesos de evidência foi necessário primeiramente calcular faixas para classificar as variáveis em escalas contínuas para a derivação dos pesos de evidência utilizando o modelo *Determine Weights of Evidence Ranges*. Utilizou-se os mapas de uso e cobertura do solo e os mapas das variáveis estáticas tendo sido obtido um arquivo esqueleto de pesos de evidência (WofE_ranges). Depois da categorização de variáveis estáticas e com o mesmo conjunto de dados no passo anterior, foram calculados os pesos de evidência por meio do modelo *Determine Weights of Evidence Coefficients*. No cálculo utilizou-se para os parâmetros mapas inicial e final (2007 e 2018) o de entrada o arquivo “WofE” e variáveis estáticas interligando-os ao functor “*Determine Weights of Evidence Coefficients*”, tendo como arquivo de saída dos Coeficientes de Pesos de Evidencia “Weights_table.dcf.

Principais classes de variáveis estáticas (dados vetoriais de hidrografia, distância as estradas, distância a áreas protegidas, distância a principais vilas e cidades, declividade e solos) foram obtidas a partir da base de dados disponibilizada pela CENACARTA (Centro Nacional de Cartografia e Teledeteção de Moçambique) (Figura 8). Essas variáveis foram rasterizadas com pixels de 30m. Após a rasterização, os mesmos inseridas no modelo para a atribuição dos pesos de evidência que representa a influência dessas variáveis na probabilidade espacial de uma transição de uso de terra na fase de calibração. Foram também consideradas como variáveis estáticas a distancia dos principais centros urbanos e distancia a área de proteção.

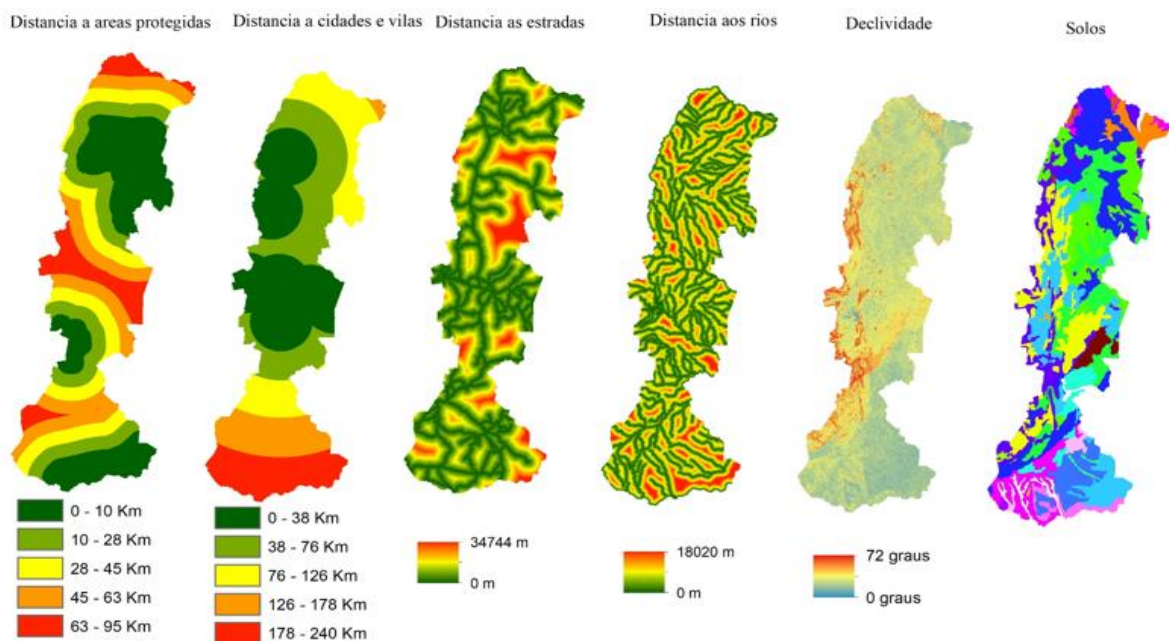


Figura 8: Variáveis estáticas

Essas variáveis devem ser independentes espacialmente entre si. Para a determinação dessa independência, foi realizado o teste de Crammer e da Incerteza de Informação Conjunta (U). BONHAM-CARTER (1994) mencionam que valores inferiores a 0,5, tanto para o teste de Crammer (V) como para a Incerteza de Informação Conjunta (U), sugerem dependência espacial entre as variáveis consideradas, o que não leva a desconsideração de nenhuma delas no modelo. Assim, adota-se a limiar de 0,5 para decidir sobre a inclusão (V ou U < 0,5) ou exclusão (V ou U > 0,5) das variáveis no modelo ou seja, valores abaixo de 0,5 indicam que as variáveis não possuem dependência, podendo ser utilizadas para modelagem.

O índice de Cramer é definido por BONHAM-CARTER (1994) pela seguinte fórmula:

$$V = \sqrt{\frac{X^2}{T \cdot M}}$$

Onde:

T = totais marginais da matriz de tabulação cruzada entre dois mapas A e B;

X^2 = estatística qui-quadrado;

M = mínimo de (n-1, m-1), em que n é igual ao número de linhas e m é o número de colunas da matriz de tabulação cruzada entre os mapas A e B.

A Incerteza de Informação Conjunta (U) pertence à classe das medidas de entropia, também baseadas na matriz de tabulação cruzada T , que podem ser usadas para medir associações e é definida por (BONHAM-CARTER, 1994):

$$U(A,B) = 2 \left[\frac{H(A) + H(B) - H(A,B)}{H(A) + H(B)} \right]$$

Onde, pode variar entre 0 e 1, sendo que quando os dois mapas são completamente independentes, então $H(A,B) = H(A) + H(B)$ e $U(A,B)$ é 0, e quando os dois mapas são completamente dependentes, $H(A) = H(B) = H(A,B) = 1$, e $U(A,B)$ é 1 (ALMEIDA, 2003).

Com os parâmetros de entrada mapa inicial (2007), variáveis estáticas e o arquivo de Pesos de Evidências “Weights”, interligados com o functor “Determine Weights os Evidence Correlation” com os mapas das distâncias dos números de classes de uso desejada, foi avaliada a existência de variáveis que influenciavam no modelo.

5.3.3.2 Simulação e validação

Obtidos os pesos de evidência e o grau de dependência ou associação entre as variáveis, proceder-se-á à execução do modelo de simulação e validação.

As simulações foi realizadas a partir da calibração do modelo, que envolve a definição dos percentuais de contribuição dos algoritmos *expander* e *patcher*. O algoritmo *expander* dedica-se unicamente à expansão ou contração de manchas de uma determinada classe e o *patcher* busca as células que apresentam a maior probabilidade de transição e gera novas manchas de uma determinada classe usando um mecanismo de semeadura. Ambos os processos usam um mecanismo nucleador de manchas, que opera sobre o mapa de probabilidades de transição e tem como parâmetros de entrada a isometria, a variância e o tamanho médio das manchas (SOARES-FILHO et al., 2007). Quanto maior o valor adotado, mais geometricamente regulares serão as manchas produzidas pelos algoritmos de transição, e, de forma contrária, quanto mais próximo de zero, mais dendríticas serão as manchas (KAWASHIMA et al, 2016). O tamanho médio das manchas e a variância são definidos em unidades de área (hectares) e a isometria varia de 0 a 2 sendo que quanto maior, mais isométrica (células agregadas) a mancha aparece (DIAS, 2011).

Os arquivos de entrada utilizados foram o mapa inicial (2015), as variáveis estáticas, o arquivo “Weights_table.dcf dos Coeficientes de Pesos de Evidencia e a matriz de transição

“passos múltiplos” com fins de repetir todas as operações durante os intervalos de tempo (2015 e 2018 = 3 anos), foi adicionado o container “Repeat”, para a modelagem foram inseridos dentro deste container os funtores: *Patche*, “*Calc W. OF. E. Probability Map*”, “*Calc Distance*”, “*Modulate Change Matrix*”, “*Expander*” e “*Mux Categorical Map*”. Os parâmetros de saída gerados foram os mapas de probabilidades de mudanças e os mapas da paisagem.

Por conseguinte, realizou-se a etapa do teste de validação que consistiu em certificar a similaridade mínima entre o mapa simulado e o mapa de referência (observado).

O método de validação na plataforma DINAMICA EGO é baseado no conceito de “*fuzziness of location*” (dubiedade de localização) no qual a representação de uma célula é influenciada por ela mesma, e, em menor magnitude, pelas células na sua vizinhança (HAGEN, 2003). Trata-se de um teste de comparação de similaridade *fuzzy* entre o mapa simulado e o mapa-referência. O método faz o cálculo dos erros e acertos do processo de modelagem, dando maior precisão na análise. Este método é implementado de forma modificada no DINAMICA EGO, onde foi nomeado de *Calc Reciprocal Similarity* e considera que mesmo mapas que não apresentam similaridade célula a célula podem ainda apresentar padrões similares, baseando-se na comparação do mapa final simulado com um mapa de referência e utilizando contextos de vizinhança (SOARES-FILHO et al., 2009). O resultado deste teste varia de zero (0) a um (1); quanto mais próximo de um (1), mais similar estará a simulação da situação real (TRENTIM e FREITAS, 2010).

Os dados utilizados nesta fase do trabalho foram os mapas de entrada inicial do uso e ocupação da terra do ano de 2015 e final 2018 (real), sendo o simulado final de 2018.

Foi realizada a comparação dos mapas de desmatamento projetado e de desmatamento observado (resultantes da classificação das imagens LANDSAT) para o ano de 2018 em função da incerteza da localização de uma classe dentro de sua vizinhança de células através das funções de decaimento exponencial e do decaimento constante. Trata-se de um teste de comparação de similaridade *fuzzy* entre o mapa simulado e o mapa-referência.

5.3.3.1 Cenários futuros

Segundo KAWASHIMA et al, 2016 cenários consistem em uma metodologia capaz de explorar diferentes alternativas de futuro que servem para facilitar a tomada de decisões. Eles exploram conjecturas político-econômicas, sociodemográficas, legais, institucionais, ambientais, tecnológicas e outras, que serão responsáveis por desencadear mudanças passíveis de previsão, segundo um grau de certeza, em horizontes de projeto específicos. Os mesmos autores fazem referência da subdivisão de cenários em estacionários e não-estacionários, em que os primeiros utilizam o diagnóstico das alterações pretéritas para direcionar as alterações que ocorrerão no futuro, reproduzindo tendências observadas no passado. Os não-estacionários, por sua vez, podem utilizar o diagnóstico das alterações pretéritas para simular alterações futuras, mas incorporam novas condições de contorno, como mudanças na conjuntura macro ou microeconômica, alterações em dispositivos legais, novas instalações de infraestrutura etc.

No presente estudo, trabalhou-se com cenário estacionário. Com o grau de similaridade aceitável entre o mapa simulado e observado, efetuou-se a simulação de prognósticos até ao ano de 2025. Para a execução do modelo para prognósticos, foram utilizados os arquivos de matriz de transição e de pesos de evidência, variáveis estáticas e mapa de uso final (2018).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 VALIDAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DIGITAL

6.1.1 Índice Kappa

No presente estudo empregou-se a análise de qualidade de mapeamento a partir do índice Kappa (K) construído da matriz de confusão de cada um dos anos analisados (2007, 2015 e 2018), gerado em relatório no *software* SPRING após a classificação.

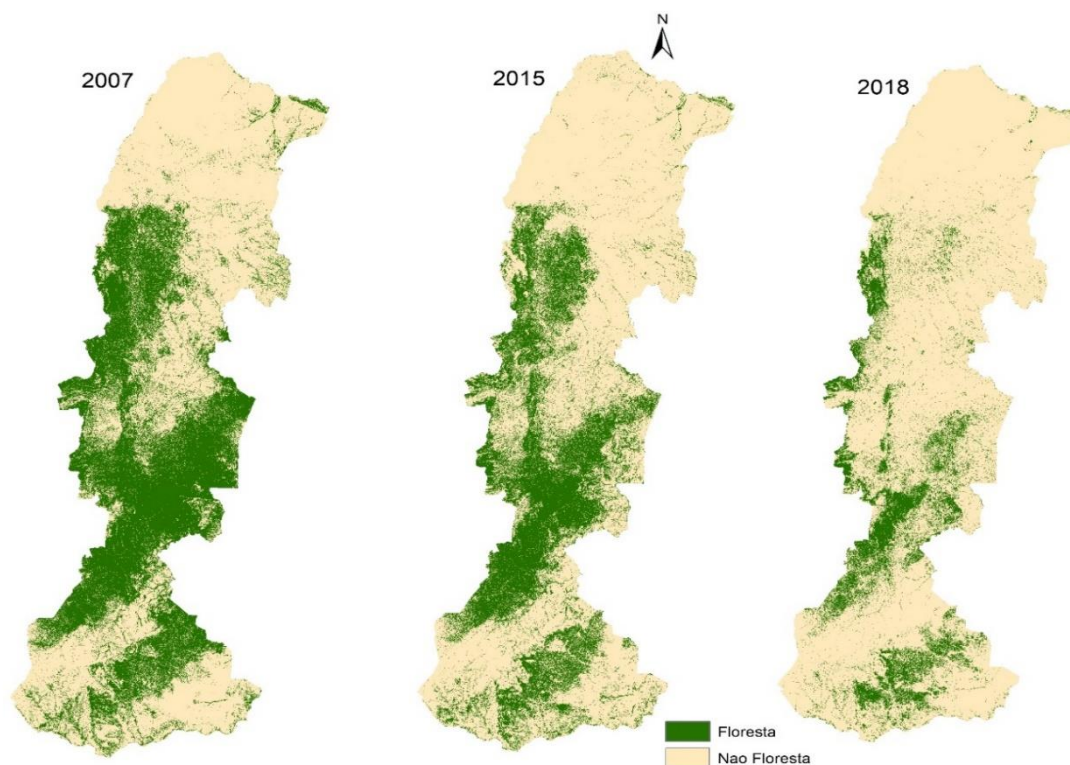


Figura 9: Imagens classificadas da área de estudo.

Os valores do Índice Kappa (Tabela 6) calculados a partir do *software* SPRING 5.5.2 para a província de Manica utilizando a matriz de erros das imagens de satélite dos anos de 2007, 2015 e 2018, mostraram níveis de aceitação excelente.

Ano	Índice Kappa	Nível de Aceitação
2007	99.92	Excelente
2015	98.96	Excelente
2018	99.95	Excelente

Tabela 6 - Níveis de aceitação encontrados nos valores do Índice de Kappa gerados a partir das imagens de 2007 à 2018.

6.1.2 Validação de campo

Durante o trabalho de campo foram levantados 300 pontos amostrais para a validade da classificação do uso e cobertura da terra (Tabela 7).

Ponto	Distrito	Coordenadas UTM Zona 36S		Classe	Status
		X	Y		
1	Gondola	568775	7893313	Não Floresta	Corresponde
2	Gondola	569422	7894827	Não Floresta	Corresponde
3	Gondola	582743	7908252	Não Floresta	Corresponde
4	Gondola	589824	7880179	Não Floresta	Corresponde
5	Gondola	567960	7889541	Não Floresta	Corresponde
6	Sussundenga	531318	7850012	Floresta	Corresponde
7	Sussundenga	534515	7832277	Não Floresta	Corresponde
8	Sussundenga	535474	7829040	Não Floresta	Corresponde
9	Sussundenga	536226	7821927	Floresta	Corresponde
10	Sussundenga	535511	7819494	Floresta	Corresponde
11	Sussundenga	535223	7818930	Floresta	Corresponde
12	Sussundenga	534446	7866923	Não Floresta	Corresponde
13	Sussundenga	530838	7850827	Floresta	Corresponde
14	Manica	508429	7899197	Não Floresta	Corresponde
15	Manica	511458	7897780	Floresta	Corresponde
16	Manica	535467	7829038	Não Floresta	Corresponde
17	Manica	5102204	7898724	Não Floresta	Corresponde
18	Manica	508862	7899296	Não Floresta	Corresponde
19	Manica	516280	7896058	Não Floresta	Corresponde
20	Manica	514855	7897154	Floresta	Corresponde

Tabela 7: Alguns Pontos de validação

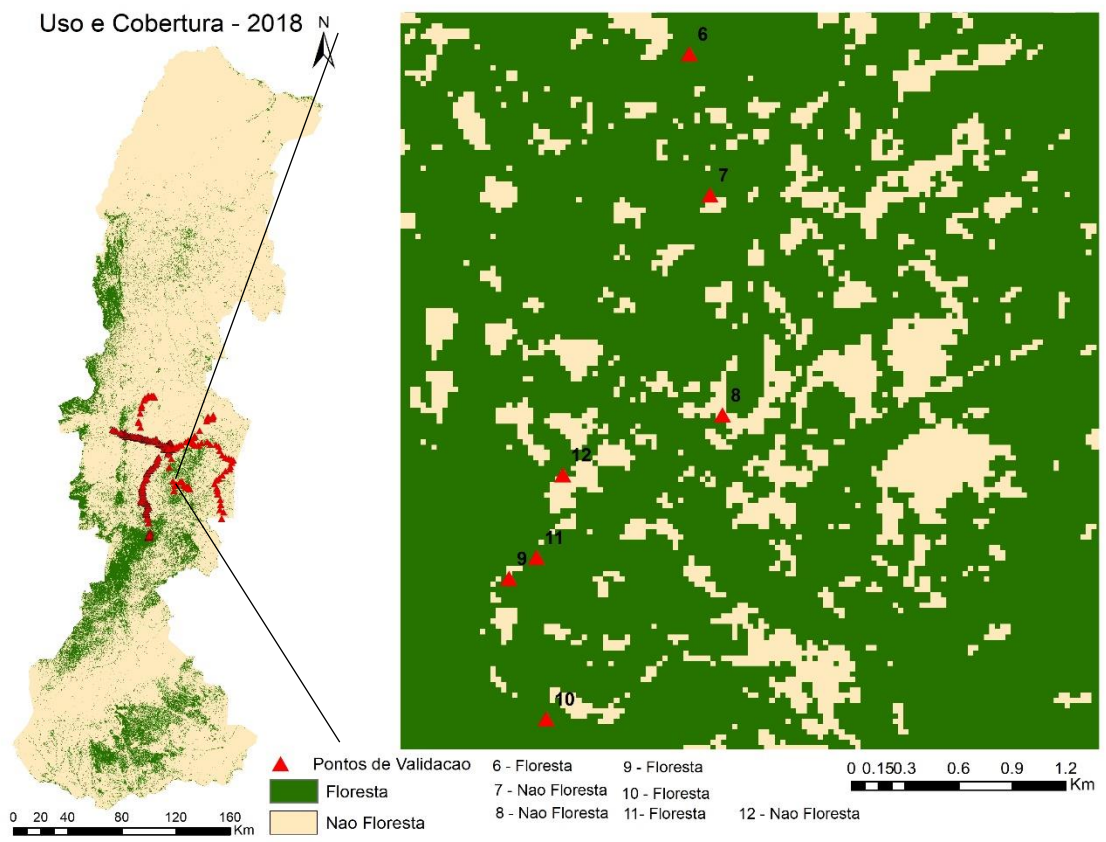
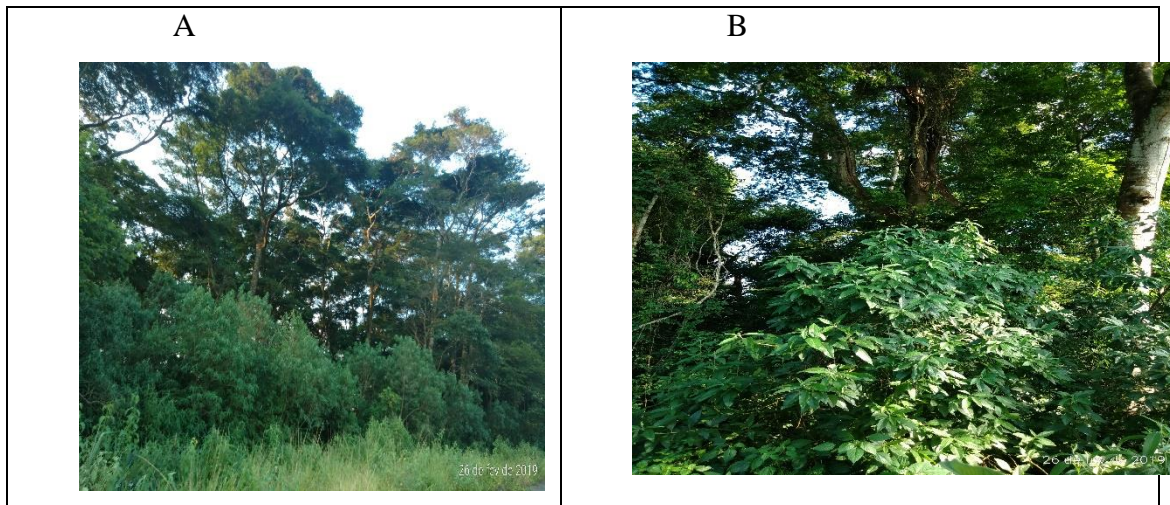


Figura 10: Pontos de validação de campo da área de estudo



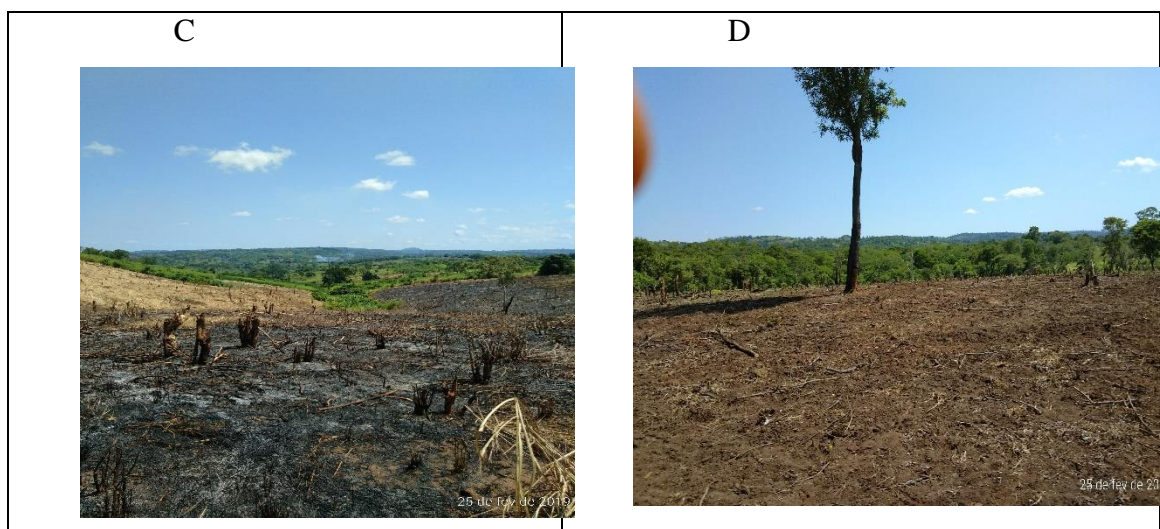


Figura 11: Fotos da área de estudo. A e B – Áreas de floresta (Distrito de Sussundenga), C e D – Não Floresta (Campos agrícolas no distrito de Gondola).

6.2 QUANTIFICAÇÃO DAS MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DO SOLO

6.2.1 Métricas da paisagem

Class	Metrics	Period		
		2007	2015	2018
Forest	CA	2546591	1866537	953965
	PLAND	41	30	15
	NP	264635	301476	343722
	PD	4.2496	4.8413	5.5197
	LPI	34.2886	19.8504	3.6629
	MPS	9.6230	6.1913	2.7754
No-Forest	CA	3680639	4360693	5273265
	PLAND	59	70	85
	NP	288238	230326	106130
	PD	4.6287	3.6987	1.7043
	LPI	34.8448	40.8450	81.6099
	MPS	12.7694	18.9327	49.6868

Tabela 8: Métricas da paisagem

A área de estudo apresenta uma diminuição significativa da cobertura florestal. Pela Métrica CA, existia em 2007 cerca de 2546500 ha de florestas. Em 2018 a área de florestas passou para 953900 ha correspondendo a uma taxa de redução de 56%. No mesmo período, a classe de não floresta passou de 3680600 hectares em 2007 para 5273200 hectares em 2018 correspondendo a 90% de aumento da sua área.

No que tange ao número de fragmentos florestais, existia 264600 fragmentos em 2007. Para o ano de 2018 registrou-se aumento de fragmentos florestais, passando de 264600 em 2007 para 343700 fragmentos. Neste mesmo ano, notou-se a diminuição do índice da maior mancha passando de 34% em 2007 para 4% em 2018. De acordo com SAUNDERS et al. (1991), fragmentos pequenos apresentam risco de não se manterem na área, dada a intensidade do efeito borda a que estão sujeitos e, remanescentes de área pequena apresentam frágeis padrões de sustentabilidade ao longo do tempo, diferente de fragmentos de área grande que têm capacidade de proteger a diversidade biológica.

Em 2007, a classe de floresta representava 41% da paisagem. Nos 11 anos que intermedeiam período de estudo, esta classe perdeu mais de metade da sua área, passando a ocupar apenas 15% da área total da paisagem em 2018. As áreas de floresta foram convertidas em áreas agrícolas (em uso e/ou em pousio) e em áreas residências.

O período de grandes mudanças na paisagem ocorreu entre 2015 e 2018. De acordo com os resultados da análise de métricas da paisagem, verificou-se que o processo de fragmentação foi intenso e é resultado da conversão de áreas de florestas para não floresta (agricultura, áreas residências, pastagens e florestas degradadas).

6.3 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DOS AGRICULTORES FAMILIARES DA PROVÍNCIA DE MANICA

Em relação ao tipo de ocupação, maior parte dos inquiridos afirmou trabalhar por conta própria (89%) sendo agricultura sua principal atividade e base de sobrevivência. Um número bastante reduzido (11%) de inquiridos é funcionário público ou da empresa florestal (Tabela 9).

Em relação aos produtos básicos alimentares a Província de Manica produz, de entre vários, o milho, feijão, sorgo, mandioca e batata-doce.

Principal ocupação	Respostas	Porcentagem (%)
1. Trabalha por conta própria no setor agrário;	201	89
2. Funcionário público ou da empresa	26	11
Total	227	100

Tabela 9: Setor de atividade

Dos 227 entrevistados, um pouco menos que a metade vive na área de estudo desde da nascença (47%) sendo que o restante ocupou a área há menos de 5 anos atrás (22%) e (31%) há mais de 6 anos.

O direito de uso e aproveitamento de terra é adquirido por três vias principais: herança, doação e compra. Maior parte dos inquiridos (39%) obtiveram as suas propriedades via costumeira (herança e ocupação de boa fé), (34%) por doação de líderes comunitários e sendo menor número (27%) por comprar. Figura 4.

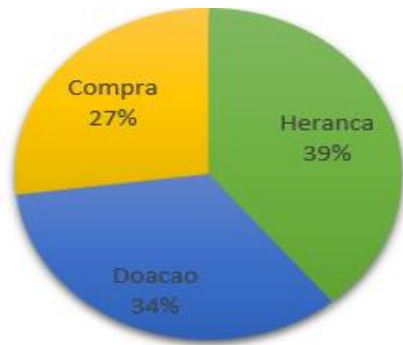


Figura 12: Forma de aquisição de direito de uso e aproveitamento dessa terra

De acordo com resultados da tabela 10, a principal causa da diminuição de áreas de florestas segundo os entrevistados é a expansão de áreas agrícolas e exploração de energia da biomassa (lenha e carvão vegetal).

Causas do desmatamento	Respostas	Porcentagem (%)
1. Expansão de áreas agrícolas e exploração da energia de biomassa (lenha e carvão);	132	58
2. Exploração madeireira;	48	21
3. As duas causas atuam em simultâneo	47	21
Total	227	100

Tabela 10: Causas do desmatamento

Os resultados da análise do questionário parecem indicar que expansão de áreas agrícolas para aumentar os níveis de produção está causando a diminuição da cobertura florestal na província de Manica. No entanto, a causa de expansão de áreas agrícolas é diferente nos grupos de agricultores familiares. O esgotamento da capacidade produtiva dos solos em produção e a necessidade de aumentar a produção para a comercialização de excedentes agrícolas constituem causas comumente apontadas de expansão de áreas agrícolas sobre as florestas. O crescimento da população urbana de baixo poder de compra associado a elevados valores de energia elétrica faz aumentar a demanda pelo carvão vegetal como fonte alternativa de energia. Segundo MAGALHÃES, (2014) a produção de carvão vegetal para efeitos de cozinha e aquecimento representa mais de 85% do consumo total de energia no país. O aumento da demanda pelo carvão

vegetal nos principais centros urbanos provoca o desmatamento nas áreas adjacentes e não só, atualmente os produtores e vendedores de carvão percorrem longas distâncias para pôr seu produto no mercado.

Apesar de 70% da população atual residir nas zonas rurais, tendo como fonte única o combustível lenhoso, curiosamente, não é esta parte da população que ameaça o recurso, mas sim os restantes 30% da população que habitam zonas urbanas e periurbanas mas continuam dependentes da lenha e do carvão vegetal como principal fonte de energia doméstica (SITOE, A., MIRIRA, R. & TCHAÚQUE, F 2007).

O aumento da produção para comercialização de excedentes (33%) e a perda da capacidade produtiva dos solos (27%) foram apontadas pelos entrevistados como principais causas da expansão de áreas de produção (33%).

O aumento do agregado familiar foi uma das causas citadas mas com menor expressão (14%) quando comparado com as anteriores causas (FIGURA 13). No entanto, MARZOLI, 2007 faz referência ao aumento da população como principal causa da exploração desenfreada de recursos florestais através da expansão de áreas agrícolas e produção de carvão.

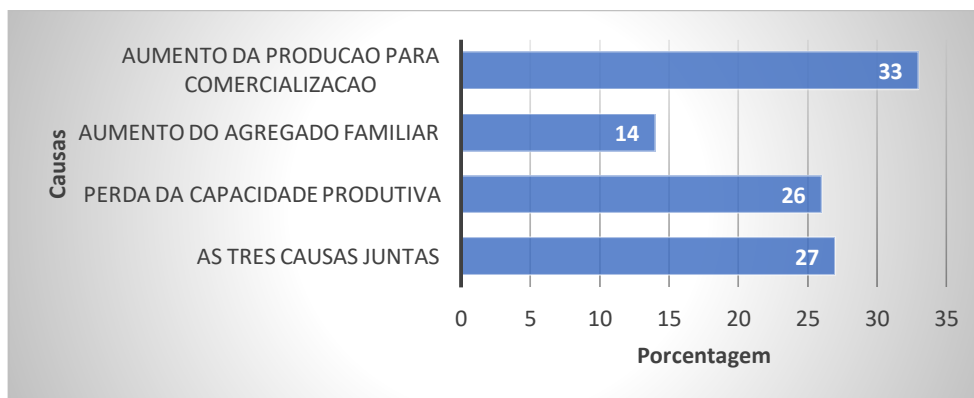


Figura 13: Causa da expansão de áreas de produção

CUNGUARA et al (2012) faz referência de que a alta dos preços de alimentos no mercado mundial motivou expansão da área cultivada e maior uso de tração animal, mas sem nenhum aumento significativo na proporção de agregados familiares que usam fertilizantes químicos.

A área de produção varia de 1.5 hectares a 5 hectares sendo que a média é de 2.6 hectare por família. Cerca de 30% dos entrevistados produzem em área de 3 hectares e 3% em 5 hectares.

Dos 227 entrevistados constatou-se que 116 (51%) indivíduos aumentaram 1 hectare de área de produção nos últimos 2 anos. (21%) aumentou 0.5 hectares e apenas 3 indivíduos (1%) aumentaram 2.5 hectares.

Aumento da área de produção em ha.	Respostas	Porcentagem (%)
0.5	47	21
1	116	51
1.5	43	19
2	18	8
2.5	3	1
Total	227	100

Tabela 11: Aumento de área de produção

Os níveis de produção e produtividade são muito baixos devido a práticas de cultivo tradicional caracterizado pelo baixo uso de insumos agrícolas. Maior parte dos agricultores, (cerca de 49% dos entrevistados) produzem uma tonelada de milho por hectare e 16% produzem 2 toneladas de milho por hectare, (Tabela 12). A média nacional de acordo com o MISA (2015) ronda em 1.2 toneladas de milho por hectare.

Toneladas de milho por hectare	Respostas	Porcentagem
1	112	49
1.5	79	35
2	36	16
Total	227	100

Tabela 12: Toneladas de milho por hectare.

Dado o fato de não existir empresas florestais na maior parte da área de estudo, 171 entrevistados (75%) apontam a exploração da energia da biomassa como ação inicial do desmatamento ou seja, os exploradores de carvão vegetal e de lenha são os primeiros a devastar florestas intactas que posteriormente as áreas são usadas pelos agricultores para produção de alimentos - machambas. Os restantes 25% (que vivem em áreas onde simultaneamente existem operadores de carvão e madeireiros) apontaram os madeireiros como os que começam com ação de desmatamento e só depois é que entram os exploradores de carvão e lenha. Os entrevistados apontaram a existência de operadores furtivos que abatem de forma seletiva, espécies madeiras de interesse comercial.

6.3.1 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)

O teste KMO foi de 0.832, indicando a adequabilidade do método (Tabela 13).

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.832
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	4233.996
	df	276
	Sig.	.000

Tabela 13: Teste de KMO e Bartlett

As comunalidades (communalities) são quantidades das variâncias (correlações) de cada variável explicada pelas componentes. Quanto maior a comunalidade, maior será o poder de explicação daquela variável pelo fator. No caso específico, todas as variáveis apresentaram comunalidades superiores a 0.40 sendo que a maior foi de 0.96.

No estudo em caso, os dados colhidos em campo, após o uso do algoritmo PCA, foi possível a redução do número de componentes em estudo para sete (7) com autovalores maior que 1 explicando cerca de 76% da variância total dos dados (Tabela 14).

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	5.889	24.538	24.538	5.889	24.538	24.538
2	4.938	20.576	45.114	4.938	20.576	45.114
3	1.914	7.974	53.088	1.914	7.974	53.088
4	1.662	6.924	60.012	1.662	6.924	60.012
5	1.486	6.193	66.205	1.486	6.193	66.205
6	1.212	5.049	71.254	1.212	5.049	71.254
7	1.028	4.285	75.539	1.028	4.285	75.539
8	.890	3.710	79.249			
9	.711	2.964	82.213			

Tabela 14: Variância total explicada

A tabela 14 representa a percentagem de variância explicada por cada componente principal. Quando esta porcentagem se reduz e a curva passa a ser quase paralela ao eixo das abcissas, são de excluir as componentes correspondentes. Conforme a tabela, nota-se que a taxa de variação dos autovalores em relação ao número de componentes decresce abruptamente em

um determinado ponto do gráfico. Por isso, foram levado em consideração apenas 7 componentes principais que tem valor de variância maior que 1 as quais representam uma variância explicada de 76% dos dados.

	Component						
	1	2	3	4	5	6	7
Idade	.039	.787	.319	.040	.134	-.025	-.006
Tipo de ocupação	-.086	-.013	-.013	.886	-.069	.048	-.028
Agregado familiar	.033	.299	.782	-.051	.181	.022	-.004
Tempo de utilização da terra	.153	.020	.089	-.059	.884	.042	-.090
Forma de aquisição do direito de uso e aproveitamento da terra	.082	-.422	-.021	.120	.735	-.046	-.057
Tipo de uso e cobertura de terra dominante aquando da ocupação	-.008	-.831	-.181	-.094	.112	-.038	.065
Dimensão da propriedade	-.056	.757	.3	-.230	-.263	-.004	-.017
Hectares de florestas	-.107	.767	.169	-.113	-.351	.090	-.010
Dimensão da área para produção	.026	.194	.885	-.064	.006	.099	.046
Aumento de área de produção nos últimos 2 anos	.010	.170	.874	-.088	-.054	.055	-.029
Número de machambas	-.039	.371	.567	.079	-.087	-.025	.358
Quantidade de milho (em toneladas) por hectare	-.102	.072	.167	.019	-.068	.829	-.008
Instrumentos de produção	.151	-.012	-.027	.019	.067	.828	-.046
Motivo de expansão de área de produção	.006	-.090	-.068	-.021	.004	.085	.792
Uso de técnicas de pousio	-.031	.556	.072	-.220	.179	-.022	.361
Atividades económicas complementares	-.004	-.144	-.123	.889	.110	-.015	.079
Assistência de extensionistas	.031	-.114	-.192	-.100	.182	.193	-.575
Empresas florestais na área	.953	-.041	.002	.027	.087	.073	-.030
Forma de aquisição de terra pelas empresas florestais	.960	.071	.020	-.062	.019	.041	.023
Consulta à comunidade para concessão de terra	.979	.016	-.035	-.019	.051	.008	.020
Mudança no provimento de recursos florestais depois da existência de empresas florestais	.975	-.011	-.018	-.033	.061	.010	-.001
Causas da diminuição do provimento	-.825	.061	.034	.061	-.041	.077	.048
Início da ação do desmatamento	-.633	.148	-.163	-.037	.001	-.103	.015
Melhoria da vida pelo serviço social da empresa	.900	.052	-.056	-.019	.090	-.070	-.003
Extraction Method: Principal Component Analysis.							
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.							
a. Rotation converged in 7 iterations.							

Tabela 15: Matriz das componentes

Levando em consideração que pesos de componentes mais elevados em valor absoluto identificam o componente a que cada variável se associa. Assim, considerando apenas os pesos de componentes em valor absoluto superiores a 0.45 (os que estão em negrito na tabela *rotated component matrix*), podemos descrever os seguintes componentes:

✓ **Componente 1** – Constituído por 7 variáveis dos quais 5 são fortemente correlacionadas positivamente e 2 são fortemente correlacionadas negativamente. No primeiro

grupo incluem-se as variáveis: existência de empresas florestais na área, formas de aquisição de terra pelas empresas florestais, consulta à comunidade para aquisição de terra, mudança no provimento de recursos florestais depois da existência de empresas florestais, e melhoria da vida pelo serviço social prestado pelas empresas florestais. No segundo grupo incluem-se as variáveis: causas da diminuição do provimento de recursos florestais e, início da ação do desmatamento.

✓ **Componente 2** – Constituído por 3 variáveis sendo todas elas fortemente correlacionadas positivamente. São elas: a idade do chefe de família, a dimensão da sua propriedade e os hectares de florestas.

✓ **Componente 3** – As variáveis que apresentam pesos fatoriais mais elevados em valor absoluto neste fator são: Número do agregado familiar, dimensão da área (em hectares) para produção e ao aumento da área para produção nos últimos 5 anos.

✓ **Componente 4** - As variáveis que apresentam pesos fatoriais mais elevados neste fator são: tipo de ocupação e atividades económicas complementares.

✓ **Componente 5** – Tempo de utilização da terra e a forma de aquisição do direito de uso e aproveitamento de terra são variáveis que tem pesos fatoriais mais elevados neste componente.

✓ **Componente 6** – Quantidade de milho em toneladas por hectare e instrumentos de produção utilizados são variáveis que tem pesos fatoriais mais elevados neste componente.

✓ **Componente 7** – Constituído por duas variáveis sendo uma fortemente correlacionada positivamente – motivo de expansão de área de produção, e outra fortemente correlacionada negativamente – assistência de extensionistas.

A análise dos componentes extraídos da amostra permite entender que características das florestas (componente 1) é o elemento com maior carga fatorial e que maior explica a diferenciação de agricultores familiares.

6.3.2 Análise de clusters

A análise de clusters é um método que permite agrupar sujeitos ou variáveis em grupos com uma ou mais características comuns. No caso em análise, foram utilizadas todas variáveis para a formação de grupos de agricultores com características homogêneas e determinar a heterogeneidade entre os grupos formados.

	Cluster		
	1	2	3
Idade	50	67	33
Tipo de ocupação	1	1	1
Agregado familiar	8	9	6
Tempo de utilização da terra	2	2	2
Forma de aquisição do direito de uso e aproveitamento de terra	2	1	2
Tipo de uso e cobertura de terra dominante aquando da ocupação	2	1	2
Dimensão da propriedade	10	14	6
Hectares de florestas	1	3	0
Dimensão da área para produção	2.8	3.1	2.3
Aumento de área de produção nos últimos 2 anos	1.2	1.3	.9
Número de machambas	1	2	1
Quantidade de milho (em toneladas) por hectare	1.3	1.4	1.3
Instrumentos de produção	1	1	1
Motivo de expansão de área de produção	2	3	3
Uso de técnicas de pousio	1	2	1
Atividades económicas complementares	2	2	2
Assistência de extensionistas	2	2	2
Empresas florestais na área	2	1	2
Forma de aquisição de terra pelas empresas florestais	2	2	2
Consulta à comunidade para concessão de terra	2	2	2
Mudança no provimento de recursos florestais depois da existência de empresas florestais	2	1	2
Causas da diminuição do provimento	2	2	2
Início da ação do desmatamento	1	1	1
Melhoria da vida pelo serviço social da empresa	3	2	2

Tabela 16: Centro final do Cluster

Cluster 1 (Agricultores não nativos)

Cluster majoritário constituído por 86 indivíduos entrevistados (38%) com idade média de 50 anos. Têm sua maior representatividade na região Sul e Centro Leste da área de estudo. Os agricultores familiares deste cluster são imigrantes e adquiriram o direito de uso e aproveitamento da terra por via da doação e compra. Sua propriedade tem uma dimensão média de 10 hectares e desta área, 2.8 hectares são para produção. Nos últimos 2 anos aumentaram em média 1.2 hectare da sua área de produção. Esse aumento é motivado pelo crescimento do agregado familiar. A diminuição de área de floresta é causada principalmente pela expansão de áreas agrícolas e exploração da energia da biomassa (lenha e carvão).

Cluster 2 (Velhos agricultores nativos)

Constituído por 59 indivíduos entrevistados (26%) com idade média de 67 anos e vivem na área desde a nascença. É o cluster com menor número de postos administrativos alocado (apenas o posto administrativo de Zembe). Os agricultores familiares deste cluster adquiriram o direito de uso e aproveitamento de terra por via da herança. Possuem maior área de propriedade (14ha em média dos quais 3.1 hectares são para produção). Aumentaram nos últimos 2 anos cerca de 1.3 hectares de terra para produção. O aumento da área de produção é motivado pela necessidade de produzir mais para comercializar excedentes. A exploração da madeira é citada como a causa da diminuição de áreas de florestas.

Cluster 3 (Jovens agricultores e produtores de carvão)

Constituído por 82 indivíduos entrevistados (36%) com idade média de 33 anos. Vivem na área desde a nascença e adquiriram o direito de uso e aproveitamento de terra por via da doação. A dimensão média de sua propriedade é de 6 hectares e utilizam 2.3 hectares para a produção sendo que aumentaram 0.9 hectare nos últimos 2 anos. O aumento da área de produção é motivado pela necessidade de produzir mais para comercializar excedentes. Tem como atividade complementar a venda de carvão e comercialização de excedentes agrícolas. A expansão de áreas agrícolas é citada como principal causa da diminuição de áreas de florestas.

6.3.3 Modelo conceitual do desmatamento na província de Manica

São distinguidos dois potenciais fatores do desmatamento: imediatos (diretos) e subjacentes (indiretos) (Figura 16).

Fatores imediatos do desmatamento são na sua totalidade atividades humanas que diretamente impactam a cobertura florestal tais como: **a agricultura itinerante** - A ação da agricultura causa imediata do desmatamento é estimada em cerca de 80% a nível mundial (KISSENGER et al, 2012). **Exploração madeireira** - Os impactos diretos resultam da conversão direta de florestas para áreas agrícolas permanentes ou agricultura itinerante (SITOE, A., SALOMÃO, A. e WERTZ-KANOUNNIKOFF, S. 2012); A elevada procura por madeiras tropicais no mercado internacional, especialmente Ásia, e a fraca fiscalização das políticas e regulamentos nacionais afiguram como causas do desmatamento associadas com a exploração florestal de madeiras. Inicialmente abrem pequenas trilhas que posteriormente são usadas por lenhadores e carvoeiros e; **exploração e consumo da energia da biomassa (lenha e carvão)** - A elevada procura por lenha e carvão está associada a várias questões, entre elas o baixo poder de compra e a falta de fontes alternativas viáveis de energias nas zonas urbanas (SITOE, A., SALOMÃO, A. & WERTZ-KANOUNNIKOFF, S, 2012).

Fatores subjacentes atuam em múltipla escala: internacional (mercados e preços de *commodities*); nacional (crescimento da população, mercados internos, políticas nacionais e governança); e circunstancias locais (subsistência e pobreza) (KISSENGER, et al).

Fatores subjacentes geram desmatamento de forma indireta. Constituem uma interação complexa de processos sociais, económicas, políticas, culturais e tecnológicas que afetam as causas imediatas (KISSINGER et al, 2012). Segundo SITOE, A., SALOMÃO, A. & WERTZ-KANOUNNIKOFF, S, 2012, os efeitos indiretos sobre a floresta incluem uma fase de transição em que é extraída a madeira nobre, seguida de extração de lenha e carvão, que se beneficiam do acesso aberto pelos caminhos para a exploração madeireira. Estas áreas são mais tarde utilizadas como áreas agrícolas, sugerindo, mais uma vez que a agricultura e a exploração de combustíveis lenhosos trabalham em combinação sobre a mudança da cobertura florestal.

O rápido crescimento da população associado ao elevado nível de pobreza e fraca fiscalização pelo poder público de principais vetores de desmatamento constituem principais fatores subjacentes de desmatamento na província de Manica.

A expansão de áreas agrícolas para aumentar níveis de produção está causando a diminuição de cobertura florestal na província de Manica. Essa expansão ocorre sobre áreas de florestas quando as antigas áreas de produção perdem sua capacidade produtiva. O crescimento da população urbana de baixo poder de compra associado a elevados valores de energia elétrica faz aumentar a demanda pelo carvão vegetal como fonte alternativa de energia. Esta forte demanda provoca desmatamento de áreas próximas às principais cidades e vilas e não só, atualmente os produtores e vendedores de carvão percorrem longas distâncias para a comercialização do seu produto. O aumento da procura por recursos madeireiros no mercado nacional e internacional também constitui uma das fortes causas do desmatamento.

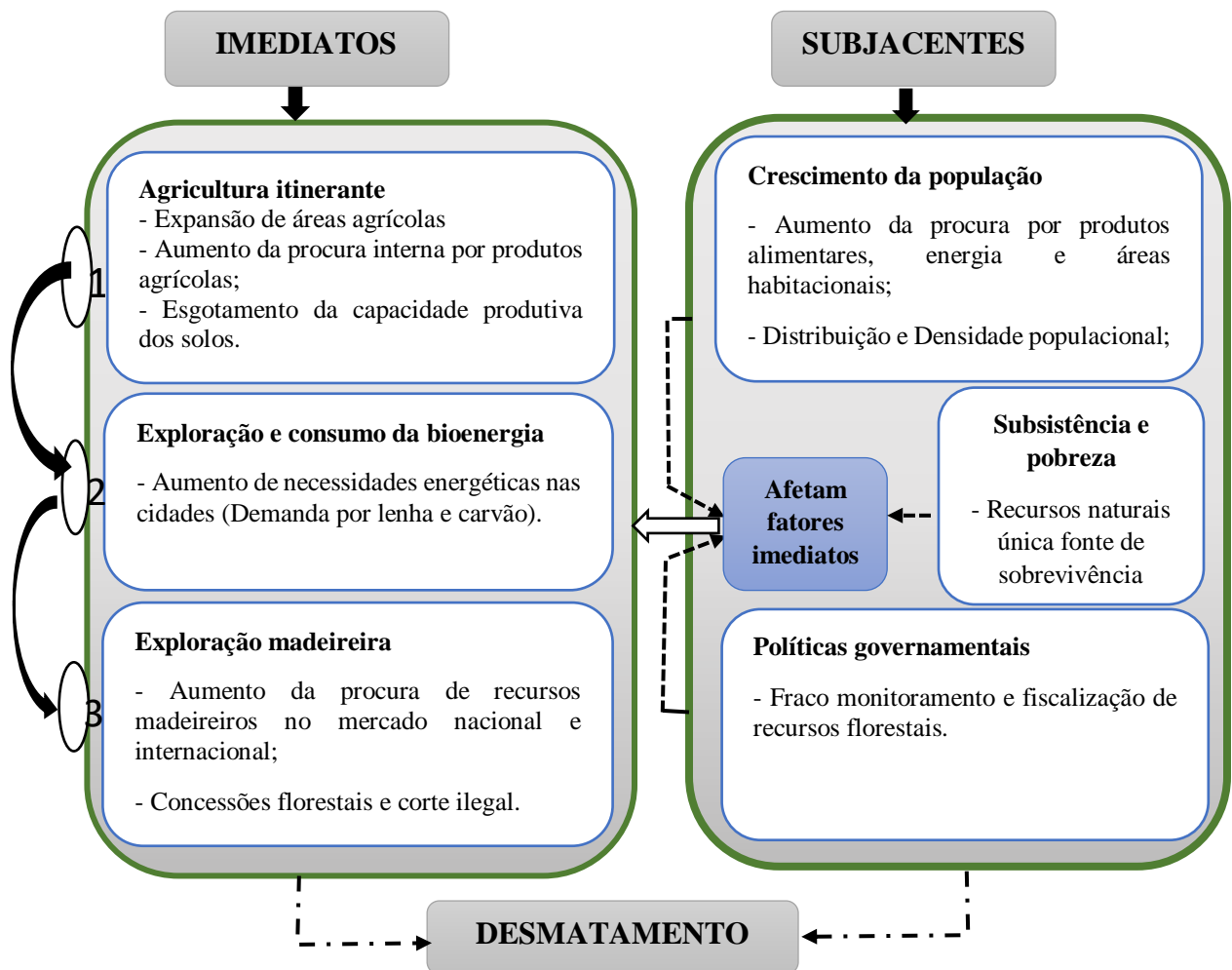


Figura 16: Modelo conceitual do desmatamento na província de Manica – Moçambique

6.4 APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS

Pelo método de análise multicritério foi possível identificar cerca de 1499680 hectares do nível de aptidão muito apta (S1); 3478932 hectares moderadamente aptas (S2); 1072019 hectares marginalmente aptos (S3) e 14867 hectares inaptas (N).

As áreas de alta potencialidade são áreas próximas dos rios e com boas condições de irrigação, de baixa declividade, com solos férteis e próxima de áreas de influência de extensionistas de principais instituições de ensino na província. Quanto mais distantes dessas condições, as áreas tornam-se poucas atrativas para prática da atividade agrícola nas condições técnicas e socioeconômicas dos agricultores familiares (Nível A).

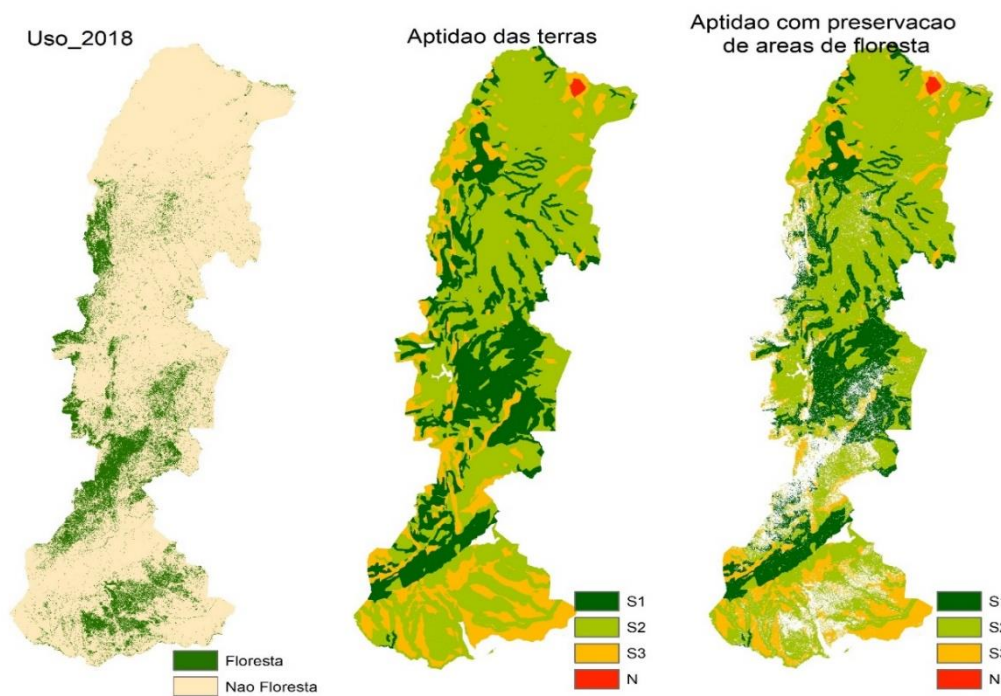


Figura 17: Relação do uso e cobertura da terra e aptidão agrícola.

Uso e cobertura da terra	Aptidão das terras	Aptidão preservando área de floresta remanescente
Floresta - 953965	S1 - 1499680	S1 – 1268400
	S2 - 3478930	S2 – 3051800
Não Floresta - 5273265	S3 - 1072010	S3 – 803900
	N - 14860	N - 14860

Tabela 17: Área das classes de uso e cobertura e da aptidão agrícola das terras

Com as imagens de uso e cobertura de terra do ano 2018 e da aptidão agrícola das terras foi possível através do software DINAMICA EGO retirar das áreas de alta e baixa aptidão preservando as florestas. Assim sendo, foram identificados 1268400 hectares muita aptas, 3051800 moderadamente apta, 803900 marginalmente apta e 14860 não apta.

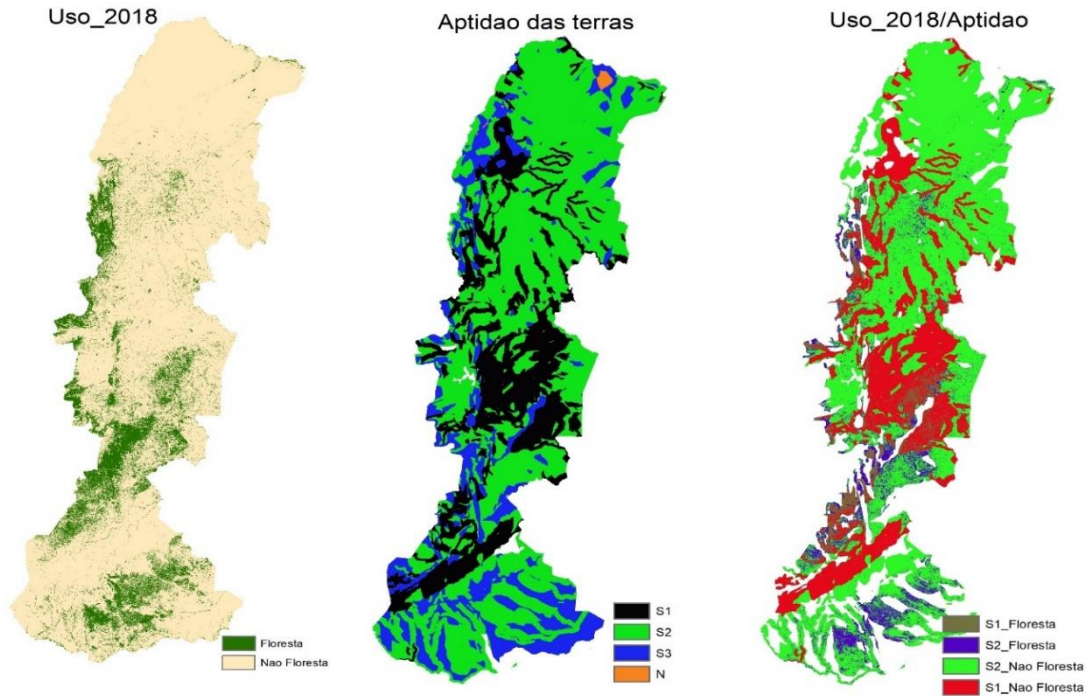


Figura 18: Aptidão agrícola das terras preservando a floresta

Uso e cobertura da terra	Aptidão das terras	Relação do uso e cobertura da terra com aptidão preservando área de floresta remanescente
Floresta - 953965	S1 - 1499680	S1_Floresta - 231250
	S2 - 3478930	S2_Floresta - 427110
Não Floresta - 5273265	S3 - 1072010	S2_Nao Floresta - 3051810
	N - 14860	S1_Nao Floresta - 1268420

Tabela 18: Área de classes de uso e cobertura de terra e da aptidão agrícola preservando a floresta

Cerca de 1268420 hectares são da classe muito apta e coincidem com áreas de não floresta. É sobre áreas muito aptas que deveriam ser direcionadas iniciativas para expansão e intensificação da produção agrícola. Também existem cerca de 3051810 hectares que são moderadamente aptos e que não coincidem com áreas de florestas. Essas terras também podem ser usadas para a produção.

6.5 CALIBRAÇÃO DO MODELO DINÂMICO DO DESMATAMENTO E ANÁLISE DA PAISAGEM

6.5.1 Matriz de transição

A tabela 19 apresenta os dados de perda de floresta na área de estudo. A partir dos dados apresentados, é possível perceber a expressiva transição de área de floresta em não floresta. A área de floresta tende a diminuir de 2007 a 2018.

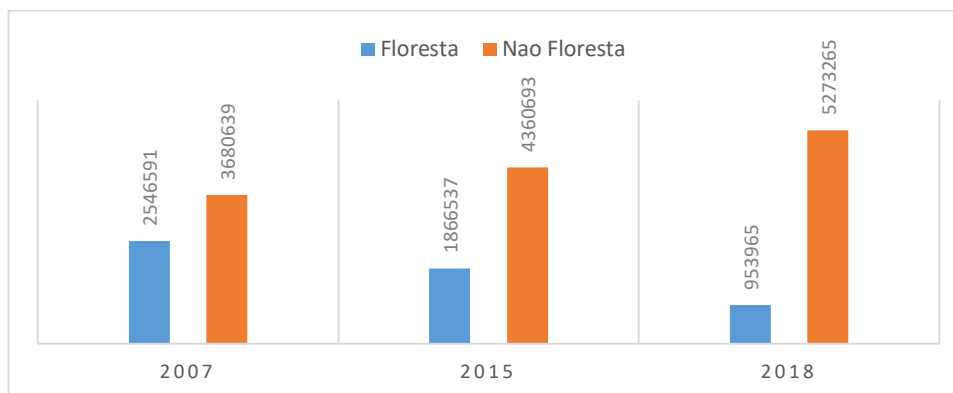


Figura 19: Variação de área de floresta 2007 – 2018

	2007		2015		2018	
	Área em (Ha)	% do Total	Área em (Ha)	% do To	Área em (Ha)	% do Total
Floresta	2546591	41%	1866537	30%	953965	15%
Não Floresta	3680639	59%	4360693	70%	5273265	85%
Total	6227230	100%	6227230	100%	6227230	100%

Tabela 19: Quantificação das classes temáticas 2007 - 2018

Com os mapas de uso e cobertura da terra inicial (2007) e final (2018), foram obtidas as matrizes de transição global (single step) e anual (multiple step) da área de estudo. A Tabela 20 apresenta a matriz de transição de uso e cobertura da terra para a área de estudo, com base nos períodos de 2007 a 2018.

De uma área total de 2546591 hectares de floresta em 2007, houve um decréscimo de 1592626 hectares de floresta até o ano de 2018, o que representa cerca de 26% da área total da província. Para o período de 2007 a 2015, houve um decréscimo de 680054 hectares nas áreas de floresta, o que representa um percentual de 35.7%.

A partir da matriz de transição *multi step*, as taxas anuais estimadas de desmatamento foram de 5.6% para o período de 2007 e 2015, e 26.7% para o período de 2015 a 2018. Para o período de 2007 a 2018 foi de 10.3%.

Para a matriz de transição *single step*, as taxas anuais estimadas de desmatamento foram de 35.7% para o período de 2007 a 2015 e 59.3% para o período de 2015 a 2018 (Tabela 20).

<i>2007 – 2015</i>	Floresta	Não Floresta
Floresta	64.3%	35.7%
Não Floresta	6.2%	93.8%
<i>2015 – 2018</i>		
Floresta	40.7%	59.3%
Não Floresta	4.4%	95.6%
<i>2007 - 2018</i>		
Floresta	32%	68%
Não Floresta	3.8%	96.2%
A		

<i>2007 – 2015</i>	Floresta	Não Floresta
Floresta		5.6%
Não Floresta	0.97%	
<i>2015 – 2018</i>		
Floresta		26.7%
Não Floresta	2%	
<i>2007 - 2018</i>		
Floresta		10.3%
Não Floresta	0.58%	
B		

Tabela 20: Matriz de Transição single step (A) e multi step (B) 2007 -2018

Para a classe floresta na matriz de transição, o percentual em verde-claro, corresponde a área remanescente da classe na transição. O mesmo acontece para a cor laranja na classe não floresta. Apenas 15% de área de floresta em 2007 permaneceu intacta até ao ano de 2018.

6.5.2 Pesos de evidência

O cálculo dos valores de pesos de evidência das variáveis estáticas e dinâmicas permitiu a obtenção de probabilidades de transição (Floresta para Não Floresta) das células. Os pesos de evidência permitiram inferir sobre qual contribuição uma classe ocorreu em uma dada transição. Quanto maior o valor de peso de evidência, maior é a probabilidade de ocorrência de desmatamento (favorece o desmatamento) e, valores entorno de 0 (zero) não tem efeito para desmatamento e, valores abaixo de 0 (negativos) repelem o desmatamento.

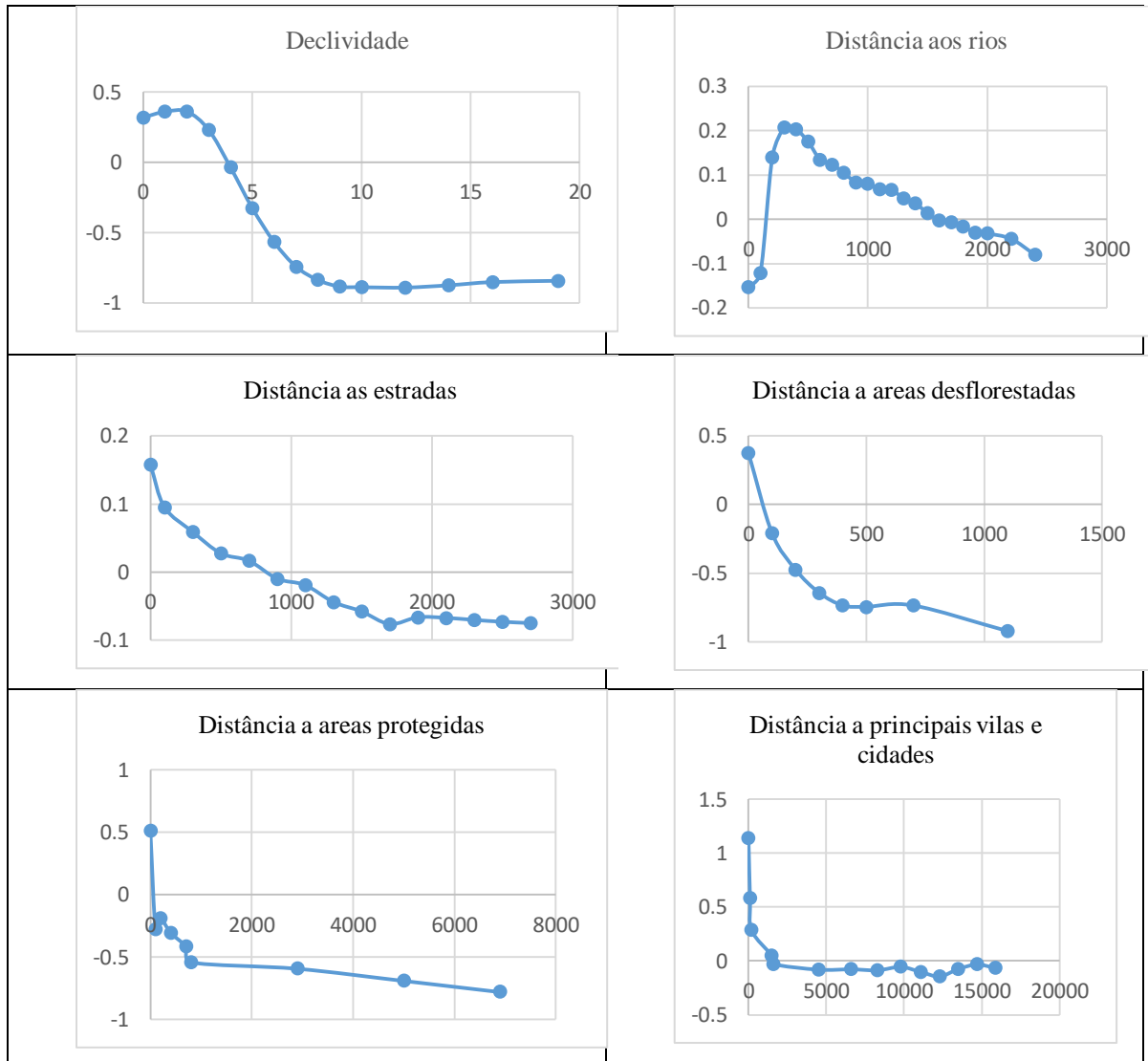


Figura 20: Variação dos pesos de evidência

Valores positivos de pesos de evidência caracterizam a atração na ocorrência da transição de floresta para a classe de não floresta. No caso específico, o aumento da declividade na área de estudo, repele o desmatamento. Ou seja, áreas de menor declividade (abaixo de 5%), atraem o desmatamento e áreas de maior declividade (de 5% a 75%) repelem o desmatamento.

De acordo com a variável distância aos rios, pode entender-se que até os 200 metros de distância aos rios não ocorre o desmatamento. Dos 500 metros até 2 km ocorre o desmatamento. Dos 2 km a mais diante o desmatamento tende a diminuir.

Nas primeiras faixas da variável distância às estradas (até 1 km) os pesos são positivos, demonstrando que a proximidade as estradas tende a atrair o desmatamento. À medida em que se afasta das estradas (2 km a mais), o desmatamento diminui ou seja, maior distância às estradas tende a repelir o desmatamento.

Outra variável também importante é a distância a áreas já desmatadas. A proximidade às áreas já desmatadas tende a atrair o desmatamento. O afastamento dessas áreas tende a repelir o desmatamento. Áreas já desmatadas coincidem com áreas de agricultura e estas tendem a expandir em direção a áreas de floresta remanescente fazendo com que suas proximidades atraiam o desmatamento.

Uma importante constatação é que os resultados mostram que a proximidade às áreas protegidas tende a atrair o desmatamento. Ao se afastar das áreas protegidas o desmatamento diminui. As áreas protegidas são as que ainda possuem varias espécies de valor comercial e localizadas em terras de alto potencial produtivo o que faz com que suas proximidades atraiam o desmatamento. Estes resultados apontam que existe a necessidade de reverter esta tendência para que as áreas protegidas possam cumprir o propósito da sua criação que é proteger e conservar a biodiversidade Moçambicana.

As áreas próximas das principais vilas e cidades são as que verificam maiores taxas de desmatamento. À medida que se desloca para fora das áreas próximas dos centros urbanos, o desmatamento tende a diminuir. Este fato deve se à crescente demanda de combustível lenhoso nas cidades. A produção de combustíveis lenhosos para comercialização é geralmente efetuada ao redor das grandes cidades e ao longo das estradas principais para abastecimento do mercado urbano.

A análise dos pesos de evidência mostra que áreas próximas das estradas e distantes dos rios e de baixa declividade, são as mais favoráveis para a transição de classe de floresta para a classe de não floresta. Contrariamente, áreas próximas dos rios e distantes das estradas e de alta declividade, repelem o desmatamento ou seja, têm maior probabilidade de se manterem intactas.

6.5.3 Correlação entre os mapas

O teste da independência espacial dos mapas de entrada foi analisada pelos índices de *Cramer (V)* e o *Joint Information Uncertainty* (Incerteza de Informação Conjunta - JIU) como explicado na metodologia. Valores menores que 0,5 no Índice de Cramer (V) assim como no *Joint Information Uncertainty* (JIU), indicam menor associação (Bonham-Carter, 1994).

De acordo com os dados da Tabela 11, no teste de dependência espacial, nenhum par de variáveis apresentou correlação acima de 50% confirmando que ambas variáveis previamente selecionadas poderiam ser usadas simultaneamente no modelo. Portanto, não foi preciso retirar nenhuma das variáveis e conseqüentemente não foi necessário recalcular os pesos de evidência.

Transition from*	Transition to*	First_Variable*	Second_Variable*	Cramer	Joint_Uncertainty
		declividade/layer_0	distance/distance_to_2	0.117901	0.027992
		declividade/layer_0	estradas/layer_0	0.025916	0.002673
		declividade/layer_0	municipios/layer_0	0.095956	0.03228
		declividade/layer_0	protegidas/layer_0	0.052135	0.009541
		declividade/layer_0	rios/layer_0	0.025319	0.002319
		declividade/layer_0	solos/layer_0	0.154793	0.087467
		distance/distance_to_2	estradas/layer_0	0.056923	0.005583
		distance/distance_to_2	municipios/layer_0	0.11407	0.018538
		distance/distance_to_2	protegidas/layer_0	0.078877	0.0117
		distance/distance_to_2	rios/layer_0	0.022526	0.000934
		distance/distance_to_2	solos/layer_0	0.187629	0.05839
		estradas/layer_0	municipios/layer_0	0	0.031549
		estradas/layer_0	protegidas/layer_0	0	0.023987
		estradas/layer_0	rios/layer_0	0	0.002524
		estradas/layer_0	solos/layer_0	0.092845	0.028515
		municipios/layer_0	protegidas/layer_0	0	0.107626
		municipios/layer_0	rios/layer_0	0	0.011126
		municipios/layer_0	solos/layer_0	0.305916	0.205007
		protegidas/layer_0	rios/layer_0	0	0.005954
		protegidas/layer_0	solos/layer_0	0.156386	0.078289
		rios/layer_0	solos/layer_0	0.069885	0.01458

Tabela 21: Correlação entre mapas

6.5.4 Simulação e validação

Como mencionado no item 5.3.3.2, o DINAMICA EGO utiliza os funtores *Expander* e *Patcher* como algoritmos de transição, responsáveis pela expansão e contração de manchas de células de cada classe e pelo surgimento de novas manchas respectivamente. Na etapa de

simulação do desmatamento, foi produzido o mapa de desmatamento simulado para o ano 2018 e validado através da comparação quantitativa com o mapa de desmatamento observado do ano 2018. Utilizando o índice de similaridade Fuzzy observou-se uma similaridade de 96% em janelas de 11X11 pixel (Tabela 16). Com esse resultado, foi possível validar a simulação, pois conforme sugerido por HAGEN (2003) a obtenção de valores acima de 50% de similaridade entre os mapas categóricos pode ser considerada satisfatórios para validação de uma classificação.

MODELO	Tamanho das janelas (pixel)	Índice de Similaridade Mínima	Índice de Similaridade Máxima
SIMULAÇÕES 2015 a 2018	1	0.534515	0.614646
	3	0.589485	0.804204
	5	0.638414	0.88426
	7	0.680676	0.923689
	9	0.715171	0.945765
	11	0.742611	0.95926

Tabela 22: Validação do índice de similaridade Fuzzy com diferentes tamanhos de janela.

	Real	Porcentagem	Simulado	Porcentagem
Floresta (ha)	953965	15.3%	735659	12%
Não Floresta (ha)	5273265	84.7	5491571	88
Total (ha)	6227230	100%	6227230	100

Tabela 23: Percentual de classe do mapa observado e simulado

No mapa real de 2018, a quantidade de floresta do mapa observada foi aproximadamente de 953965 hectares. Para o mapa simulado de 2018, a quantidade de floresta observada foi aproximadamente de 735659 hectares. A diferença de área de floresta entre o mapa observado e o simulado é de 218306 hectares o que corresponde a 3.5% da área total da província. Ou seja, o erro entre o mapa simulado e o real está abaixo de 5% fato que nos permite aceitar e validar o modelo.

Segundo NOVAES et al (2011), para além da análise de pesos de evidência para reconhecer áreas passíveis de mudança de estado em cada transição, existe outra técnica que é a análise de mapas de probabilidade de transição que compilam o efeito de todas as variáveis estáticas inseridas no modelo permitindo a observação dessas variáveis no plano espacial.

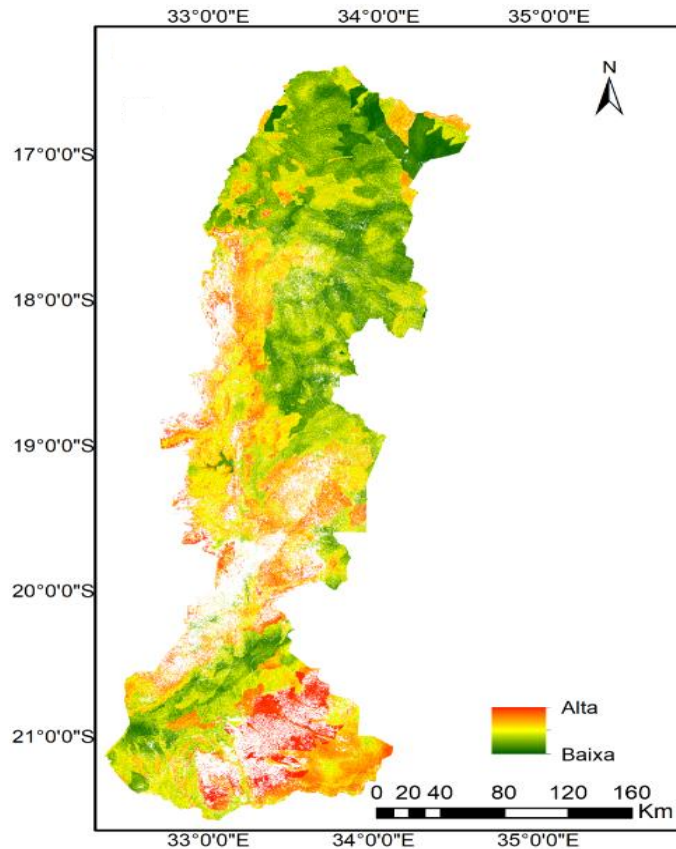


Figura 21: Mapa de probabilidade de mudança 2018

O mapa da figura 14 representa a probabilidade de ocorrer mudança na classe floresta para não floresta. Quanto mais próximo da cor vermelha, maior é a probabilidade de ocorrer mudança e quanto mais próxima da cor verde, menor é a probabilidade de ocorrer mudança. As áreas próximas a floresta remanescente até 2018 são as que maior probabilidade têm de sofrer o desmatamento. Áreas já desmatadas e de menor abundância de floresta são as que menor probabilidade têm de serem desmatadas.

6.5.5 Cenários futuros

Após a validação do modelo, foi realizada a simulação de desflorestamento para os anos 2019 a 2025. Os dados de saída desta etapa final consistem em mapas de probabilidades.

Após obtenção dos mapas simulados dos anos de 2019 a 2025, no *software* DINAMICA-EGO, usou-se o *software* ArcGIS 10.2.1, para construir mapas de transição ano a ano dos futuros desflorestamentos e suas respectivas áreas de transição da classe floresta para desflorestamento.

As Tabelas 18 e 19 quantificam probabilidades de cenários futuros de desmatamento na província de Manica entre o ano de 2019 a 2025.

Classe em (Ha)	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Floresta	512813	375987	275668	202115	148188	108649	79670
Não Flores	5714417	5851243	5951562	6025115	6079042	6118581	6147570

Tabela 24: Quantificação da probabilidade de cenários futuros

Desmatamento em (Ha)	2019 -2020	2020 -2021	2021-2022	2022 -2023	2023 -2024	2024 -2025
	136826	100319	73553	53927	39539	28979

Tabela 25: Probabilidade de área desmatada entre 2019 a 2025

Os cenários simulados para os anos 2019 a 2025 apresentados nas tabelas 18 e 19 demonstram a diminuição de área de floresta em cerca de 433000 hectares em todo período de análise. Ou seja, até ao ano de 2025 a província de Manica terá apenas 5% da atual cobertura florestal se as tendências históricas de desmatamento dos últimos 10 anos mantiverem-se estacionárias.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho permitiu compreender a dinâmica do processo de desmatamento bem como dos fatores associados. Foi possível também compreender a complexidade do sistema de produção dos agricultores familiares da província de Manica e sua relação com o desmatamento. Através da análise de resultados de entrevistas foi possível obter a compreensão do funcionamento do sistema de produção e sua relação com o desmatamento.

A expansão de áreas agrícolas e a exploração de energia da biomassa (lenha e carvão vegetal) são apontadas como principais causas do desmatamento. Na fase inicial do desmatamento, a floresta nativa intacta é devastada pela exploração madeireira e produção de energia da biomassa que, posteriormente é transformada pelos agricultores familiares em áreas de produção (machamba).

A população pratica agricultura em áreas de 2 a 3 hectares e o esgotamento da capacidade produtiva dos solos faz com que o campo seja abandonado por um período mínimo de 3 anos abrindo-se machambas em novas áreas outrora exploradas pelos madeireiros e carvoeiros ou então retorna-se em áreas de pousio (caso pouco habitual dada a grande disponibilidade de terra) – Agricultura itinerante.

A expansão de áreas agrícolas sobre a floresta é causada pela necessidade de aumentar a produção para atender a demanda do mercado de excedentes agrícolas e também pelo esgotamento da capacidade produtiva dos solos. Essa expansão é em média 0.5ha por ano.

A venda de excedentes agrícolas e exploração de energia da biomassa (lenha e carvão vegetal) são principais atividades económicas geradoras de renda para população da região centro da província de Manica.

A classificação de imagens Landsat para o mapeamento de classes de uso e cobertura de solo permitiu a quantificação de mudanças ocorridas através do cálculo da matriz de transição de principais classes em estudo (Floresta e Não Floresta). O método da modelagem dinâmica permitiu compreender através da série histórica, cenários futuros do desmatamento na província de Manica. O modelo de simulação apresentou resultados satisfatórios de acordo com o índice de similaridade de Fuzzy obtido através da função de decaimento constante. Foi possível notar que o desmatamento é intenso na Província de Manica e se a tendência for estacionária, a área

poderá perder cerca de 433000 hectares de floresta nos próximos 6 anos e ser vulnerável a ocorrência de problemas ambientais graves com repercussões negativas nos modos de produção agrícola da população rural local.

No presente estudo foram identificados cerca de 1268420 hectares terra muito apta para a prática da atividade agrícola e coincidem com áreas de não floresta. Essas áreas foram definidas pelo cruzamento de sete planos de informação nos SIG de acordo com os códigos definidos na Tabela 7. É sobre áreas muito aptas que deveriam ser direcionadas iniciativas para expansão e intensificação da produção agrícola. Também existem cerca de 3051810 hectares que são moderadamente aptos e que não coincidem com áreas de florestas. Essas terras também podem ser usadas para a produção.

Para a preservação de áreas de floresta remanescente há que levar em consideração o modelo de avaliação de terras agrícolas definido no presente estudo. O modelo de desmatamento e da aptidão agrícola das terras pode subsidiar na definição de políticas públicas de planejamento e ordenamento do território e evitar consequências ambientais negativas nas comunidades locais. A metodologia aplicada no presente estudo pode ser aplicada para estudos de caso em áreas que experimentam situações semelhantes de desmatamento na Província de Manica. No sentido de melhorar as análises realizadas ao longo deste trabalho, propomos seguintes recomendações para futuras pesquisas:

- A expansão de áreas agrícola foi citada como principal causa do desmatamento. Para simular cenários futuros de desmatamento, a definição e quantificação de áreas agrícolas é de extrema importância pois, pode ajudar a perceber como esse tipo de uso poderá vir a contribuir para o desmatamento;
- Com objetivo de preservar áreas de florestas, torna imprescindível a produção de mapas de aptidão agrícola (específicos para diferentes culturas) das terras associado a dados de desmatamento para auxiliar na melhor definição de áreas com elevado aptidão agrícola e que as mesmas não coincidam com áreas de florestas;
- A aquisição e incorporação no modelo de dados socioeconómicos pode vir a dar resultados que possibilitam uma melhor precisão na análise do fenómeno de desmatamento na Província de Manica;

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALLA, L. S et al. Modelagem dinâmica da vegetação baseada em autômatos celulares: um estudo de caso da regeneração da mata atlântica no distrito de aldeia velha – RJ. Rio de Janeiro - Brasil, 2015
- ALBUQUERQUE, A. HOBBS, A. Challenges and Opportunities for Efficient Land Use in Mozambique: Taxes, Financing, and Infrastructure. 2016
- ALCÂNTARA, V. et al. Componentes Principais e *Clusters* de Autoavaliação Institucional Sob a Ótica do Corpo Discente. Campo Largo, 2011
- ALMEIDA, C. M. Modelagem da Dinâmica Espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP), Brasil. Tese de doutorado do curso da pós-graduação em sensoriamento remoto. São José dos Campos, INPE, 2003
- ARRAES, R.A et al. Causas do Desmatamento no Brasil e seu Ordenamento no Contexto Mundial. Piracicaba – SP. 2012
- ATANASSOV, B et al. Mozambique urban biomass energy analysis. Ministry of Energy, Maputo, Mozambique, 2012
- BAIMA, A, et al. Séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor MODIS para detecção.
- BAZIMA, V. M., Guiliche, A. A., Vicente, C. C., Omar, A. R. & Jone, H. L. (2011). Manica Province Strategic Development Plan (PEDPM) 2011-2015. Manica, Moçambique.
- BENEDETTI, A. C. (2010). Modelagem Dinâmica Para Simulação de Mudanças na Cobertura Florestal das Serras do Sudoeste e Campanha Meridional do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- BERF. “A diagnostic assessment of BE constraints facing Mozambique’s forestry sector.” Business environment reform facility. DFID. 2017
- BILA, A. Estratégia para a Fiscalização Participativa de Florestas e Fauna Bravia em Moçambique. Maputo, 2005.
- BONHAM-CARTER, G. F. Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS. Ontario: Pergamon, 1994.
- BROUWER, R. e M. P. FALCÃO. Wood fuel consumption in Maputo, Mozambique. *Biomass and Bioenergy*. 2004
- BURROUGH, P. A. Dynamic modeling and geocomputation. Geocomputation: A Primer. Editado por: LONGLEY, P. A.; BROOKS, S. M.; MCDONNELL, R.; MACMILLAN, B. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 1998.
- CARVALHO, F.R.D, Análise Fatorial. Coimbra, 2013
- CARVALHO, N. L., et al.: Desenvolvimento Sustentável. UFSM. 2015
- CCE. Enfrentar os desafios da desflorestação e da degradação florestal para combater as alterações climáticas e a perda de biodiversidade. Bruxelas, 2008
- CEAGRE & Winrock. Identificação e análise dos agentes e causas directas e indirectas de desmatamento e degradação florestal em Moçambique. Maputo. 2015
- CNDS – Conselho Nacional de Desenvolvimento Sustentável (2002). Relatório sobre a avaliação do grau de implementação da Agenda 21 em Moçambique. Comité de preparação da cimeira mundial sobre desenvolvimento sustentável, Moçambique.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. New York: Lewis Publisher. 1999.
- CRM. Constituição da Republica de Moçambique. Maputo, 2004
- CRÓSTA, Álvaro. P. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. Campinas: IG/UNICAMP, 1992
- CUCO, A. Comunidades e manejo dos recursos naturais. Memórias da III conferência nacional sobre o manejo comunitário dos recursos naturais. Maputo: DNFFB e IUCN, 2005.
- CUNGUARA, B., et al. *Mudanças no Padrão de Cultivo e Uso de Insumos pelos Pequenos Produtores no Centro e Norte de Moçambique, 2008/2011*. Revista da Direção de Economia do MINAG, 2012.
- CUVILAS, C. A., R. JIRJIS e C. LUCAS. Energy situation in Mozambique: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010
- DIAS, G. F. Queimadas e Incêndios Florestais Cenários e Desafios Subsídios para a Educação Ambiental. IBAMA. 2009
- DIAS, Lidiane t. WALDE, Detlef H. Modelagem da dinâmica espacial do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Lago Paranoá-DF. Revista Brasileira Cartográfica. 2011

EGAS A. F. (2006) Comparação de custos de consumo de lenha e carvão com outras fontes de energia domésticas na confecção de refeições. IN: IUCN, Resumo das iniciativas implementadas no período 2003-2005. Maputo, Moçambique. 2006

DNTF. Relatório estatístico anual de 2007. Maputo-Moçambique, 2008.

EIA. First class connections: log smuggling, illegal logging and corruption in Mozambique. Environmental Investigation Agency, London, UK. 2013. Disponível em: <https://eia-international.org/report/first-class-connections>. Acesso em 12 de Agosto de 2018

FAEF. Assessment of harvested volume and illegal logging in Mozambican natural forest. Maputo.2013

FALCÃO, D. Produção e Consumo Doméstico de Combustíveis Lenhosos em Moçambique. Lisboa, 2013

FALCÃO, M., NOA. M. Definição de Florestas, Desmatamento e Degradação Florestal no âmbito do REDD+. Maputo, 2016

FAO. Shifting Cultivation, Livelihood and Food Security - New and Old Challenges for Indigenous Peoples in Asia. Bangkok. 2015

FAO. “Global forest resources assessment 2010. Country report Mozambique.” Forestry Department. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 2010

FAO - A framework for land evaluation. «FAO Soils Bulletin», FAO, Roma. 1976.

FEARNSIDE. P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. Amazonas, 2005.

FORMAN, R. T. T., GODROM, M. Landscape ecology. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1986.

FUNAB. Estudo das causas de desmatamento e da degradação florestal nos distritos abrangidos pelo programa de gestão integrada de paisagens de Cabo Delgado (PROGIP-CD) - relatório final. Maputo, 2016

FURLAN, M.C Modelagem dinâmica de uso e cobertura de terra na bacia do Arroio grande – Santa Maria – RS. 2012.

HAIR, J. J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. Análise multivariada de dados. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005

HAGEN, A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. International Journal of Geographical Information Science. 2003.

HUANG, C.; TOWNSHEND, J. R. G.; XIWU, Z.; HANSEN, M.; DEFRIES, R.; SOHLBERG, R. Detecting landcover changes based on their trajectories in the spectral space. In: Geosciences and Remote Sensing Symposium. Proceedings, IGARSS, IEEE International, vol 5, 2000.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - Ministério do Meio Ambiente. Brasília-DF, Brasil, 2010. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/recursos-florestais/areas-tematicas/> Acesso em: 07 de Novembro de 2018.

INE. IOF (2008-2009) Avaliação Nacional sobre a Pobreza e bem-estar Moçambique. 2008

INE. IV Recenseamento da População e Habitação 2017: Resultados Preliminares. Maputo. 2018.

INE. Censo agropecuário 2009-2010: Resultados definitivos. Maputo. 2011

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009

KAWASHIMA, Renata S. et al. Análise das Mudanças Temporais de Cobertura da Terra na Região Portuária da Baixada Santista – SP e a Proposição de Modelos de Dinâmica Espacial. INPE. João Pessoa. 2015.

KISSINGER. G, HEROLD. M, DE SY. V. Drivers of Deforestation and Forest Degradation: A Synthesis Report for REDD+ Policymakers. 2012

KITAMURA, P.C.. A Amazônia e o Desenvolvimento Sustentável, São Paulo: Embrapa, 1994.

LANDIS, J. R; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics. 1977.

LINDEN, R. Técnicas de agrupamento. Revista de Sistemas de Informação da FSMA. 2009

LUDWIG, J. A. & REINOLDS, J. F. Statistical Ecology: a primer on methods and computing. USA: Wiley-Interscience, 1988.

MACEDO, R C, et al. Modelagem Dinâmica Espacial das Alterações de Cobertura e Uso da Terra Relacionadas à Expansão Canavieira. Curitiba, 2013

MAE. Perfil do distrito de Manica Província de Manica. Maputo. MAE/DNAL. 2014.

MAGALHÃES, T. M. Análise do Sistema de Exploração dos Recursos Florestais em Moçambique. Maputo, 2015

MARQUES FILHO, Ogê; VIEIRA NETO, Hugo. *Processamento Digital de Imagens*, Rio de Janeiro. 1999.

MARZOLI, A. Avaliação Integrada das Florestas de Moçambique: Inventário Florestal Nacional. Maputo. 2007

MAS, J.F.; KOLB, M.; PAEGELOW, M.; OLMEDO, M.C.; HOUET, T. Modelling Land use/cover changes : a comparison of conceptual approaches and softwares. Environmental Modelling and Software. 2014

MATRICARDI, E.A.T, et al. Modelagem do desmatamento na região de MATOPIBA, 2017.

MCGARIGAL K. Fragstats Help. University of Massachusetts, Amherst ISSN. 2015

MEA- Millennium Ecosystem Assessment, General Synthesis Report, Washington: Island Press. 2005

MENEZES, P., et al. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília.

MICOA. The National Report on Implementation of Convention on Biological Diversity in Mozambique. Mozambique. 2009

MINAG. Plano Estratégico para o Desenvolvimento do Setor Agrário (PEDSA 2011-2020). Maputo, 2011

MITADER. 2016. Mozambique's Forest Investment Plan FIP. Sub-Committee Meeting Oaxaca, Mexico, 2016.

MITADER. Mozambique's Forest Reference Emission Level for Reducing Emissions from Deforestation in Natural Forests, Maputo. 2018

MISA. Anuário Estatístico Agrário. Maputo, 2015

MORAES. E. Fundamentos de sensoriamento remoto. INPE, São José dos Campos. 2012

MORAN-ORDONÉZ et al. Using predictive models as a spatially explicit support tool for managing cultural landscapes. 2011

MPF (Ministério Público Federal). Desmatamento. Brasília, 2015

MUCHANGOS, A. Moçambique, paisagens e regiões naturais. Maputo. 1999.

NETO, E. C. et al. Aplicação do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (SAAAT) Em Solos do Norte de Minas Gerais. Goiania. 2018

NHANTUMBO, I. & SALOMÃO, A. Biofuels, land Access and rural livelihoods in Mozambique, Centro Terra Viva, Maputo; 2010

NHANTUMBO, I. and IZIDINE, S. Preparing for REDD in dry land forests: Investigating the options and potential synergy for REDD payments in the miombo eco-region (Mozambique country study). International Institute for Environment and Development (IIED), London, UK. 2009

NHANTUMBO, I.; MACQUEEN. Diretos das Comunidades, Realidade ou Retórica. Maputo. 2002

NOVAES, M.R. Análise da Redução da Queima na Colheita de Cana-De-Açúcar por meio de Modelagem Dinâmica Espacial. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto. INPE. 2010

NOVAES, M. R. ; RUDORFF, B. F. T. ; ALMEIDA, C. M. ; AGUIAR, D. A. . Análise Espacial da Redução da Queima na Colheita da Cana-de-Açúcar: Perspectivas Futuras ao Cumprimento do Protocolo Agro-Ambiental. Engenharia Agrícola, 2011

OLIVEIRA, M. A. Modelagem Dinâmica Espacial das Classes de Uso e Cobertura da Terra de Venâncio Aires/ Rs. 2015.

PAIVA, A. P. Metodologia de Superfície de Resposta e Análise de Componentes Principais em Otimização de Processos de Manufatura com Múltiplas Respostas Correlacionadas. Itajubá, 2006

PEDPM. Plano Estratégico de Desenvolvimento da Província de Manica. Maputo, 2015.

PEREIRA, J.L.G, et al - Métricas da paisagem na caracterização da evolução da ocupação da Amazônia, Rio Claro, Brasil 2001

PERZ, Etephen et al. Cenários Futuros de Paisagens Amazônicas: Modelos Econométricos e de Simulação de Dinâmica. 2009

PONTIUS Jr, R. G., CORNELL, J & HALL, C. A. S. Modeling the spatial pattern of land-use change with GEOMOD2: application and validation for Costa Rica. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2001

PNUD. Relatório de Desenvolvimento Humano, 2018

RAMALHO FILHO, A., PEREIRA, L.C. Aptidão Agrícola das terras do Brasil. Potencial de terras e análise dos principais métodos de avaliação. Rio de Janeiro. 1999

RAMALHO FILHO, A., BEEK, K. J. Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras. 3ª ed. Rio de Janeiro, 1995

RIBEIRO, D., NHABANGA, E. Levantamento preliminar da problemática das Florestas de Cabo Delgado. Justiça Ambiental. Maputo. 2009

RUDEL. T. K et al. Agricultural intensification and changes in cultivated areas, 1970–2005. 2009

RYAN, C. M., et al. Quantifying small-scale deforestation and forest degradation in African Woodlands using radar imagery. *Global Change Biology.* 2017

SAKET, M. “Report on the updating of exploratory national forest inventory.” FAO. Rome, Italy. Ministry of Agriculture and Fisheries, Maputo (Mozambique). 1994

SAUNDERS, Denis A.; HOBBS, Richard J.; MARGULES, Chris R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation biology*, 1991.

SILVA, T.E.V, et al. Análise de Componentes Principais Aplicada a Avaliação Discente: Um Estudo de Caso em Ambientes Virtuais de Aprendizagem. 2012

SANTOS, R. F. Planejamento Ambiental: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

- SITOE, A., MIRIRA, R. & TCHAÚQUE, F. Avaliação dos níveis de consumo da energia de biomassa nas províncias de Tete, Nampula, Zambézia, Sofala, Gaza e Maputo. Relatório final. Ministério da Energia e Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal Maputo, Moçambique. 2007
- SITOE, A., SALOMÃO, A. & WERTZ-KANOUNNIKOFF, S. O contexto de REDD+ em Moçambique: causas, atores e instituições. Maputo. 2012
- SITOE, Almeida, SÁ-NOGUEIRA. “Avaliação dos impactos dos investimentos nas plantações florestais da Portucel-Moçambique nas tecnologias agrícolas das populações locais nos distritos de Ile e Namarrói, província da Zambézia. 2017
- SOARES FILHO, B. S.; RODRIGUES, H. O.; COSTA, W. L. Modelagem de Dinâmica Ambiental com Dinâmica EGO. Guia prático do Dinâmica EGO. Belo Horizonte: CSR-UFMG. 2009.
- SOARES-FILHO, B. S. et al. Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. 2007
- SOARES FILHO, B.S.; Alencar, A.; Nepstad D.; Cerqueira, G.; Vera-Diaz, M.; Rivero, S.; Solórzano, L.. Simulating the Response of Land-Cover Changes to Road Paving and Governance Along a Major Amazon Highway: The Santarém-Cuiabá Corridor. *Global Change Biology*. 2004.
- SOARES FILHO, B. S.; FILHO, L. C.; CERQUEIRA, G. C.; ARAÚJO, W. L.. Simulating the spatial patterns of change through the use of the dinamica model. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. (SBSR). Belo Horizonte. 2003
- SOARES-FILHO, B.S., C. Pennachin & G. Cerqueira. DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*. 2002
- SOARES-FILHO, B. S. Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica. São Paulo, SP. Originalmente apresentada como tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1998.
- SUGAMOSTO, M. L. Uso de técnicas de geoprocessamento para elaboração do mapa de aptidão agrícola e avaliação da adequação de uso do centro de estações experimentais do Cangüiri, município de Pinhais – Paraná. Curitiba, 2002
- TRENTIN, G.; FREITAS, M. I. C. Modelagem da dinâmica espacial urbana: modelo de autômato celular na simulação de cenários para o município de Americana-SP. *Revista Brasileira de Cartografia*. 2010.
- UETELA, A. E. Dinâmica e prognose de produção de uma floresta de miombo utilizando matriz de transição. Curitiba, 2014
- UNFCCC (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas) Meetings. Disponível em: http://unfccc.int/files/meetings/durban_nov_2011/decisions/application/pdf/cop17. Acesso em: 07 de Novembro de 2018
- VALENTIN, E. F. D. Modelagem Dinâmica de Perdas de Solo: o Caso do Alto
- VICINI, L. Análise multivariada de teoria a prática. Santa Maria, RS. 2005
- XIMENES, A. C. et al. Modelagem dinâmica do desmatamento na Amazônia. *Boletim de Ciências Geodésicas*, Curitiba. 2008.
- WEGENER, M.; GNAD, F.; VANNAHME, M. The Time scale of urban form. In: HUTCHINSON, B.; BATTY, M. (Ed.). *Advances in urban systems modeling*. Amsterdam: Elsevier, 1986.
- WERTZ-KANOUNNIKOFF, S. Como o REDD+ está a emergir nas florestas secas da África Austral? Um instantâneo de Moçambique. Maputo. 2011
- WORLD BANK. Integrated landscape and forest management in Mozambique. 2018

ANEXO 1

ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA PARA AGRICULTORES FAMILIARES

Província: Manica; Distrito -----; Localidade -----; Povoado -----

Nome do agricultor / régulo (opcional): ----- Idade: ----- Sexo: ----- N°
de agregado familiar ----- Nível de escolaridade -----

N° de agregado que participa diretamente na produção -----

Tipo de Machamba e/ou exploração: Familiar () Comercial ()

1. É funcionário público/empresa ou trabalha por conta própria?
2. Há quanto tempo usa essa terra?
3. Como adquiriu o direito de uso e aproveitamento dessa terra? Herança familiar (), Compra (), doação (), Outra forma ()
4. Que tipo de uso e cobertura havia quando ocupou essa área? Machamba (), Floresta ()
5. Qual a dimensão da sua propriedade? Medir com GPS
6. Dessa área, quantos hectares são de floresta e quantos utiliza para a produção?
7. Nos últimos 2 anos aumentou quantos hectares de sua área de produção?
8. O que motiva a expansão de áreas de produção? Crescimento do agregado familiar (), Aumentar a produção para comercializar (), Perda da capacidade produtiva (), Os três motivos atuam em simultâneo ()
9. Usa técnicas de pousio? Sim () Não (). Se sim, por quanto tempo abandona temporariamente uma parcela? 3 a 5 () 6 a 10 () 11 a mais anos ()
10. Quais principais culturas alimentares e de rendimento produz?
11. Qual a estimativa da quantidade de milho em toneladas que produz por hectare?
12. Qual o destino da sua produção? Consumo (), Venda ()
13. Que instrumentos de produção utiliza? Trator (), Enxada (), Tração animal (), Catana ()
14. Que atividades económicas complementares garantem a subsistência da família?
15. Recebe assistência de extensionistas ou técnicos rurais?
16. Participa de cursos ou troca de experiências com outros agricultores em matéria de conservação e preservação de recursos naturais?
17. Que fonte de energia usa na sua casa? Lenha (), Carvão (), energia elétrica () Energia solar (), Outra fonte (especificar) ()
18. Há empresas florestais que exploram dentro da vossa comunidade?
19. Como é que as empresas florestais adquiriram a terra na vossa comunidade?
20. Houve consulta à comunidade ou líderes para a concessão de áreas de exploração florestal?
21. Nota alguma mudança no provimento desses recursos pelas florestas antes e depois da existência de empresas florestais? Se nota, qual deve ser a principal causa?
22. Nota alguma diminuição da área de floresta dentro da sua comunidade / localidade?

23. Qual deve ser a causa? Aumento da área de produção (), Queimadas descontroladas (), Exploração madeireira (), Lenha e Carvão (), Outra (especificar) -----
24. Quem começa com a ação de desflorestação? Madeireiros (), Lenhadores e Carvoeiros (), Agricultura itinerante (), Queimadas descontroladas (). Qual a ordem?
25. Acha que a ocupação da terra pela empresa melhorou a vida na comunidade?

ANEXO 2

Fotografias da área de estudo



Entrevista com um dos camponeses no distrito de Gondola



Lenha para o abastecimento das cidades



Forno de carvão vegetal no Distrito de Manica



Corte de Arvores para o fabrico de carvão vegetal



Queimadas para limpeza de campos agrícolas