

**CANGA PAULA DA SILVA GOMES**

**APLICAÇÃO DA DETEÇÃO REMOTA NA MONITORIZAÇÃO  
DO DESMATAMENTO DA FLORESTA DO MAIOMBE  
(CABINDA - ANGOLA)**



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE**  
Faculdade de Ciências e Tecnologia

**2019**

**CANGA PAULA DA SILVA GOMES**

# **APLICAÇÃO DA DETEÇÃO REMOTA NA MONITORIZAÇÃO DO DESMATAMENTO DA FLORESTA DO MAIOMBE (CABINDA - ANGOLA)**

**Mestrado em Geomática - Análise de Sistemas Ambientais**

**Trabalho efetuado sob a orientação de:**

Prof. Doutor Fernando Miguel Granja Martins

Prof.Doutora Helena Maria Neto Paixão Vazquez

Fernandez Martins



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE**  
Faculdade de Ciências e Tecnologia

**2019**

## Declaração de autoria de trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Canga Paula da Silva Gomes

---

Canga Paula da Silva Gomes

© Copyright: Canga Gomes

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos

## **Agradecimentos**

Ao Ministério da Ciência e Tecnologia, pela concessão da bolsa de mestrado e oportunidade de o fazer.

À Direção Nacional de Expansão e Licenciamento (DNEL), em particular ao Doutor Manuel Domingos O. Cadete, por ter concedido esta oportunidade.

Ao colega e irmão Emmanuel Arsénio, pela paciência, compreensão demonstrada durante este período e por toda dedicação.

Ao professor Doutor Fernando Martins e à Professora Doutora Helena Fernandez, pela colaboração, orientação e participação em todas as fases do meu Mestrado bem como às suas preciosas sugestões para a realização deste trabalho.

À Professora Doutora Cristina Pires e ao Professor Doutor José Rodrigues e a todos os professores que tive no curso de Geomatica.

Aos meus familiares, sempre com uma palavra de apoio e força para seguir em frente. A vocês agradeço por serem meus alicerces.

Ao Eduardo Panguila, Susana Nicolau, Eunice Cassoma, Emília Viera, Cláudia Cadete, Vanda Gomes, Dr. André Fita, Eng<sup>o</sup> José Luís, por tudo o que fizeram por mim, por me amparem nos maus momentos, pela paciência que tiveram comigo e a companhia que me fizeram durante este período.

A todos aqueles que me têm acompanhado nesta caminhada, o meu profundo e sincero obrigado.

## **Dedicatória**

A Deus, meu fiel companheiro na hora da tribulação

Aos meus pais Agostinho António Gomes e Emília António Gomes, pelo amor, proteção e carinho.

A minha família, ao Doutor Manuel Cadete e ao Dr. André Nzinga Fita, e a todos os colegas de serviço, e especialmente ao meu colega Emmanuel Arsénio que nos momentos difíceis, pela força, incentivo e paciência que teve.

E para aqueles que diretamente e indiretamente deram o seu apoio

## Resumo

O desmatamento constitui um dos problemas mais graves da atualidade, que compromete o equilíbrio do planeta. Entre 1990 a 2010 assistiu-se a uma perda anual de biomassa elevada, sendo África a parte do globo onde se registou o maior desequilíbrio na taxa de desmatamento/reflorestação. O uso da lenha e do carvão de forma não regulada, as queimadas anárquicas e a agricultura itinerante são os principais fatores de natureza económica e social, que contribuem para o desmatamento das florestas em Angola. Uma das florestas que mais tem sido fustigada por este fenómeno é a floresta húmida de Maiombe, que pertence à República de Angola, República Democrática do Congo, República do Congo e República do Gabão. Vários programas de conservação da floresta têm vindo a ser implementados e em 2009 foi criada a área de conservação transfronteiriça de Maiombe. Este estudo visa conhecer a evolução do desmatamento da floresta do Maiombe, na província de Cabinda (Angola) no período de 1986 a 2015 e a evolução do sequestro de carbono no período de 2002 a 2015. Para tal, foram utilizadas imagens de satélite *Landsat* e *MODIS* para calcular, o índice de Vegetação da Diferença Normalizada, o Índice de Vegetação Fotossintético, CO<sub>2</sub>flux e a Produção Primária Bruta.

**Palavras-chave:** Deteção Remota, Maiombe–Cabinda, Landsat, Desmatamento, CO<sub>2</sub>flux, Índices de Vegetação;

## **Abstract**

Deforestation is one of the most serious problems of our time, which compromises the balance of the planet. Between 1990 and 2010 there was an annual loss of high biomass, Africa being the part of the globe where the greatest imbalance in the deforestation / reforestation rate was recorded. The use of firewood and charcoal in an unregulated way, anarchic burning and shifting agriculture are the main economic and social factors that contribute to the deforestation of forests in Angola. One of the forests that has been most affected by this phenomenon is the rainforest of Maiombe, which belongs to the Republic of Angola, the Democratic Republic of Congo, the Republic of Congo and the Republic of Gabon. Several forest conservation programs have been implemented and in 2009 the Maiombe cross-border conservation area was created. This study aims to know the evolution of deforestation in the Maiombe forest in the province of Cabinda (Angola) between 1986 to 2015 and the evolution of carbon sequestration between 2012 to 2015. For this, were used Landsat and MODIS images to calculate Normalized Difference Vegetation Index, the Photosynthetic Vegetation Index and the CO<sub>2</sub>flux and Gross Primary Production.

**Keywords:** Remote Sensing, Maiombe-Cabinda, Landsat, Deforestation, CO<sub>2</sub>flux, Vegetation Index

# Índice

<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Área de estudo</i>	2
1.1.1 <i>Clima e precipitação</i>	3
1.1.2 <i>Relevo</i>	4
1.1.3 <i>Geologia</i>	6
1.1.4 <i>Solos</i>	8
1.1.5 <i>Vegetação</i>	9
1.2 <i>Desmatamento da Floresta de Maiombe e a exportação da madeira</i>	10
1.3 <i>Leis da proteção florestal</i>	12
<b>2. Objetivo</b>	<b>13</b>
<b>3. Metodologia</b>	<b>13</b>
3.1 <i>Aquisição da informação</i>	13
3.2 <i>Tratamento da informação</i>	15
3.3 <i>Determinação do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada</i>	17
3.4 <i>Determinação do Índice de Vegetação Fotossintético</i>	18
3.5 <i>Determinação do Índice do Fluxo de Dióxido de Carbono</i>	18
3.6 <i>Determinação da média diária do sequestro de carbono</i>	19
<b>4. Resultados e discussão</b>	<b>20</b>
<b>5. Conclusões</b>	<b>30</b>
<b>6. Referências bibliográficas</b>	<b>33</b>

## Índice de Figuras

Figura 1- Área de estudo da Floresta do Maiombe. ....	3
Figura 2 - Caracterização da temperatura e da precipitação média entre os períodos de 1982 a 2012 em Belize: a) Temperatura b) Precipitação .....	4
Figura 3 - Mapa hipsométrico de Angola e MDE da área de estudo obtido do Digital Elevation - Global 30 Arc-Second Elevation (GTOPO30).....	5
Figura 4 - Geologia de Angola.....	7
Figura 5 - Mapa geológico da área de estudo. ....	8
Figura 6 - Solos de Angola. ....	9
Figura 7 – a) Nevoeiro nas zonas altas da floresta do maiombe, b) Tipos de árvores: Gilbertiodendrum, Tetraberlinia, c) Ocupação do solo. ....	10
Figura 8 - Exemplos de causas de desflorestação: a) Corte para Industria, b) Agricultura itinerante, c) Queimadas .....	11
Figura 9 - a) Exploração, b) Transporte de madeira no Belize, c) Corte de árvores no Belize.....	12
Figura 10 - Imagens <i>Landsat</i> : a) <i>Landsat 5</i> b) <i>Landsat 7</i> c) <i>Landsat 8</i> .....	14
Figura 11 – Imagem <i>Landsat 7</i> , após 2003, com problemas no sensor. ....	15
Figura 12 - Localização das torres micrometeorológicas. ....	19
Figura 13 - Imagem <i>Landsat 5</i> nas bandas do verde, vermelho e infravermelho próximo da floresta do Maiombe, captada no dia 22 de Maio de 1986 .....	20
Figura 14 - Imagem <i>Landsat 7</i> nas bandas do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo da floresta do Maiombe, captada no dia 24 de Abril de 2002 .....	21
Figura 15 - Imagem <i>Landsat 8</i> nas bandas do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo da floresta do Maiombe captada no dia 15 de fevereiro de 2015 . ....	21
Figura 16 -a) Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), 22 de maio de 1986; b) Índice de Vegetação da Diferença Normalizada ( NDVI) 24 de abril de 2002; c) Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) 15 de fevereiro de 2015. 22	
Figura 17 - Diferença do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) a) 2002 – 1986, b) 2015 - 2002 ; c) 2015 - 1986 .....	23
Figura 18 - a) Áreas de ocupação do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) < 0.2 nas datas 1986 (vermelho), b) Áreas de ocupação do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) < 0.2 nas datas 2015 (azul).....	25
Figura 19 - Mapas do Índice de Vegetação Fotossintético (PRI). a) 2002, b) 2015	25

Figura 20 - Diferença dos valores Índice de Vegetação Fotossintético SPRI entre 2002 e 2015.....	26
Figura 21- Os mapas de Índice do Fluxo de Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> flux):a) 2002 e b) 2015 .....	27
Figura 22 - Mapa da diferença de Índice do Fluxo de Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> flux) entre 2015 e 2002 .....	28
Figura 23 - Imagem MODIS de Gross Primary Productivity (GPP) no período de 10 a 17 de fevereiro.....	29
Figura 24 - Imagem de Gross Primary Productivity (GPP) gC/m <sup>2</sup> /dia em 2015.....	30

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Descrição dos parâmetros das imagens Landsat 5 e 7.....	16
Tabela 2 - Descrição dos parâmetros das imagens Landsat 8.....	17
Tabela 3 - Distribuição dos valores de Gross Primary Productivity (GPP) da área de estudo.....	30

## **Lista de Abreviaturas**

AN - Assembleia Nacional da República de Angola

ETM - Enhanced Thematic Mapper

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations

FLEC-FAC - Frente para a Libertação do Enclave de Cabinda/\_Forças Armadas de Cabinda

GEE - Gases de Efeito Estufa

GPP - Gross Primary Productivity

GTOPO30 - Digital Elevation - Global 30 Arc-Second Elevation

GWP - Global Warming Potential

IDF - Instituto de Desenvolvimento Florestal

IPCC - Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas

MDE- Modelo Digital de Elevações

MINUA - Ministério do Urbanismo e Ambiente da República de Angola

MSS - Multispectral Scanner

ND - Níveis Digitais

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

NIR – Near-infrared reflectance

OLI - Operational Land Imager

PRI - Photochemical Reflectance Index

RGB – Red Green Blue

WGS84 - World Geodetic System 1984

USGS - United States Geological Survey

## Introdução

Angola apresenta um património florestal único na região sul de África. As terras florestais cobrem cerca de 56% do território nacional. Segundo o Instituto de Desenvolvimento Florestal (IDF), cerca de 2% das florestas são densas e húmidas localizando-se no Norte do país.

O desmatamento de muitas florestas virgens de Angola tem ocorrido de forma descontrolada, sendo a floresta do Maiombe, um exemplo. Trata-se de uma região de mata densa e fechada localizada no norte de Angola na província de Cabinda. O ecossistema desta região permite uma rápida regeneração natural sem recorrer aos métodos convencionais de repovoamento florestal. Contudo, o enriquecimento ilícito através da extração da madeira por abate ilegal de árvores e a necessidade de obtenção de terras aráveis por parte dos agricultores, que não respeitam as diretrizes das instituições que zelam pelo controle e preservação dos recursos florestais, tem contribuído para um desequilíbrio na regeneração natural. Para além destes fatores, acrescenta-se o movimento separatista (FLEC-FAC) que até há poucos anos tinha a floresta como meio para o abastecimento da sua logística militar.

No dia 13 de dezembro de 2016, a Assembleia Nacional (AN) aprovou, a versão final da Proposta de Lei de Florestas e Fauna Selvagem, que visa garantir a conservação e o uso sustentável das zonas florestais e da fauna selvagem terrestre angolana.

O estudo do desmatamento a nível do mundo tem sido realizado por diversos investigadores e instituições (Europeia, 2010; Garlipp & Foelkel, 2009; FAO, 2009 a, FAO, 2009).

Atualmente fala-se muito sobre o Potencial Aquecimento Global (GWP) devido aos Gases de Efeito de Estufa (GEE). O 5.º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC) (Pachauri *et al*, 2014), mostra evidências científicas relativas a esta temática, dando ênfase à influência humana.

A redução da emissão do CO<sub>2</sub> na atmosfera é o foco principal das várias cimeiras mundiais quer nos países mais desenvolvidos quer naqueles em desenvolvimento (Vieira *et al.*, 2009). Segundo Serra (2012), as queimadas são responsáveis em cerca de 30% do dióxido de carbono libertado para a atmosfera.

A variável Produção Primária Bruta (GPP), em inglês Gross Primary Productivity) que produz a quantidade total de dióxido de carbono "fixo" por plantas terrestres por unidade de tempo através da redução fotossintética de CO<sub>2</sub> em compostos orgânicos é importante em qualquer estudo de mudança climática global. A presença de uma floresta vigorosa poderá mitigar parte do excesso de CO<sub>2</sub> presente na atmosfera. Alguns estudos mostram que os índices de vegetação conseguem estimar a biomassa, e o fluxo do sequestro de carbono (Junges *et al.*, 2007, Teobaldo, 2014).

Este trabalho tem como finalidade a monitorização da biomassa para o período de 1986 a 2015 e o sequestro de carbono para o período de 2002 a 2015, na floresta do Maiombe na província de Cabinda, utilizando técnicas de deteção remota.

## **1.1 Área de estudo**

A floresta húmida do Maiombe está situada entre os 400 m e 930 m de altitude ao longo de uma faixa paralela ao atlântico desde a República do Gabão até à República Democrática do Congo, passando pelo Congo Brazzaville (Répubblica do Congo) e pela província de Cabinda (Figura 1). Cobre uma área territorial de cerca 10 000 km<sup>2</sup>. (Maiombe – APT.org, 2013). Este estudo incide na parte da floresta que passa por Cabinda, mais precisamente nos municípios Buco Zau e Belize (Figura 1). Cobre uma área de cerca de 2000 km<sup>2</sup> (Ron, 2004).

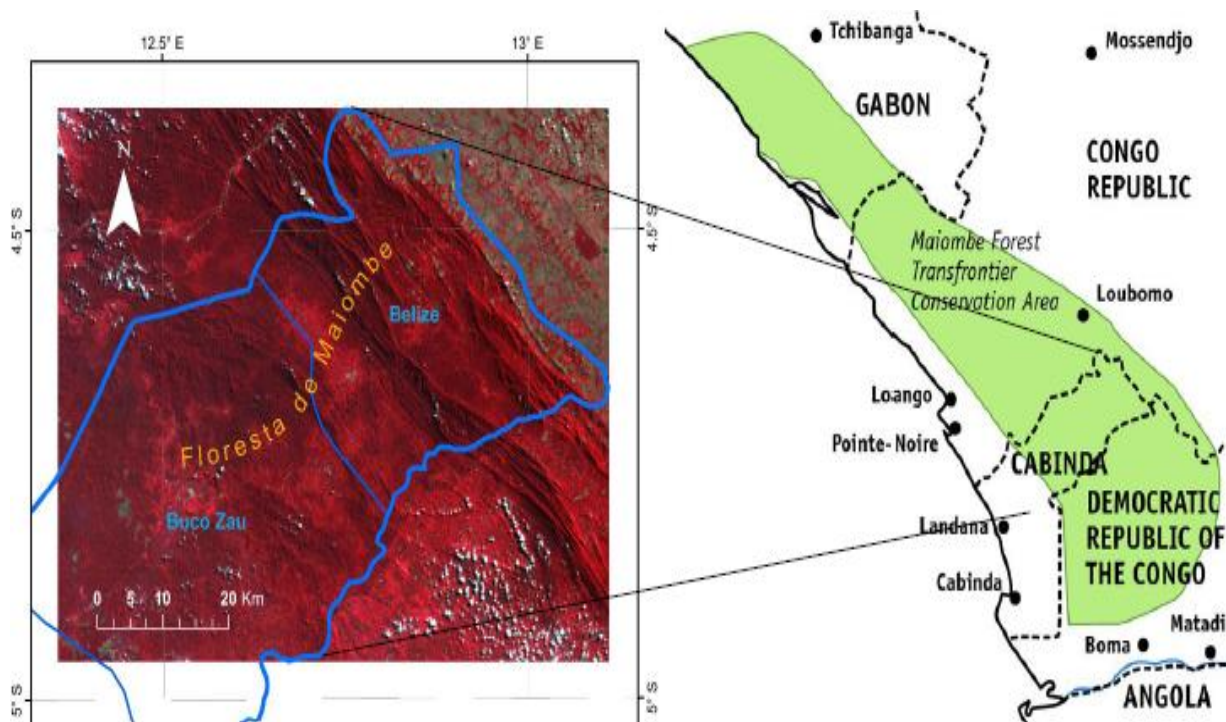


Figura 1- Área de estudo da Floresta do Maiombe.  
(Fonte: <http://www.berggorilla.org>)

### 1.1.1 Clima e precipitação

A área de estudo é caracterizada por um clima tropical em que existem duas estações do ano. O verão, com cerca de 8 meses, corresponde ao período mais chuvoso e o inverno com cerca de 4 meses, diz respeito ao período menos chuvoso. De acordo com a classificação Köppen *et al.* (1928) o clima é do tipo Aw. A temperatura média anual é 25,2 °C. A precipitação média anual é cerca de 1199 mm (Figura 2). Os meses mais quentes do ano são março e abril com uma temperatura média de cerca de 27,0 °C. O mês mais frio é julho com uma temperatura média de 21,8°C . No mês de julho não há precipitação, pelo que é considerado o mês mais seco. É no mês de novembro, onde é registada a maior quantidade de precipitação, com uma média de 207 mm.

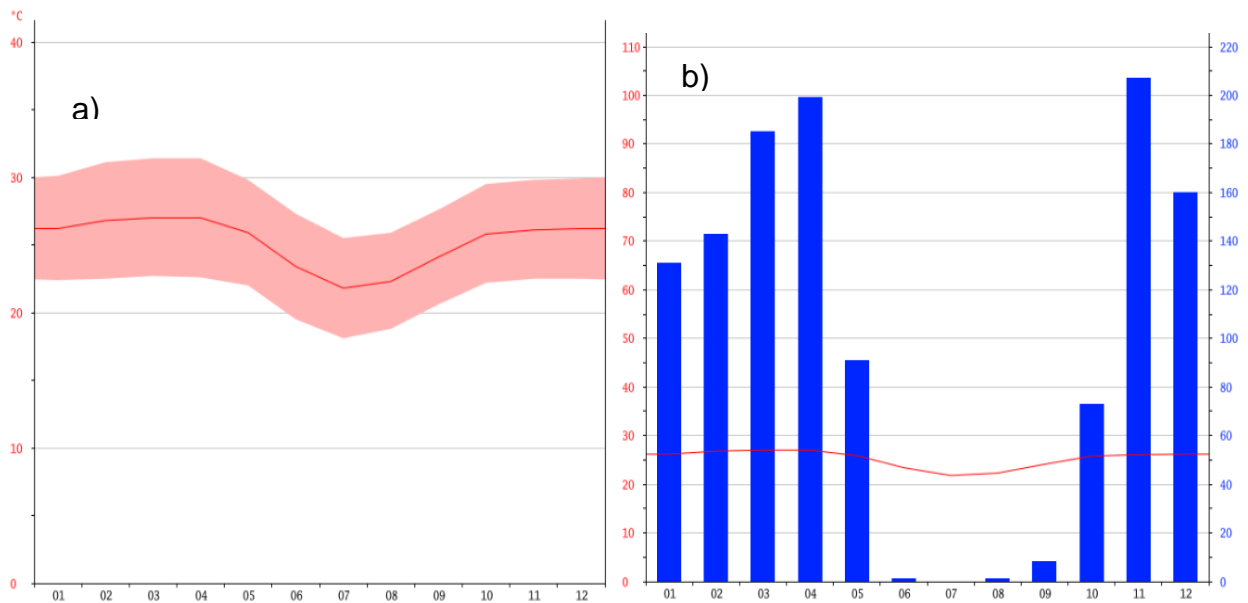


Figura 2 - Caracterização da temperatura e da precipitação média entre os períodos de 1982 a 2012 em Belize: a) Temperatura b) Precipitação

(Fonte: Clima-Data.Org - <https://pt.climate-data.org/info/sources/>)

### 1.1.2 Relevo

O relevo de Angola está dividido em três zonas: litoral (0 – 200 m), sub planáltica (200 – 1000 m) e planáltica (>10 000 m). O Ponto mais alto de Angola é o Morro do Moco com 2620 m de altitude situado na província do Huambo. Na área de estudo (municípios de Buco Zau e Belize) as altitudes variam entre os 200 m e os 755 m (Figura 3).

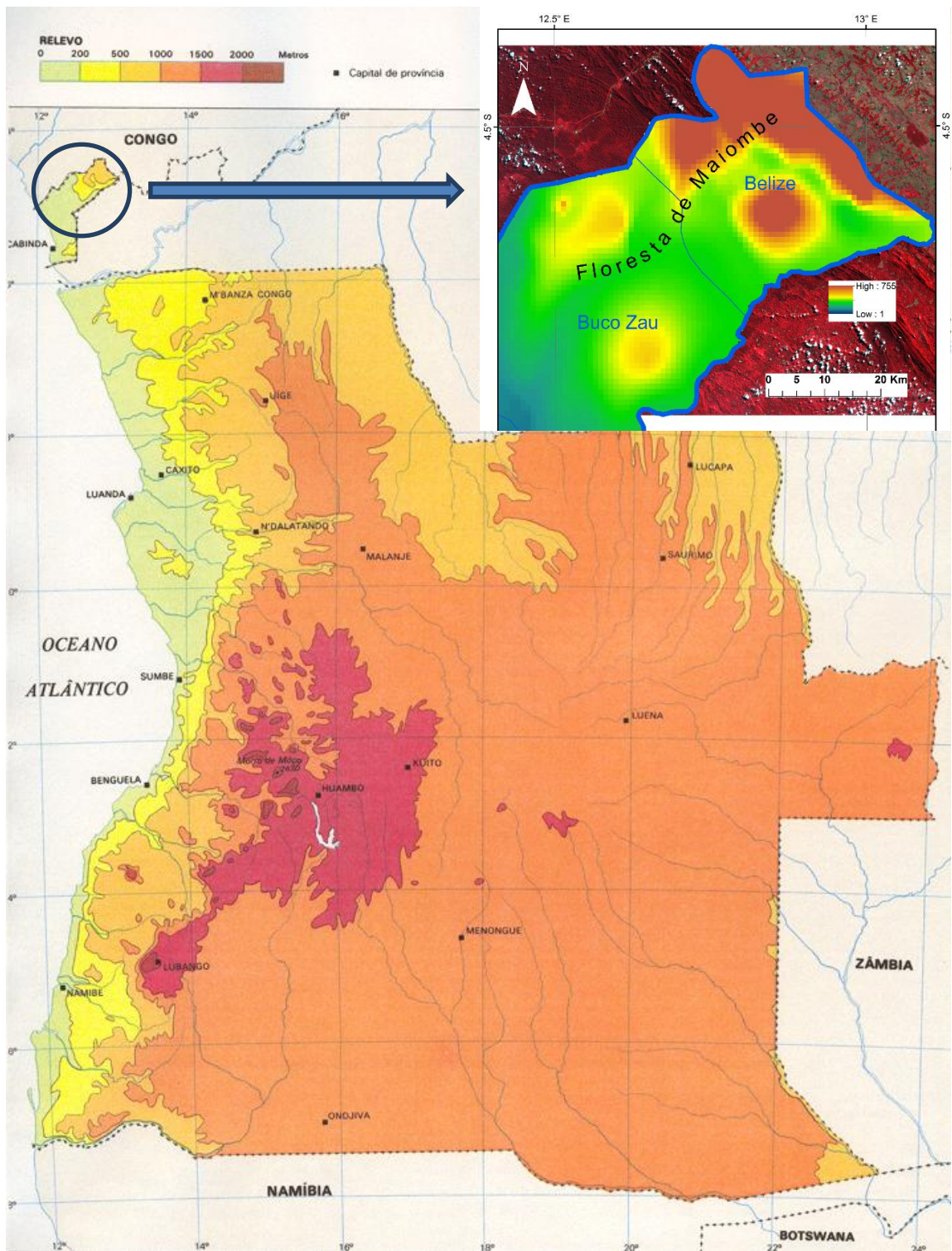


Figura 3 - Mapa hipsométrico de Angola e MDE da área de estudo obtido do Digital Elevation - Global 30 Arc-Second Elevation (GTOPO30).  
 (Fonte: [http://info-angola.ao/images/documentos/mapas/relevo\\_geomorfologia.jpg](http://info-angola.ao/images/documentos/mapas/relevo_geomorfologia.jpg))

### **1.1.3 Geologia**

Os recursos geológicos são de grande importância e contribuem significativamente para a riqueza nacional, com um impacto direto no crescimento e desenvolvimento do país. Deste, destacam-se o fosfato, o cobre, o urânio, os diamantes, o petróleo, o ferro e o zinco (Pereira, 2014).

A geologia de Angola pode ser dividida em 2 grupos: Rochas sedimentares efusivas e metamórficas do Cenozóico (terciário e quaternário), Mesozóico (Cretácio, Jurássico), Proterozóico e Arqueano; e as Rochas eruptivas do Mesozóico (Cretácio, Jurássico) e Proterozóico.

Na área de estudo encontram-se as rochas sedimentares efusivas e metamórficas proterozóicas (Figura 4), nomeadamente, os xistos argilosos, as areias grossas, calcários argilosos, biolitos hamebendico, areias argilosas, aglomerados greisses argilosos, calcários organogénicos, calcários estromáticos e depósitos de terraços marinhos e cascalhos (Figura 5).

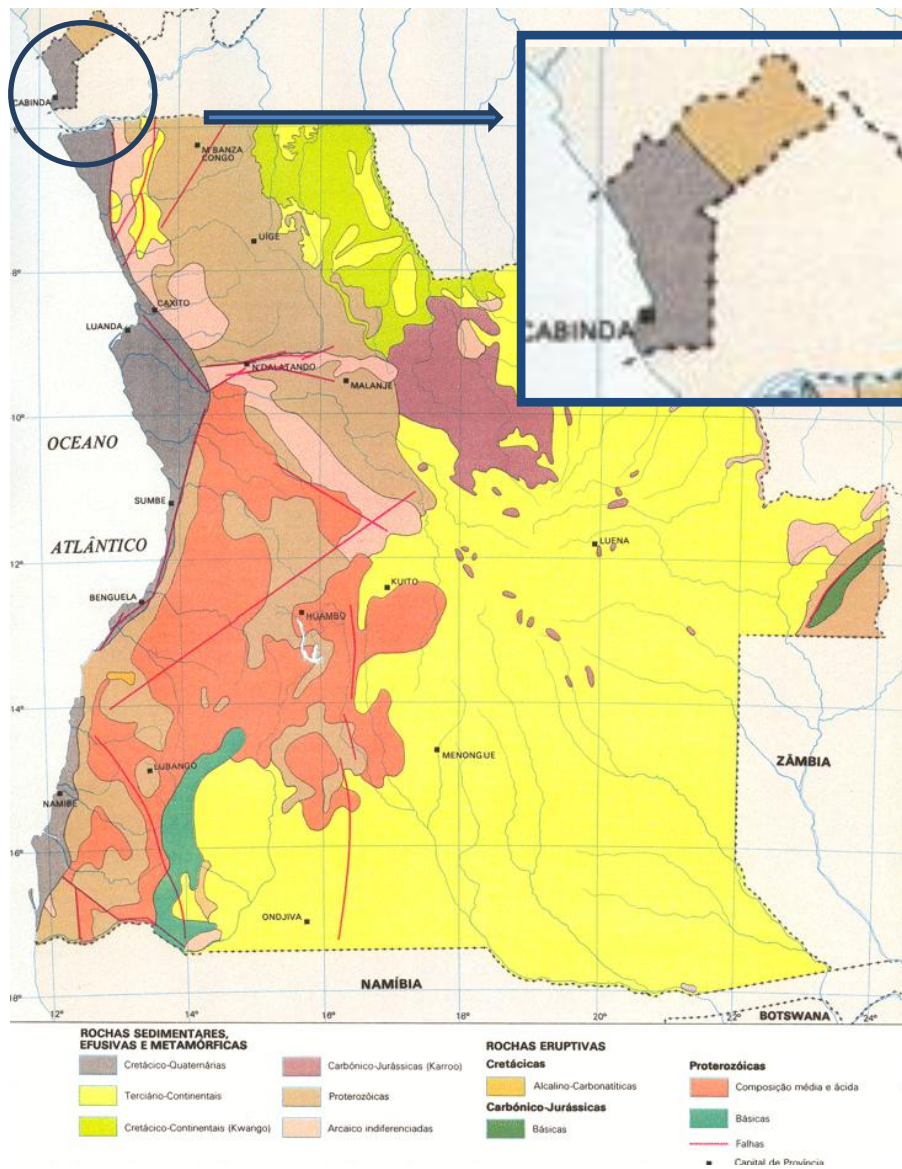


Figura 4 - Geologia de Angola.  
(Fonte: <http://info-angola.ao/images/documentos/mapas/geologia.jpg>)

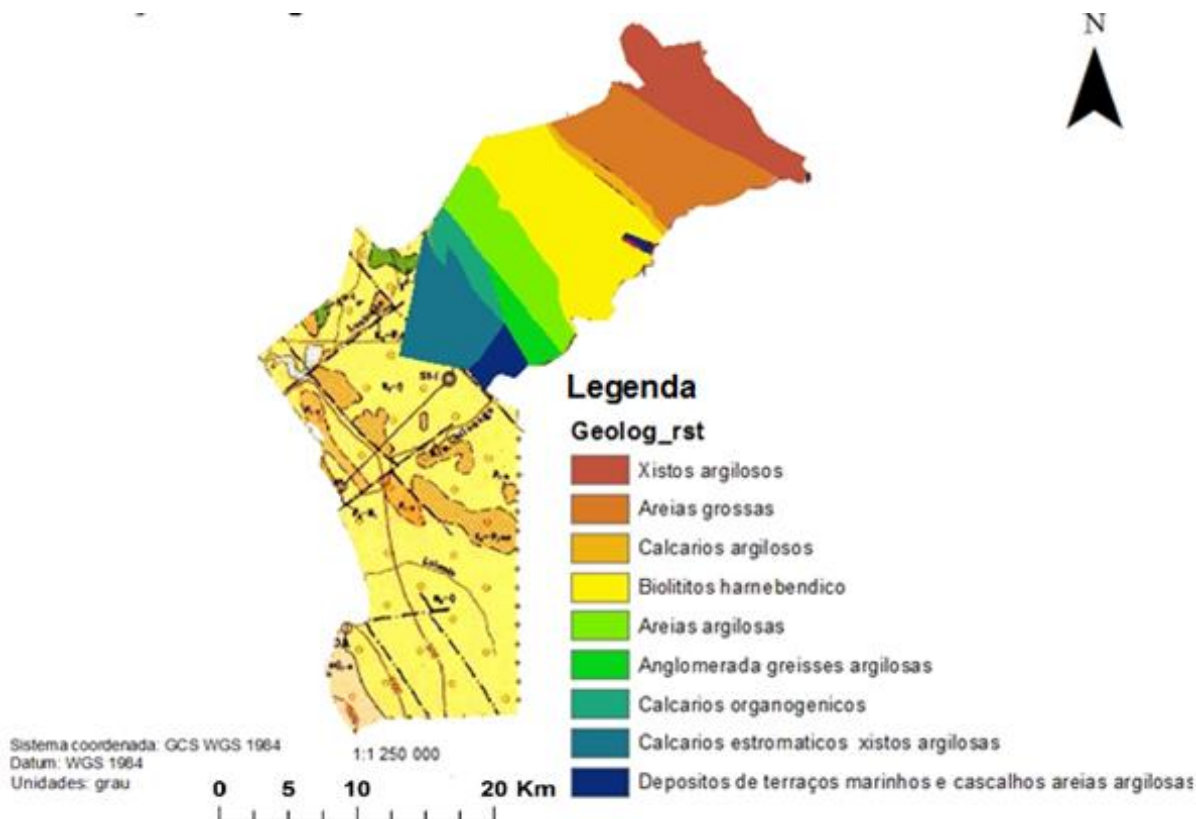


Figura 5 - Mapa geológico da área de estudo.  
 (Fonte: Adaptado de <https://pt.slideshare.net/DevelopmentWorkshopAngola/curso-para-administradores-dos-municipios-urbanas-modulo-2>)

#### 1.1.4 Solos

Em Angola existe uma grande diversidade de solos, sendo os Ferralíticos e Paraferalíticos (Ferrassolos na classificação de FAO - UNESCO, 1987) os mais representativos. Na área de estudo (municípios de Belize e Buco Zau) são também estes solos que predominam (Figura 6). Estes solos apresentam uma textura areno-argilosa que se degradam com facilidade com a ausência da vegetação.

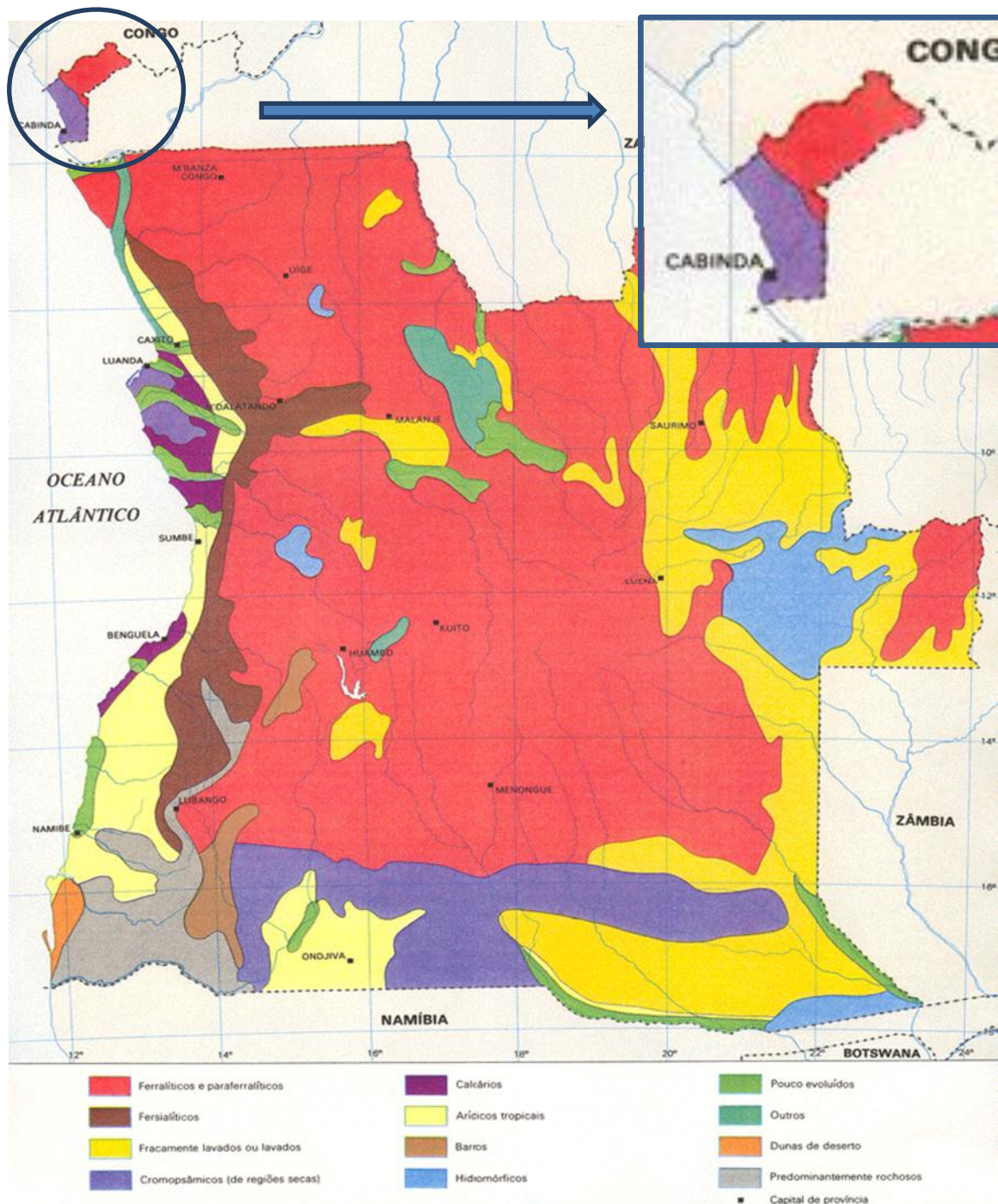


Figura 6 - Solos de Angola.  
 (Fonte: <http://info-angola.ao/images/documentos/mapas/>)

### 1.1.5 Vegetação

A área de estudo é caracterizada na maior parte da sua área por uma floresta fechada denominada por “nevoeiros”, onde as árvores são altas de folha persistente com cerca de 40 a 60 m de altitude (*Gilbertiodendrum spp.*, *Tetraberlinia spp.*, *Librevillea spp.*). Com menos área a floresta de semi-decíduas de baixas altitudes,

cerca de 30-50m (*Grossweileroendron spp.*, *Oxystigma, spp.* e *Piptadeniastrum spp.*) (MINUA, 2006a). A zona rural é pouco representativa na área de estudo (Figura 7).

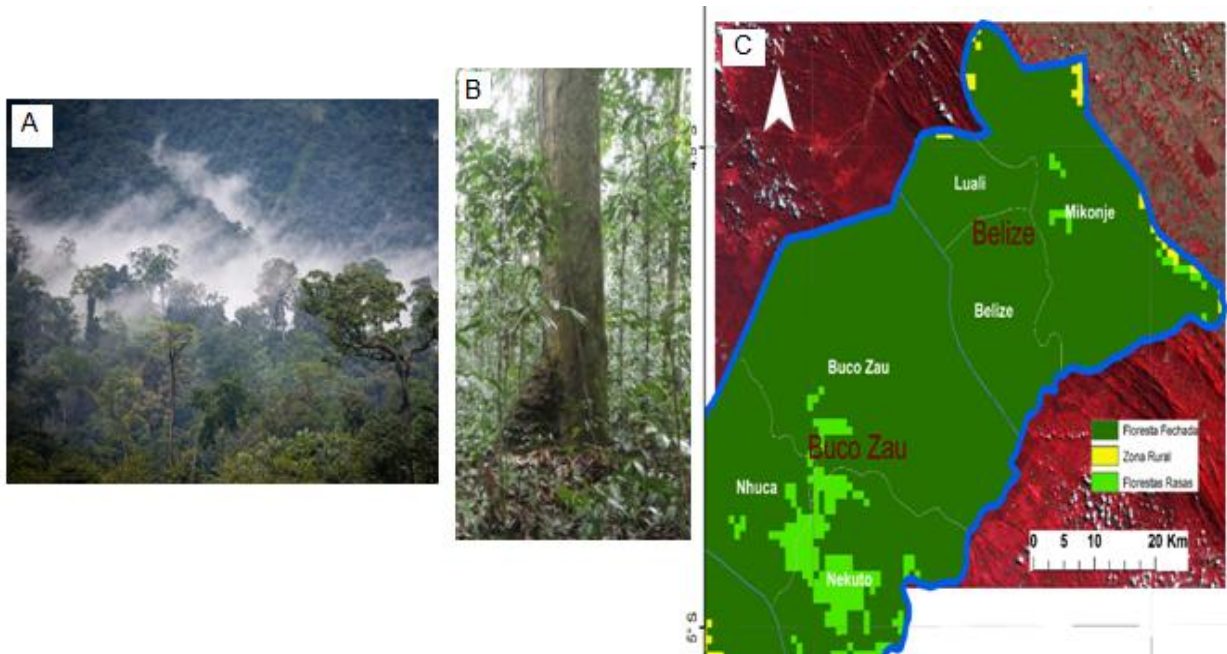


Figura 7 – a) Nevoeiro nas zonas altas da floresta do maiombe, b) Tipos de árvores: Gilbertiodendrum, Tetraberlinia, c) Ocupação do solo.  
(Fonte: DIVA-GIS software)

## 1.2 Desmatamento da Floresta de Maiombe e a exportação da madeira

A desflorestação é uma atividade praticada pelo homem que leva ao abate intenso de árvores, o que poderá contribuir para a extinção das espécies. Em Angola, são diversas as causas para esta atividade, nomeadamente, para a construção de habitações e equipamentos, construção de aterros sanitários e estradas, o aumento da procura internacional de madeira tropical, o aumento do consumo de lenha e carvão, as queimadas intencionais para a criação de novas áreas de cultivo e caça e a agricultura itinerante (Figura 8).



Figura 8 - Exemplos de causas de desflorestação: a) Corte para Industria, b) Agricultura itinerante, c) Queimadas

(Fonte: <http://www.viajarentreviagens.pt/senegal/agricultura-itinerante-de-queimada>)

Nos anos de 1960 a 2000 na Floresta de Maiombe, as espécies arbóreas Tola Branca (*Grossweileroendron balsamiferum*), Longhi Branco (*Aningheria robusta*), Limba (*Terminalia superba*), Ngulu – Mazi (*Sarcocephalus diderrichii*) e Pau-rosa (*Swartzia fistuloides* Harms) são fustigadas com o corte, sendo a madeira transformada no mercado nacional e internacional por forma a ser utilizada na indústria mobiliária, construção marítima e construção civil (Landa Canga e Buza, 2011). A espécie Pau-rosa, atualmente está proibida a sua exploração porque corre perigo de extinção. Por forma a dar uma ideia das exportações de madeira realizadas em Cabinda, sabe-se que no período de 1950 - 1969, foram exportados 2 045 165 m<sup>3</sup>, dos quais 170 652 m<sup>3</sup> foi em 1969 (Martins, 1972). Um terço da cobertura florestal de 1950 desapareceu (MINUA, 2006b). No período de 1990-95, Angola exportou cerca de 840 403 m<sup>3</sup> de madeira, tendo Cabinda contribuído com cerca de 33,94 % (Buza, 2011). No período de 1996-2000, Cabinda foi responsável por 49 958 m<sup>3</sup> das exportações de madeira para o exterior (IDF, 2001). De acordo com o relatório elaborado pelo MINUA, (2006), estima-se que a taxa de desflorestação anual é de 0,4%, correspondente a uma superfície superior a 150 mil hectares devastados todos os anos. Estas estatísticas devem-se a grande parte à exploração florestal descontrolada (cortes ilegais) (Figura 9).



Figura 9 - a) Exploração, b) Transporte de madeira no Belize, c) Corte de árvores no Belize.  
(Fonte: Heffernan, 2005)

### 1.3 Leis da proteção florestal

O instituto e desenvolvimento florestal (IDF) é o órgão do Ministério da Agricultura e de Desenvolvimento Rural (MINADER) que licencia e fiscaliza as atividades florestais de Angola.

Têm sido realizadas diversas ações, nomeadamente, a partir de 1985, em Cabinda foram plantadas mais de 8 hectares de Tola branca (*Grossweileroendron spp*) (IDF, 2011) e em 2010 foi realizada a proposta de estratégia nacional de povoamento e repovoamento florestal. Diversas legislações foram publicadas: Lei de Bases do Ambiente (Lei n. °5/98, de 19 de Junho), Lei de Terras (Lei n.º 9/04, de 9 de Novembro), Lei de Bases do Desenvolvimento Agrário, a Resolução N.º 1/2010 de 14 de Janeiro, “Política Nacional de Florestas”, Fauna Selvagem e Áreas de Conservação” e mais recentemente a 13 de dezembro de 2016, foi aprovada a versão final da Proposta de Lei de Florestas e Fauna Selvagem, que visa garantir a

conservação e o uso sustentável das zonas florestais e da fauna selvagem terrestre angolana.

## 2. Objetivo

Neste trabalho de dissertação pretende-se estudar a variação da biomassa entre 1986 a 2015 e a evolução do sequestro do carbono num período 2002 a 2015 com base nas técnicas da Deteção Remota, preconizado pelo desmatamento da floresta do Maiombe. O trabalho apresenta a seguinte estrutura:

- 1- Aquisição da informação: imagens *Landsat* no período de 1986 – 2015.
- 2- Tratamento das imagens *Landsat*.
- 3- Evolução do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), no período de 1986 – 2015.
- 4- Evolução do Índice de Vegetação Fotossintético (PRI) no período de 2002 – 2015.
- 5- Determinação do CO<sub>2</sub>flux no período de 2002 – 2015.
- 6- Determinação da média diária do sequestro de carbono (GPP) no período de 10 a 17 de Fevereiro de 2015.

## 3. Metodologia

Neste capítulo da dissertação serão explicados todos os procedimentos realizados para estudar a variação da biomassa e do sequestro do carbono na floresta de Maiombe, nomeadamente, a aquisição da informação e tratamento, determinação dos índices de vegetação, determinação do CO<sub>2</sub>flux e o cálculo do GPP. A determinação do GPP foi realizada para 2015, pelo facto de não existirem imagens MODIS para os anos de 1986 e 2002.

### 3.1 Aquisição da informação

A informação de base foi adquirida no *site* da *United States Geological Survey* (USGS, 2015). Neste estudo foram utilizadas imagens *Landsat*, referentes às bandas RGB e NIR, nomeadamente, *Landsat 5*, de 22 de maio de 1986, com o

sensor *Multispectral Scanner* (MSS, resolução 79 m), *Landsat 7*, de 24 de abril de 2002, com o sensor *Enhanced Thematic Mapper* (ETM, resolução 30m ) e *Landsat 8*, de 15 de fevereiro de 2015, com o sensor OLI (*Operational Land Imager*, resolução 30 m), georreferenciadas com o sistema de coordenadas WGS84 (Figura 10). A imagens *Landsat 7* apresentava muita nebulosidade, o que dificultou a aplicação das metodologias proposta neste trabalho de mestrado.

Existiam imagens posteriores a esta data, mas apresentavam riscas (*stripes*) o que traduz mau funcionamento do sensor (Figura 11). Para ultrapassar este problema as metodologias foram aplicadas na zona onde a nebulosidade é quase inexistente.

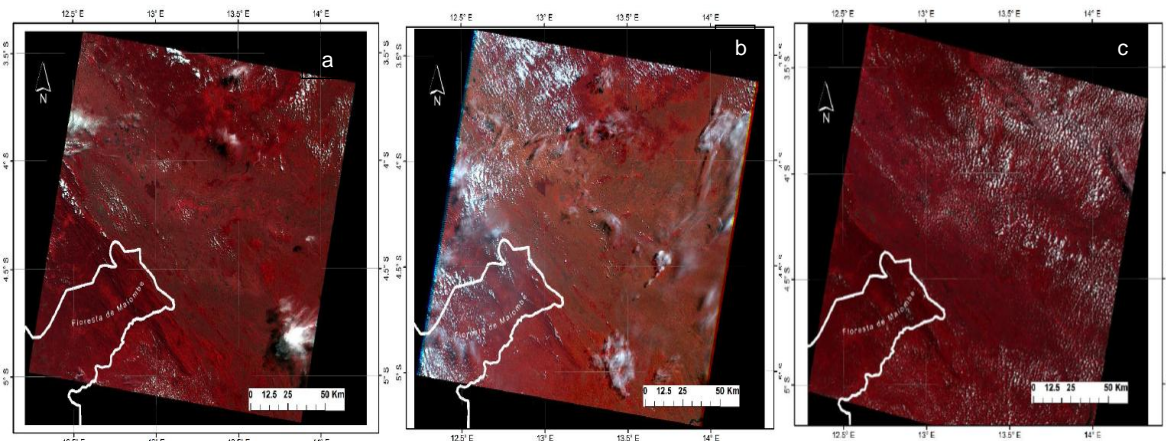


Figura 10 - Imagens *Landsat*: a) *Landsat 5* b) *Landsat 7* c) *Landsat 8*

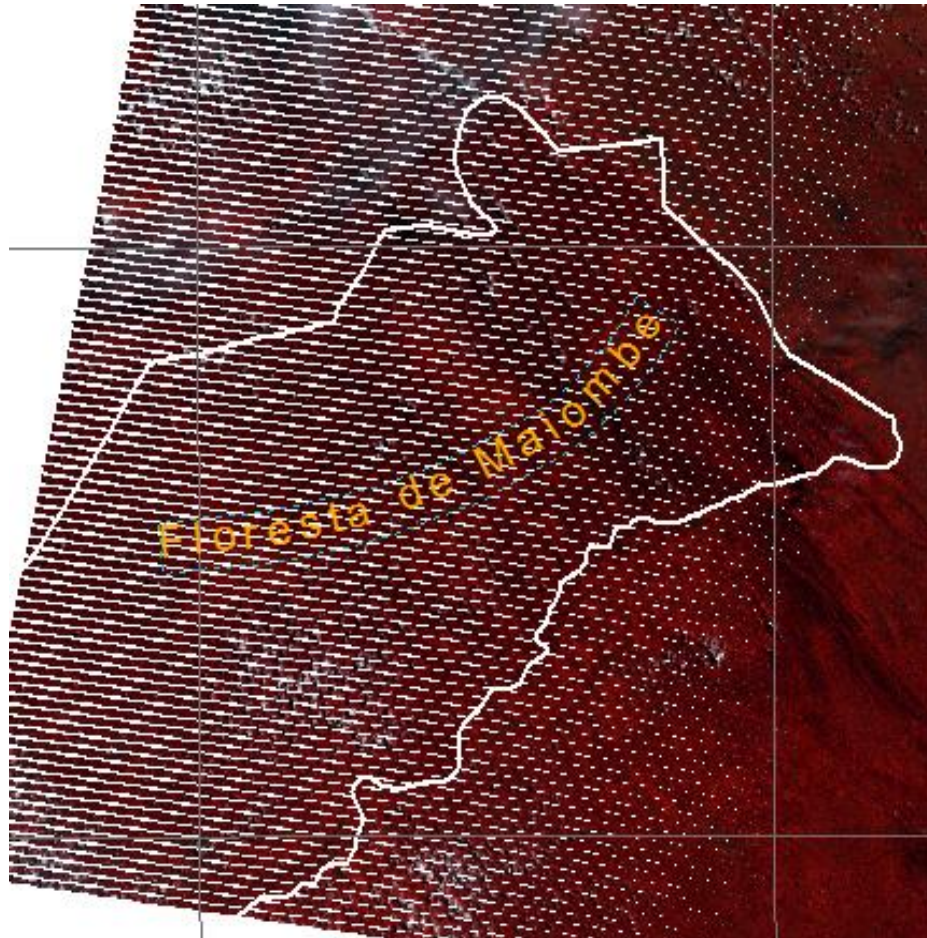


Figura 11 – Imagem Landsat 7, após 2003, com problemas no sensor.

### 3.2 Tratamento da informação

No seu formato original, os pixels das imagens são expressos em Níveis Digitais (ND) e pretende-se que estes assumam valores de refletâncias ( $\rho$ ) uma vez que é este parâmetro que é o indicador da relação que existe entre a energia recebida e a emitida. A forma de realizar esta transformação é distinta entre as imagens Landsat 5 e 7 comparativamente às Landsat 8.

Nas imagens Landsat 5 e 7, numa primeira fase é determinada a radiância espectral (Equação 1).

$$L_{\lambda} = \frac{(L_{m\acute{a}x} - L_{m\acute{i}n})}{255} \times DN + L_{m\acute{i}n} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,  $L_{\lambda}$  é a radiação espectral para a banda  $\lambda$  ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ),  $L_{m\acute{a}x}$  and  $L_{m\acute{i}n}$  são os coeficientes de calibração da respetiva radiância espectral para cada banda ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ ).

$^1 \mu\text{m}^{-1}$ ),  $DN$  é o nível radiométrico (0-255). Sendo conhecido o valor de  $L_\lambda$ , é determinada a refletância  $\rho_k$  para cada banda (Equação 2).

$$\rho_k = \frac{\pi \times L_\lambda}{k \times \cos\theta \times d_r} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde;  $L_\lambda$  é a radiância espectral para banda  $\lambda$  ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ),  $k$  é a irradiância espectral ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ),  $\theta$  é o ângulo zenital solar em graus e  $d_r$  é o inverso do quadrado relativo da distância terra sol em unidades astronômicas, dado pela equação 3.

$$d_r = 1 + 0.033 \times \cos\left(d_j \times \frac{2\pi}{365}\right) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde  $d_j$  é o dia juliano.

A tabela 1, apresenta os parâmetros utilizados no processo de conversão de  $DN$  em  $\rho$ .

Tabela 1 - Descrição dos parâmetros das imagens Landsat 5 e 7

	Landsat 5 -1986			Landsat 7 - 2002			
	B1 (verde)	B2 (vermelho)	B3 (infravermelho)	B1 (verde)	B2 (azul)	B3 (vermelho)	B4 (infravermelho)
$L_{\text{máx}}$	220.8	163.6	140.3	191.6	196.5	152.9	241.1
$L_{\text{min}}$	2.5	2.7	4.7	-6.2	-6.4	-5.0	-5.1
k	1848	1588	1235	1970	1842	1547	1044
$\theta$ (°)	42.8164			34.3540			
$d_r$ (u.a)	1.0123			1.0057			

Para o *Landsat 8* os níveis radiométricos  $DN$  são diretamente convertidos em refletância espectral (Equação. 4).

$$\rho_k = \frac{M_\rho \times DN + A_\rho}{\cos\theta_r} \quad (\text{Equação 4})$$

em que  $M_\rho$  e  $A_\rho$  são os fatores de reescalonamento multiplicativo e aditivo,  $DN$  são os níveis radiométricos da imagem e  $\Theta_r$  o ângulo zenital solar em graus.

A tabela 2 mostra o valor dos parâmetros utilizados para o cálculo da reflectância espectral do Landsat 8.

Tabela 2 - Descrição dos parâmetros das imagens Landsat 8.

	2015			
	Banda 2 (azul)	Banda 3 (Verde)	Banda 4 (vermelho)	Banda 5 (infravermelho)
$M_\rho$	0.00002			
$A_\rho$	-0.10000			
$\Theta_r$	31.84442			

### 3.3 Determinação do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) foi proposto por Rouse *et al.* (1974) é o índice de vegetação mais usado e trata-se bom indicador do estado de saúde da vegetação. Relaciona a energia absorvida (RED) com a refletida (NIR) (Equação 5). Os valores de NDVI variam entre -1 e 1, sendo que quanto mais denso for o coberto vegetal mais próximo de 1 é o NDVI. A água apresenta valores de NDVI negativos, próximos de -1, solo nu valores próximos de zero (-0.02 a 0.02). A escala comum para a vegetação verde é 0.2 a 0.8 (Pedras *et al.*, 2014).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad \text{(Equação 5)}$$

Onde,  $\rho_{NIR}$  é a refletância na banda do infravermelho e  $\rho_{RED}$  é a refletância na banda do vermelho.

Foi determinado o NDVI para 22 de maio de 1986, 24 de abril de 2002 e 15 de fevereiro de 2015. Foi analisada a evolução deste índice entre as épocas 2002 - 1986 de 2015 - 2002 e 2015 - 1986. A diferença foi reclassificada em 5 classes com base na média ( $\mu$ ) e no desvio padrão ( $\sigma$ ): diminuição [Min,  $\mu-2\sigma$ ], diminuição ligeira [ $\mu-2\sigma$ ,  $\mu-\sigma$ ], sem alteração [ $\mu-\sigma$ ,  $\mu+\sigma$ ], aumento ligeiro [ $\mu+\sigma$ ,  $\mu+2\sigma$ ] e aumento [ $\mu+2\sigma$ , Máx].

### 3.4 Determinação do Índice de Vegetação Fotossintético

O Índice de Vegetação Fotossintético (PRI) exprime a relação entre as bandas do verde e azul, e pode estar relacionado com a eficácia da utilização da luz no sistema fotossintético, Rahman *et al.*, (2000). (Equação 6). Os valores variam entre -1 e 1, em que o intervalo entre -0,2 e 0,2 representa a vegetação saudável, Gamon *et al.*, (1997).

$$PRI = \frac{\rho_{BLUE} - \rho_{GREEN}}{\rho_{GREEN} + \rho_{BLUE}} \quad (\text{Equação 6})$$

Este índice foi determinado para 24 de abril de 2002 e 15 de fevereiro de 2015. Para a imagem de 1986, não foi determinado o *PRI* porque no Landst 5 não existe a banda do azul. Após o cálculo do índice *PRI*, foi calculado o índice *sPRI*, seguindo a metodologia proposta por Rahman *et al.* (2000). O índice *sPRI* tem o mesmo significado do *PRI*, i.é, é o *PRI* reescalado. O *sPRI* é representado numa escala que varia entre 0 e 1 por forma a ficar com a mesma escalado *NDVI* (Equação 7).

$$sPRI = \frac{PRI + 1}{2} \quad (\text{Equação 7})$$

Por forma a justificar os resultados obtidos no *PRI*, foi realizada a diferença entre *sPRI* de 2002 e 2015. A diferença foi reclassificada em 3 classes com base na média ( $\mu$ ) e no desvio padrão ( $\sigma$ ): diminuição [ $\text{Min}, \mu - \sigma$ ], sem alteração [ $\mu - \sigma, \mu + \sigma$ ] e aumento]  $\mu + \sigma, \text{Máx}$ ].

### 3.5 Determinação do Índice do Fluxo de Dióxido de Carbono

As trocas de carbono ( $\text{CO}_2\text{flux}$ ) que ocorreram em 2002 e 2015 na área de estudo foram determinadas de acordo com a metodologia de Rahman *et al.* (2000). Consiste na combinação dos índices *NDVI* e *sPRI* (Equação 8).

$$\text{CO}_2\text{flux} = \text{NDVI} \times \text{sPRI} \quad (\text{Equação 8})$$

Foi feita a diferença do CO<sub>2</sub>flux entre 2015 e 2002. A diferença foi reclassificada em 3 classes com base na média ( $\mu$ ) e no desvio padrão ( $\sigma$ ): diminuição [Min,  $\mu-\sigma$ ], sem alteração [ $\mu-\sigma$ ,  $\mu+\sigma$ ] e aumento [ $\mu+\sigma$ , Máx].

### 3.6 Determinação da média diária do sequestro de carbono

Para determinar a média do sequestro de carbono na área de estudo poderíamos ter recorrido à página da FLUXNET. A FLUXNET, é um projeto lançado pela NASA, do qual fazem parte algumas centenas de estações micrometeorológicas, que monitorizam os fluxos diários de sequestro de CO<sub>2</sub> da superfície terrestre. A estação mais próxima da área de estudo localizava-se a 125 km (Figura 12).

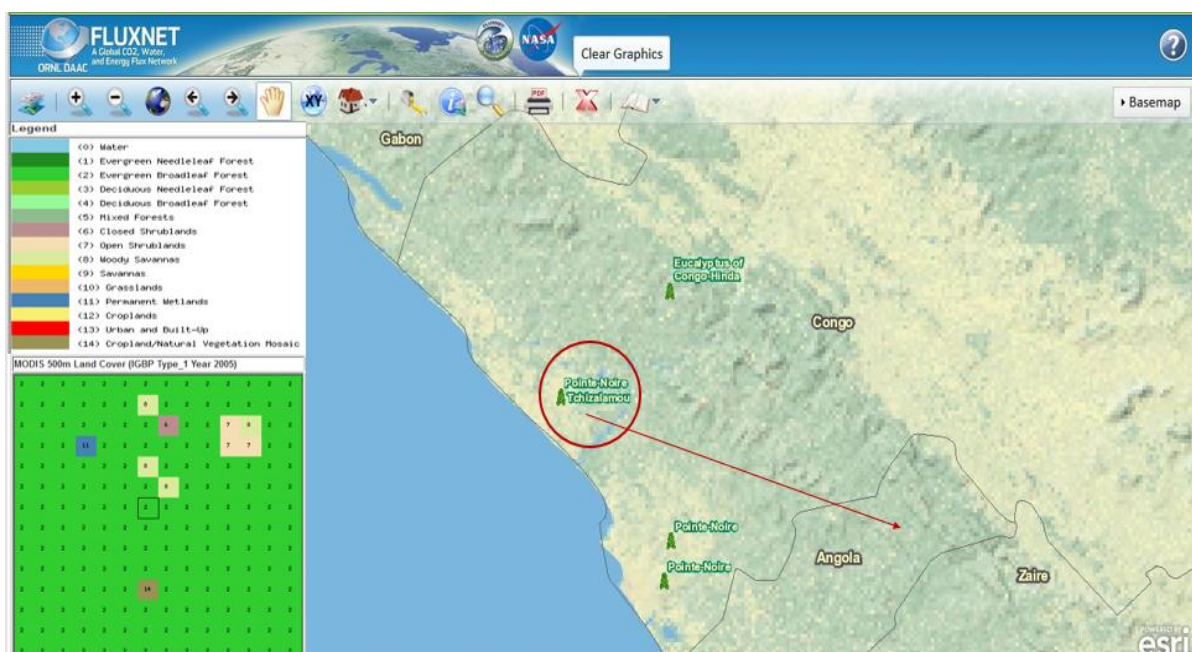


Figura 12 - Localização das torres micrometeorológicas.  
(Fonte: FLUXNET -<https://daac.ornl.gov/>)

O facto de ser uma distância considerável optou-se por recorrer à informação facultada pelas imagens obtidas MODIS AQUA (MYD17A2). Os dados disponibilizados para 8 dias com uma resolução espacial de 500 m dizem respeito à média diária de GPP, em Kg C/m<sup>2</sup>. Estes dados só estão disponíveis após a data de 04 de julho de 2002, pelo que este estudo apenas foi efetuado para a imagem de 15 de fevereiro de 2015.

Foram utilizados os dados de GPP de 10 de fevereiro de 2015 a 17 de fevereiro de 2015. O modelo de GPP com uma resolução espacial de 30m, foi determinado com base numa regressão linear para um intervalo de confiança de 95%, em que a variável explicatória foi o índice  $CO_2$ flux e a variável resposta o GPP. A regressão foi estabelecida com uma amostra de cerca 2000 amostras de GPP, o que equivale a 15% dos pixéis da imagem MODIS referente à área de Cabinda. Os valores de GPP foram classificados em quatro classes [0,3[, [3,6[, [6,9[, [9,11], e determinada a respetiva percentagem de GPP  $g\ C/m^2/dia$ .

## 4. Resultados e discussão

O estudo da monitorização do desmatamento da floresta do Maiombe baseou-se em imagens Landsat 5, 7 e 8 para 3 épocas distintas: 22 de Maio de 1986, 24 de Abril de 2002 e 15 de Fevereiro de 2015. As Figuras 13 a 15, mostram as bandas utilizadas para cada época.

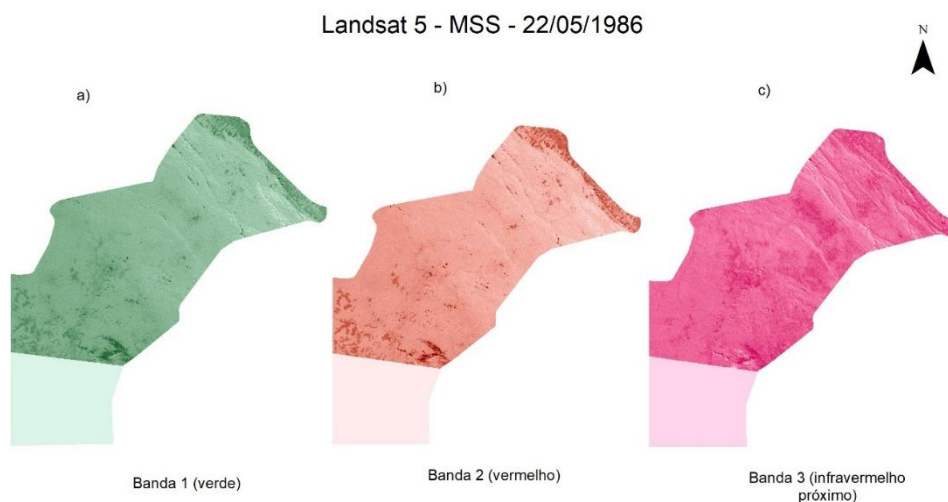


Figura 13 - Imagem *Landsat* 5 nas bandas do verde, vermelho e infravermelho próximo da floresta do Maiombe, captada no dia 22 de Maio de 1986

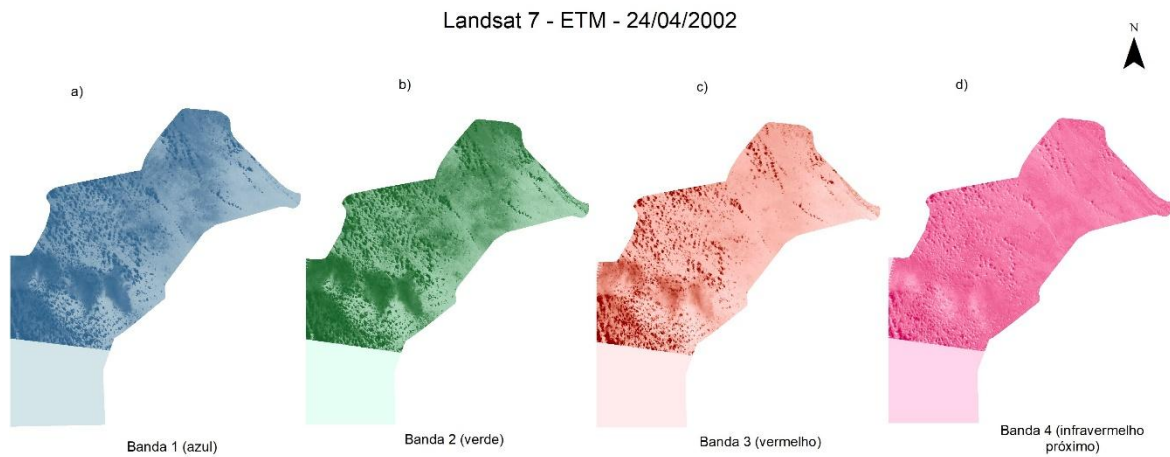


Figura 14 - Imagem *Landsat 7* nas bandas do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo da floresta do Maiombe, captada no dia 24 de Abril de 2002

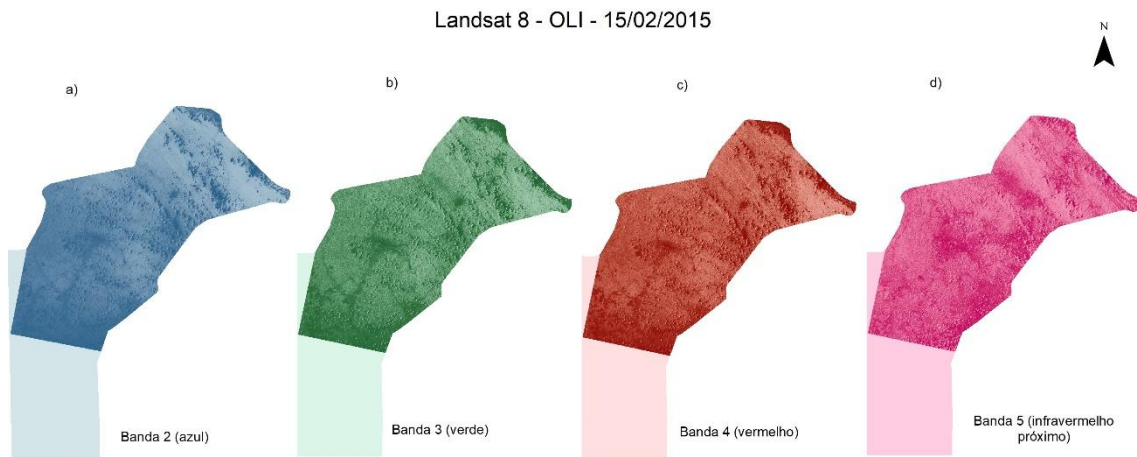


Figura 15 - Imagem *Landsat 8* nas bandas do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo da floresta do Maiombe captada no dia 15 de fevereiro de 2015 .

As Figuras 16 a), b) e c) mostram os mapas de NDVI. das épocas de 22 de maio de 1986, 24 de abril de 2002 e 15 de fevereiro de 2015, respetivamente.

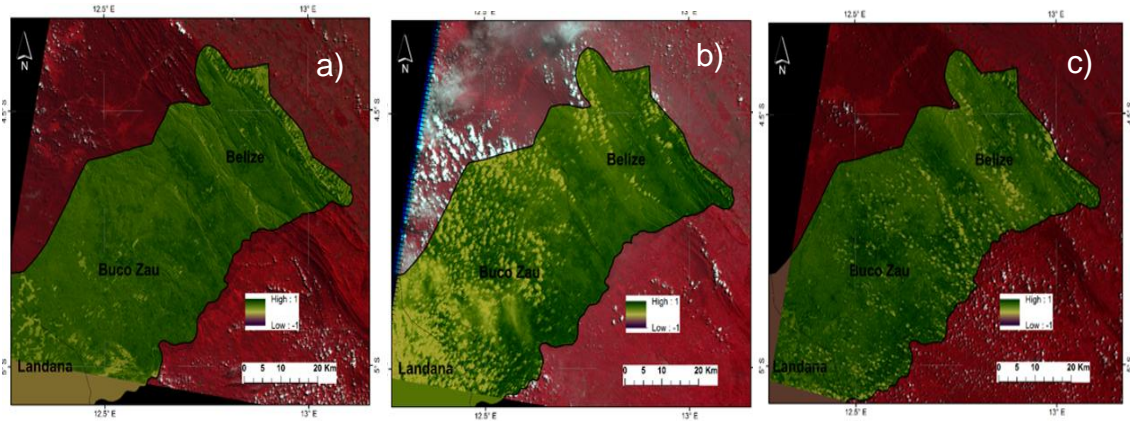


Figura 16 -a) Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), 22 de maio de 1986; b) Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) 24 de abril de 2002; c) Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) 15 de fevereiro de 2015.

Em 1986 verificou-se que entre Buco Zau e Belize existiam valores de NDVI mais elevados de toda a área de estudo (acima de 0,70) o que sugere a existência de grande quantidade de biomassa. Na região mais acidentada de Belize, junto à fronteira da República do Congo (nordeste) e a sul de Buco Zau os valores de NDVI são mais baixos (entre 0,25 e 0,45). Nas povoações os valores são baixos (cerca de 0,2).

As imagens de 2002 e 2015 apresentam muita nebulosidade, o que dificultou a análise do NDVI. Contudo, verificou-se que o comportamento do NDVI é semelhante ao ano de 1986.

As Figura 17 a), b) e c) mostram as diferenças de NDVI de 2002 - 1986 de 2015 - 2002 e 2015 - 1986.

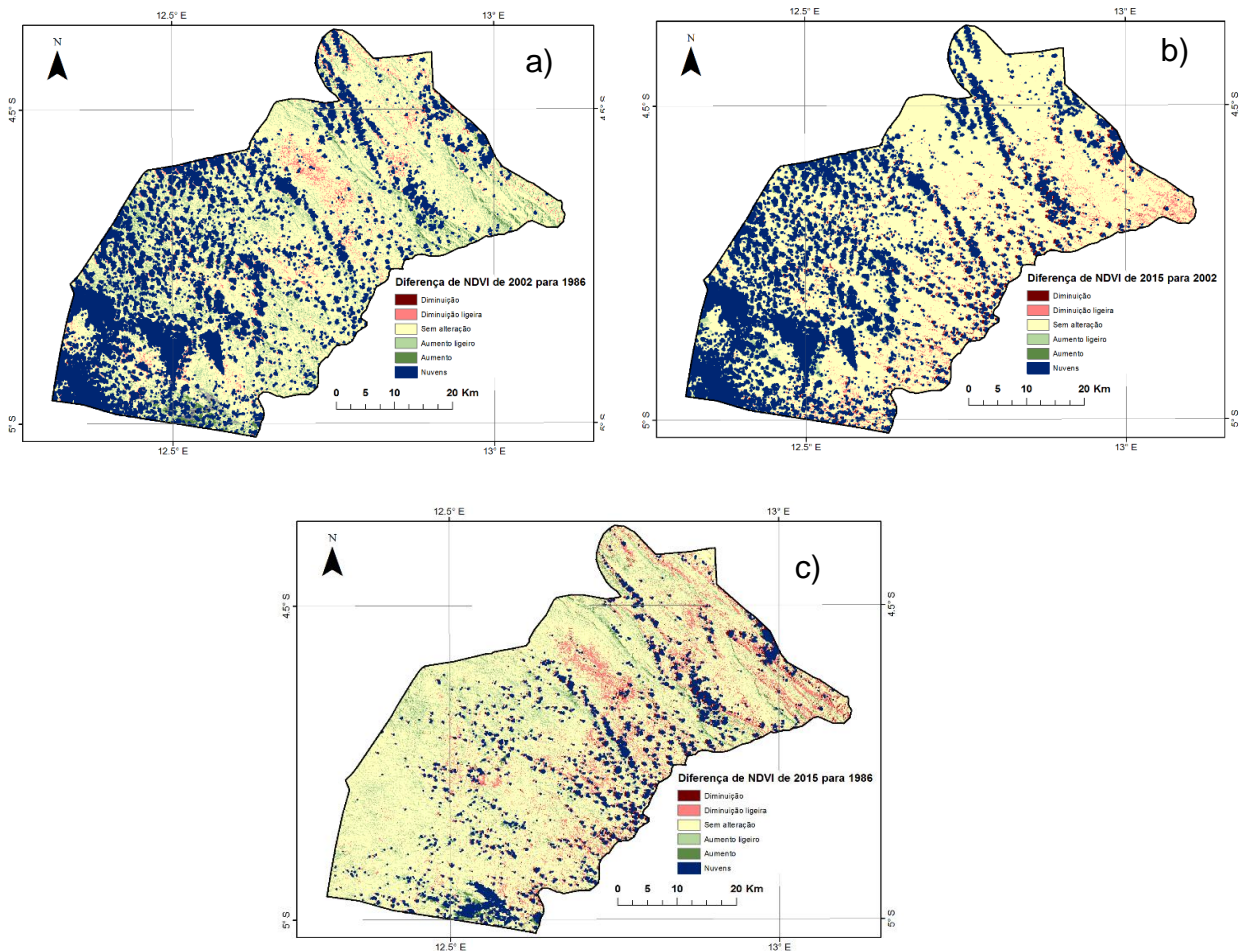


Figura 17 - Diferença do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) a) 2002 – 1986, b) 2015 - 2002 ; c) 2015 - 1986

Pela análise do mapa que mostra a evolução do NDVI de 1986 para 2002 verifica-se que 71% da área manteve os valores e 29% foram alterados. Aproximadamente 11% e 4% da área mostrou classes de “Diminuição ligeira” e “Diminuição”, respetivamente. Estas classes localizam-se na sua maioria entre Buco Zau e Belize, onde de acordo com o mapa de NDVI de 1986, foi sugerida maior quantidade de biomassa. As classes de “Aumento ligeiro” e “Aumento” de NDVI, apresentam percentagens de 12% e 2%, respetivamente, estando distribuídas praticamente em toda a área de estudo. Contudo, estas classes são mais evidenciadas na faixa montanhosa de Belize.

No que respeita à evolução NDVI de 2002 a 2015, cerca de 77% da área não sofreu alteração neste período. Aproximadamente 11% e 5% da área mostrou classes de “Diminuição ligeira” e “Diminuição”, respetivamente. Estas classes localizam-se

principalmente ao longo da fronteira da República Democrática do Congo. As classes de “Aumento ligeiro” e “Aumento” de NDVI, apresentam percentagens de 5% e 2%, respetivamente, estando distribuídas principalmente a sul de Buco Zau.

Pela a análise da evolução do NDVI entre a época de 1986 e 2015 constatou-se que cerca de 72% da área manteve os valores. Aproximadamente 11% e 3% da área mostrou classes de “Diminuição ligeira” e “Diminuição”, respetivamente. Estas classes localizam-se entre Buco Zau, Belize (zona expetável de maior biomassa), zona norte de Belize e ao longo da fronteira da República Democrática do Congo. As classes de “Aumento ligeiro” e “Aumento” de NDVI, apresentam percentagens de 12% e 1%, respetivamente, estando distribuídas a sul e a norte de Buco Zau e na faixa acidentada de Belize.

Analisando os três períodos de evolução do NDVI, contata-se que até ao ano de 2002 ocorreu a diminuição dos valores entre Belize e Buco Zau, mais propriamente na zona onde foi sugerido a existência de maior biomassa. Após 2002 houve uma diminuição do NDVI, principalmente, na direção nordeste - sudoeste de Cabinda (fronteira com a República Democrática do Congo). Contudo, em toda a área de estudo há uma evolução positiva o que equilibra a perda.

Analisando as zonas de NDVI menores que 0,2, o que corresponde a zonas com pouca ou nenhuma vegetação, verificou-se que em 1986 a sua representatividade (cor vermelha) era de 5% e em 2015 (cor azul) de 6% (Figura 18). Esta pequena diferença deve-se ao aumento das zonas urbanas.

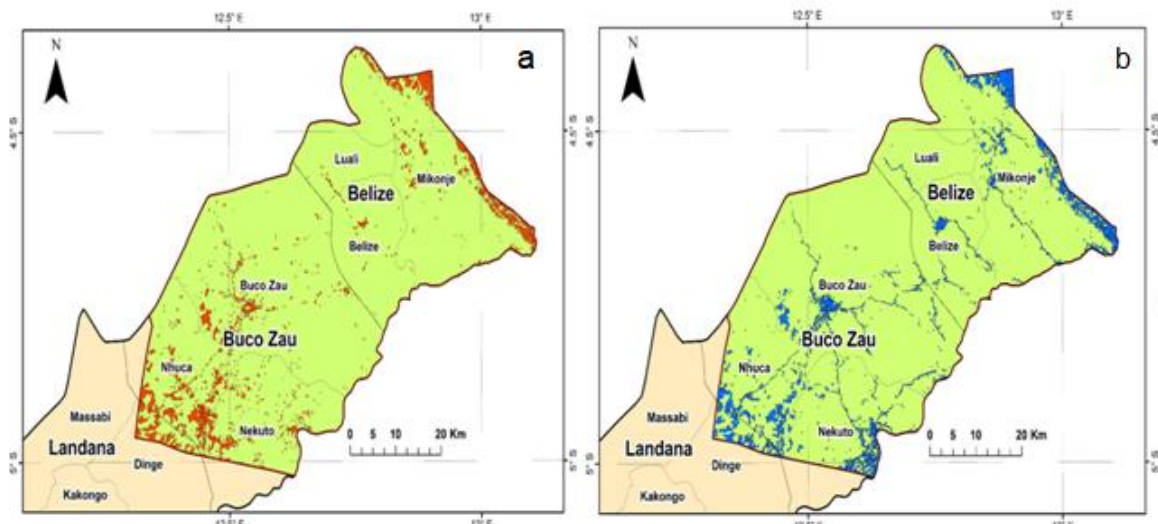


Figura 18 - a) Áreas de ocupação do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) < 0.2 nas datas 1986 (vermelho), b) Áreas de ocupação do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) < 0.2 nas datas 2015 (azul)

A Figura 19, mostra os mapas de PRI para o ano 2002 e 2015. Os valores de PRI variam entre -1 a 0,15 para 2012 e -1 a 0,12 para 2015. Na generalidade verifica-se que o PRI diminui de 2002 para 2015, principalmente junto às zonas urbanas e junto às fronteiras da República do Congo e da República Democrática do Congo, a nordeste da província de Cabinda.

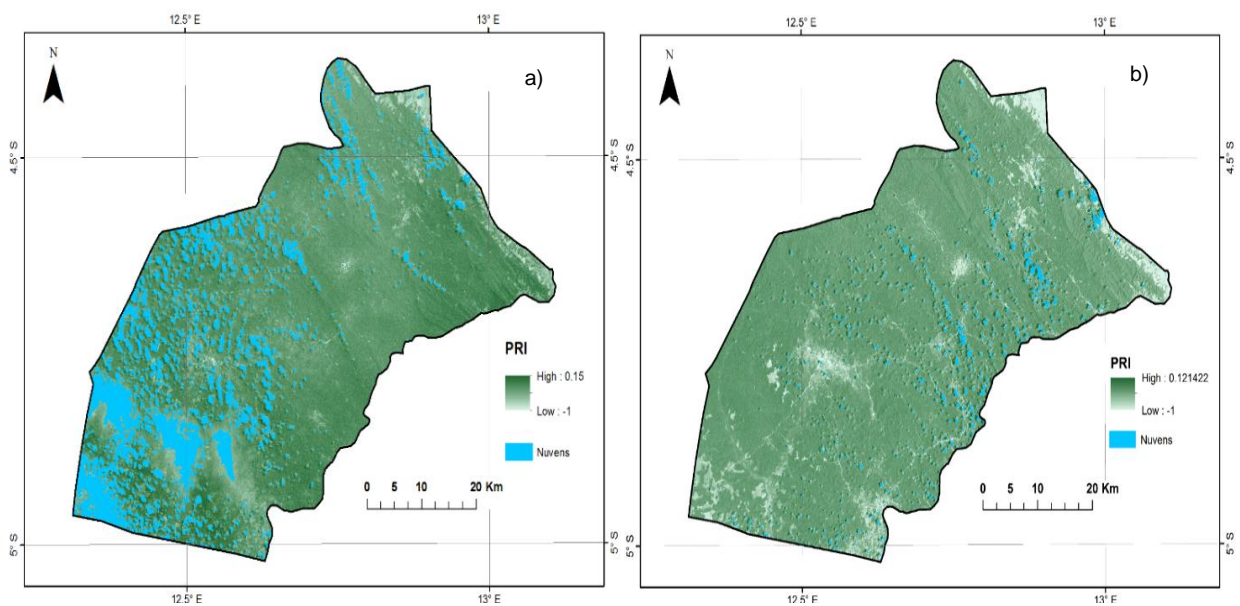


Figura 19 - Mapas do Índice de Vegetação Fotossintético (PRI). a) 2002, b) 2015

A Figura 20 mostra os resultados da diferença do SPRI de 2002 e 2015, nas zonas onde não existe nebulosidade nas duas épocas. Verificou-se que existe uma diminuição de SPRI de cerca de 29,5% e um aumento de 0,5%. Cerca de 70% da área manteve os valores de SPRI.

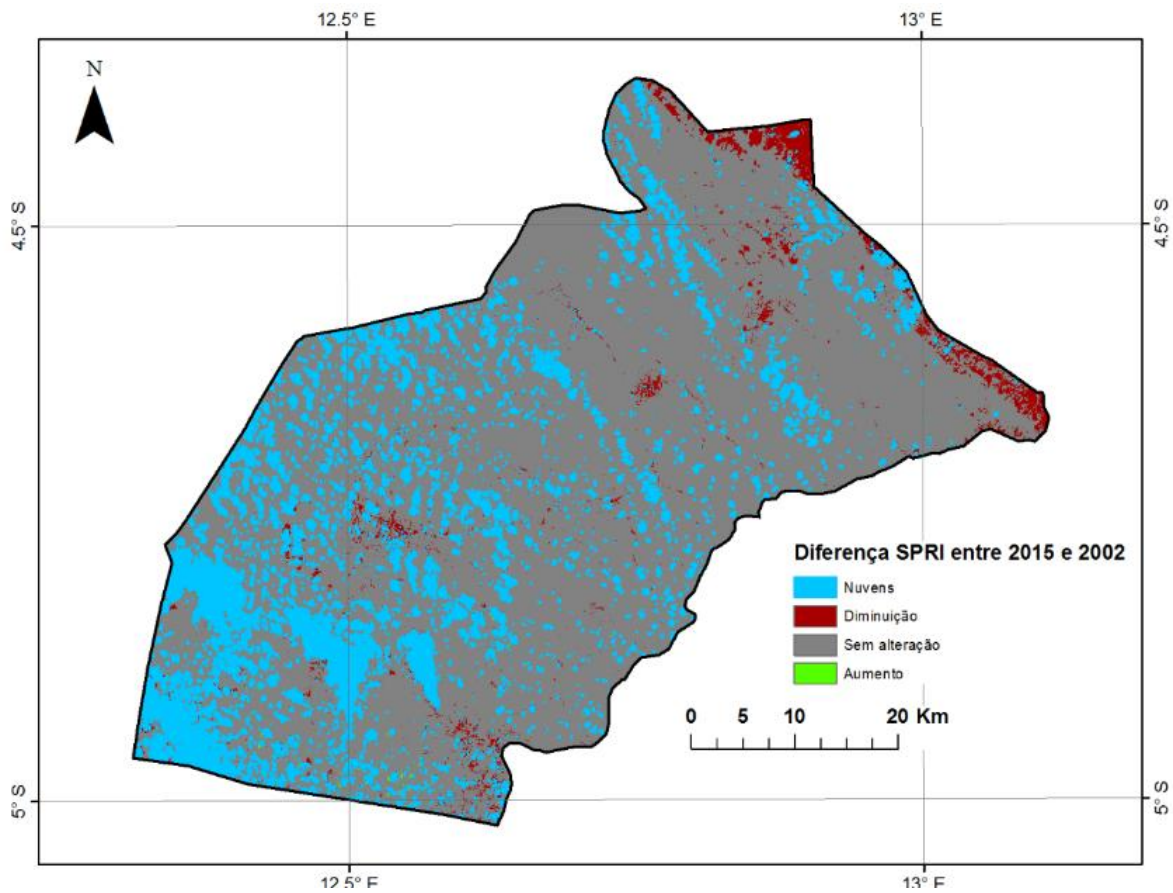


Figura 20 - Diferença dos valores Índice de Vegetação Fotossintético SPRI entre 2002 e 2015.

Os mapas de CO<sub>2</sub>flux de 2002 e 2015 estão apresentados na Figura 21. Verifica-se visualmente que nas duas épocas o rendimento no sequestro do carbono foi muito semelhante. Para confirmar esta tendência foi efetuada a diferença de CO<sub>2</sub>flux nas duas épocas.

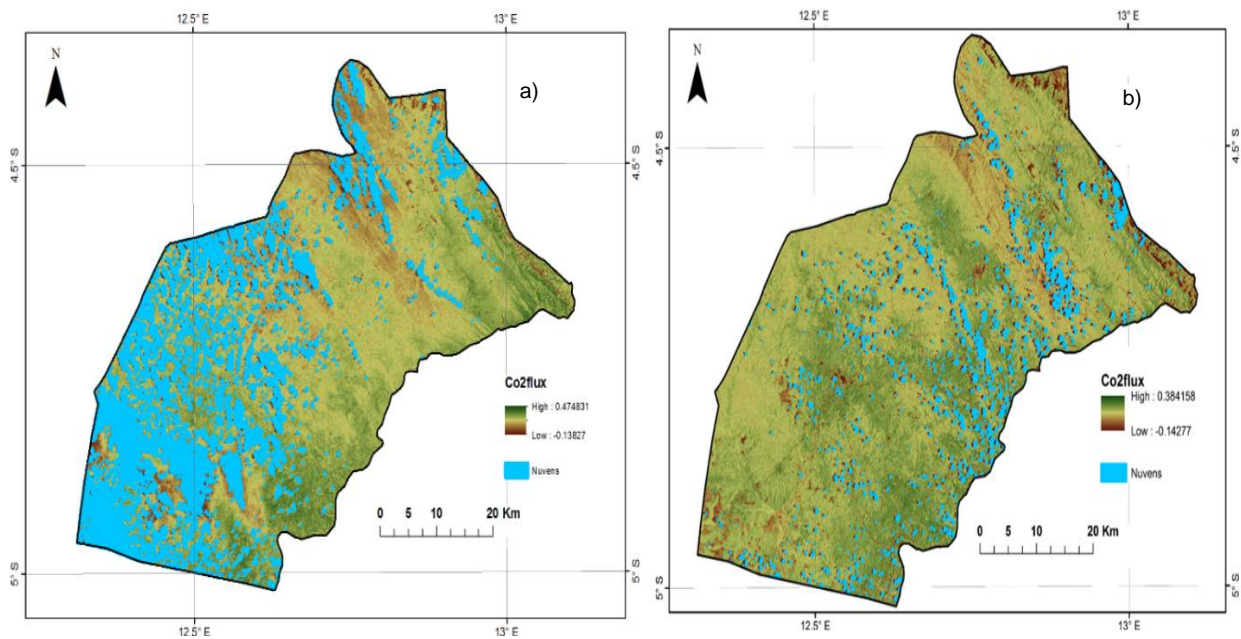


Figura 21- Os mapas de Índice do Fluxo de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub> flux):a) 2002 e b) 2015

A diferença do CO<sub>2</sub>flux entre 2015 e 2002 está representado na Figura 22. Cerca de 90.5% da área não sofreu alteração. Apenas 9% da área sofreu uma diminuição, principalmente na direção nordeste – sudoeste, junto à fronteira da República Democrática do Congo. Houve um aumento insignificante de 0,5 % de área.

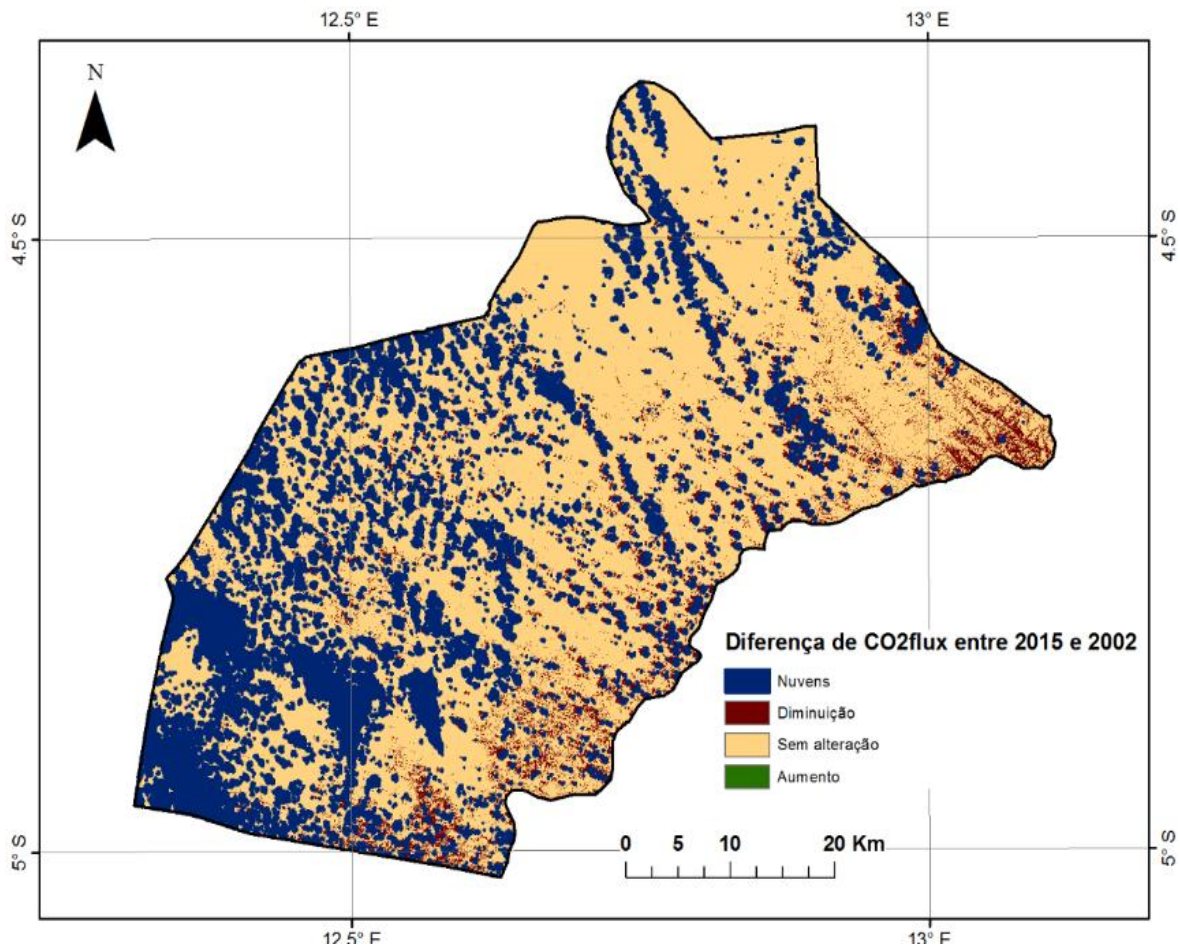


Figura 22 - Mapa da diferença de Índice do Fluxo de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>flux) entre 2015 e 2002

A Figura 23 mostra a imagem MODIS da área de estudo, obtida para o período de 10 de fevereiro a 17 de fevereiro. Verifica-se que os valores máximos de GPP para este período são de 0.088 kgC/m<sup>2</sup>. Na zona entre Buco Zau e Belize onde se verificou maiores valores de NDVI, constata-se que é onde se localizam os valores mais elevados de GPP. Os valores mais baixos de GPP localizam-se na região mais acidentada de Belize, junto à fronteira da República do Congo (nordeste) e a sul de Buco Zau, os valores de NDVI são mais baixos.

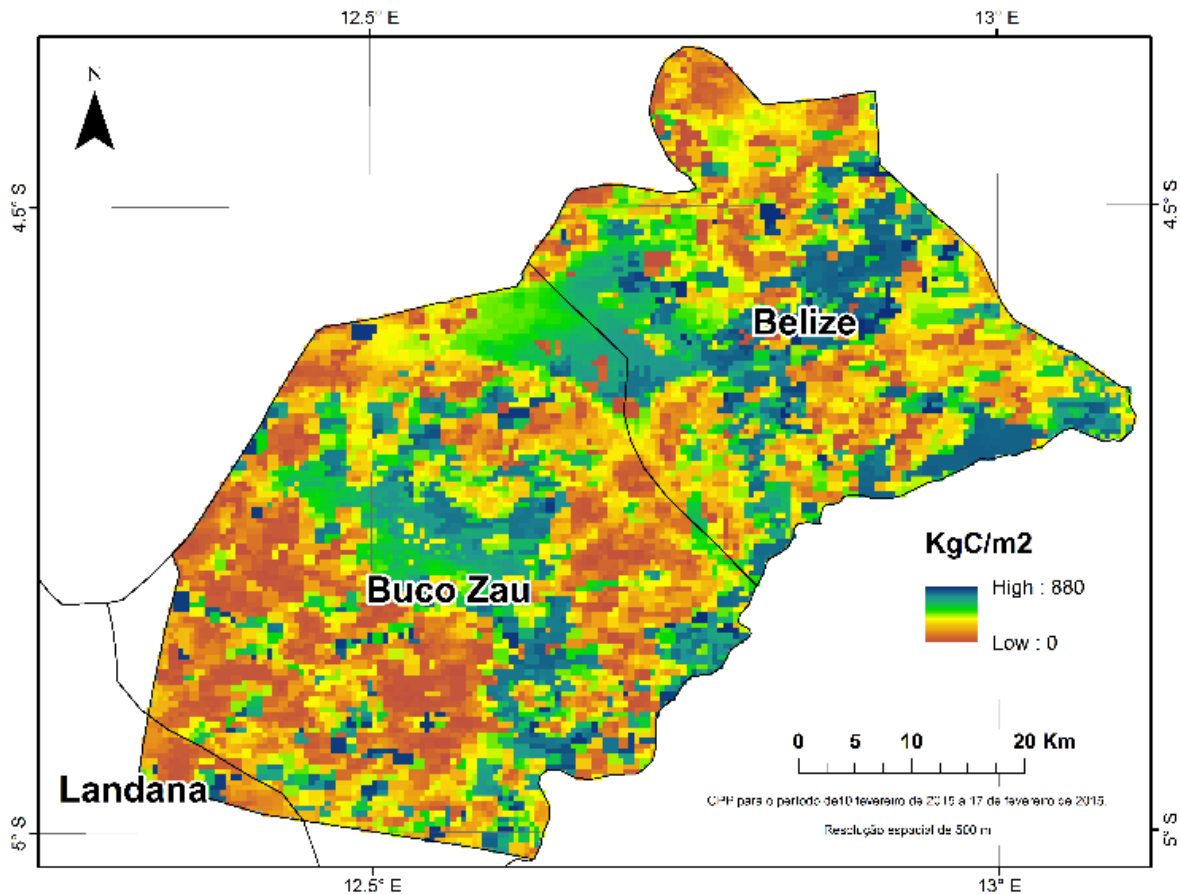


Figura 23 - Imagem MODIS de Gross Primary Productivity (GPP) no período de 10 a 17 de fevereiro.

A relação entre o  $CO_2flux$  e o GPP obtido pelo MODIS para a imagem de 15 de fevereiro de 2015 foi estabelecida a partir de uma regressão linear (Equação 9).

$$GPP = 8245.7 \times CO_2flux - 1990.1 \quad (\text{Equação 9})$$

Para uma significância de 0,05 foi obtido uma consistência do modelo de cerca de 75%. A Figura 24 mostra os de GPP por  $gC/m^2/dia$  para a área de estudo. A tabela 3 mostra a distribuição desses valores em quatro classes e a respectiva taxa de ocupação. Verifica-se que a maioria dos valores de GPP mais baixos, [0 – 3], localizam-se a sul de Buco Zau, nas áreas urbanas e na fronteira nordeste da República do Congo. Os valores de GPP mais elevados, [9 – 11], localizam-se na zona entre Buco Zau e Belize e a sudeste de Buco Zau.

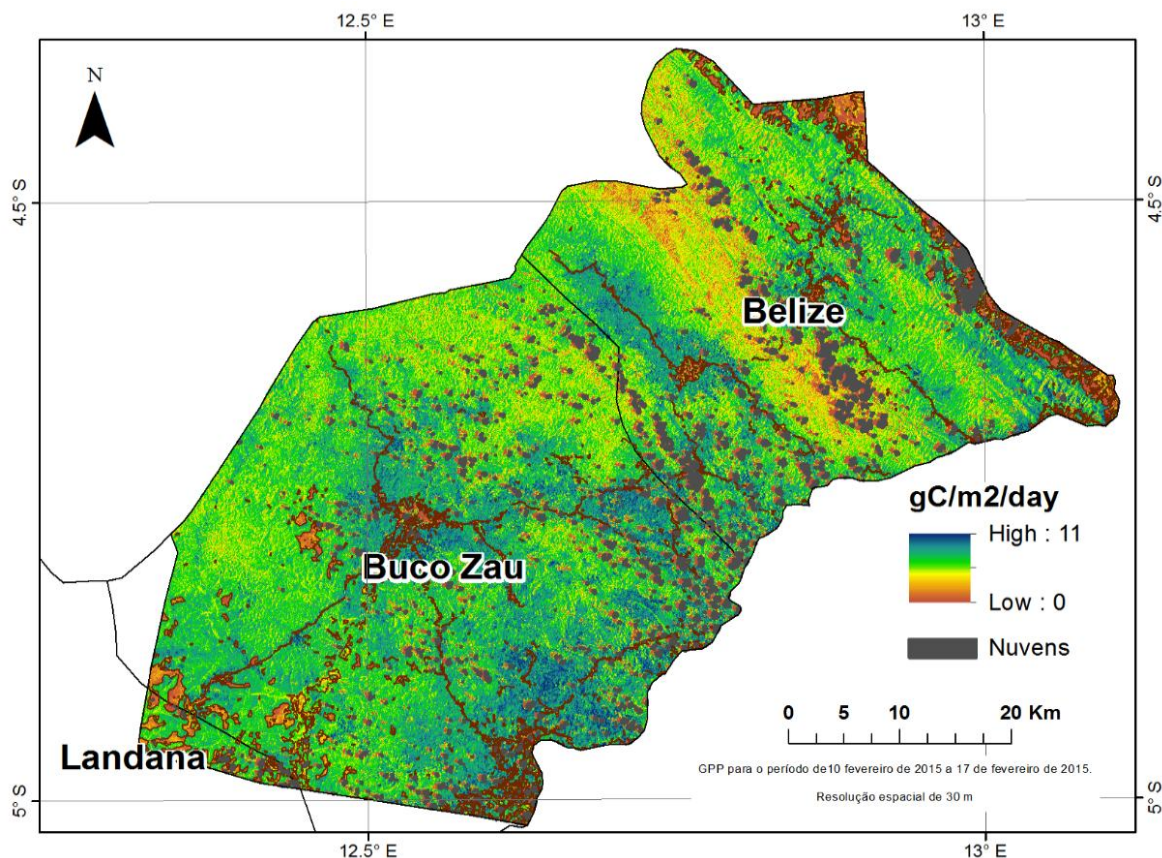


Figura 24 - Imagem de Gross Primary Productivity (GPP) gC/m<sup>2</sup>/dia em 2015.

Tabela 3 - Distribuição dos valores de Gross Primary Productivity (GPP) da área de estudo

Classes GPP (C/m <sup>2</sup> /dia)	Ocupação (%)
0 – 3	11.7
3 – 6	15.2
6 - 9	45.8
9 – 11	27.3

## 5. Conclusões

A preservação das florestas/proteção tem sido um tema de debate a nível internacional, decorrente da problemática do aquecimento global e das mudanças climáticas, tendo em conta o seu papel como sumidouro de CO<sub>2</sub>, e de reservatório de biodiversidade.

Neste trabalho de dissertação procurou-se estudar a evolução da desflorestação da floresta de Maiombe na província de Cabinda - Angola, no período de 1986 - 2015 e os seus efeitos em termos do sequestro de carbono no período de 2002 - 2015. Este estudo foi realizado com base em imagens *Landsat 5* (22 de maio de 1986), *Landsat 7* (24 de abril de 2002), *Landsat 8* (15 de fevereiro de 2015) e *MODIS AQUA* (10 a 17 de fevereiro de 2015). A escolha destas imagens residiu no facto de serem as únicas disponíveis no site USGS com uma qualidade mínima (pouca nebulosidade e com a ausência de ruídos radiométricos), para aplicar as metodologias propostas. A partir das imagens Landsat foram determinados os Índices de Vegetação da Diferença Normalizada, Índice de Vegetação Fotossintético e o Índice do Fluxo de Dióxido de Carbono. Na imagem *MODIS* foram utilizados os dados *MYD17A2*, referentes Produção Primária Bruta para correlacionar com o índice CO<sub>2</sub>flux.

Estima-se uma taxa de desflorestação de 0,4% anual o que corresponde a uma superfície superior a 150 mil hectares devastados todos os anos, o que estimou que 1/3 da cobertura florestal de 1950 desapareceu. Neste estudo comparando as imagens de 1986 e 2002 confirmou-se uma desflorestação neste período, uma vez que cerca de 15% da área apresentou uma diminuição do Índices de Vegetação da Diferença Normalizada, localizada na sua maioria entre Buco Zau e Belize (zona de maior biomassa em 1986). Comparando as imagens de Índices de Vegetação da Diferença Normalizada de 2002 para 2015, aproximadamente 16% área mostrou uma diminuição, localizada principalmente ao longo da fronteira da República Democrática do Congo.

O índice PRI apenas foi calculado em 2002 e 2015, uma vez que a banda do azul não existe nas imagens Landsat 5. Verificou-se que o Índice de Vegetação Fotossintético diminuiu cerca de 29,5%, de 2002 para 2015, principalmente junto às zonas urbanas e junto às fronteiras da República do Congo e da República Democrática do Congo, a nordeste da província de Cabinda. A diminuição deste índice poderá sugerir que não estão reunidas as condições para que a utilização da luz no processo fotossintético seja eficaz.

O índice CO<sub>2</sub>flux entre 2002 e 2015 mostrou que ocorreu uma diminuição de 9% localizada principalmente na direção nordeste – sudoeste, junto à fronteira da República Democrática do Congo.

Para o período estudado, 1986 a 2015, sugere-se que ocorreu uma desflorestação. De 1986 a 2002 a desflorestação ocorreu nas zonas onde havia mais biomassa (entre Buco Zau e Belize). Entre 2002 e 2015 a desflorestação ocorreu principalmente na direção nordeste – sudoeste, junto à fronteira da República Democrática do Congo.

A análise da Produção primária bruta foi apenas realizada em 2015 porque não estavam disponíveis imagens *MODIS* nas outras duas épocas. Analisada a variável a Produção Primária Bruta verificou-se que os valores mais baixos, localizam-se a sul de Buco Zau, nas áreas urbanas e na fronteira nordeste da República do Congo. Os valores mais elevados, localizam-se na zona de maior biomassa entre Buco Zau e Belize e a sudeste de Buco Zau, o que poderá sugerir que se tratam de zonas resilientes ao processo de desflorestação.

Este trabalho de dissertação pretendeu mostrar a existência de desflorestação e por isso deverá servir para sensibilizar os stakeholders a implementar mais medidas legisladoras no combate e na prevenção desta problemática. Todavia é necessário motivar mais a sociedade no que respeita ao reconhecimento dos benefícios e dos serviços ecossistémicos que as florestas proporcionam promovendo mais medidas de proteção e de uso sustentável dos recursos florestais.

No futuro pretende-se continuar a monitorizar a Produção Primária Bruta com base em imagens com maior resolução espacial, nomeadamente, as imagens *Sentinel*, por forma a compreender melhor a sua evolução.

## 6. Referências bibliográficas

- Buza, J. L. C. (2011). No Fútila, no Mayombe: modernidade, desenvolvimento e riscos no tempo de paz em Cabinda-Angola.
- Europeia, C. (2010). Comunicação da comissão ao parlamento europeu, ao conselho, ao comité económico e social europeu e ao comité das regiões. Estratégia Europeia para a Deficiência, 2020. [http://www.cp-omr.eu/pt/wp-content/uploads/2011/10/COM\\_2011\\_500\\_2\\_PT.pdf](http://www.cp-omr.eu/pt/wp-content/uploads/2011/10/COM_2011_500_2_PT.pdf)
- FAO-UNESCO. (1987). Soil Map of the World (revised legend; amended fourth draft). World Resources Report 60.
- FAO. (2009a). Desflorestação: indicadores de Pressão situação resposta. [http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/pt/lead/toolbox/Grazing/DeforeEA\\_](http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/pt/lead/toolbox/Grazing/DeforeEA_)
- FAO. (2009b). Monitorização e Avaliação de Recursos Florestais Nacionais de Angola – Guia para recolha de dados. National Forest Monitoring and Assessment Working Paper NFMA XX/P. Rome, Luanda (Angola).
- Gamon, J., Serrano, L., & Surfus, J. S. (1997). The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. *Oecologia*, 112(4), 492-501.
- Garlipp, R., & Foelkel, C. (2009). O papel das florestas plantadas para atendimento das demandas futuras da sociedade. In Congresso Forestal Mundial (Vol. 13).
- Heffernan, J. (2005), Elephants of Cabinda: Co-operation with Provincial Department of Agriculture, Fisheries and Environments, Cabinda with Support from the British Embassy in Luanda.
- IDF-Instituto de Desenvolvimento Florestal de Angola. (2001). Ofício 122/GAB.D.GERAL. Cabinda.
- IDF-Instituto de Desenvolvimento Florestal de Angola. (2011). – Perfil Florestal de Angola .I Congresso dos Engenheiros de Língua Portuguesa.

- Junges, A. H., Alves, G., & Fontana, D. C. (2007). Estudo indicativo do comportamento do NDVI e EVI em lavouras de cereais de inverno da região norte do Estado do Rio Grande do Sul, através de imagens MODIS. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 241-248.
- Köppen, W., Geiger, R., & Klimate, D. E. (1928). Wall-map 150 cmx 200 cm. Klimate der Erde. Verlag Justus Perthes, Gotha.
- Landa Canga, J., & Buza, A. G. (2011). Enfrentamentos e contradições nas comunidades de extração de recursos naturais em Cabinda–Angola. *Revista de Políticas Públicas*,15(1).
- Maiombe – APT.ORG. (2013). Plano estratégico. Para um complexo de áreas protegidas transfronteiriças nos ecossistemas do Maiombe. S.I.: IUCN; GRASP. 49p.
- Martins, J. (1972). Cabindas: história, Crença, Usos e costumes. Comissão de turismo da Câmara Municipal de Cabinda.
- MINUA-Ministério do Urbanismo e Ambiente-República de Angola. (2006a). Primeiro Relatório Nacional para a Conferência das Partes da Convenção da Diversidade Biológica. Luanda-Angola.
- MINUA-Ministério do Urbanismo e Ambiente-República de Angola. (2006b). Relatório do Estado Geral do Ambiente em Angola. Luanda-Angola.
- Moura, L., Zanchetta, D., & Luca, E. (2011). Gestão, sustentabilidade e enriquecimento da flora nativa em floresta plantada de eucalipto. In CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO (Vol. 7).
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., ... & Dubash, N. K. (2014). Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (p. 151). IPCC.

- Pedras, C. M. G, Valín, M. I., Fernandez, H., martins, F. (2014). Assessment of Soil Water Content and Remote Sensing Techniques. *Journal of Agricultural Science and Technology A* 4, 33-42 ISSN 1939-1250.
- Pereira, A. M. (2014). Caraterização dos recursos paisagísticos da província do Bengo em Angola, com vista à sua aplicação num projeto de espaços verdes: condomínio de Bom-Jesus (Doctoral dissertation).
- Rahman, A. F., Gamon, J. A., Fuentes, D. A., Roberts, D., Prentiss, D., & Qiu, H. (2000). Modeling CO<sub>2</sub> flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. In AVIRIS Workshop.
- Ron. (2004). Conservation and Study of the Maiombe Forest, Cabinda, within the framework of a transfrontier conservation initiative: a project proposal. UNDP, Luanda.
- Rouse Jr, J., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS.
- Serra, C. (2012). Da problemática ambiental à mudança: rumo a um mundo melhor. Escolar Editora.
- Teobaldo, D. (2014). Sequestro florestal de carbono e avaliação de resiliência: o caso do incêndio no Parque Nacional de Brasília em 2010.
- USGS. United States Geological Survey. (2015).<http://earthexplorer.usgs.gov>
- Vieira, G., Sanquetta, C. R., Klüppel, M. L. W., & Barbeiro, L. D. S. S. (2009). Teores de carbono em espécies vegetais da caatinga e do cerrado. *Revista Acadêmica: Ciência Animal*, 7(2), 145-155.