



Monitorização por satélite da desflorestação da floresta do Maiombe em Cabinda, Angola nos últimos 33 anos

Satellite monitoring of the deforestation of the Maiombe forest in Cabinda, Angola over the past 33 years

Helena Maria Fernandez¹, Canga Paula Gomes², Fernando Miguel Granja-Martins¹

¹ Universidade do Algarve (UALG), Faro, Portugal

² Ministério do Ensino Superior, Ciência, Tecnologia e Inovação de Angola, Angola.

Contato: hfernand@ualg.pt

Palavras-Chave

deteção remota
Maiombe-Cabinda
desflorestação
CO₂flux
produção primária bruta

RESUMO

O desflorestação é um dos problemas graves da atualidade, que compromete o equilíbrio do planeta, sendo o continente africano onde ocorre o maior desequilíbrio na taxa de desflorestação/reflorestação. O uso de lenha/carvão de forma não regulada, as queimadas anárquicas e a agricultura itinerante são os principais fatores, que contribuem para a desflorestação da floresta. A floresta húmida de Maiombe, na província de Cabinda, Angola, tem sido bastante fustigada por este fenómeno. Este estudo visa conhecer a evolução da desflorestação da floresta do Maiombe, no período de 1986-2019 e a evolução do sequestro de carbono no período de 2015-2019, através de imagens de satélite Landsat e MODIS. Foram calculados, índices de vegetação, fluxos de carbono (CO₂flux) e a Produção Primária Bruta (GPP). Entre 1986-2019, verificou-se uma desflorestação com uma taxa média anual de 0,11%, principalmente junto às áreas urbanas, nomeadamente, Buco Zau, Necuto, Belize, Ncaso, ao longo das vias de comunicação e junto à fronteira da República do Congo e República Democrática do Congo. No período de 2015-2019 a taxa média anual de desflorestação subiu 10 vezes, devido à grande demanda da indústria madeireira (concessionada e clandestina). Os valores de CO₂flux e GPP calculados para 2015 e 2019 mostraram que valores mais baixos (mínimo: 0 gC/m²) localizaram-se nas áreas onde ocorreu a desflorestação. Os valores mais elevados (máximo: 12 gC/m²), localizaram-se nas zonas de maior biomassa, o que poderá sugerir que se trata de zonas resilientes ao processo de desflorestação. Esta investigação enquadra-se na Lei de Bases de Florestas e Fauna Selvagem (Lei n.º 6/17) da República Popular de Angola para um eventual apoio às tomadas de decisão para prevenção e conservação florestal.

Key-word

remote sensing
Maiombe-Cabinda
deforestation
CO₂flux
gross primary production

ABSTRACT

Deforestation is one of the most serious problems of our time, which compromises the balance of the planet, being the African continent where there is a greatest unbalance in the deforestation/reforestation rate. The use of firewood and coal in an unregulated way, anarchic burning and shifting agriculture are the main factors that contribute to the deforestation. The Maiombe rainforest, in the province of Cabinda, Angola has been the most affected by this phenomenon. This study aims to know the evolution of deforestation in the Maiombe forest between 1986 and 2019 and the evolution of carbon sequestration between 2015 to 2019, through Landsat and MODIS satellite images. Vegetation indices, carbon fluxes (CO₂flux) and Gross Primary Production (GPP) were calculated. Between 1986 and 2019, deforestation happened, with an average annual rate of 0.11%, in the urban areas, namely, Buco Zau, Necuto, Belize, Ncaso, along the ways and near border of the Republic of Congo and Democratic Republic of Congo. In the 2015-2019 period, the average annual rate of deforestation up 10 times, due to the great demand of the timber industry (concessionaire and clandestine). The CO₂flux and GPP values calculated to 2015 and 2019 showed that the lowest values (minimum: 0 gC/m²) were in deforestation areas. The highest values (maximum: 12 gC/m²) were in the areas with the highest biomass, could suggest these areas are resilient to the deforestation process. This investigation fit in the Forests and Wild Fauna Basic Law (Law No. 6/17) of the Popular Republic of Angola for possible support to decision-making in forest prevention and conservation.

Informações do artigo

Recebido: 31 de agosto, 2020

Aceito: 28 de outubro, 2020

Publicado: 30 de dezembro, 2020

Introdução

Angola apresenta um património florestal único na região sul de África. Os resultados preliminares do Inventário Florestal Nacional de 2015 (MADANG-EP, 2020), estimam que 69,3 milhões de hectares correspondem a florestas naturais, ou seja 55,6% do território nacional e que cerca de 4,9% das florestas são densas e húmidas localizadas no Norte do país. A desflorestação de muitas florestas virgens de Angola tem ocorrido de forma descontrolada nos últimos anos, com uma taxa anual de 0,8% (MINAMB, 2017), sendo a floresta do Maiombe, um exemplo disso. 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 (CAPITA, 2016). No entanto, a falta de espaço para a construção de habitações, a construção de aterros sanitários, de escolas e estradas, o aumento do consumo de lenha e carvão, a caça, extração seletiva de madeira, 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 (BUZA et al., 2006, MINUA, 2006a; MINUA, 2006b; ZINGA, 2012; MAIOMBE – APT.org, 2013). Para além destes fatores ainda surge, a intensiva luta armada desde a independência em 1975, entre as tropas do governo de Angola e o movimento separatista do enclave de Cabinda (FLECFAC). A guerra civil de Angola ocorrida entre 1975 e 2002 deixou várias sequelas económicas e sociais no país e o estado Angolano não deu primazia, nesse período, à proteção dos seus recursos florestais. Só em 24 janeiro de 2017 foi publicado no Diário da República de Angola a Lei de Bases de Florestas e Fauna Selvagem - Lei nº 6/17, que estabelece as normas que visam garantir a conservação e o uso racional e sustentável das florestas e da fauna selvagem existentes no território nacional e, ainda, as bases gerais do exercício de atividades com elas relacionadas. Foi assim, revogada a legislação do período colonial, os Decretos nºs 40040, de 9 de fevereiro de 1955, 44531 de 21 de agosto de 1962 (Regulamento Florestal) e o Diploma Legislativo nº 2873, de 11 de dezembro de 1957 (Regulamento de Caça).

O estudo da desflorestação a nível mundial tem sido realizado por diversos investigadores e instituições. Segundo FAO (2020), desde 1990 foram perdidos cerca de 420 milhões de hectares de floresta e 80 milhões de hectares floresta primária. Entre 2015 e 2020, a taxa de desflorestação diminuiu, sendo estimada em 10 milhões hectares por ano, abaixo dos 16 milhões hectares por ano nos anos 90. No Peru, que tem a quarta maior área florestal tropical do mundo, tem utilizado um sistema de alerta em tempo quase real (NRT - Near-Real-Time), baseado em imagens de satélite, para combater a desflorestação ilegal (WEISSE et al., 2019). Ortega et al. (2020) tem investigado estratégias baseadas em *Deep Learning* para deteção automática da desflorestação na região Amazônica brasileira, no estado do Pará, a partir de imagens óticas.

Na floresta do Camboja, que tem sofrido uma grande desflorestação na última década foi desenvolvido um algoritmo que mapeia de forma automatizada a desflorestação por meio da integração bayesiana de imagens de satélite na gama do espectro ótico e de micro-ondas (MIZUOCHI et al., 2019).

Em Angola a monitorização e a avaliação dos recursos florestais tem sido feita *in loco* através da recolha de dados em Unidades de Amostragem (UA) com 1 km² de área. Estes trabalhos têm sido elaborados com a colaboração da Divisão de Gestão de Florestas da FAO e do Instituto de Desenvolvimento Florestal (IDF) de Angola (FAO, IDF, 2009; IDF, 2015).

O 5.º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC) (PACHAURI et al., 2014), mostra evidências científicas sobre influencia humana no Potencial Aquecimento Global (*Global Warming Potential*, GWP) devido ao aumento dos Gases de Efeito de Estufa (GEE). Cerca de 60% de GEE advém de CO₂ proveniente de combustíveis fósseis e indústria e 15% resulta do CO₂ produzido pela silvicultura e outros usos da terra (*Forestry and Other Land Use*, FOLU), onde se inclui a emissão de CO₂ provocada pela desflorestação das florestas para conversão em terras agrícolas.

Parte do CO₂ existente na atmosfera é “fixado” pelas florestas por meio da redução fotossintética, ou seja, pela conversão do carbono inorgânico encontrado na atmosfera em carboidrato (compostos orgânicos). Todo o carbono presente neste processo é definido como Produção Primária Bruta (*Gross Primary Productivity*, GPP) sendo essencial a sua contabilização em qualquer estudo de mudança climática global (PRENTICE et al., 2001). A presença de uma floresta vigorosa poderá mitigar parte do excesso de CO₂ presente na atmosfera.

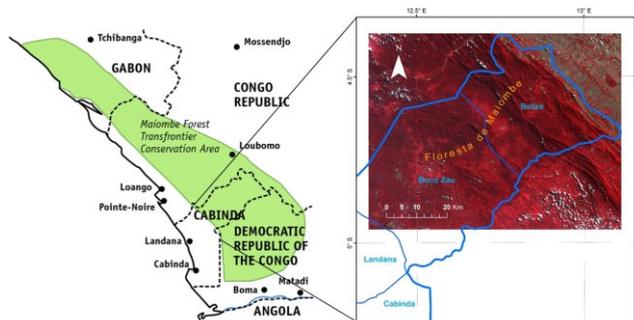
Alguns estudos mostram que os índices de vegetação conseguem estimar a biomassa, e o fluxo do sequestro de carbono (JUNGES et al., 2007; TEOBALDO, 2014; DA SILVA JÚNIOR et al., 2019).

Este trabalho teve como objetivo a monitorização da biomassa num período de 33 anos (1986-2019) e a estimação da fixação do carbono entre 2015 e 2019 na floresta do Maiombe na província de Cabinda, com base em técnicas da Deteção Remota. Este estudo enquadra-se na Lei de Bases de Florestas e Fauna Selvagem (Lei n.º 6/17) que prevê, a investigação científica para apoio às tomadas de decisões dos *stakeholders*.

Material e Métodos

A floresta húmida e densa do Maiombe está situada numa faixa paralela ao Atlântico desde a República do Gabão até à República Democrática do Congo, passando pela República do Congo e pela província de Cabinda cobrindo uma área de 10000 km² (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 3207 km².

Figura 1. Área de estudo da Floresta do Maiombe em Cabinda



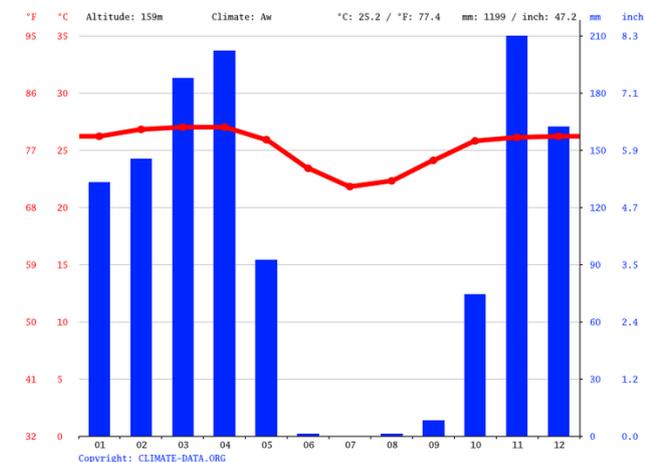
Fonte: Adaptado de Medder (2012)

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 4 meses, diz respeito ao período menos chuvoso (CLIMATE-DATA.org, 2020). De acordo com a classificação de KÖPPEN e GEIGER (1954) o clima é do tipo Aw. A temperatura média anual é 25,2 °C.

A precipitação média anual é cerca de 1.199 mm. 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. No mês de novembro, é registada a maior quantidade de precipitação, com uma média de 207 mm (CLIMATE-DATA.org, 2020) (Figura 2).

O relevo da área de estudo varia entre 100 m e 600 m. A maior parte da área é formada por uma floresta fechada denominada por Floresta de Nevoeiros, onde as árvores altas de folha persistente atingem 40 a 60 m de altitude (*Gilletiodendron spp.*, *Librevillea spp.*, *Tetraberlinia spp.* e *Julbernardia spp.*) e uma pequena área por floresta de Semi-decíduas de baixas altitudes, com cerca de 30 a 50 m (*Oxystigma spp.*, *Gossweileriodendron spp.*, *Terminalia spp.*, *Musanga spp.* e *Pentaclethra spp.*) (RON, 2019).

Figura 2. Caracterização da temperatura e da precipitação média entre os períodos de 1982 a 2012 em Cabinda (estação meteorológica de Belize)



Fonte: Climate-data.org (2020)

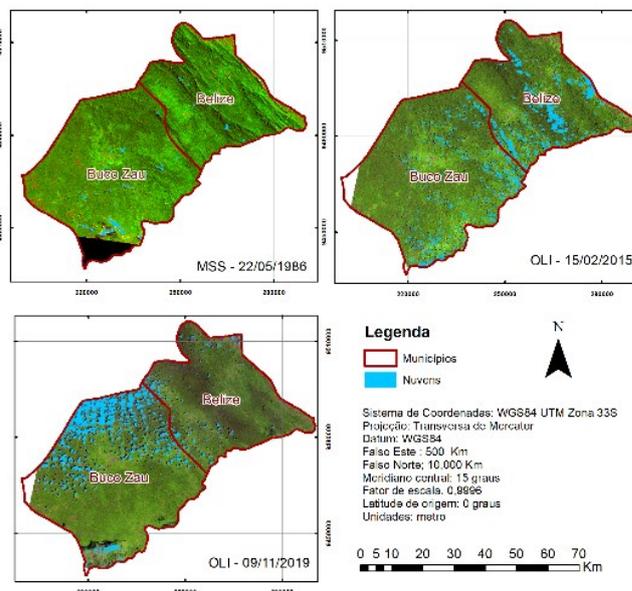
Aquisição de informação e tratamento da informação

Neste estudo procurou-se caracterizar a evolução da desflorestação da floresta de Maiombe na província de Cabinda- Angola, no período 1986-2019 e os efeitos do sequestro de carbono entre 2015-2019. A informação de base foi adquirida do site *United States Geological Survey* (USGS, 2020) e da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA Modis Web, 2020).

A aquisição das imagens constituiu um processo moroso e difícil uma vez que se trata de uma região muito húmida em que as imagens disponíveis estavam praticamente cobertas de nuvens. No que respeita às imagens *Landsat* foram escolhidas as imagens *Landsat 5* de 22 maio de 1986 e *Landsat 8* de 15 de fevereiro de 2015 e 9 novembro de 2019, por serem as únicas que apresentavam uma nebulosidade inferior a 20%. As imagens *Landsat* utilizadas pertencem à cena *path 183* e *row 063*. As imagens *Modis AQUA (MYD17A2H)* representam períodos de aquisição de informação de uma semana. Só existe disponibilização destas imagens a partir de 18 de fevereiro de 2002 assim só foram utilizadas, as referentes às datas 10 a 17 de fevereiro de 2015 e 9 a 16 de novembro de 2019. A cena das imagens *Modis AQUA* é definida pela *path H19* e a *row V09*. (Figura 3 e Tabela 1)

A partir das imagens *Landsat* foram determinados os índices de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), de Refletância Fotossintética (PRI) e Fluxo de Dióxido de Carbono (CO₂flux). As imagens *Modis AQUA* referentes aos dados Produção Primária Bruta (GPP) foram utilizadas na correlação com o índice CO₂flux.

Figura 3. Imagens de *Landsat* de 1986, 2015 e 2019



Fonte: Autor (2020)

A Tabela 1 identifica as datas e os sensores das imagens de satélite utilizadas neste estudo.

Tabela 1. Caracterização das imagens Landsat e Modis

Satélite	Data de aquisição	Sensor	Dimensão da célula (m)	Bandas (µm)
Landsat 5	22-05-1986	MSS	60	Vermelho (0,5-0,7) IVP (0,7-0,8)
Landsat 8	15-02-2015 09-11-2019	OLI	30	Azul (0,450-0,515) Verde (0,525-0,600) Vermelho (0,630-0,680) IVP (0,845-0,885)
MODIS	10-02-2015 a 17-02-2015 09-11-2019 a 16-11-2019	AQUA	500	-

Fonte: Autor (2020)

Os níveis digitais (ND) das imagens Landsat foram convertidos em refletâncias pela Equação 1.

$$\rho_k = \frac{M_p \times DN + A_p}{\sin \theta_{SE}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde, M_p é o fator de reescalonamento multiplicativo, A_p é o fator de reescalonamento aditivo e θ_{SE} é o ângulo de elevação em graus. O Modis AQUA (MYD17A2H) está disponibilizado sob a forma cumulativa de 8 dias com um fator de escala de 0.0001.

Determinação do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

O estudo da evolução da biomassa no período estudado (1986-2019) foi determinado com base Normalized Difference vegetation Index (NDVI), proposto por ROUSE et al. (1974).

Este índice expresso pela Equação 2, relaciona a energia absorvida (vermelho) com a refletida (IVP). Os valores do 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 e o 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).

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_{vermelho}}{\rho_{IVP} + \rho_{vermelho}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde, ρ_{IVP} é a refletância do infravermelho próximo e $\rho_{vermelho}$ é a refletância do vermelho.

Foi determinado o NDVI para 22 de maio de 1986, 15 de fevereiro de 2015 e 9 de novembro de 2019. Foi analisada a evolução do NDVI entre as épocas, 2015-1986, 2019-2015, 2019-1986. Nas diferenças não foram consideradas as áreas ocupadas pelas nuvens. As diferenças foram reclassificadas em três classes com base na média (μ) e no desvio padrão (σ): Diminuição [$\mu-2\sigma$, Sem alteração [$\mu-2\sigma$, $\mu+2\sigma$ [, e Aumento [$\mu+2\sigma$, Máx]. A escolha de 2σ deveu-se ao facto de assim ser possível não contabilizar as variações de NDVI provocado pelas sombras das nuvens.

Determinação do Índice de Refletância Fotossintética (Photossintetic Reflectance Index, PRI)

A eficiência da utilização da luz no processo fotossintético foi determinada pelo Índice de Refletância Fotossintética (PRI), proposto por RAHMAN et al. (2000). Neste índice é relacionada a refletância da banda do azul (ρ_{azul}) com a refletância da banda do verde (ρ_{verde}) (Eq. 3). 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).

$$PRI = \frac{\rho_{azul} - \rho_{verde}}{\rho_{azul} + \rho_{verde}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Para a imagem de 1986, não foi determinado o PRI porque o Landsat 5 não tem a banda do azul. Foi calculado o PRI para 15 de fevereiro de 2015 e 9 de novembro de 2019. Para reescalonar o PRI foi calculado o índice sPRI, seguindo a metodologia proposta por RAHMAN et al. (2000) (Eq. 4). O índice sPRI varia entre 0 e 1.

$$sPRI = \frac{PRI+1}{2} \quad (\text{Eq. 4})$$

Determinação do índice do fluxo de dióxido de carbono

As trocas de carbono definidas pelo índice do fluxo de Dióxido de Carbono (CO_2_{flux}) calculadas para o período 2015-2019 foram determinadas de acordo com a metodologia de RAHMAN et al. (2000). Consiste na combinação dos índices NDVI e sPRI (Eq. 5).

$$CO_2_{flux} = NDVI \times sPRI \quad (\text{Eq. 5})$$

Foi determinado o CO_2_{flux} para 15 de fevereiro de 2015 e 9 de novembro de 2019. Foi analisada a evolução CO_2_{flux} entre as épocas 2015-2019. As diferenças foram reclassificadas em três classes com base na média (μ) e no desvio padrão (σ): Diminuição [$\mu-2\sigma$, Sem alteração [$\mu-2\sigma$, $\mu+2\sigma$ [, e Aumento [$\mu+2\sigma$, Máx].

Determinação da média diária da Produção Primária Bruta (Gross Primary Production, GPP)

Foi determinada a média diária do sequestro de carbono na área de estudo com base em dados de GPP disponibilizados pelas imagens Modis AQUA para oito dias com uma resolução de 500 m. Os valores de GPP dizem respeito à média de GPP, em $KgC/m^2 \times 0.0001$.

Estes dados só estão disponíveis após a data de 18 de fevereiro de 2002. Foram utilizados os dados de GPP de 10 de fevereiro de 2015 a 17 de fevereiro de 2015, de 09 de novembro de 2019 a 16 de novembro de 2019. O modelo de GPP diário em gC/m^2 com uma resolução espacial de 30 m, foi determinado com base num modelo de regressão em que a variável explicatória foi o índice CO_2_{flux} e a variável resposta o GPP para 15 de fevereiro de 2015 e 9 de novembro de 2019.

O modelo em 2015 foi estabelecido com 14000 pontos e em 2019 com 16000 pontos. A diferença do número de pontos deve-se ao fato de ter sido necessário retirar os pontos que diziam respeito às nuvens.

Resultados e Discussões

Análise do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

A Tabela 2 mostra a percentagem de evolução do NDVI para cada classe entre as épocas 2015-1986, 2019-2015 e 2019-1986. É de salientar que as áreas totais são distintas nos diferentes períodos devido a presença de nuvens nas imagens e que não foram contabilizadas nesta análise.

Tabela 2. Evolução de NDVI em área

Período	diminuição (Km ²)	sem alteração (Km ²)	aumento (Km ²)	Área total (Km ²)
2015-1986	92,9	2694,0	27,2	2814,1
2019-2015	128,9	2451,9	44,5	2625,3
2019-1986	121,1	2615,7	23,3	2760,1

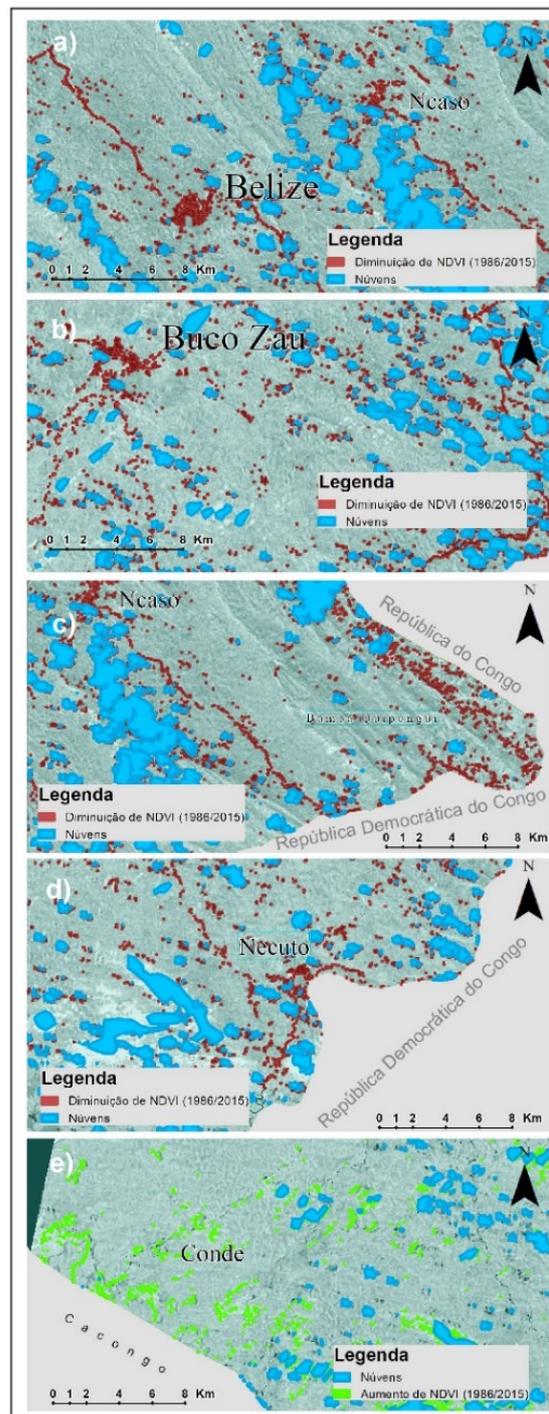
Fonte: Autor (2020)

No período de 2015-1986 (29 anos) verificou-se que a classe “diminuição” foi mais representativa (92,9 km²) face à classe do “aumento” (27,2 km²). As taxas de desflorestação e reflorestação médias anuais foram de 0,10% e 0,03%, respetivamente. Estes valores estão em conformidade com os de GOMES (2019).

A classe “diminuição” ocorreu junto aos centros urbanos de Belize, Buco Zau, Ncaso (Figura 4a e Figura 4b), junto à fronteira da República do Congo e República Democrática do Congo (Figura 4c), junto a Necuto (Figura 4d) e junto às vias de comunicação (Figura 4a, Figura 4b, Figura 4c e Figura 4d). A classe “aumento” observou-se a sul do município de Buco Zau (junto a Conde) (Figura 4e)).

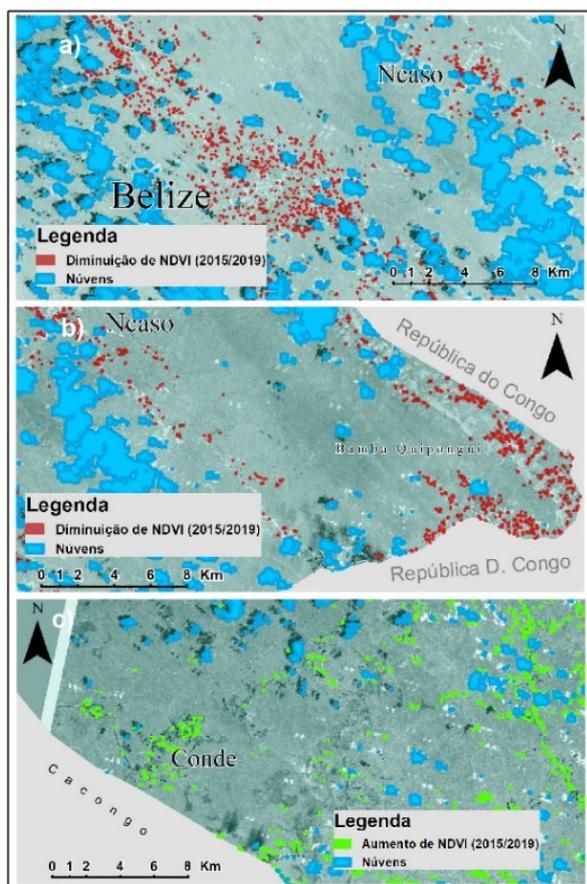
No período de 2019-2015 verificou-se que a classe “diminuição” apresentou uma área de 128,9 km² e o “aumento” de 44,5 km², ou seja, neste período de 4 anos as taxas de desflorestação e reflorestação médias anuais foram de 1,00% e 0,35%, respetivamente. Observou-se a diminuição da evolução do NDVI, essencialmente, junto a Belize, Ncaso (Figura 5a), junto à fronteira da República do Congo e República Democrática do Congo (Figura 5b). A classe “aumento” continua a ser registado nas imediações de Conde.

Figura 4 – Evolução do NDVI no período 2015-1986



Fonte: Autor (2020)

Figura 5. Evolução do NDVI no período 2019-2015



Fonte: Autor (2020)

Pela análise do período total (2019-1986) observou-se que a classe “diminuição” apresentou uma área de 121,1 km² e a classe “aumento” uma área de 23,3 km². Neste período 33 anos a taxa de desflorestação anual média foi de 0,11 % e de reflorestação de 0,02%.

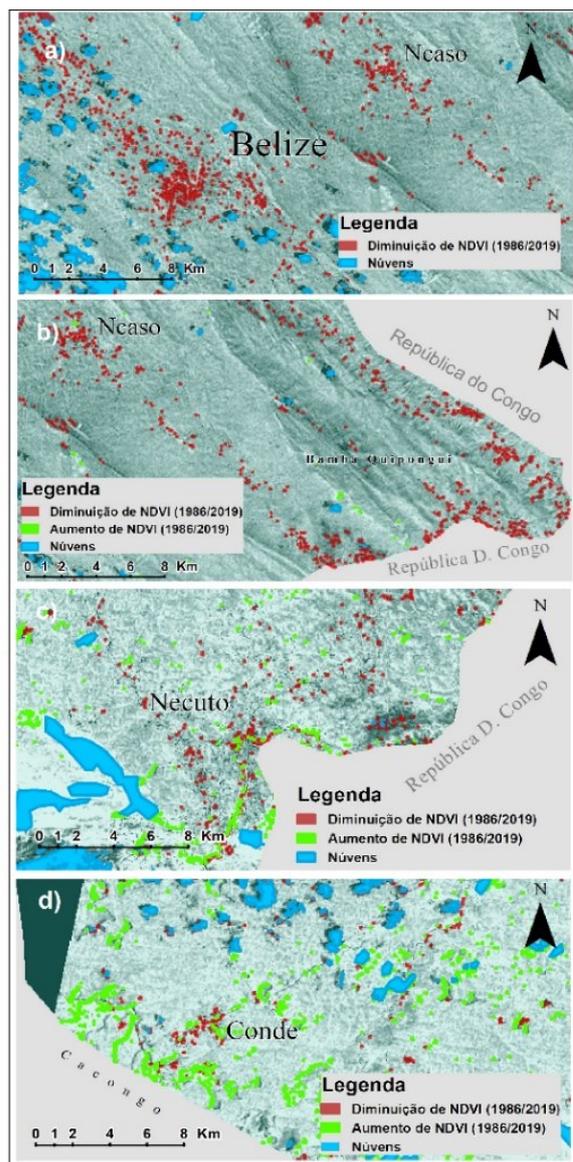
Espacialmente, foi nas áreas urbanas (p.e, Belize, Ncaso e Necuto), na fronteira da República do Congo e República Democrática do Congo que se observou uma maior representatividade da classe “diminuição” (Figura 6a, Figura 6b e Figura 6c).

Junto à fronteira da República Democrática do Congo (em Necuto) e na zona sul do município de Buco Zau (em particular ao redor da povoação Conde) foi onde se verificou um maior aumento da evolução do NDVI. No entanto, verificou-se que no interior da povoação Conde houve uma diminuição da evolução do NDVI.

Analisando a taxa de desflorestação anual dos últimos 4 anos verificou-se que é 10 vezes maior à do período dos 33 anos, o que é, deveras preocupante porque a precisão do cálculo foi maior. A dimensão do pixel do sensor MSS usado em 1986 é de 60 m e no período de 2015 e 2019 é de 30m (sensor OLI). Este valor da taxa de desflorestação esta acima do estimado pelo IFN entre 2000-2015 que era de 0,8% (MINAMB, 2017).

A diminuição de NDVI, tem a ver com o aumento do consumo de madeira.

Figura 6. Evolução do NDVI no período 2019-1986



Fonte: Autor (2020)

De acordo com Madang-Ep (2020) o balanço da produção de madeira em 2016, 2018 e 2019 mostra que o maior produtor de madeira é a província de Cabinda com um total, nestes 3 anos, de 78.000 m³, o que corresponde em mais de 30% da produção nacional. Segundo RON (2019) o governo de Angola suspendeu em janeiro de 2018 todas as concessões de madeireiras para rever as políticas de controlo.

Segundo o mesmo autor as cidades como Belize e Buco Zau expandiram-se e muitas construções foram realizadas, aumentando significativamente áreas de corte florestal com grande sensibilidade ambiental. Mas o maior problema é a extração anárquica e clandestina de madeira.

O Jornal de Angola de 27 de outubro de 2016 (BERNADO, 2016), já denunciava o que se estava a passar em Ncaso, com o corte clandestino, por parte, na sua maioria, de cidadãos da República Democrática do Congo com a cumplicidade de autoridades locais.

Análise do índice do fluxo de dióxido de carbono

A Tabela 3 mostra a área de ocupação de cada classe de evolução do CO₂flux no período 2019-2015.

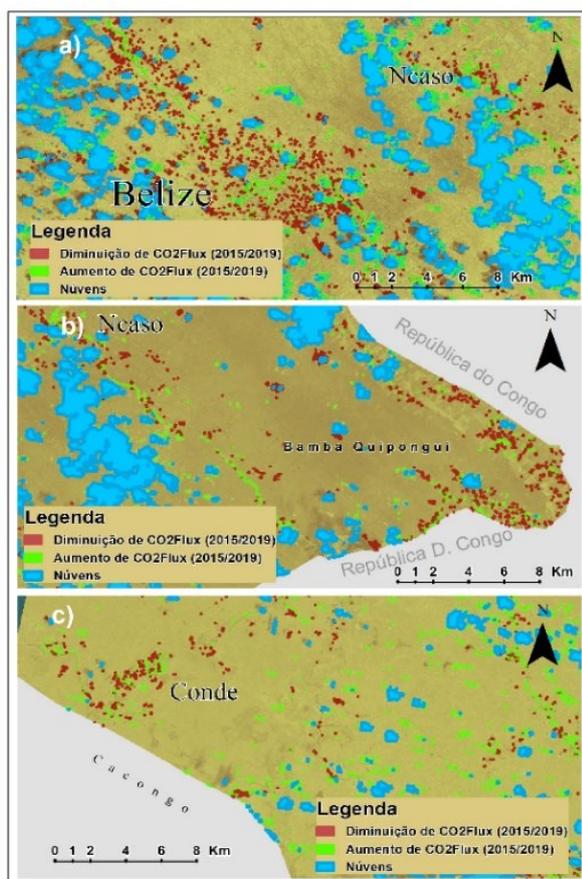
Tabela 3. Evolução do CO₂flux em área

Diferenças	Diminuição (km ²)	Sem alteração (km ²)	Aumento (km ²)	Área total (Km ²)
2019-2015	138,3	2442,8	44,2	3207,1

Fonte: Autor (2020)

No período 2019-2015 verificou-se a diminuição do índice de CO₂flux com uma taxa anual de 1,08%. Espacialmente essa diminuição acontece principalmente nas proximidades das zonas urbanas, em particular, Belize (Figura 7a), junto às fronteiras da República do Congo e da República Democrática do Congo (Figura 7b). O aumento do índice de CO₂flux é menos significativo, apresentando uma taxa anual de 0,34%, ocorrendo nas zonas urbanas, junto às vias de comunicação (Figura 7 a) e b)) e a sul de Buco Zau (Figura 7c). Este índice permite identificar melhor a vegetação junto às vias de comunicação face ao NDVI.

Figura 7. Evolução do CO₂flux no período 2019-1986



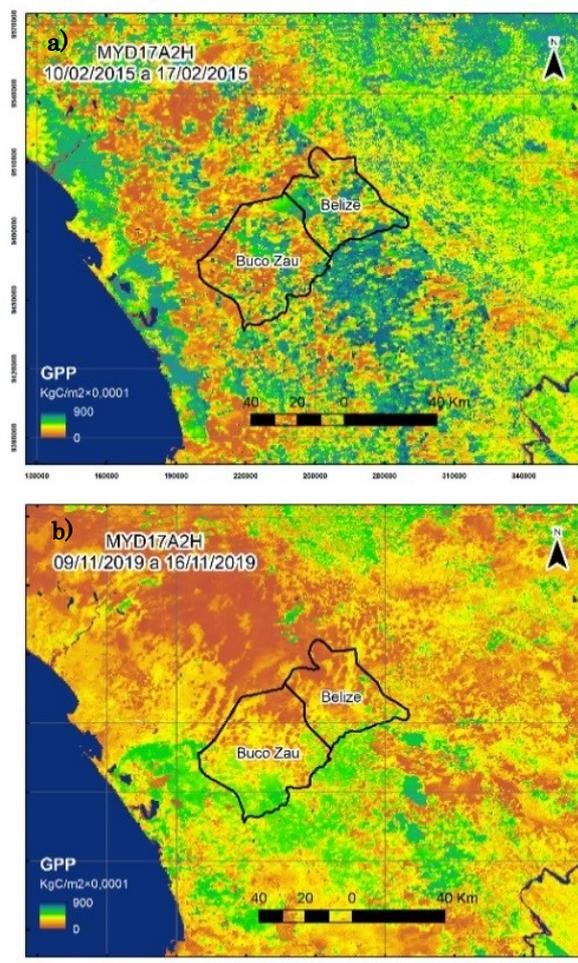
Fonte: Autor (2020)

Análise da Produção Primária Bruta

A Figura 8 mostra os valores de GPP para os períodos de 10 de fevereiro de 2015 a 17 de fevereiro de 2015 e de 9 de novembro de 2019 a 16 de novembro de 2019. Na área de estudo os valores de GPP acumulados em oito dias variam de 0 a 0.09 KgC/m². No período 10 de fevereiro de 2015 a 17 de fevereiro de 2015, os maiores valores de GPP de localizam-se junto a Buco Zau, Belize e a nordeste de Belize (junto à fronteira da República Democrática do Congo).

No período 9 de novembro de 2019 a 16 de novembro de 2019, os valores de GPP são mais baixos devido à influência das nuvens na semana analisada. Os maiores valores surgem na zona sul do município de Buco Zau, onde não existe a influência da nebulosidade.

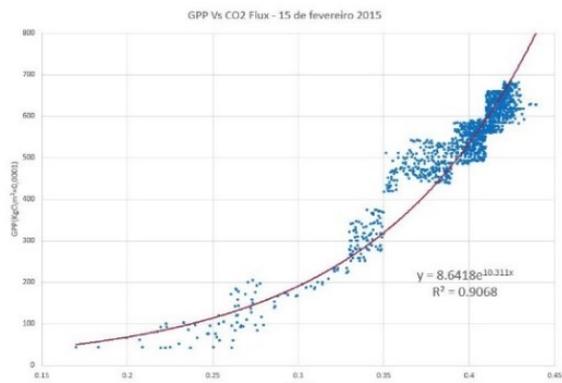
Figura 8. GPP para os períodos de 10 de fevereiro de 2015 a 17 de fevereiro de 2015 (a) e de 9 de novembro de 2019 a 16 de novembro de 2019 (b)



Fonte: Autor (2020)

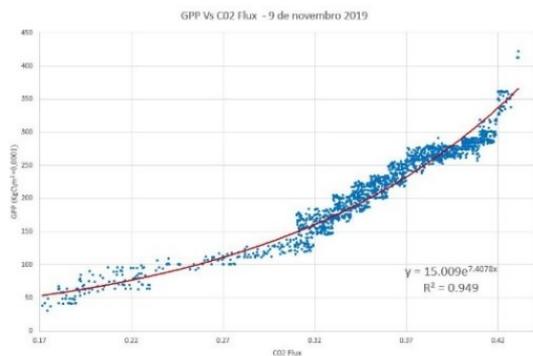
O modelo de regressão obtido para 15 de fevereiro de 2015 e 9 de novembro de 2019 para estimar o GPP diário foi ajustado com um o modelo exponencial. Para 15 de fevereiro de 2015 e 9 de novembro de 2019 o modelo apresentou uma consistência de cerca de 91% e 95%, respetivamente (Figura 9 e Figura 10).

Figura 9. Modelo de regressão para os valores de GPP para 15 de fevereiro de 2015



Fonte: Autor (2020)

Figura 10. Modelo de regressão para os valores de GPP para 2 de novembro de 2019.



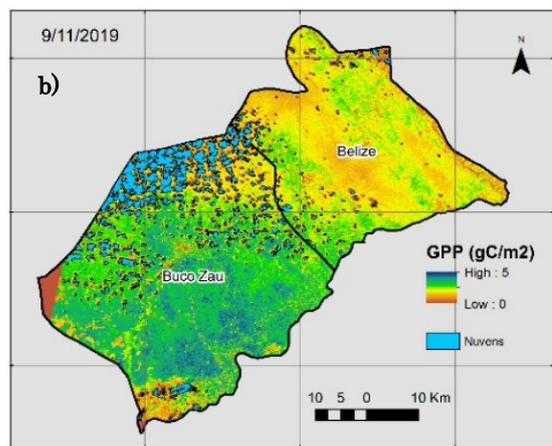
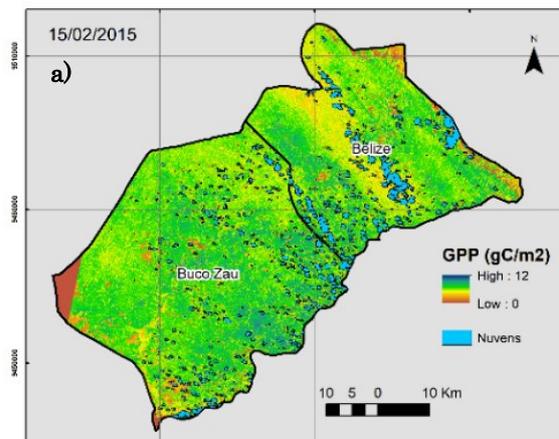
Fonte: Autor (2020)

A Figura 11 mostra a distribuição espacial do GPP diário em gC/m² para 15 de fevereiro de 2015 e 9 de novembro de 2019.

Verifica-se que em 15 de fevereiro de 2015 os valores de GPP são superiores (valor máximo 12 gC/m²) aos de 9 de novembro de 2019 (valor máximo 5 gC/m²). Esta diferença pode ser devido à maior nebulosidade que ocorreu na semana de 9 a 16 de novembro de 2019 face à semana de 10 a 17 de fevereiro de 2015.

A Figura 12 mostra o modelo de GPP obtido para as duas datas na cidade de Buco Zau. Verifica-se que nos locais onde a vegetação é inexistente os valores de GPP são 0 gC/m². Nas regiões onde existe vegetação o GPP é superior a 0 gC/m². Observa-se que em 2019 existe mais zonas com GPP igual a 0 gC/m²(representadas pela cor laranja escura).

Figura 11. Modelo de GPP em gC/m² para o dia 15 de fevereiro de 2015 (a) e 9 de novembro de 2019 (b)

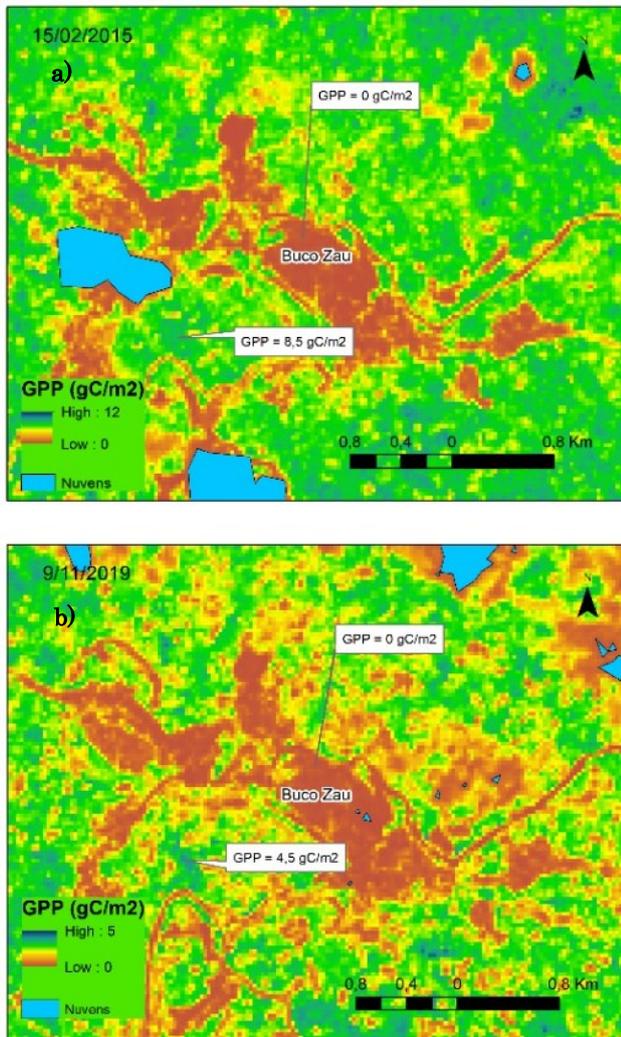


Fonte: Autor (2020)

Há que salientar no caso dos locais onde existe vegetação esses valores são diferentes entre as duas datas (vd. pontos assinalados). A diferença não revela diminuição da vegetação, mas sim as diferentes condições atmosféricas ocorridas durante a passagem do satélite.

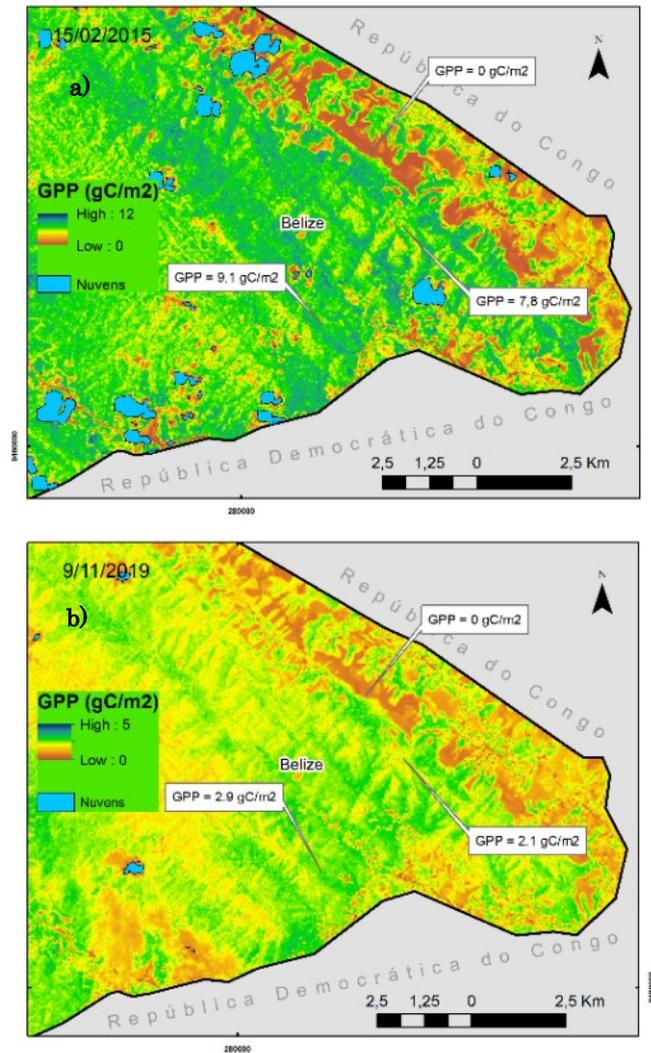
A Figura13 os valores de GPP iguais 0 gC/m² (representado pela cor laranja escura) confirmam a diminuição da vegetação verificada com o cálculo do NDVI na fronteira da República do Congo e República Democrática do Congo. A Figura 14 mostra que nos dois dias estudados, na região a sul do município de Buco Zau, não existe grande alteração para valores iguais a 0 gC/m². Para os valores de GPP diferentes de 0 gC/m², verifica-se alterações de valores nos dois dias analisados, mas são devido ao facto da nebulosidade ser distinta nesses dias.

Figura 12 – Modelo de GPP em gC/m^2 para o dia 15 de fevereiro de 2015 (a) e 9 de novembro de 2019 (b) na cidade de Buco Zau.



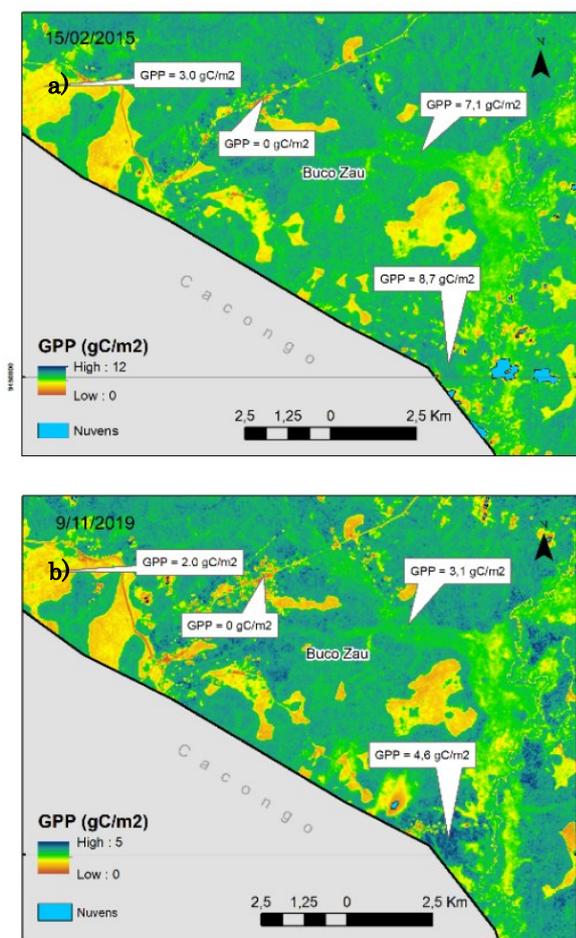
Fonte: Autor (2020)

Figura 13 – Modelo de GPP em gC/m^2 para o dia 15 de fevereiro de 2015 (a) e 9 de novembro de 2019 (b) junto à fronteira da República do Congo e República Democrática do Congo.



Fonte: Autor (2020)

Figura 14. Modelo de GPP em gC/m^2 para o dia 15 de fevereiro de 2015 (a) e 9 de novembro de 2019 (b) a sul do município de Buco Zau (junto ao município de Cacongo)



Fonte: Autor (2020)

Conclusão

Comparando as imagens de NDVI de 1986 e 2019 confirmou-se uma desflorestação neste período, com uma taxa média anual de 0,11%.

As zonas de maior desflorestação é na sua maioria, áreas urbanas Buco Zau, Necuto e Belize, Ncaso, junto às vias de comunicação e ao longo da fronteira República do Congo e da República Democrática do Congo. O que demonstra os vários relatos publicados. Observou-se uma reflorestação mais diminuta, com uma taxa anual de 0,02%, localizada na sua maioria na região sul do município de Buco Zau (perto do município de Cacongo).

Salienta-se que no período mais recente de 2015 a 2019 a taxa média anual de desflorestação aumentou 10 vezes mais (1,00%) o que levou o governo Angolano tomar medidas, nomeadamente a suspensão provisória de 2018 das concessões de madeiras.

O índice CO_2flux entre 2015 e 2019 diminuiu nas áreas onde ocorreu desflorestação com uma percentagem anual de 1,08% .

O aumento com uma taxa anual de 0,34% localizou-se principalmente a sul do município de Buco Zau.

Os modelos de GPP com uma resolução de 30 m para os dias de 15 de fevereiro de 2015 e 9 de novembro de 2019, foram obtidos a partir de regressões ajustadas com funções exponenciais, apresentando uma consistência superior a 90%, em ambos os casos.

Analisada a variável GPP para o dia 9 de novembro de 2019 verificou-se que os valores eram mais baixos (0 a 5 gC/m^2) face aos valores do dia 15 de fevereiro de 2015 (0 a 12 gC/m^2). Isto deve-se aos dados de origem de GPP da imagem *Modis AQUA* terem sido fortemente influenciados pela nebulosidade. Os valores de GPP iguais a 0 gC/m^2 confirmam a diminuição de biomassa fornecida pelo NDVI e CO_2flux .

No futuro pretende-se monitorizar a região com base em imagens radar (Sentinel 1) porque esta radiação tem a capacidade de penetrar nas nuvens permitindo uma maior quantidade de imagens.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação Portuguesa de Ciência e Tecnologia (FCT) pelo apoio através do projeto UID / SOC / 04020/2019 concedido à CINTURS.

Referências

- BERNARDO, C. *Exploração de madeira no Maiombe*. Jornal de Angola de 27 de outubro de 2016 (disponível em <https://www.pressreader.com/angola/jornal-de-angola/20161027/281487865895005>)
- BUZA, A. G., TOURINHO, M. M., & SILVA, J. N. Caracterização da colheita florestal em cabinda, Angola. *Revista de ciências. agrárias*, Belém, n. 45, p. 59-7 2006.
- CAPITA, B. Exploração de madeira em Maimbe. *Jornal de Angola*. 2016 (disponível em http://jornaldeangola.sapo.ao/reportagem/exploracao_de_madeira_no_maiomb)
- CLIMATE-DATA.ORG. (2020). *Dados climáticos para cidades mundiais, 2020* (disponível em <https://pt.climate-data.org/africa/angola/cabinda/belize-779448/>)
- DA SILVA JUNIOR, C. A., de Medeiros Costa, G., Rossi, F. S., do Vale, J. C. E., de Lima, R. B., Lima, M., ... & Santos, R. C. Remote sensing for updating the boundaries between the brazilian Cerrado-Amazonia biomes. *Environmental Science & Policy*, 101, 383-392, 2019.
- FAO - Food and Agriculture Organisation. *State of the world's forests 2020*. Food and Agriculture Organization, 214p Rome, 2020. ISBN: 978-92-5-132419-6.
- FAO, IDF. *Monitorização e Avaliação de Recursos Florestais Nacionais de Angola – Guia para recolha de dados. National Forest Monitoring and Assessment*. Working Paper NFMA 41/P. Rome, Luanda. 2009
- GAMON, J., SERRANO, L., & SURFUS, J. S. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. *Oecologia*, 112(4), 492-501, 1997.
- GOMES, C. P. D. S. *Aplicação da deteção remota na monitorização do desmatamento da floresta do Maiombe (Cabinda-Angola)* (Master dissertation), 2019.
- IDF - Instituto de Desenvolvimento Florestal. *Conferência Nacional sobre Florestas. Contribuição do Inventário Florestal Nacional na Gestão Sustentável dos Recursos Florestais*. Luanda-Angola. 2015

- JUNGES, A. H., ALVES, G., & FONTANA, D. C. 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, 2007.
- KÖPPEN, W. & GEIGER. *Klima der Erde (Climate of the earth)*. Wall Map 1:16 Mill. Klett-Perthes, Gotha. 1954
- LEI N.º 6/17 de 24 de janeiro de 2017. **Bases de Florestas e Fauna Selvagem**. Diário da República I Série n.º 13. Imprensa Nacional. Luanda.
- MAIOMBE – APT.ORG. **Plano estratégico. Para um complexo de áreas protegidas transfronteiriças nos ecossistemas do Maiombe**. S.I.: IUCN; GRASP. 49p, 2013.
- MADANG-EP – Empresa Pública Florestal Madeiras de Angola. **Relatório de Gestão & Contas de 2019**. Luanda-Angola, 2020.
- MINAMB – Ministério do Ambiente – República de Angola. **Estratégia Nacional para as Alterações Climáticas 2018-2030**. Luanda-Angola, 2017.
- MINUA-Ministério do Urbanismo e Ambiente-República de Angola. **Relatório do Estado Geral do Ambiente em Angola**. Luanda-Angola, 2006a.
- MINUA-Ministério do Urbanismo e Ambiente-República de Angola. **Primeiro Relatório Nacional para a Conferência das Partes da Convenção da Diversidade Biológica**. Luanda-Angola, 2006b.
- MIZUOCHI, H., HAYASHI, M., & TADONO, T. Development of an Operational Algorithm for Automated Deforestation Mapping via the Bayesian Integration of Long-Term Optical and Microwave Satellite Data. **Remote Sensing**, 11(17), 2038, 2019.
- NASA Modis Web. National Aeronautics and Space Administration. 2020 (disponível em: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod17.php>)
- ORTEGA A. M., QUEIROZ F. R., NIGRI, H. P., APARECIDO DE ALMEIDA, C., & RODRIGUES G. A. Evaluation of Deep Learning Techniques for Deforestation Detection in the Brazilian Amazon and Cerrado Biomes From Remote Sensing Imagery. **Remote Sensing**, 12(6), 910, 2020.
- PACHAURI, R. K., ALLEN, M. R., BARROS, V. R., BROOME, J., CRAMER, W., CHRIST, R., ... & DUBASH, N. K. **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, 2014.
- PEDRAS, C. M. G., VALÍN M. I., FERNANDEZ H., MARTINS F. M. G. Assessment of Soil Water Content and Remote Sensing Techniques - Case Study of Kiwi Orchard (Portugal). **Journal of Agricultural Science and Technology A** 4. 33-42, 2014 ISSN 1939-1250, David Publishing. 2014. DOI:10.17265/1939-1250/2014.01A.004
- PRENTICE, I. C., FARQUHAR, G. D., FASHAM, M. J. R., GOULDEN, M. L., HEIMANN, M., JARAMILLO, V. J., ... & WALLACE, D. W. *The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide*. Cambridge University Press, 2001.
- RAHMAN, A. F., GAMON, J. A., FUENTES, D. A., ROBERTS, D., PRENTISS, D., & QIU, H. Modeling CO2 flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. **In AVIRIS Workshop**, 2000.
- RON, T. **Elaboração de um plano de gestão para o parque nacional do Maiombe**: projeto de expansão e fortalecimento do sistema de áreas de conservação em Angola. Ministério do Ambiente de Angola, 2019.
- ROUSE Jr, J. W., HAAS, R. H., DEERING, D. W., SCHELL, J. A., & HARLAN, J. C. Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation. [Great Plains Corridor], 1974.
- ROUSE J. R., J. W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. 1974.
- TEOBALDO, D. **Sequestro florestal de carbono e avaliação de resiliência: o caso do incêndio no Parque Nacional de Brasília em 2010**. Monografia (Graduação), Brasília, 2014.
- USGS. United States Geological Survey. 2020. (disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov>)
- WEISSE, M. J., NOGUERÓN, R., EDUARDO, R., VICENCIO, V., ARTURO, D., & SOTO, C. Use of near-real-time deforestation alerts: a case study from Peru. **World Resources Institute**, Washington, DC, 2019. ISBN: 978-1-56973-804-7.
- ZINGA, C. B. **A desflorestação em Cabinda: causas e consequências socio-ambientais**. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, (Doctoral dissertation), 2012.