



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E
METEOROLOGIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
SENSORIAMENTO REMOTO

ANACLETO MARITO DIOGO

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA FENOLOGIA DE VEGETAÇÃO,
PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO, COM BASE EM IMAGENS DE
SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL EM ANGOLA**

Porto Alegre

2020

ANACLETO MARITO DIOGO

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA FENOLOGIA DE VEGETAÇÃO,
PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO, COM BASE EM IMAGENS DE
SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL EM ANGOLA**

Dissertação de Mestrado apresentada junto ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PPGSR) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como exigência para obtenção do grau de Mestre em Sensoriamento Remoto.

Orientador: Marcos Wellausen Dias de Freitas

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me concedido o dom da vida e ter mantido tudo sobre controle em todos os momentos até o fim dessa caminhada.

À minha amada Mãe (Aldina Cahilo Daniel), que me educou com amor, carinho e caráter.

Aos meus irmãos, meus amigos que também se tornaram irmãos para mim, e que nessa caminhada me fizeram um bem muito grande.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, instituição de excelência que fez o objetivo tornar-se concretizado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcos Wellausen Dias de Freitas pela paciência em acompanhar-me, compartilhado seus conhecimentos, pelas oportunidades e direcionamento sempre para um trabalho científico sério e profissional.

À todos os colegas da pós-graduação que fizeram parte de forma direta e indireta durante o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto e que também deram-me forças e incentivaram.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto pela contribuição científica.

Ao corpo diretivo e administrativo do PPGSR.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

Neste estudo foi analisado o comportamento da distribuição espacial da fenologia de vegetação de Angola com base em dados de um período de 18 anos (janeiro de 2001 a dezembro de 2018) do sensor MODIS (EVI e evapotranspiração) e de precipitação CHIRPS. Realizou-se a classificação em dois níveis, o primeiro sendo definido como nível de fitofisionomia (N1) e o segundo, como nível de cobertura e uso da terra (N2). Sobre essas classificações analisou-se as métricas de vegetação EVI, estações chuvosas e as estações de Evapotranspiração normalizada (ETn), e as suas distribuições locais por meio de parâmetros estatísticos zonais. As séries temporais foram processadas no software TIMESAT para extrair as seguintes métricas fenológicas: início, fim e comprimento (EVI, precipitação e ETn), taxas de aumento do EVI (rebrotar) e diminuição do EVI (senescência), respectivamente, no início do período de crescimento da vegetação (derivada à esquerda) e no fim do período de crescimento da vegetação (derivada à direita). Os resultados permitiram evidenciar as adaptações da vegetação relacionadas à sazonalidade, sua relação com a precipitação, evapotranspiração e como estão distribuídas por localidades de tipos de cobertura vegetal ou biomas. Observou-se grande heterogeneidade na representação das métricas fenológicas, pois a vegetação de Angola apresenta elevada diversidade em termos de estrutura, além de apresentar forte influência das estações chuvosas e de ETn. Essas características refletem-se em acentuadas diferenças em termos de densidade, área das localidades das coberturas vegetal, sua distribuição espacial dentre outros parâmetros. As métricas fenológicas de vegetação permitiram caracterizar as vegetações naturais e antrópicas de Angola. As áreas representadas por vegetação natural (entre florestas, savanas e formações de estepes) apresentaram maiores áreas se comparadas com as restantes classes como solo exposto, água e deserto no nível N1. No nível N2, o comportamento é similar, sendo as classes dunas arenosas, corpos d'água e agricultura também representaram as menores porções de área. As estações chuvosas e de ETn, indicaram influência na duração da estação do crescimento da vegetação, por apresentarem uma alta variabilidade temporal e espacial. As distribuições das métricas encontradas nesse estudo estão relacionadas às características naturais e adaptativas ao ambiente das classes N2 e em cada classe em N1 presente na área de estudo. No caso das classes de vegetação natural em N2, as métricas também apresentaram elevada heterogeneidade em seus valores de EVI, e seguiram também comportamento semelhante nas estações chuvosas e de ETn.

Palavras-chave: Métricas fenológicas, Classificação, Séries temporais, Sazonalidade.

ABSTRACT

In this study, the behavior of the spatial distribution of the vegetation phenology of Angola was analyzed based on data from an 18-year period (January 2001 to December 2018) of the MODIS sensor (EVI and evapotranspiration) and CHIRPS precipitation. The classification was carried out at two levels, the first being defined as the level of phytophysiology (N1) and the second as the level of coverage and land use (N2). On these classifications, we analyzed the metrics of EVI vegetation, rainy seasons and the normalized evapotranspiration (ETn) stations, and their local distributions through zonal statistical parameters. The time series were processed in the TIMESAT software to extract the following phenological metrics: start, end, and length (EVI, precipitation and ETn), rates of increase in EVI (regrowth) and decrease in EVI (senescence), respectively, at the beginning of vegetation growth period (left derivative) and at the end of the vegetation growth period (derived right). The results of this study made it possible to show the adaptations of vegetation related to seasonality, its relationship with precipitation, evapotranspiration and how they are distributed by locations of types of vegetation cover or biomes. There was great heterogeneity in the representation of phenological metrics, as the vegetation of Angola has a high diversity in terms of structure, in addition to having a strong influence of rainy seasons and ETn. These characteristics are reflected in marked differences in terms of density, area of vegetation cover locations, their spatial distribution and available water resources, among other parameters. The phenological metrics of vegetation allowed to characterize the phenology of the natural and anthropic plant formations of Angola. The areas represented by natural vegetation (between forests, savannas and steppe formations) showed larger portions of areas, contrary to the other classes such as exposed soil, water and desert at the N1 level. At the N2 level, the behavior is similar, with sandy sand dunes, water bodies and agriculture classes having the smallest portions of area. The rainy and ETn seasons indicated an influence on the duration of the vegetation growth season, as they have a high temporal and spatial variability. The distributions of the metrics found in this study are related to the natural and adaptive characteristics to the environment of classes N2 and in each class in N1 present in the study area. In the case of the classes of natural vegetation in N2, the metrics also showed high heterogeneity in their EVI values, and also followed similar behavior in the rainy and ETn seasons.

Keywords: Phenological metrics, Classification, Time series, Seasonality.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Objetivo Geral	14
1.2. Objetivos Específicos	14
2.1. Aplicação do Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação.....	14
2.1.1. Descrição dos IVs do produto MODIS (algoritmo)	19
2.2. Evapotranspiração	21
2.3. Fenologia da vegetação	24
2.4. Análise de Séries Temporais	25
3. MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1. Materiais	29
3.1.1. Área de Estudo	29
3.1.2. Clima em Angola	30
3.1.3. Características da vegetação de Angola	33
3.1.4. Dados MODIS e CHIRPS	37
3.2. Metodologia	39
3.2.1. Classificação da vegetação de Angola	39
3.2.2. Métricas fenológicas da vegetação de Angola	45
3.2.3. Análise espacial da fenologia de vegetação, precipitação e ET	47
3.2.4. Análise das métricas de vegetação, precipitação, ETn e MDE.....	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1. Altitude e Declividade de Angola	48
4.1. Classificação	50
4.1.1. Classificação fitofisionômica da vegetação de Angola em nível N1	50
4.1.2. Classificação da vegetação de acordo com a classe de uso e cobertura da terra de Angola em nível N2	52
4.2. Análise dos períodos chuvosos	54
4.3. Análise da evapotranspiração	55
4.4. Análise das métrica fenológicas	57
4.4.1. Taxa de Rebrotas e Senescência	59
4.5. Análise dos parâmetros estatísticos zonal da vegetação EVI, altitude e declividade, precipitação e ETn no nível N1	61
4.5.1. Análise dos parâmetros estatísticos zonal da vegetação EVI.....	64
4.5.2. Análise dos parâmetros estatísticos zonal da altitude e declividade	61
4.5.3. Análise dos parâmetros estatísticos zonal da precipitação	62
4.6.4. Análise dos parâmetros estatísticos zonal da ETn.....	63
4.6. Análise dos parâmetros estatísticos zonal da vegetação EVI, altitude e declividade, precipitação e ETn no nível N2	66
4.6.1. Análise dos parâmetros estatísticos zonal da vegetação EVI.....	69
4.6.2. Análise dos parâmetros estatísticos zonal do MDE	66

4.6.3. Análise dos parâmetros estatísticos zonal da precipitação	67
4.6.4. Análise dos parâmetros estatísticos zonal da ETn.....	68
5. CONCLUSÃO	71
6. BIBLIOGRAFIA	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Diagrama de fluxo dos produtos MODIS VI Fonte: (Huete et al., 2002).....	20
Figura 02 - Diagram of MODIS VI compositing methodology Fonte: (Huete et al., 2002).....	21
Figura 03 - NDVI/MODIS de uma floresta estacional decidual na Suécia, ajustado no TIMESAT Fonte: (Jonsons e Eklundh, 2015).....	27
Figura 04 - Mapa de Localização da área de estudo.....	30
Figura 05 - Precipitação em Angola em cm / mês: (a) Anual; (b) Estação das chuvas (setembro-abril); (c) Estação seca (maio a agosto) Fonte: (Xavier, 2013).....	31
Figura 06 - Climogramas em várias localidades de Angola Fonte: (FAO, 2001).....	32
Figura 07 - Mapa Fitogeográfico de Angola Fonte: (MUA, 2006).....	34
Figura 08 - Visão geral do processo CHIRPS e validação. (a) Produção CHIRPS e esquema de aplicação. (b) Mapa mostrando as estações de três meses mais chuvosas com base no CHPclim Fonte: (Funk et al., 2015).....	38
Figura 09 - Processos da classificação.....	44
Figura 10 - Distribuição espacial dos polígonos dos dois níveis de classificação.....	45
Figura 11 - Parâmetros de sazonalidade gerados no TIMESAT: (a) início da estação (b) final da estação, (c) comprimento da estação, (d) valor mínimo, (e) tempo do meio da estação, (f) valor máximo g) amplitude, h) pequeno valor integrado, (h + i) grande valor integrado. A linha em vermelho é o resultado do filtro aplicado sobre o perfil original (linha em azul) Fonte: (Adaptado de Jonsons e Eklundh, 2015).....	47
Figura 12 - Características Geomorfológicas de Angola. a) Mapa de Altitude e b) Declividade.....	50
Figura 13 – Classificação fitofisionômica da vegetação de Angola em nível N1.....	53
Figura 14 – Classificação da vegetação de acordo com a classe de uso e cobertura da terra de Angola em nível N2.....	55
Figura 15 - Precipitação obtida pelos dados do CHIRPS. a) início da estação chuvosa (SOS), b) fim da estação chuvosa (EOS), c) comprimento da estação chuvosa.....	57

Figura 16 - Estimativa da evapotranspiração (Etn) obtida pelos dados do sensor MODIS. a) início da estação do aumento da ETn (SOS), b) fim da estação do decréscimo da ETn (EOS), c) comprimento da estação da ETn.....	58
Figura 17 - Dados de EVI obtida pelo sensor MODIS. a) início da estação do aumento de EVI (SOS), b) fim da estação do decréscimo do EVI (EOS), c) comprimento da estação de crescimento da vegetação.....	60
Figura 18 - Valores médios da a) taxa de rebrota e b) senescência.....	62
Figura 19 - Parâmetros estatísticos zonal das métricas de vegetação EVI das classes de interesse do nível de classificação N1.....	63
Figura 20 - Parâmetros estatísticos zonal da altitude e declividade das classes de interesse do nível de classificação N1.....	64
Figura 21 - Parâmetros estatísticos zonal da precipitação das classes de interesse do nível de classificação N1.....	65
Figura 22 - Parâmetros estatísticos zonal da ETn das classes de interesse do nível de classificação N1.....	66
Figura 23 - Parâmetros estatísticos zonal das métricas de vegetação EVI das classes de interesse do nível de classificação N2.....	68
Figura 24 - Parâmetros estatísticos zonal da altitude e declividade das classes de interesse do nível de classificação N2.....	69
Figura 25 - Parâmetros estatísticos zonal da precipitação das classes de interesse do nível de classificação N2.....	70
Figura 26 - Parâmetros estatísticos zonal da Etn das classes de interesse do nível de classificação N2.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Estimativas de cobertura para categorias amplas de vegetação Fonte: (IDF, 2004).....	33
Tabela 2 - Distribuição dos tipos de vegetação natural de Angola Fonte: (MUA, 2006).....	35
Tabela 03 - Tipos de parâmetros utilizados pelo algoritmo multiresolution segmentation....	40
Tabela 04 - Chave de interpretação das classes de Fitofisionomia e de Uso e Cobertura da Terra.....	40
Tabela 05 - Tipos de atributos utilizados pelos dois níveis de classificação na ferramenta Standard Nearest Neighbor Feature Space.....	43
Tabela 06 - Parâmetros estáticos utilizado na análise espacial.....	48
Tabela 07 - Área das Classes de Fitofisionomia.....	52
Tabela 08 - Área das Classes de Cobertura e Uso da Terra.....	54

1. INTRODUÇÃO

Entender a distribuição e as mudanças constantes da cobertura vegetal associados às condições climáticas, exigem cada vez mais informações detalhadas e contínuas, para uma boa gestão da sustentabilidade dos ecossistemas (CABRAL, 2008). Angola, como no restante das regiões do continente africano, tem sentido estas alterações que podem afetar a agricultura e a estabilidade da biodiversidade vegetal, refletindo na vida humana.

A grande diversidade da vegetação encontrada em Angola, tem motivado estudos voltados à compreensão de sua influência nos balanços hidrológicos e nos ciclos biogeoquímicos do sistema terrestre. Angola tem sido foco de discussões ambientais no âmbito acadêmico e político devido a casos de secas que tem assolado algumas províncias do país (Cunene, Namibe, Huíla e Cuando Cubango), com o intuito de melhorar o planejamento quanto ao abastecimento dos recursos hídricos. Neste sentido, a intensa conversão da vegetação em usos antrópicos pode modificar a circulação atmosférica regionalmente, assim como apontado por Ruhoff (2011) em seu estudo na vegetação de cerrado no Brasil.

A compreensão do balanço hídrico no papel de cada tipo de cobertura vegetal é necessária para analisar a distribuição dos tipos de vegetação. O início dos estudos sobre a cobertura vegetal no continente africano foi baseado em medições de terreno. Posteriormente na década de 1970, começou-se a utilizar técnicas de sensoriamento remoto, por meio de fotografias aéreas e imagens de satélite para coleta de dados, na qual permitiram significativamente uma melhoria na representação contínua e uniforme da cobertura vegetal (CABRAL, 2008).

Recentemente no âmbito das mudanças, distribuições e classificações da cobertura vegetal, várias pesquisas têm sido feitas para o continente africano. É o caso do mapa de cultivo no Oeste de África feito por Vintrou et al., (2012), usando imagens de séries temporais do sensor Espectrorradiômetro de Imagem de Resolução Moderada (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* - MODIS). E dos mapas de caracterização fenológica para reserva do Niassa em Moçambique (NHONGO et al., 2017).

Segundo Cabral (2008), vários projetos em Angola têm sido desenvolvidos em nível local, contudo, a maior parte do território apresenta uma grande deficiência de informação, dificultando a sua aplicação para todo o território angolano. Desta forma, surge a importância

de analisar a vegetação de Angola, uma vez que a partir da resposta espectral de imagens analisadas em diferentes polígonos de classes é possível estudar áreas agrícolas e de conservação ambiental, permitindo analisar a distribuição espacial e temporal da cobertura vegetal (EKLUNDH e JONSSON, 2015).

Primeiramente, para investigar a distribuição da vegetação de Angola, é necessário identificar o padrão do comportamento fenológico da vegetação. De acordo com Chen e Pan (2002); Gu et al. (2010) a fenologia é um processo biofísico que ocorre na planta, influenciado pelo fotoperíodo, precipitação, solo, temperatura do ar, iluminação solar e outros fatores ambientais. Deste modo, a fenologia varia de forma substancial ao longo das diferentes coordenadas geográficas, zonas climáticas e tipos de vegetação, e tem uma alta variabilidade devido às diferenças das estações climáticas a cada ano (RICHARDSON et al., 2013).

Estudos voltados para compreensão dos fatores climáticos e ambientais da fenologia para Angola são bastante reduzidos. Na região, a disponibilidade hídrica é o principal fator do crescimento da vegetação e o início da estação chuvosa tem sido a variável que melhor prediz o início do crescimento da vegetação. Torna-se imprescindível estimar a magnitude das trocas entre a vegetação e o clima e representá-los em modelos representativos dos processos fenológicos e da relação entre a superfície terrestre e o sistema climático (RICHARDSON et al., 2013). Portanto, estudos que buscam investigar o impacto das mudanças da cobertura vegetal, na fenologia de vegetação e no balanço hídrico são de fundamental importância para compreender a sensibilidade e a resiliência da vegetação às alterações do clima no país.

As informações geradas, aplicadas e analisadas permitem uma elaboração de estudos bem planejadas do uso da água na região, como potencial de irrigação, o quanto de água é utilizado na agricultura e a época de maior demanda hídrica. Sendo assim, a evapotranspiração torna-se fundamental devido ao conhecimento da disponibilidade de água no solo para as plantas, sendo esta quantificada pela demanda de água da planta e da atmosfera e pela intensidade de fluxo da água do solo para a raiz (THORNTHWAITE, 1944).

Para estudos de fenologia é importante analisar a evapotranspiração e Índice de Vegetação Aperfeiçoado (*Enhanced Vegetation Index - EVI*) para estudos de fenologia, pois, a evapotranspiração é um parâmetro importante na estimativa do consumo de água de uma planta (DOORENBOS et al., 1994). É dependente desse conhecimento, no que diz respeito às condições climáticas do local de estudo, conjuntamente com as características fisiológicas e morfológicas da planta e os efeitos da evaporação da água no solo, variando ao longo do ciclo em função da taxa de crescimento e, conseqüentemente, da variação da cobertura vegetal

(ALLEN et al., 1998). Neste contexto, tem-se utilizado o *software* TIMESAT para investigar a sazonalidade dos dados de séries temporais de satélite e sua relação com as propriedades dinâmicas da vegetação, como a fenologia e sua distribuição no espaço-tempo (JONSSON e EKLUNDH, 2004).

1.1. Objetivo Geral

Analisar o comportamento e a distribuição espacial da cobertura vegetal de Angola com base em dados do sensor MODIS (EVI e evapotranspiração) e de precipitação do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS).

1.2. Objetivos Específicos

- Mapear e classificar a vegetação de Angola em dois níveis de cobertura vegetal;
- Extrair as métricas dos dados de precipitação e evapotranspiração do início (SOS), fim (EOS) e do comprimento das estações de crescimento da vegetação;
- Extrair as métricas de EVI do início (SOS), fim (EOS), do comprimento das estações de crescimento e das taxas de rebrota e senescência;
- Analisar o comportamento das métricas fenológicas do EVI, da precipitação e da evapotranspiração a partir de parâmetros estatísticos em cada zona ou classe de interesse.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Aplicação do Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação

O sensoriamento remoto, também chamado de observação da terra, refere-se, em um sentido geral, à instrumentação, técnicas e métodos usados para obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, por meio de ondas eletromagnéticas refletidas ou emitidas a uma certa distância da Terra (FLORENZANO, 2011).

Quando a radiação eletromagnética atinge um objeto na superfície da Terra, ela pode ser transmitida, absorvida ou refletida. A magnitude mútua desses processos é determinada pelas propriedades do objeto. Em sensoriamento remoto, pode-se medir a quantidade de energia solar refletida, bem como uma função do comprimento de onda, chamado reflectância espectral. O sensoriamento remoto óptico, passivo, consiste na obtenção de imagens pela detecção da radiação eletromagnética proveniente de uma fonte externa ao sensor, como o sol, nos intervalos do visível ao infravermelho de ondas curtas (0,4- 2,5 μ m) (ZHANG et al., 2003).

Para estudos da vegetação o sensoriamento remoto é uma importante ferramenta por retratar a dinâmica do comportamento vegetativo, quanto a sua sazonalidade e fenologia, o vigor e mudanças no tipo de cobertura vegetal (ZHANG et al., 2003).

O sensoriamento remoto da vegetação é realizado principalmente pela obtenção da informação de reflectância das ondas eletromagnéticas usando sensores passivos. É bem conhecido que a reflectância dos espectros de luz muda com o tipo de planta, teor de água nos tecidos e outros fatores intrínsecos (CHANG et al., 2016). A reflectância da vegetação para o espectro eletromagnético (reflectância espectral ou características de emissão da vegetação) é determinada pelas características químicas e morfológicas da superfície das folhas (ZHANG et al., 2012).

As principais aplicações para sensoriamento remoto da vegetação são baseadas nas seguintes regiões do espectro electromagnético: (i) a região ultravioleta (UV), que vai de 10 a 380 nm; (ii) os espectros visíveis, os quais são compostos dos registros de comprimento de onda azul (450-495 nm), verde (495-570 nm) e vermelho (620-750 nm); e (iii) a faixa de infravermelho próximo e médio (850-1700 nm) (GOETZ et al., 1985). A taxa de emissividade da superfície das folhas (equivalente à absorção na faixa do termal) de uma planta totalmente adulta sem qualquer estresse biótico ou abiótico é geralmente na faixa de 0,96 a 0,99 e para plantas secas, intervalo é maior e que varia entre 0,88 a 0,94 (HATFIELD et al., 2015).

A emissividade da vegetação nas regiões do infravermelho próximo e médio tem sido amplamente estudada nas copas das plantas. Índices extraídos dessa faixa de espectros de luz podem ser atribuídos a uma variedade de características além do crescimento e quantificação de plantas relacionadas ao conteúdo de água, pigmentos, teor de açúcar e carboidratos, teor de proteína e aromáticos, entre outros (BATTEN, 1998; FOLEY et al., 1998).

Diferentes aplicações são dependentes dos picos ou sobretons de refletividade para compostos específicos dentro das regiões visível e infravermelho próximo/médio dos espectros de luz (BATTEN, 1998; BURNS e CIURCZAK, 2007). A refletividade da planta na faixa espectral do infravermelho termal (8-14 μm) segue a lei de radiação de corpo negro de acordo com Boukadoum et al. (2017), que permite interpretar a emissão da planta como diretamente relacionada à temperatura da planta.

Assim, os índices de vegetação obtidos a partir desta faixa de espectros podem ser usados como um elemento para avaliar a dinâmica dos estômatos que regula a taxa de transpiração das plantas. Com o uso de instrumentação espectral de alta resolução, o número de bandas obtidas por sensoriamento remoto está aumentando, e a largura de banda está

ficando mais estreita (HONKAVAARA et al., 2013).

Os índices de vegetação (IVs) são transformações espectrais de duas ou mais bandas projetadas para aumentar a contribuição das propriedades da vegetação e permitir comparações inter-espaciais e temporais confiáveis da atividade fotossintética terrestre, do dossel e suas variações estruturais (HUETE et al., 2002). As transformações do espectro de bandas são calculadas sem qualquer viés ou suposições relativas à classe de cobertura da terra, tipo de solo ou condições climáticas, o que permite monitorar as variações sazonais, interanuais e de longo prazo da estrutura da vegetação, parâmetros fenológicos e biofísicos (HUETE et al., 2002).

Os IVs do sensor MODIS são projetados para fornecer informações espaciais e temporais da vegetação, condições que podem ser usadas para monitorar a atividade fotossintética (JUSTICE et al., 1985; RUNNING et al., 1994). Os dois IVs do sensor MODIS, o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) e EVI, são produzidos globalmente sobre a Terra.

Considerando que o NDVI é clorofila sensível, o EVI é mais responsivo à estrutura das variações do dossel, incluindo o Índice de Área Foliar (IAF), tipo de copa, fisionomia vegetal e arquitetura de dossel (GAO et al., 2000). Estes IVs se complementam em estudos de vegetação e melhoria na detecção de mudanças na vegetação e extração dos parâmetros biofísicos do dossel. O NDVI do MODIS é referido como o índice de continuidade à série temporal NDVI derivada do Radiômetro Avançado de Alta Resolução (*Advanced Very High Resolution Radiometer* - AVHRR) com mais de 20 anos de existência, que pode ser estendida por dados MODIS para fornecer registros de dados de longo prazo para uso em estudos de monitoramento operacional (HUETE et al., 2002).

O AVHRR-NDVI tem sido amplamente utilizado em várias aplicações operacionais, incluindo alerta do sistemas integrado de alimentação, classificação da cobertura do solo, saúde e epidemiologia, detecção de seca, degradação da terra, desmatamento e o monitoramento e detecção de mudanças da cobertura vegetal (CIHLAR et al., 1997; GOWARD et al., 1991; TUCKER et al., 1985). O NDVI também é um parâmetro importante para vários tipos de modelos em escala local, regional e global, incluindo circulação geral e modelos biogeoquímicos (PETERSON et al., 1988; POTTER et al., 1999). Eles servem como intermediários na avaliação de vários parâmetros biofísicos, como cobertura verde, biomassa, IAF, e fração de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (FAPAR) (ASRAR et al., 1984; SELLERS, 1985; TUCKER, 1979).

A série temporal AVHRR-NDVI foi usado com sucesso em muitos estudos sobre o

período interanual de variabilidade da atividade vegetal e em relacionar variações interanuais em grande escala na vegetação ao clima (MYNENI et al., 1997).

Um uso direto do NDVI é caracterizar o crescimento ou vigor do dossel, portanto, muitos estudos compararam-no com o Índice de Área Foliar (IAF), onde o IAF é definido como a área de folhas unilaterais por área do solo (ZHANG et al., 2012).

Proposto por Rouse et al (1974), o NDVI pode ser expresso como:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (01)$$

Onde:

NIR, *RED* = reflectância no Infravermelho Próximo e Vermelho.

Como o índice é calculado por meio de um procedimento de normalização, a faixa de valores de NDVI é entre -1 e 1, tendo uma resposta sensível à vegetação verde, mesmo para áreas cobertas de vegetação baixa. Este índice é frequentemente usado em pesquisas relacionadas a avaliações de vegetação regional e global e mostrou-se relacionado não apenas à estrutura do dossel e do IAF, mas também à fotossíntese do dossel (GAMON et al., 1995; GRACE et al., 2007).

O NDVI é bem sucedido como uma medida de vegetação na medida suficientemente estável para permitir comparações significativas de sazonalidade e mudanças interanuais no crescimento e atividade da vegetação (HUETE et al., 2002). A principal desvantagem do NDVI é a não linearidade inerente de índices baseados em razão e a influência dos efeitos aditivos do ruído, como a radiação do caminho atmosférico. O NDVI também exhibe problemas de escala, sinais assintóticos (saturados) sobre condições de alta biomassa, e é muito sensível ao fundo do dossel, apresentando um maior brilho (HUETE, 1988).

A correção de fundo do dossel é relevante para o monitoramento da vegetação, uma vez que 70% da superfície terrestre da Terra consiste em coberturas abertas com sinais de fundo de cobertura significativas exercendo algum efeito na refletância da cobertura propriedades (GRAETZ, 1990).

Índices de vegetação não racionais, como o índice de vegetação perpendicular (PVI) e índice de vegetação verde (GVI) são geralmente mais lineares com menos problemas de saturação, mas requerem remoção de ruído externo e do sensor na derivação de refletâncias de superfície que são inseridas nos cálculos de IVs (CRIST e CICONI, 1984; RICHARDSON e WIEGAND, 1977).

A atual ênfase na era do Sistema de Observação da Terra (EOS – sigla em inglês) envolve ruído operacional, remoção por meio de calibração aprimorada, correção atmosférica,

remoção de nuvem, sombra de nuvem e padronização de geometrias do sensor de superfície solar com refletância bidirecional modelos de função de distribuição (BRDF). Isso minimiza a necessidade de índices baseados em proporção e permite a introdução de índices de vegetação alternativos e aprimorados para monitoramento operacional da vegetação (VERSTRAETE e PINTY, 1996). Em condições naturais, o solo e a atmosfera influenciam o NDVI de maneira complexa, o que interage com a influência da cobertura vegetal. Portanto, a atmosfera e a vegetação têm um efeito coletivo sobre o NDVI com base nas características e exposição do solo.

Devido a esses defeitos do NDVI, o EVI foi proposto com base em uma abordagem baseada em *feedback* que incorpora conceitos de ajustes de fundo e resistência atmosférica ao NDVI (FOLEY et al., 1998). O EVI foi assim considerado um NDVI modificado com a sensibilidade melhorada a regiões de alta biomassa e melhor a capacidade de monitoramento da vegetação através de um desacoplamento do sinal de fundo do dossel e uma redução nas influências atmosféricas (MULLA et al., 2013). Por efeito ao seu melhor desempenho sobre o NDVI, o EVI foi adotado pelo *Land Discipline Group* do MODIS como o segundo índice de vegetação global para monitorar a atividade da vegetação fotossintética na superfície terrestre (MULLA et al., 2013), e desde então ganhou a atenção de muitos cientistas (BALLESTEROS et al., 2015; GAGO et al., 2015; HOFFMANN et al., 2015; HONKAVAARA et al., 2013; XIA et al., 2016). O índice de vegetação EVI proposto por (HUETE et al., 1994; HUETE et al., 1997) é calculado conforme a **Equação 02**.

$$EVI = G \frac{NIR - RED}{NIR + C_1RED + C_2BLUE + L} \quad (02)$$

Onde:

NIR, *RED* e *BLUE* = reflectâncias no Infravermelho Próximo, Vermelho e Azul corrigidas para efeitos de espalhamento Rayleigh e absorção de ozônio, respectivamente.

G = fator de ganho

C1 e *C2* = coeficientes para o termo resistente a aerossol

L = fator de ajuste ao solo

Valores dos coeficientes: *G* = 2,5, *C1* = 6, *C2* = 7,5 e *L* = 1.

O conceito de resistência atmosférica é baseado na dependência do comprimento de onda dos efeitos do aerossol, utilizando o faixa azul mais sensível à atmosfera para corrigir a faixa vermelha pelas influências de aerossóis (KAUFMAN e TANRÉ, 1992). O EVI apresentou um bom desempenho no aerossol pesado e condições de queima de biomassa

(MIURA et al., 1998). Mais tarde, Miura et al. (2001) mostraram os IVs resistentes à atmosfera para minimizar os efeitos residuais do aerossol resultantes da correção atmosférica baseada em alvos escuros, abordagem utilizada nos produtos de refletância de superfície MODIS (VERMOTE et al., 2002).

As refletâncias de superfície derivadas de alvos escuros estão sujeitas a erros devido às suposições e características do algoritmo, com a principal fonte de incerteza associada ao pressuposto ou refletância de superfície. Outros erros são devidos a a heterogeneidade espacial da espessura óptica do aerossol desde correções grosseiras baseadas em grade são frequentemente aplicadas. Miura et al. (2001) descobriram que esses erros preservam o comprimento de onda dos efeitos do aerossol.

2.1.1. Descrição dos IVs do produto MODIS (algoritmo)

Os produtos IVs MODIS incluem dois grandes índices de vegetação (NDVI, EVI) e análise de qualidade (QA) com dados estatísticos que indicam a qualidade dos IVs, dados de refletância. A **Figura 01** apresenta o diagrama de fluxo do IV MODIS (HUETE et al., 2002).

Os produtos são rotulados como:

MOD13A1: 16 dias 500 m IV (alta resolução / globalmente produzido);

MOD13Q1: 16 dias 250-m IV (alta resolução / limitado Produção);

MOD13A2: 16 dias 1 km IV (resolução padrão / produzido globalmente);

MOD13A3: IV mensal de 1 km (resolução padrão / produzido globalmente);

MOD13C1: IV de 25 km de 16 dias (resolução grosseira / produzido globalmente);

MOD13C2: IV mensal de 25 km (resolução grosseira / produzido globalmente);

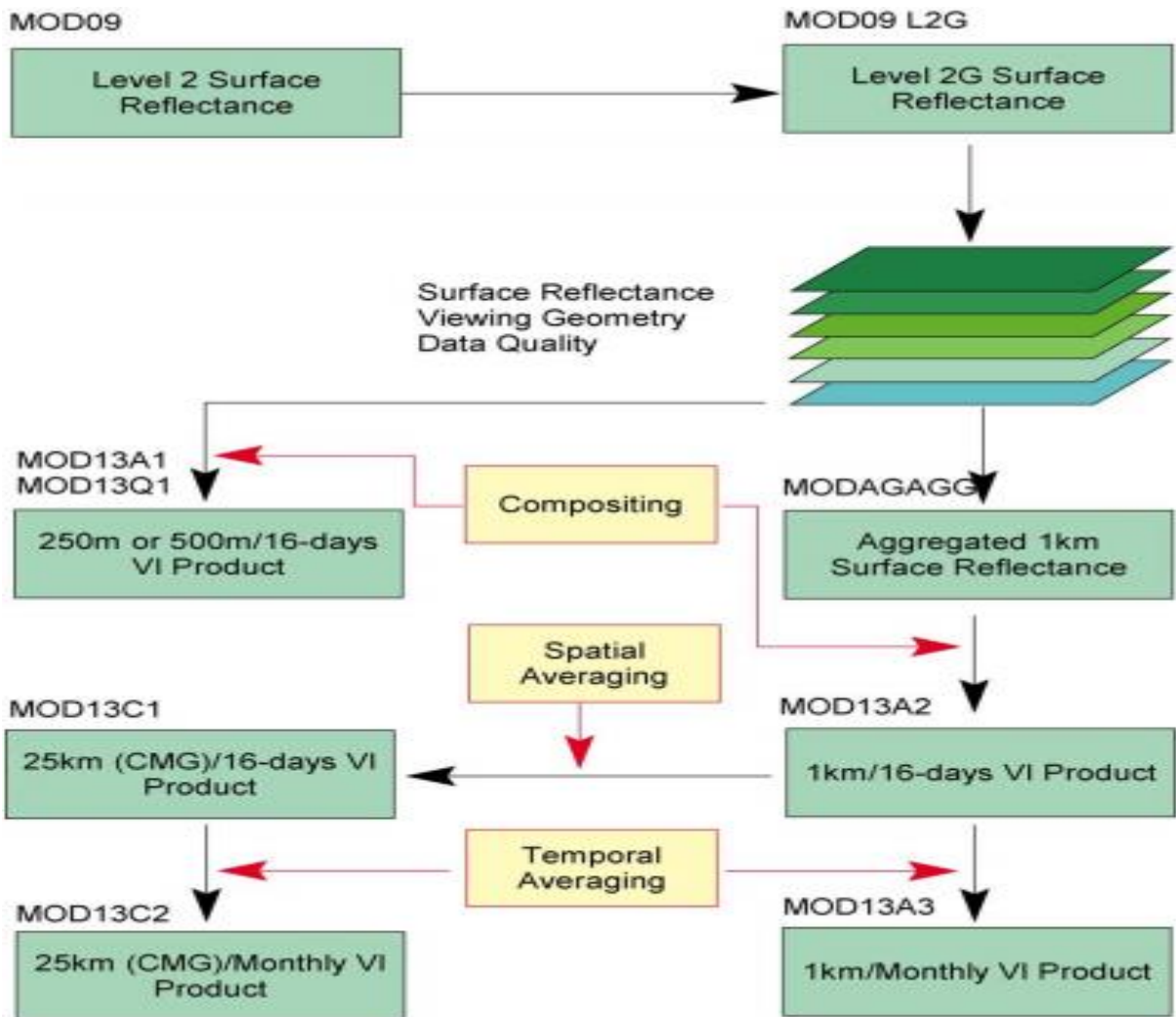


Figura 01 - Diagrama de fluxo dos produtos MODIS VI.

Fonte: (Huete et al., 2002)

Os produtos IVs contam também com a refletância de superfície diária do produto (série MOD09), que são corrigidos para espalhamento, absorção de ozônio e aerossóis (VERMOTE, et al., 2002). Pixels contaminados por nuvens e sensor fora do ângulo de visão do nadir são considerados de qualidade inferior, enquanto que os pixels sem nuvens e dentro da visualização do nadir têm um mínimo residual atmosférico sendo estes, considerados os de melhor qualidade (VAN LEEUWEN et al., 1999).

A metodologia no algoritmo deve fornecer consistência espacial e temporal em valores dos IVs consistentes, com os objetivos de desenvolver uma série temporal de longo prazo, de modo que não haja nenhum viés, que prejudique aos seus registros da série (RODERICK et al, 1996). Conforme a **Figura 02**, o algoritmo de composição dos IVs MODIS consiste nas três

seguintes componentes:

BRDF-C: função de distribuição de refletância bidirecional composto,

CV-MVC: composto de valor máximo de ângulo de visão restrita,

MVC: composto de valor máximo.

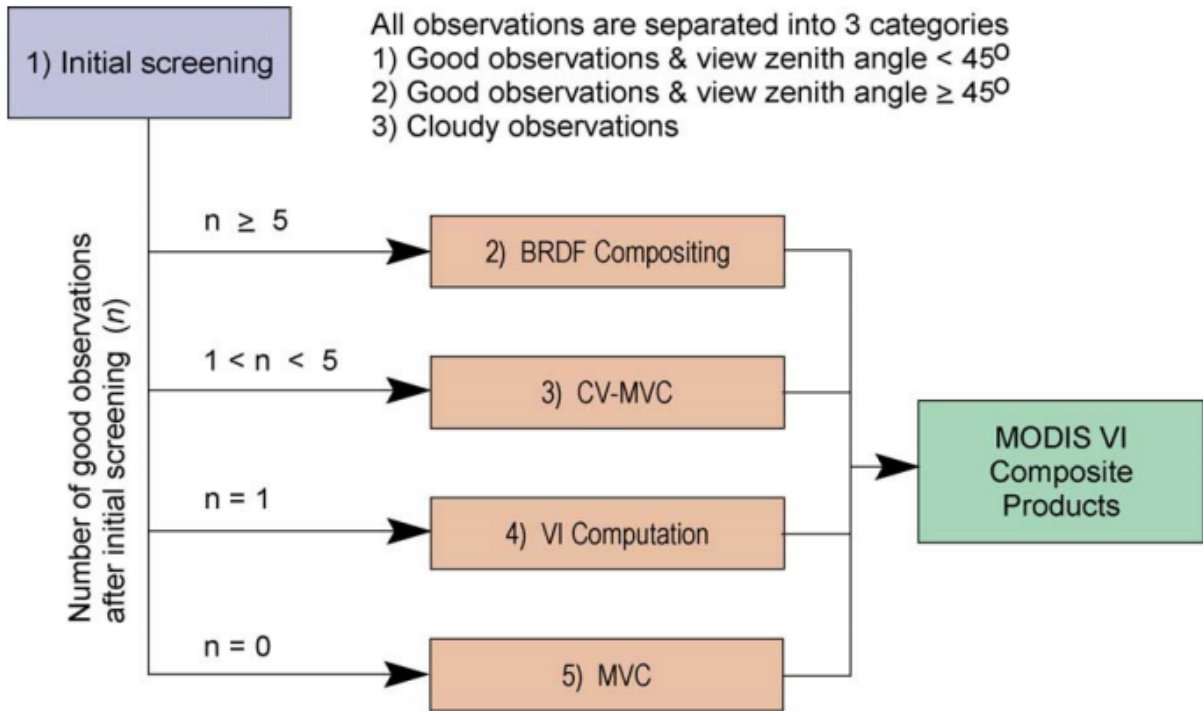


Figura 02 - Diagram of MODIS VI compositing methodology

Fonte: (Huete et al., 2002)

2.2. Evapotranspiração

A ET é um componente importante do ciclo da água e é composta por dois subprocessos: a evaporação das superfícies do solo e da vegetação e a transpiração que consiste na troca de umidade entre a planta e a atmosfera através dos estômatos das plantas (STANHILL e COHEN, 2005). No entanto, a fotossíntese está diretamente relacionada ao processo de transpiração, que tem o papel de resfriar as folhas e transportar água pelo xilema das raízes às folhas para ser utilizada no processo de fotossíntese (THORNTHWAITE, 1944). A transpiração é o processo de perda de vapor de água para atmosfera e sequestro de CO₂ por meio da abertura dos estômatos da planta (SANTOS, 2011).

O algoritmo do produto MOD16 desenvolvido por MU et al. (2011) do sensor MODIS contém conjuntos de dados da evapotranspiração global (ET), calor latente (LE) e potencial (PET) da superfície terrestre com 1 km de resolução espacial e temporal de 8 dias, em intervalos mensais e anuais.

Os dados de ET do MOD16 são estimados usando o algoritmo ET melhorado de (MU et al., 2007a). O algoritmo ET é baseado na equação de Penman-Monteith (MONTEITH, 1965). A superfície terrestre tem uma resistência efetiva à evaporação da superfície da terra e à transpiração do dossel da planta.

A ET na superfície terrestre inclui a evaporação do solo úmido, da água da chuva interceptada pelo dossel antes de atingir o solo, e a transpiração através de estômatos nas folhas e caules das plantas. A evaporação da água interceptada pelo dossel é muito importante para os ecossistemas com um alto IAF. A condutância do dossel para a transpiração da planta é calculada usando o IAF para dimensionar a condutância estomática até o nível do dossel. Para muitas espécies de plantas durante as estações de crescimento, a condutância estomática é controlada pelo Déficit de Pressão de Vapor (VPD) e temperatura mínima diária (Tmin) (OREN et al., 1999; MU et al., 2007b; RUNNING KIMBALL et al., 2005). A Tmin é usada para controlar as estações de crescimento dormentes e ativas para biomas perenes. E as altas temperaturas são frequentemente acompanhadas de altos VPDs, levando ao fechamento parcial ou completo dos estômatos.

Em relação aos dados de entrada na equação de Penman-Monteith, o algoritmo do MOD16 utiliza dados dos produtos MODIS de cobertura e uso da terra da Coleção 4 (MCD12Q1), IAF e Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa (FPAR) da Coleção 5 (MOD15A2) e albedo da Coleção 4 (MOD43C1), todos com 1 km de resolução espacial. As variáveis de saída incluem, 8 dias, mensal e anual ET, LE, PET e controle de qualidade anual de 8 dias (QC_ET). O campo de 8 dias do MOD16A2 QC é proveniente do MOD15A2 no mesmo período. No entanto, o FPAR / IAF contaminado com nuvens tem sido temporariamente preenchido com aqueles que têm bom QC. Para o QC anual de produtos MOD16A3, Zhao et al. (2005) utilizou o método da **Equação 03** para definir um QC_ET anual mais significativo.

$$QC = 100.0 \times NU_g / Total_g \quad (03)$$

Onde:

NUg é o número de dias durante a estação de crescimento, e Totag é o número total de dias na estação de crescimento da planta. A estação de crescimento é definida como todos os dias na qual a Tmin se encontra acima do valor onde os estômatos se fecham. O algoritmo do MOD16 tem um bom desempenho na geração de produtos de dados de ET globais, fornecendo informação crítica sobre os ciclos globais de água e energia terrestres e mudanças no meio ambiente (MU et al., 2007a, 2009, 2011).

O MOD16 utiliza-se da equação de Penman-Monteith para estimativa da evapotranspiração real e potencial. Neste contexto, há dois desafios em estimar a evapotranspiração utilizando imagens de sensoriamento remoto a esta equação: um deles é estimar a condutância estomatal e o outro é estimar a evaporação do solo, que varia de zero a mais de 80% do fluxo de calor latente em regiões com baixo IAF (RUHOFF et al., 2011).

Atualmente, a equação de Penman-Monteith é o método padrão da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) para modelar a evapotranspiração. E baseia-se nas medidas das resistências da superfície e do ar, assumindo que toda a energia disponível para a evapotranspiração das superfícies vegetadas incide diretamente no dossel das plantas demonstrado na **Equação 04** (RUHOFF, 2011).

$$\lambda E = \frac{sA + \rho_a C_p (e_s - e_a)}{s + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \quad (04)$$

sendo:

λE = o fluxo de calor latente ($W\ m^{-2}$), $s = \frac{d(e_s)}{dT}$ a declividade da curva da pressão de vapor saturada (Pa), A = a energia disponível (W, m^{-2}), ρ_a = a densidade do ar ($kg\ m^{-3}$), C_p = a capacidade específica do ar ($J\ kg^{-1}\ K^{-1}$), e_a = a pressão atual de vapor (Pa), e_s = a pressão de vapor na saturação (Pa), r_a = a resistência aerodinâmica ($s\ m^{-1}$), r_s = a resistência da superfície ($s\ m^{-1}$), γ = a constante psicométrica ($Pa\ K^{-1}$).

Em um estudo de validação em duas localidades diferentes no bioma Amazônico, Ruhoff (2011) encontrou uma correlação de 0,50 entre os dados de ET obtidos de um sistema de covariância de vórtices turbulentos e a ET média diária para o período de 8 dias do MOD16, com um erro médio quadrático (RMSE) de 0,97%. Mesmo apresentando baixa correlação, os dados das torres e do algoritmo MOD16 tiveram uma boa resposta sobre a sazonalidade entre as estações secas e chuvosas. Ainda de acordo com Ruhoff (2011) a evapotranspiração em longo prazo (mensal), comparativamente a de 8 dias, apresentou melhor correlação, com 0,7 e RMSE de 18%, reduzido para 5% no dado anual, mostrando consistência ao longo do tempo.

Para estudar a dinâmica espaço-temporal da vegetação é imprescindível compreender do ponto de vista sistemático a relação entre os processos de evapotranspiração e fotossíntese. Os padrões temporais bem definidos, ou seja, a sua rebrota e senescência de que acontece no mesmo ano, são pressupostos baseados na dinâmica da vegetação.

2.3. Fenologia da vegetação

Os processos biofísicos que ocorrem nas plantas são fundamentais para monitorar a dinâmica interanual da vegetação e estimar parâmetros da estação de crescimento (CHEN e PAN, 2002).

A fenologia torna-se um importante indicador para monitorar mudanças na vegetação em função do clima em um ambiente natural (RICHARDSON et al., 2013; CLELAND et al., 2007; SUZUKI et al., 2003). Estudos da fenologia da vegetação são de grande importância para entender a tendência de mudança dos fenômenos sazonais naturais e servir para estudos de produção agrícola e mudanças de cobertura vegetal na superfície terrestre (TANG et al., 2015; WANG, 2012; REN et al., 2017). Segundo Richardson et al., (2013) e Cleland et al., (2007) a fenologia da vegetação é muito sensível às mudanças climáticas, as quais afetam diretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas, bem como os padrões da dinâmica espacial das plantas (STEPHENSON, 1990; LOARIE, 2009; OLMSTEAD e RHODE, 2011).

Além disso, a fenologia da vegetação também é um parâmetro importante para os modelos de processos de superfície terrestre e o ciclo de carbono (WU et al., 2014). O monitoramento preciso da fenologia da vegetação auxilia a explorar as evidências da resposta da vegetação às mudanças climáticas, melhorar a compreensão entre a vegetação e o clima e avaliar com precisão a produtividade da vegetação (ZU e YANG., 2016; PIAO et al., 2006).

Atualmente, os métodos de observação fenológica incluem principalmente observação do solo e monitoramento por sensoriamento remoto (KARLSEN et al., 2008; HMIMINA et al., 2013). O EVI derivado de dados de sensoriamento remoto pode refletir o verde, intensidade metabólica e variação sazonal e interanual da vegetação, e tem sido amplamente utilizado para indicar características da vegetação como cobertura vegetal, tipo de vegetação, bem como para monitorar a variação sazonal das mudanças de vegetação e cobertura da terra (SONNENTAG et al., 2012).

Os métodos utilizados para detectar o início e o final da estação de crescimento com base em dados de séries temporais de EVI contém principalmente as seguintes categorias: método dinâmico ou estático limiar White et al., (1997) e Heumann et al., (2007), método de máxima inclinação Zhang et al., (2004), método de ajuste de curva Zhang et al., (2003) e Duchemin et al., (1999) e método de equação de regressão empírica (MOULIN et al., 1997). Entre esses métodos, alguns são difíceis de aplicar na escala regional, enquanto outros

não têm análises suficientes dos padrões fenológicos para ecossistemas específicos (YU e ZHUANG., 2006).

São utilizadas para derivar parâmetros fenológicos, as séries temporais de imagens de índices de vegetação de sensores como o AVHRR e MODIS e para derivar parâmetros fenológicos o SPOT VEGETATION (GU et al., 2010). Para isso, é necessário analisar a trajetória sazonal do índice de vegetação pixel por pixel para obter algumas métricas fenológicas como: o início e fim da estação de crescimento, o tempo do valor máximo do índice de vegetação e o comprimento da estação de crescimento. Medidas secundárias derivadas destas principais incluem: a taxa de rebrota, a taxa de senescência, intervalo do índice de vegetação e a integral do índice de vegetação no tempo (REED et al., 1994; JONSSON e EKLUNDH, 2004). E os métodos, limiar (*threshold*), derivada (*derivatives*), algoritmos de suavização (*smoothing algorithms*) e modelos (*model fit*) servem para derivar a fenologia da vegetação.

2.4. Análise de Séries Temporais

As séries temporais são conjuntos de observações de variáveis, ordenadas no tempo, e registradas em períodos regulares (MORETTIN e TOLOI, 2004). Neste contexto, utilizou-se esta análise por meio de dados de EVI, ET e precipitação, para buscar padrões e compreender o comportamento não aleatório na série temporal das variáveis de interesse. Esses padrões podem ser detectados em um gráfico da série temporal ou mediante algum outro processo estatístico.

Atualmente existem grandes volumes de dados de sensores de satélite com alta resolução temporal, como por exemplo o AVHRR e MODIS. Dados de séries temporais derivadas de satélite nos auxiliam a entender as interações da dinâmica da vegetação com o clima, e suas tendências ao longo do tempo (KEENAN et al., 2014). O uso de métodos de processamento eficientes para analisar os dados existentes de séries temporais de sensoriamento remoto são importantes para monitoramento e mapeamento da dinâmica da vegetação, contribuindo assim para uma melhor compreensão do sistema climático.

A primeira série temporal de imagens de satélite para estudos de processos dinâmicos da Terra foram disponibilizados a partir de satélites meteorológicos. Foi uma série de satélites lançados pela Administração Oceânica Nacional Americana (*American National Oceanic Administration - NOAA*), que gerou dados diários cobrindo toda a Terra, e permitiu a geração de dados globais de vegetação em tempo quase real.

O primeiro desses satélites meteorológicos a ter bandas adequadas para mapeamento da vegetação foi o NOAA, carregando o sensor AVHRR (ZHU et al., 2012). Uma série de produtos de dados baseados no NDVI, calculado a partir dos canais NOAA 1 e 2, foram desenvolvidos e utilizados para estudar a dinâmica temporal da vegetação do globo terrestre (JUSTICE et al., 1985; TOWNSHEND e JUSTICE, 1986). Esta resolução temporal e espacial é adequada para estudar a dinâmica sazonal e interanual da vegetação em diferentes biomas. Assim, vários estudos de meados da década de 1980 em diante demonstraram como a informação pode ser usada para melhorar a compreensão da dinâmica da vegetação, bem como as classificações de cobertura da terra (DEFRIES e TOWNSHEND, 1994; RUNNING et al., 1994).

Em paralelo, a crescente oferta de alta resolução espacial de dados de sensores com resolução de 10 a 30 m (por exemplo, Landsat e SPOT) e, posteriormente, o desenvolvimento de satélites gerando dados na resolução do medidor (por exemplo, IKONOS, Quickbird, e Worldview), levou a grande parte do desenvolvimento técnico com o foco em métodos para classificar e quantificar dados de alta resolução. Portanto, o desenvolvimento da metodologia de séries temporais em sensoriamento remoto foi inicialmente lenta. No entanto, expandiu-se rapidamente em direção ao início dos anos 2000, com o início da operacionalização dos satélites Terra e Aqua (MODIS) que possuem grandes volumes de dados de séries temporais.

Jonsson e Eklundh em 2002 desenvolveram o *software* TIMESAT, que foi originalmente planejado para lidar com séries temporais ruidosas de dados AVHRR de NDVI e para extrair informações de sazonalidade. Atualmente a ferramenta também possui a capacidade de lidar com diferentes tipos de séries temporais de sensoriamento remoto em diferentes resoluções temporais.

O TIMESAT é um software livre, e surgiu devido a necessidade de gerenciar dados de séries temporais em sensoriamento remoto para ajudar a resolver problemas relacionados para a mudança global e monitoramento dos recursos da vegetação (EKLUNDH e JONSSON, 2015). A comunidade de pesquisa científica estava interessada em resolver uma série de questões relacionadas a séries temporais, tais como: i) regiões com vegetação seca no mundo estão mudando; ii) os dados de satélite podem ser usados para emitir alertas antecipados de seca e fome; iii) como o NDVI responde às mudanças no ambiente; iv) qual a relação com forças motrizes como chuva e temperatura; v) satélites podem ser usados para monitorar absorção de carbono pela vegetação; vi) as estações do ano estão mudando; vii) como a vegetação responde às mudanças climáticas, dentre outras questões (JONSSON e EKLUNDH, 2015). Na verdade,

estes temas e muitos outros relacionados a estas perguntas têm sido o foco de cientistas durante os últimos 30-40 anos.

Todos os valores de dados a serem processados têm um peso associado que pode ser derivado de dados de sinalizador de qualidade do produto ou do algoritmo de Decomposição Sazonal da Tendência por Loess (*Seasonal Trend -STL*). No processamento subsequente, pesos podem ser modificados se o usuário desejar ajustar os dados ao envelope superior. Este é feito reduzindo os pesos dos pontos das funções ajustadas, até um máximo de três iterações. Todo o ajuste de dados é feito usando mínimos quadrados ponderados, o que significa que lacunas curtas são tratadas sem interpolação.

O primeiro método de suavização implementado no TIMESAT foi baseado em Funções gaussianas (JONSONS e EKLUNDH, 2002). O método consiste em funções sazonais ajustadas por partes aos dados e fundidas a um conjunto global de série de dados. Posteriormente, funções logísticas duplas e filtragem Savitzky-Golay foram adicionados (JONSONS e EKLUNDH, 2004). Um exemplo dos resultados executando os três métodos de suavização no TIMESAT são mostrados na **Figura 03**, em que pode se observar que as funções de Gauss e de logística são muito suaves (JONSONS e EKLUNDH, 2015).

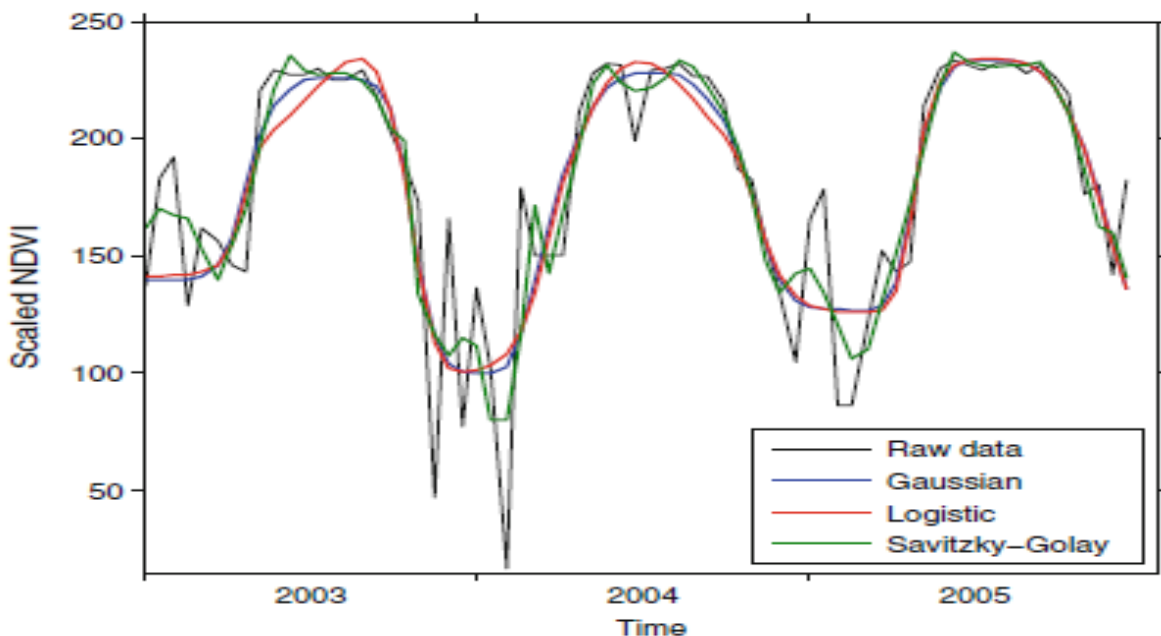


Figura 03 - NDVI/MODIS de uma floresta estacional decidual na Suécia, ajustado no TIMESAT

Fonte: (Jonsons e Eklundh, 2015)

Os métodos de suavização são mais úteis quando os dados são muito ruidosos, dessa forma é possível se impor um padrão (BORGES e SANO, 2014). As funções gaussianas se

adaptam um pouco melhor que as funções logísticas para picos planos, caso contrário, os dois métodos são muito semelhantes (JONSONS e EKLUNDH, 2015). O método de Savitzky-Golay, por outro lado, filtra os dados e segue mais de perto as variações locais na curva sazonal (NHONGO et al., 2017). A implementação de Savitzky-Golay no TIMESAT é adaptável na medida em que iterativamente aperta a janela de pesquisa, a fim de capturar muito rápido aumento ou diminuição dos dados (ARANTES, 2015). Isso é útil ao monitorar por exemplo: prados e semi-áridos, onde o solo pode se esverdear no curso de alguns dias, levando a um aumento muito rápido no índice de vegetação. A suavização dos dados muito ruidosos requer um aumento da janela de pesquisa (EKLUNDH e JONSONS, 2015). Portanto, a filtragem Savitzky-Golay é melhor usada com dados que não têm um ruído extremo.

Hird e McDermid (2009) mostraram que os diferentes métodos no TIMESAT têm bom desempenho, equilibrando a capacidade de reduzir o ruído e manter a integridade do sinal.

Algumas das primeiras evidências do aumento da verdura no Sahel, das secas nos anos de 1980, foi apresentado por Eklundh e Olsson (2003), este aumento foi subsequentemente ligado a variações nos elementos climáticos (HICKLER et al. 2005; OLSSON et al. 2005; SEAQUIST et al. 2009). Nestes estudos o TIMESAT foi usado principalmente para calcular amplitudes e integrais sazonais do NDVI. No entanto, Heumann et al. (2007) também estudaram as mudanças em outros parâmetros no Sahel, como o início eo fim das estações de crescimento.

De outros estudos fenológicos usando o TIMESAT incluem os de Beck et al. (2007), que mapearam a fenologia da floresta de latitude altas em Fennoscandia e na Península de Kola, O'Connor et al., (2012), que mapeou padrões espaço-temporais de estações de crescimento na Irlanda e Boyd et al. (2011), que mapeou a fenologia na Inglaterra usando o índice de clorofila terrestre usando o Espectrômetro de Imagem de Média Resolução (*Medium Resolution Imaging Spectrometer* - MERIS) (DASH et al., 2007). Outros casos de estudos foram conduzidos nos EUA (Zhao et al. 2013), Europa (Han et al. 2013), América do Sul (Van Leeuwen et al. 2013) e nas áreas do Ártico (ZENG et al., 2013). Jonssons et al., (2010) utilizaram o TIMESAT, demonstrando as dificuldades extração de parâmetros fenológicos de dados NDVI/MODIS sobre coníferas boreais florestais. Além disso, alguns distúrbios em padrões fenológicos devido a infestações por insetos também foram analisados por (EKLUNDH et al., 2009; OLSSON et al., 2012; BUMA et al., 2013).

Potanto, o TIMESAT tem sido usado em vários estudos sobre classificação e caracterização fenológica dos ecossistemas (TOTTRUP et al., 2007; CLARK et al., 2010; VAN LEEUWEN et al., 2010; WESSELS et al., 2011; ZHANG et al., 2013; LEINENKUGEL et al.,

2013), modelagem de risco de incêndio (VERBESSELT et al., 2006; VERAVERBEKE et al., 2010; LE PAGE et al., 2010), e para investigar o impacto da variabilidade da vegetação na previsibilidade de um modelo terra-atmosfera (WEISS et al., 2012). Na agricultura, o TIMESAT tem sido usado no mapeamento de campos de cultivo (ALCANTARA et al., 2012).

O TIMESAT foi usado para estimar a temperatura diurna do ar a partir do MSG/SEVIRI Stisen et al. (2007), para estudar a expansão da estação de crescimento térmico e mudança associada na absorção de carbono da biosfera Barichivich et al. (2012), e estudar o impacto da precipitação extrema na redução do ecossistema terrestre (ZHANG et al. 2013).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Materiais

3.1.1. Área de Estudo

Angola está localizada na região sudoeste da África, entre os paralelos 5 e 18 de latitude sul. Seu território se estende entre um litoral de cerca de 1.600 km e 5.000 km de fronteiras terrestres. Limita-se a norte e leste com a República Democrática do Congo (2.511 km), República da Zâmbia (1.110 km), a sul com a Namíbia (1.376 km) e a norte com a República do Congo Brazzaville (201 km). Sua área terrestre é de 1.246.700 km² (equivalente ao estado do Pará no norte do Brasil) dividida em 18 províncias (**Figura 04**).

O número de habitantes é de 24.300.000 e densidade demográfica de 19,49 hab/km², de acordo com o censo populacional realizado pelo INE (2014).

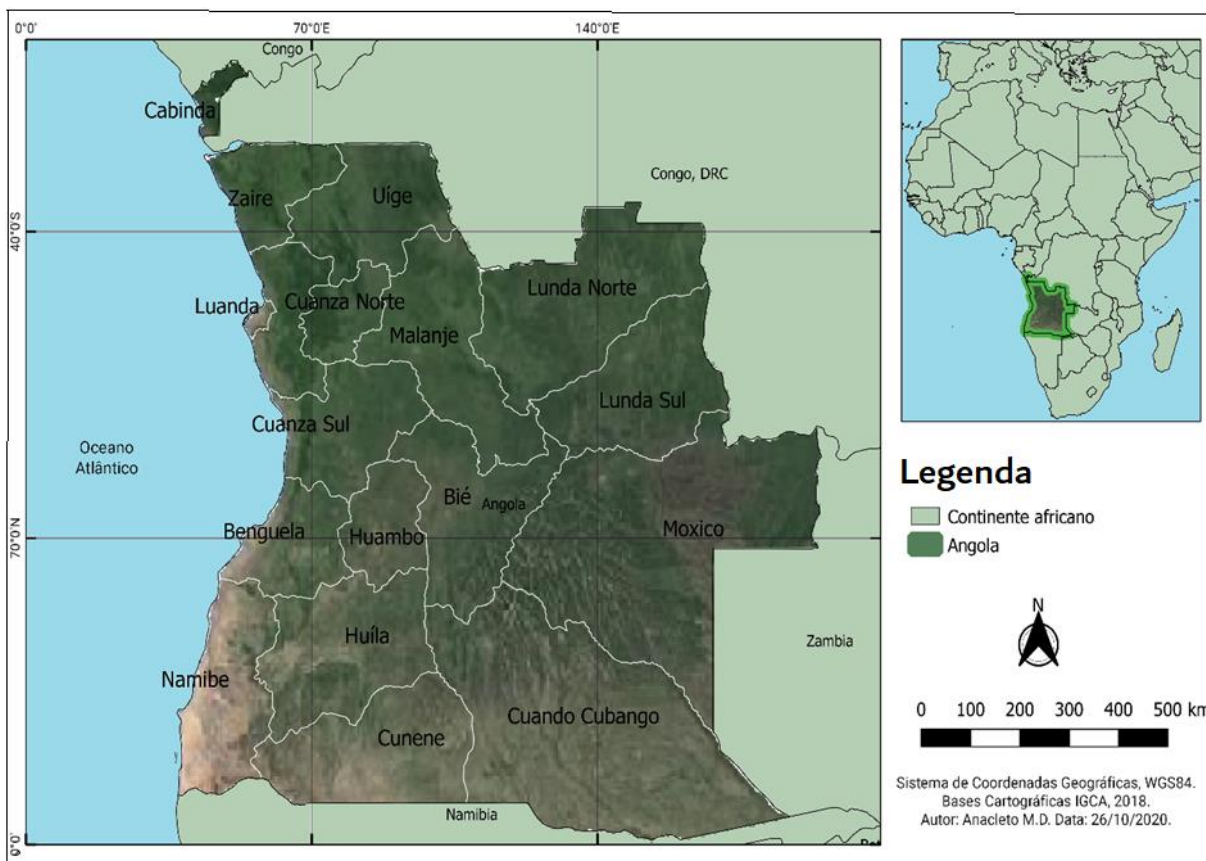


Figura 04 - Mapa de Localização da área de estudo

3.1.2. Clima em Angola

Angola está situada na região tropical do Atlântico Sul, característica que torna o seu estudo de grande interesse. O clima de Angola varia desde a região norte (Cabinda), com clima tropical, até à região sul, caracterizada por condições quase desérticas (Namibe). O país é influenciado pelo anticiclone subtropical Santa Helena e pela ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), e está próximo a uma área de alta variabilidade oceânica (FONSECA e XAVIER, 2009).

A região de afloramento Angola-Benguela é o foco de um grande número de estudos sobre a variabilidade do Atlântico tropical, pois é a fonte dos chamados Benguela Niños (FLORENCHIE et al., 2003). E foi identificada como a origem dos chamados *Atlantic Child* (ZEBIAK, 1993; POLO et al., 2008). Desta forma, ocorrem quantidades mínimas de precipitação na parte ocidental sul do continente, junto ao Deserto do Namibe, devido à presença deste afloramento costeiro. Além disso, as influências dos oceanos Índico e Pacífico foram documentadas na região (FAUCHEREAU et al., 2003).

Ropelewski e Halpert (1987, 1989) relataram uma correlação positiva entre a precipitação da África Austral e a Oscilação Sul. Além disso, conforme identificado por Jury et

al. (2002) a localização próxima da corrente quente das Agulhas ilustra a maior quantidade de precipitação nessas regiões costeiras e a geração de extensas nuvens cumulus diretamente sobre essas regiões. A variabilidade climática do Atlântico Sul é uma das regiões com fortes vieses nos modelos de previsão sazonal. Esta variabilidade é determinada, entre outros, pela posição da ZCIT, do anticiclone de Santa Helena e das condições de anomalia da temperatura da superfície do mar.

Devido à localização de Angola, o conhecimento da época das chuvas e da sua variabilidade ao longo do período de observação é decisivo para dar uma ideia para a compreensão dos sistemas de previsão sazonal. A principal característica do clima em Angola (**Figura 05, 06**) são as suas duas estações: a estação das chuvas e a estação de seca (denominada regionalmente como *Cacimbo*). A segunda é menos quente e vai de maio a agosto. O primeiro, mais quente, costuma durar de setembro a abril.

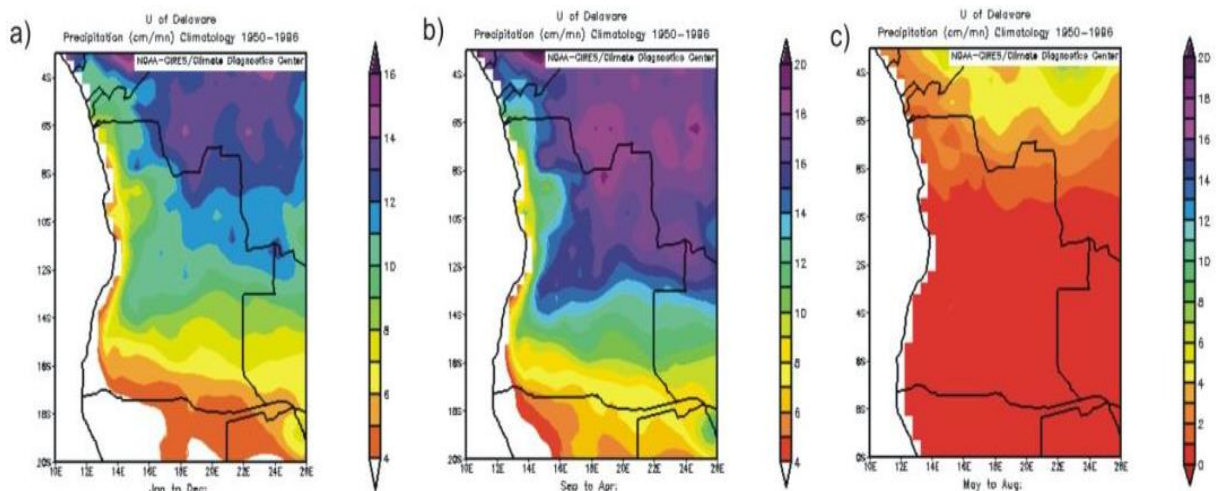


Figura 05 - Precipitação em Angola em cm / mês: (a) Anual; (b) Estação das chuvas (setembro-abril); (c) Estação seca (maio a agosto)

Fonte: (Xavier, 2013)

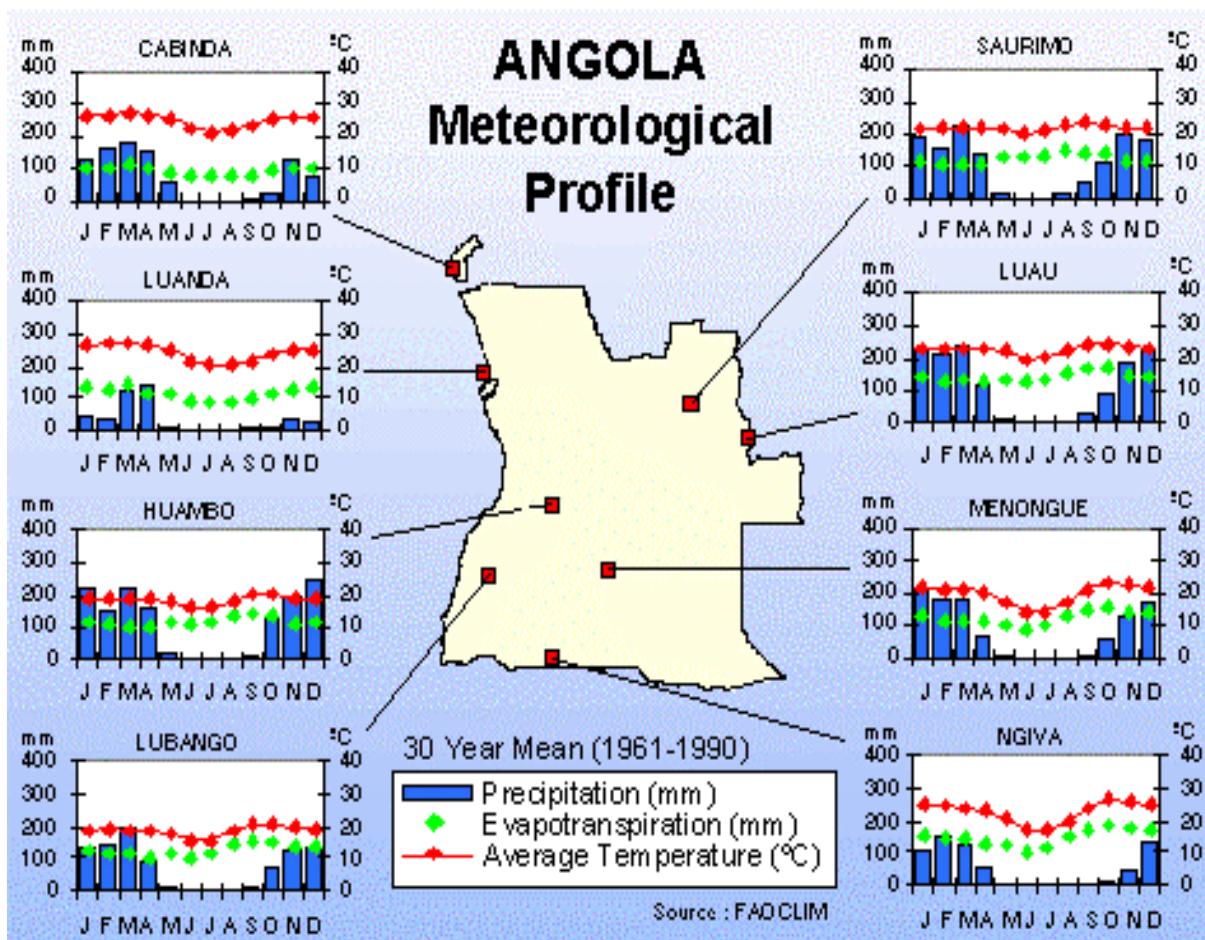


Figura 06 - Climogramas em várias localidades de Angola

Fonte: (Xavier, 2013)

Conforme Xavier (2013), o clima em Angola é descrito a partir de duas regiões climáticas diferentes:

- A região costeira, relativamente húmida, com uma precipitação média anual superior a 600 mm, que diminui à medida que descemos em direcção ao sul, de 800 mm na costa de Cabinda para 50 mm no sul (Namibe), com uma temperatura média acima de 23°C.
- A região do interior, dividida em três zonas: i) a zona norte, com grande pluviosidade e altas temperaturas; ii) a zona de altitude, nos planaltos centrais, caracterizada por temperaturas médias anuais próximas dos 18°C, com temperaturas mínimas acentuadas na estação seca; iii) a área sudoeste, semiárida devido à proximidade do deserto do Namibe. As temperaturas são baixas mesmo durante a estação quente. Esta região está sujeita à influência das grandes massas de ar tropicais continentais.

3.1.3. Características da vegetação de Angola

Nenhuma avaliação abrangente da vegetação do pós-guerra (a partir de abril/2002) existe, embora o Instituto de Desenvolvimento Florestal (IDF) angolano tenha iniciado uma avaliação por satélite da cobertura florestal, os números fornecidos aqui são apenas indicativos.

A representação proporcional dos principais tipos potenciais de vegetação é dada no Quadro 1. Estes números não se aplicam à cobertura vegetal atual, mas à cobertura potencial na ausência de grandes perturbações antropogênicas em outras palavras, áreas urbanas e agrícolas não são consideradas. Por exemplo, o IDF estima que mais de 45% da área de Angola suportaria provavelmente a floresta de Miombo (**Tabela 01**), mas a percentagem real de Angola atualmente coberta pela floresta tropical aberta é menor, muitas das espécies de vegetação desta floresta foi desmatada e substituída pela agricultura, construção urbana, produção de carvão vegetal, entre outros usos.

Com base nestas estimativas, estima-se que 60-70% de Angola tem a capacidade de suportar paisagens dominadas por árvores (ou seja, na ausência de perturbações humanas graves), alcançando 80 a 90% se forem incluídos sistemas de Savana, classificada como Floresta tropical seca. As estimativas da IDF baseam-se na Carta Fitogeográfica de Angola desenvolvida por Barbosa (1970), que divide a vegetação potencial em 32 tipos diferentes, muitos dos quais são mosaicos de diferentes espécies de vegetação.

Tabela 01 - Estimativas de cobertura para categorias amplas de vegetação

Tipo de vegetação potencial	% area total
Floresta tropical aberta (Miombo)	45,4
Floresta tropical seca (savana)	24,2
Mosaico miombo-savana (transição)	19,8
Pastagem / prado	5,2
Estepe	3,1
Floresta Tropical (Maiombe)	2,0
Deserto	0,3

Fonte: (IDF, 2004)

Angola também pode ser dividida em ecorregiões, com base no clima, formas de vida dominantes e afinidades biogeográficas da flora. A **Figura 07** é um mapa generalizado das

ecorregiões básicas de Angola, originalmente de Barbosa (1970). O Miombo formado pelos códigos () apresentados na **Tabela 02** é claramente a ecorregião dominante, enquanto a floresta afro-montana angolana (cuja ocorrência é muito mais rara e irregular, é formada pelo Mosaico Congoliano do Sul da Floresta-Savana e prados naturais representados pelos códigos (), respectivamente.

Em termos de diversidade de espécies, endemismo e ameaça de desmatamento, a floresta Afro-montana é de particular importância, mas porém, atualmente não existe nenhuma unidade de conservação dentro dessa ecorregião. Além disso, de acordo com o Ministério do Urbanismo e Ambiente de Angola (MUA) há uma necessidade urgente de se realizar inventários biológicos e avaliações da paisagem do potencial de conservação na Floresta Afro-montana e no Mosaico Congoliano do Sul (MUA, 2006).

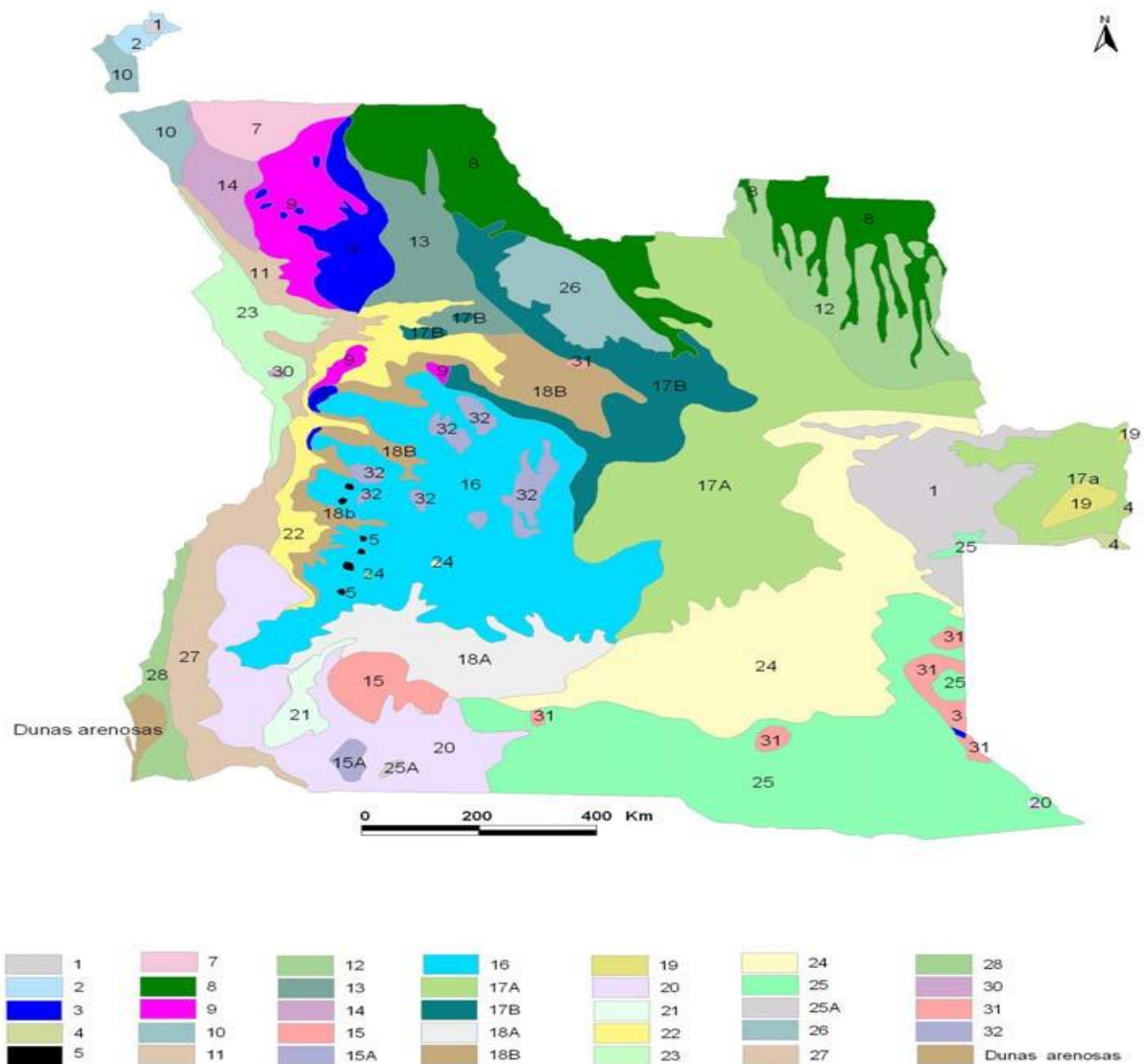


Figura 07 - Mapa Fitogeográfico de Angola

Fonte: (MUA, 2006)

Tabela 2 - Distribuição dos tipos de vegetação natural de Angola

Tipos de vegetação	Área (km²)	% da área total de vegetação
1 Floresta húmida de nevoeiros, sempervirente, poliestrata, de baixa altitude, guineense	525	0,04
2 Floresta húmida, semidecídua, poliestrata, de baixa altitude, Periguineense	2.745	0,22
3 Floresta húmida de nevoeiros, semidecídua, poliestrata, guineense- zambeziaca, mesoplanáltica: Floresta cafeeira, secundarizada	20.427	1,65
4 Floresta seca, densa, sempervirente	280	0,02
5 Floresta húmida, semidecídua, predominantemente planáltica e sub-montanha	280	0,02
6 Floresta-reliquia, seca, de resinosas, montana (sem representação)	0	0,00
7 Mosaico periguineense, com manchas de floresta densa ("Pachy") e savana, de baixa altitude	13.138	1,06
8 Mosaico de: floresta densa, ribeirinha "Muxitos", periguineense, em aluviões; bosque e savana, zambeziaco-guineenses	82.392	6,64
9 Mosaico de savana zambeziaca e floresta cafeeira	27.797	2,24
10 Mosaico de floresta mista, em terra firme (ou palustre) e, savana, sublitorais	11.247	0,91
11 Mosaico de floresta seca, predominantemente decídua, digitada e savana seca de baixa altitude	14.379	1,16
12 Mosaico de "chanas de borracha" sufrutescentes, áridas, savana e "Muxitos" de altitude média	46.546	3,75
13 Mosaico de balcedos e savanas	27.397	2,21
14 Mosaico de balcedos e savanas, mesoplanálticos e sublitorais	12.176	0,98

Tipos de vegetação	Área (km²)	% da área total de vegetação
14 A Mangal arbóreo ou arbustivo	280	0,02
14 B Estepes, balcedos e savanas, litorais	80	0,01
14 C Vegetação dos escarpados	1.390	0,11
15 Bosque e balseado alto, decíduo, das altitudes médias	17.543	1,41
16 "Miombo", savanas e "ongote"	138.428	11,16
17 A "Miombo" mediano ou alto, de 10-20(25) m	165.144	13,31
17 B "Miombo" mediano	57.717	4,65
18 A "Miombo" ralo e savana dos declives mesoplanálticos	40.855	3,29
18 B "Miombo" ralo e savana dos declives mesoplanálticos	32.694	2,63
19 "Miombo" mediano do planalto continental	5.648	0,46
20 Bosque seco, decíduo, e mosaico de savana e estepe	66.538	5,36
21 Bosques secos, baixos e anões, e vegetação rupícola	8.011	0,65
22 Bosques e savanas de árvores baixas, arbustos e capins altos	27.968	2,25
23 Mosaico de savanas, estepes e balseados xerófitos, com ou sem árvores dispersas, sublitorais	21.229	1,71
24 Mosaico de savanas herbosas ou com arbustos, e bosques secos, semidecíduos	119.161	9,60
25 Mosaico de savanas, com ou sem árvores e arbustos, e bosques secos, semidecíduos	141.432	11,40
26 Mosaico de savanas e retalhos de bosques altos e de floresta tropófito	24.053	1,94
27 Formações estepóides, sublitorais, arbustivas e herbosas	34.964	2,82
28 Formações estepóides e estepes litorais, ralas, descontínuas, de ciclo de vegetação efémero	10.695	0,86
29 Vegetação desértica, esporádica acantonada	3.765	0,30
30 Prado palustre	1.283	0,10
31 Prado dos planaltos arenosos, com drenagem deficiente	50.388	4,06

Tipos de vegetação	Área (km²)	% da área total de vegetação
32 Prados de altitude ou "Anharas do alto"	12.258	0,99
TOTAL	1.240.853	100,00

Fonte: (MUA, 2006)

3.1.4. Dados MODIS e CHIRPS

Neste estudo foram utilizados dados de vegetação e evapotranspiração do MODIS e dados meteorológicos do CHIRPS.

As imagens são disponibilizadas gratuitamente incluindo produtos com efeitos atmosféricos compensados, ortoretificado e convertidos para reflectância. Dentre os vários produtos do sensor MODIS utilizaram-se os produtos MOD13 (índice de vegetação), MOD16 (evapotranspiração) de um período de 18 anos, desde 01 de Janeiro de 2001 até 31 de Dezembro de 2018.

As imagens referentes aos dados do produto MOD13 e MOD16 foram retiradas por meio da plataforma *AppEARS/Earthdata Search* da *EOSDIS* (search.earthdata.nasa.gov/search) no formato GEOTIFF e com a respectiva delimitação para Angola. Para o MOD13, foi utilizado o índice EVI para os quadrantes (*tiles*) H19V10, H19V09, H20V10 e H20V09.

O conjunto de dados meteorológicos do CHIRPS baseia-se em abordagens de técnicas de interpolação automática e de alta resolução (0,05°), de um longo período de estimativas de precipitação no infravermelho baseadas nas baixas temperaturas do topo da nuvem, e combinando dados de estações interpoladas para produzir uma análise preliminar (FUNK et al., 2015). Estes dados de precipitação para o período de 18 anos de análise foram adquiridos no portal (chg.geog.ucsb.edu/data/chirps), e as imagens obtidas foram recortadas para Angola.

Na **Figura 08a** observa-se o processo CHIRPS que envolve três componentes principais: i) o *Climate Hazards group Precipitation climatology* (CHPclim), ii) o *Climate Hazards group Infrared Precipitation* apenas por satélite (CHIRP) e iii) o procedimento de combinação de estações que gera o CHIRPS. E na **Figura 08b** é mostrado um mapa global de validação usado para avaliar o seu desempenho durante a estação de precipitação mais chuvosa de cada local.

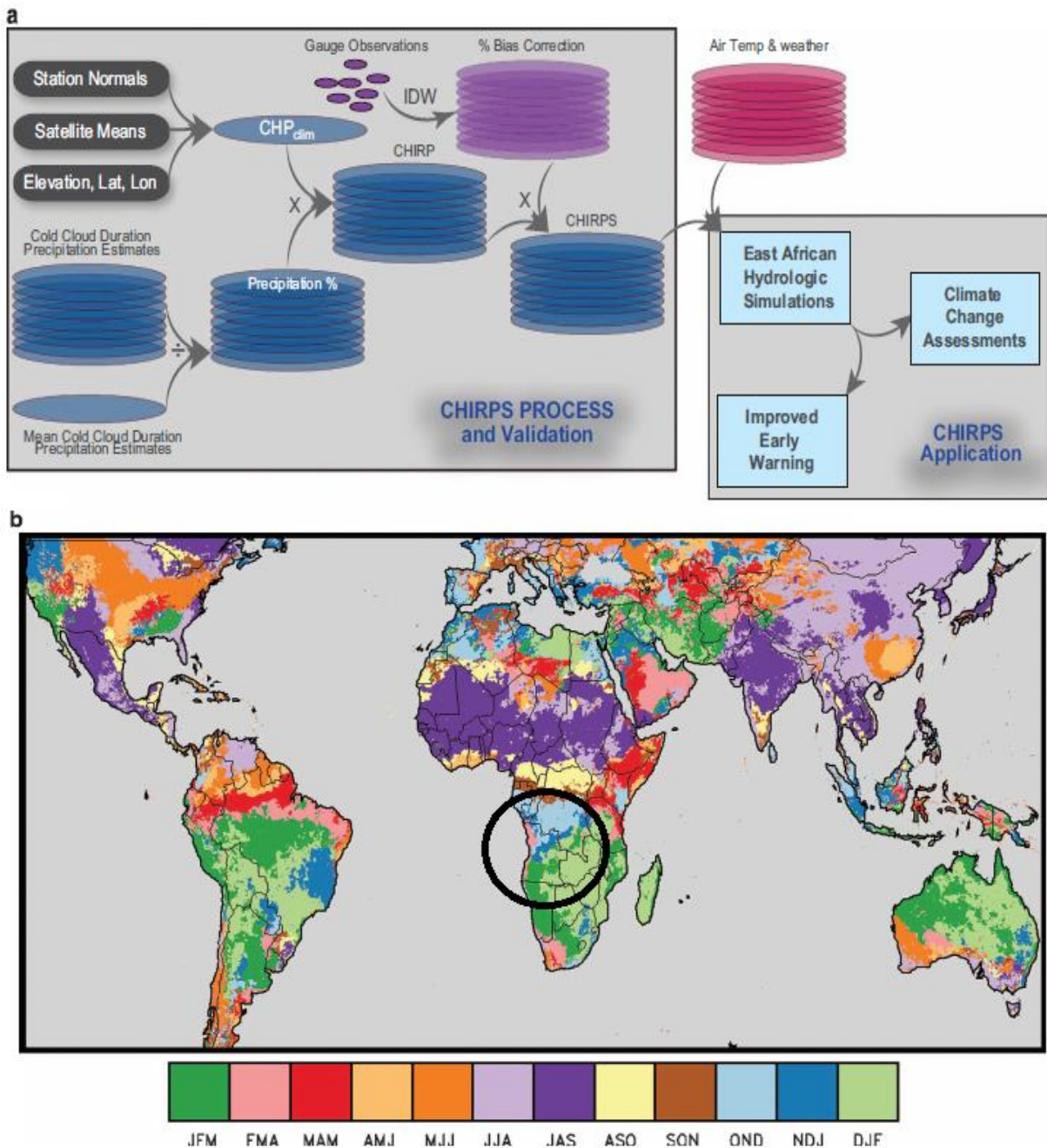


Figura 08 - Visão geral do processo CHIRPS e validação. (a) Produção CHIRPS e esquema de aplicação. (b) Mapa mostrando as estações de três meses mais chuvosas com base no CHPclim

Fonte: (Funk et al., 2015)

Para este trabalho foi usado o CHPclim, pois foram criados a partir de dois conjuntos de médias mensais históricas de precipitação de longo prazo. O primeiro conjunto foi uma coleção de 27.453 estações mensais obtidas do *Agromet Group of the Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO). O segundo conjunto de 20.591 estações foi retirado

da segunda versão da *Global Historical Climate Network* (GHCN). Além dos indicadores fisiográficos tipicamente usados em climatologia (altitude, latitude e longitude), o CHPclim também inclui informações de campos médios mensais de cinco produtos de satélites: estimativas de precipitação de microondas da *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), estimativas de precipitação da *NOAA CPC Morphing Technique* (CMORPH) baseadas nas bandas do infravermelho e microondas, temperaturas médias mensais do infravermelho termal e a estimativa de temperatura da superfície terrestre. Todos os produtos são reamostrados para uma grade de 0,05°.

3.2. Metodologia

3.2.1. Classificação da vegetação de Angola

O banco de dados utilizado para a classificação da vegetação de Angola foi composto por imagens orbitais e dados de relevo. A imagem de reflectância MODIS (500m de resolução espacial e composição de 16 dias) que já apresenta correção atmosférica, datada em 05/08/2018 foi processada no software ArcGIS 10.3 nos formatos raster (.tif). Os dados de relevo foram obtidos da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) disponibilizados pelo *United States Geological Survey* (USGS), resultando em Modelos Digitais de Elevação (MDE) com resolução espacial de 30 m. A partir do MDE foi gerado a grade de declividade, utilizando a extensão *Spatial Analyst* do ArcGIS 10.3.

No software *Ecogtion Developer*, a partir da abordagem de classificação orientada a objeto *Geographic Object-Based Image Analysis* (GEOBIA - *Geographic Object-Based Image Analysis*), foi gerada a segmentação da imagem para dois níveis de escala de segmentação: nível de fitofisionomia (N1) e uso e cobertura da terra (N2), com a finalidade de avaliar a cobertura vegetal em duas escalas de nível de classificação. Desta forma, observou-se o comportamento da vegetação nos dois níveis de classificação. Foi usado o algoritmo *multiresolution segmentation*, para criação do tamanho apropriado dos objetos presentes na imagem, separando cada feição para os dois níveis. Os parâmetros de forma e compacidade dos objetos utilizados para cada nível da imagem estão relacionados na **Tabela 03**. O campo forma, que varia de 0 a 1, modifica a relação entre os critérios de homogeneidade espacial e informação espectral e a compacidade modifica os critérios de contorno (PIAZZA e VIBRANS, 2014).



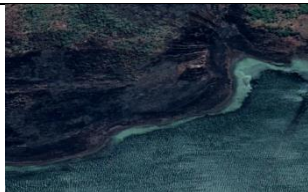
Tabela 03 - Tipos de parâmetros utilizados pelo algoritmo *multiresolution segmentation*

Níveis	Parâmetro de Escala	Forma	Compacidade
N1	350	0.1	0.5
N2	10	0.1	0.5




Com base na interpretação visual das imagens (**Tabela 04**) e no mapa fitogeográfico de Barbosa (1970) (**Figura 07**), definiu-se os atributos para maior separabilidade entre as classes de classificação, através da ferramenta *Edit Standard Nearest Neighbor Feature Space* (**Tabela 05**). Desta forma, foram definidas as seguintes classes para cada nível:

- **N1:** Dunas arenosas, Floresta úmida, guineense-periguineense, Floresta úmida, planáltica e sub-montanha, Formações estepóides sublitorais, arbustivos e herbosas, Miombo mediano, Mosaico de Floresta densa, periguineense, zambeziaco-guineense, Mosaico de savana e floresta tropófito.
- **N2:** Agricultura, Arbusto de folha caduca, Bosque caducifólio aberto, Bosque caducifólio fechado, Deserto, Floresta, Floresta-Vegetação natural, Savana Herbácea com árvores esparsas e arbustos, Solo exposto e Corpos d'água.



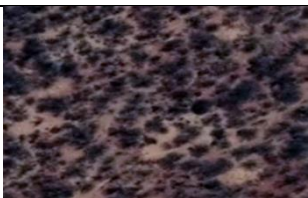
Tabela 04 - Chave de interpretação das classes de Fitofisionomia e de Uso e Cobertura da Terra

NÍVEL FITOFISIONOMIA		
Classe temática	Chave de interpretação	Descrição
Dunas arenosas		Área com grandes volumes de areia (litorânea e desértica)
Floresta úmida, guineense-periguineense		Vegetação associada à volumes de água, localizadas maioritariamente na província de Cabinda
Floresta úmida, planáltica e sub-montanha		Vegetação associada à volumes de água e alto relevo, localizadas maioritariamente nas províncias do Huambo e Huíla

NÍVEL FITOFISIONOMIA

Classe temática	Chave de interpretação	Descrição
Formações estepóides, sublitorais, arbustivos e herbosas		Áreas com formações estepóides e arbustivos, podendo ser encontrados maioritariamente nas regiões costeiras do atlântico de Angola
Miombo mediano		Espécie de vegetação típica da região sul de África. Em Angola é encontrada principalmente nas regiões sudoeste e leste
Mosaico de floresta densa, periguineense, zambeziaco-guineense		Florestas tipicamente fechadas e úmidas, encontradas na região norte de Angola
Mosaico de savana e floresta tropófitas		Formações de vegetação adaptadas às variações de umidade, presente em todo o território angolano

NÍVEL COBERTURA E USO DA TERRA

Classe temática	Chave de interpretação	Descrição
Agricultura		Áreas com plantios diversos e agricultura familiar
Corpos d'água		Áreas aquosas (pequenos lagos e lagoas)
Arbustos de folha caduca		Formações vegetais mais envelhecidas, encontradas na região sudoeste de Angola

NÍVEL COBERTURA E USO DA TERRA








Classe temática	Chave de interpretação	Descrição
Bosque caducifólio aberto		Áreas de mata aberta, localizadas na faixa central e sul de Angola
Bosque caducifólio fechado		Áreas de mata fechada, encontradas maioritariamente no centro (Província do Huambo) e leste (Província do Moxico)
Deserto		Área desértica, denominada como “Deserto do Namibe”, localizada na Província do Namibe
Floresta		Áreas com alta densidade de árvores, maioritariamente encontradas na Província de Cabinda (norte do país)
Floresta-Vegetação natural		Áreas cobertas com vegetação nativa nos diferentes estágios de vegetação
Savana Herbácea com árvores esparsas e arbustos		Predomínio de vegetação herbácea (normalmente rasteiro) e pequenas árvores e arbustos bastante espaçados entre si
Solo exposto		Áreas totalmente abertas sem qualquer plantio ou espécie de vegetação

Tabela 05 - Tipos de atributos utilizados pelos dois níveis de classificação na ferramenta *Standard Nearest Neighbor Feature Space*

Feição dos objetos	Tipos de feição
Medidas de camada	Média das bandas, diferença máxima de valores e desvio-padrão das bandas.
Geometria	Área poligonal, compacidade e arredondamento, com base em polígonos e desvio padrão de comprimento de arestas.
Caracterizado	Reflectância da Superfície

A construção de uma rede semântica baseou-se na análise de atributos e definição de um grupo de regras (algoritmos baseados nas funções de pertinência), organizadas em uma sequência para ser aplicada sobre o conjunto de objetos obtidos pela segmentação visando discriminar a classe correspondente. A execução de um algoritmo representa um único processo, ou seja, um conjunto de regras que fornece uma solução para um problema específico da análise da imagem. Um conjunto de regras é uma sequência de processos que são executados em uma ordem definida. A sequência de processos estabelecida para a classificação no *eCognition* é denominada árvore de processos (*tree process*).

A árvore de processos elaborada permitiu a realização dos procedimentos em etapas. A cada etapa, uma subclasse foi analisada, e os objetos que pertenciam a ela foram classificados. Na etapa subsequente, a análise e a classificação da subclasse seguinte foram realizadas considerando apenas o conjunto de objetos ainda não classificados nas etapas anteriores. Ao final da classificação, as subclasses foram agrupadas em suas respectivas classes, utilizando-se a ferramenta *Class Hierarchy*, que possibilitou o agrupamento das subclasses em uma estrutura hierárquica para cada nível de classificação.

As classes de N1 e N2 utilizadas neste trabalho foram escolhidas de maneira que fosse possível identificá-las na imagem, de acordo com as resoluções espacial, temporal e espectral disponíveis. Dessa forma, a legenda escolhida foi generalizada e aplicada a toda a imagem. Por outro lado, o mapa fitogeográfico de Barbosa (1970) (**Figura 07**) permitiu especificar estas classes para alguns pontos e detalhar os tipos de vegetação.

Foi utilizado o programa ArcGIS 10.3 (ESRI) para sobrepor a classificação realizada aos dados orbitais, que compreendem um plano de informação (PI) que contém polígonos das áreas identificadas e classificadas. Com uma amostragem aleatória e distribuída por toda a área

de estudo para a realização de uma análise sem viés, os dados foram usados como uma referência para uma análise preliminar dos acertos e erros da classificação. Seu uso justificou-se pela qualidade, apresentando um fiel retrato da realidade. Desta forma pode-se verificar as etapas do processo da classificação através da **Figura 09**.

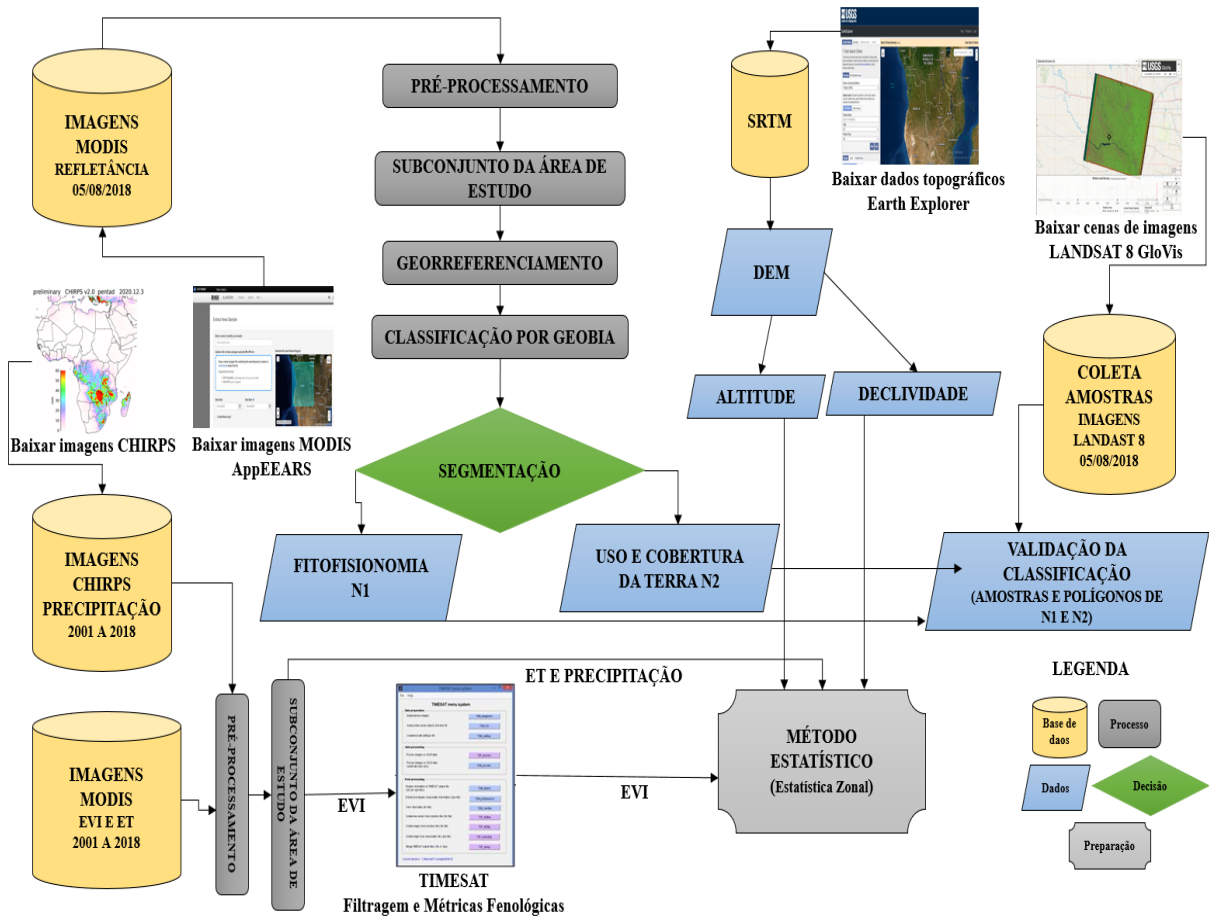


Figura 09 - Processos da classificação

Depois dos processos de classificação dos mapas de fitofisionomia e de cobertura e uso da terra os dados foram exportados para o Envi 5.3 para a validação, sendo utilizados os polígonos de cada nível de classificação e imagens de satélite Landsat 8 OLI, totalizando 168 polígonos para as classes de fitofisionomia e 3.846 para as classes de cobertura e uso da terra (**Figura 10**), calculados com erro amostral de 8%, nível de confiança 92%, considerando o método de Gonçalves et al. (2015). Os polígonos de cada nível da classificação foram utilizados para determinar as áreas e porcentagens pertencentes a cada classe de vegetação.

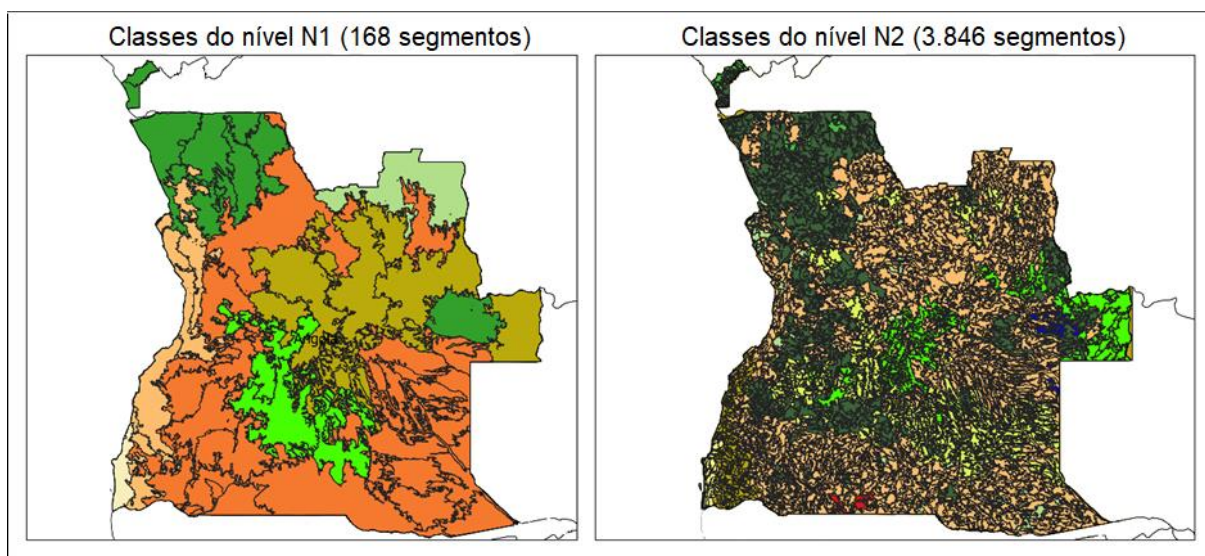


Figura 10 - Distribuição espacial dos polígonos dos dois níveis de classificação

Considerando a afirmação de Foody (2002) de que no mapeamento temático de imagens de sensoriamento remoto, a acurácia é utilizada para expressar o grau de correção de um mapa ou classificação, utilizou-se a estatística de Kappa que de acordo com Fitzgerald e Lees (1994) é um método estatístico utilizado na avaliação da precisão de classificação. De acordo com os intervalos de Landis e Koch (1977) neste trabalho utilizou-se o índice Kappa para avaliação das imagens classificadas e analisadas.

3.2.2. Métricas fenológicas da vegetação de Angola

As bandas de imagens das séries temporais dos dados de EVI foram extraídas para o processamento da série temporal, do qual foi realizado em cinco etapas:

- i) Estimativa de tendência temporal usando polinômios de segunda ordem, por meio do algoritmo STL para se adaptar melhor às tendências dos dados não lineares;
- ii) Pré-filtragem dos dados, sendo um passo importante para eliminar *outliers* (valores extremos) através de dados medianos filtrados e definidos;
- iii) Determinação do número de estações de crescimento, usando o método harmônico sinusoidal e um limite de amplitude definido através da **Equação 05**.

$$f(t) = C_1 + C_2 \text{sen}(\omega t) + C_3 \text{cos}(\omega t) + C_4 \text{cos}(2\omega t) + C_5 \text{cos}(2\omega t) \quad (05)$$

Onde: t é o tempo, $\omega = 2\pi/N$, N é o número de observações por ano, C são os ajustes ponderados. O modelo fornece mínimos e máximos dando a localização aproximada das estações. Embora em princípio, várias épocas por ano possam ser determinadas, o número

máximo de estações anuais no TIMESAT é limitado para apenas duas. A razão para isso é que o ruído nos dados de sensoriamento remoto faz com que a determinação das estações do ano, sejam altamente incertas;

- iv) Suavização dos dados feita através das funções Gaussianas/Logísticas. As funções Gaussianas/Logísticas foram usadas por serem muito suaves, e porque reforçam um padrão em forma sinusoidal nos dados, sendo úteis para dados que são muito ruidosos. Este método poderá ajustar as funções do modelo local aos dados em intervalos em torno dos máximos e mínimos das estações de crescimento da vegetação como pode ser observado nas **Equação 06 e 07**.

$$f(t) \equiv f(t, c, x) = C_1 + C_2 g(t; x) \quad (06)$$

Onde: os parâmetros lineares $c = (c_1, c_2)$ determinam o nível de base e a amplitude, enquanto, os parâmetros não lineares $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ determinam a forma da base função $g(t; x)$.

A função gaussiana assimétrica é definida como:

$$g(t; x_1, x_2, \dots, x_5) = \begin{cases} \exp \left[-\left(\frac{t-x_1}{x_2}\right)^{x_3} \right] & \text{se } t > x_1 \\ \exp \left[-\left(\frac{x_1-t}{x_4}\right)^{x_5} \right] & \text{se } t < x_1 \end{cases} \quad (07)$$

Onde x_1 determina a posição do máximo ou mínimo, x_2 e x_3 determinam a largura e o nivelamento da metade da função direita; x_4 e x_5 determinam a largura e nivelamento da metade esquerda.

A função gaussiana e logística é definida como de acordo com a **Equação 08**.

$$g(t; x_1, x_2, \dots, x_4) = \frac{1}{1 + \exp \left(\frac{x_1 - t}{x_2} \right)} - \frac{1}{1 + \exp \left(\frac{x_3 - t}{x_4} \right)} \quad (08)$$

Onde x_1 e x_3 determinam as posições dos pontos de inflexão esquerda e direita, e x_2 e x_4 determinam as taxas de mudança nesses pontos.

- v) Manipulação dos parâmetros sazonais para as estações extraídas, feita com base nos limites já definidos para determinar o início e o fim das estações, usando valores absolutos ou frações da amplitude. Ao definir esses valores, o TIMESAT manipulou cinco parâmetros para cada estação: tempos de início e fim da estação; comprimento da estação; taxa de rebrota e taxa de senescência (**Figura 11**).

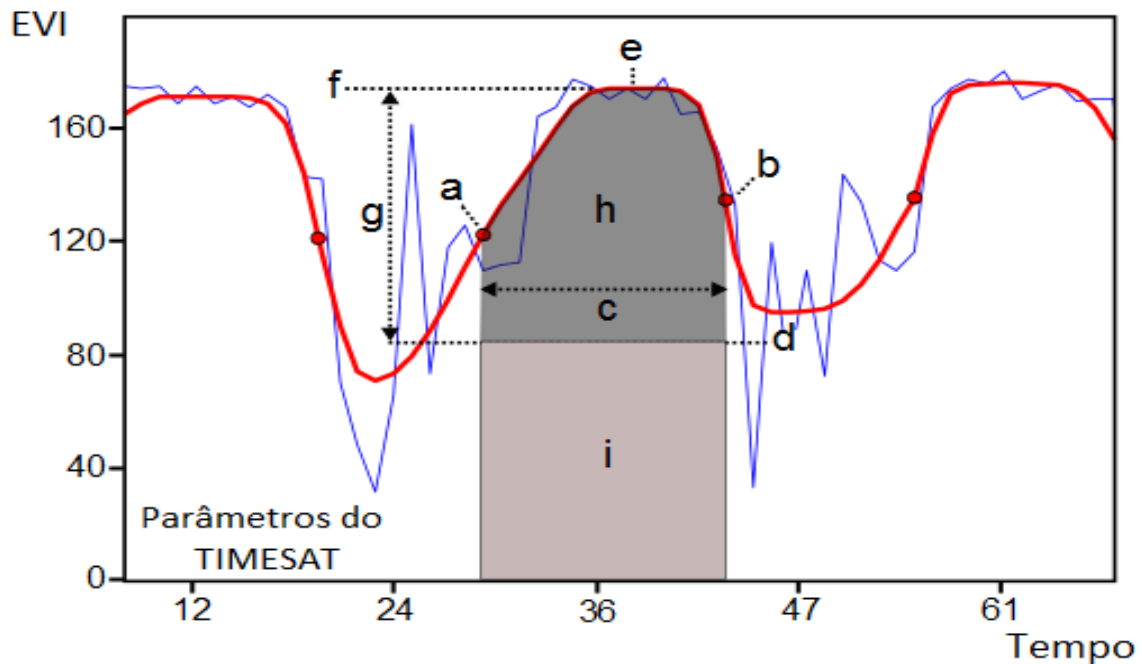


Figura 11 - Parâmetros de sazonalidade gerados no TIMESAT: (a) início da estação (b) final da estação, (c) comprimento da estação, (d) valor mínimo, (e) tempo do meio da estação, (f) valor máximo (g) amplitude, (h) pequeno valor integrado, (h + i) grande valor integrado. A linha em vermelho é o resultado do filtro aplicado sobre o perfil original (linha em azul)

Fonte: (Adaptado de Jonsson e Eklundh, 2015)

Os resultados do processamento das séries temporais de imagens no TIMESAT consistem em dados suavizados e parâmetros de sazonalidade para cada estação de crescimento. Esses são apresentados como dados em formato texto (ASCII), gráficos para pixels, ou como imagens completas para cada intervalo de tempo em parâmetros de sazonalidade, foi usado este último para este trabalho.

3.2.3. Análise espacial da fenologia de vegetação, precipitação e ET

Para analisar as variações da fenologia de vegetação e dos dados de umidade (precipitação e evapotranspiração) foi calculado os parâmetros de tempo de início da estação, final da estação e comprimento da estação para os dados de umidade, taxa de rebrota e a taxa de senescência das imagens EVI para o período da série temporal.

A ET foi dividida pela Evapotranspiração potencial (ETP) para reduzir diferenças locais, oriundas da variação latitudinal da radiação, denominada de ET normalizada (ETn). Em seguida, foi calculado os valores máximos, mínimos e a amplitude das imagens de precipitação do CHIRPS e ETn que representam a SOS, EOS e o comprimento das estações de crescimento.

3.2.4. Análise das métricas de vegetação, precipitação, ETn e MDE

Para analisar como as variáveis do meio físico e das métricas da vegetação estão associadas com as classes fenológicas da vegetação (N1) e de uso e cobertura da terra (N2) foi utilizada a estatística zonal (*Zonal Statistics*) do software ArcGIS 10.3. O objetivo foi entender como os dados de altimetria, declividade, precipitação, evapotranspiração, além das métricas da vegetação obtidas pelo EVI estão correlacionados espacialmente com os dois níveis de classificação N1 e N2. Para isso, além dos valores mínimos e máximos também foram analisados os parâmetros estatísticos descritos na (Tabela 06).

Tabela 06 - Parâmetros estáticos utilizado na análise espacial

Descrição	Fórmula
Média	$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$
Desvio Padrão	$S = \sqrt{\frac{\sum X_i - \bar{X} ^2 \cdot f_i}{N}}$
Variância	$S^2 = \frac{\sum X_i - \bar{X} ^2 \cdot f_i}{N - 1}$
Amplitude	$Amplitude = V_{m\acute{a}x} - V_{m\acute{i}n}$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Altitude e Declividade de Angola

Um cinturão costeiro ondulante de baixa altitude (29-456 m) se estende do norte até ao sul de Angola, como pode ser observado na (Figura 06a). Segundo MUA (2006) esta unidade é composta por rochas sedimentares e sedimentos fracamente consolidados, varia em largura de 200 km a sul de Luanda a cerca de 10 km entre Benguela e Namibe. À leste, uma faixa gravada profundamente separa o cinturão costeiro do planalto interior e áreas montanhosas. Essa unidade de transição, incluindo xistos, arcoses e quartzitos varia de 200 a 500 m de altitude e de 60 a 250 km de largura. Geomorfologicamente, é composto de sedimentos no sul árido e colinas residuais e vales estreitos que ganham altitude mais para o interior. Nos trechos

meridionais, o cinturão de transição inclui inselbergues e maciços que se elevam 1.000 m acima do nível da base regional (BARBOSA, 1970).

Uma protuberância de elevação entre 1.500 e 2.000 m localizada na região centro-oeste do país é conhecida como planalto central (AGUIAR e DINIZ, 1972). Essa é uma superfície erosiva rolante, constituída principalmente por rochas complexas de embasamento, como gnaise, granito e migmatito. Considerando a hidrologia regional de Angola, o planalto central é uma unidade terrestre extremamente importante.

A (Figura 06b) demonstra que a Angola possui baixa declividade em 78% de sua área, constituída de regiões planas (51%) a suavemente onduladas (30%). Isso evidencia o intenso grau de entalhamento da região, resultado das ações erosivas que desgastaram o relevo. As áreas que concentram as inclinações mais elevadas (11% de relevo ondulado com, 5% forte ondulado e 3% montanhoso) são aquelas que também possuem as maiores cotas altimétricas (divisores de água), como é o caso do Morro do Moco no planalto central, província do Huambo.

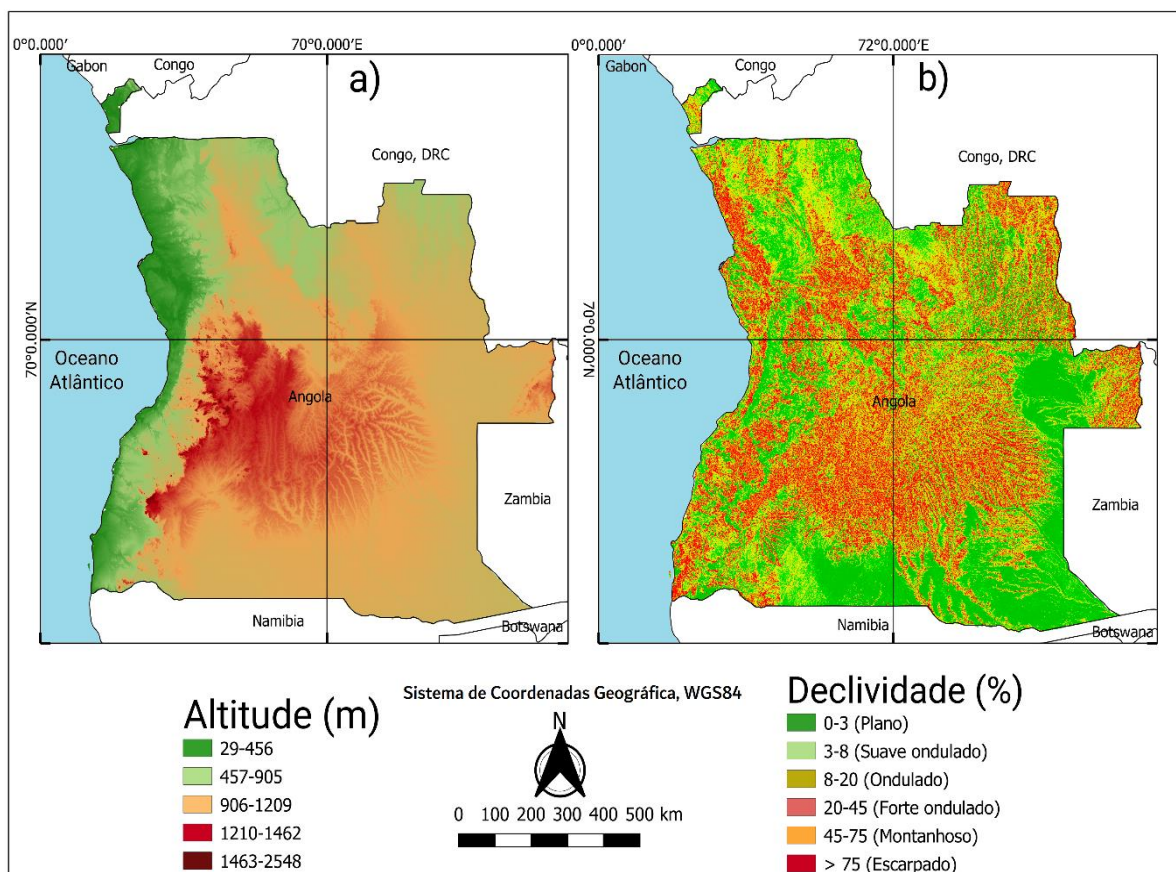


Figura 06 - Características Geomorfológicas de Angola. a) Mapa de Altitude e b) Declividade. Fonte: Elaborado pelos autores.

Cardoso et al. (2006) afirmou que um número de montanhas importantes separam o

planalto central da zona de transição de oeste inclinada. Estes pontos elevados excedem 2.000m e apoiam as florestas afro-montanas consideradas centros de alta biodiversidade e endemismo, incluindo o ponto mais alto em Angola, o Morro do Moco (2.620 m).

A maior parte do país a leste das áreas costeiras e do planalto central fica entre 1.000 e 1.500 m. Estas áreas são na sua maioria ondulantes e cobertas por sedimentos de textura média a grosseira associados ao sistema Kalahari.

3.2. Classificação

Os resultados apresentados em mapas temáticos dos dois níveis N1 e N2 de classificação e os valores das dimensões das áreas de cada classe de vegetação e exatidão encontram-se apresentados nos **subitens 3.2.1 e 3.2.2**, respectivamente. Estes mapas de classificação foram gerados para analisar o comportamento da distribuição espacial da vegetação de Angola nos níveis de fitofisionomia e de cobertura e uso da terra, sendo possível quantificar as áreas das classes de cada nível.

Foram amostradas 17 classes em dois níveis, sendo 7 classes no nível N1 e 10 no nível N2, com representações dimensionais de 1.240.646 km² em N1 e 1.242.391 km² para N2. Estes valores evidenciam também grandes variações por área em cada espécie da vegetação de Angola. MUA (2006), em seu relatório para o estudo do meio ambiente de Angola quantificou a vegetação de Angola em níveis fitofisionômicos em diferentes ecorregiões, utilizando elementos climáticos e de altitude como fatores influenciadores para cada tipo de cobertura vegetal.

Essa grande variabilidade de tipologias dentro do mesmo território é decorrente da grande extensão da área de estudo, como também observou Cabral (2008), quando avaliou a cartografia de Angola e suas classes de vegetação baseada em dados orbitais. MUA (2006) comenta ainda que os números de classes identificadas dependeram de um conjunto de fatores, tais como situação topográfica, profundidade e permeabilidade do solo, além da precipitação anual das áreas analisadas levando em conta cada categoria de vegetação.

3.2.1. Classificação fitofisionômica da vegetação de Angola em nível N1

A classe fitofisionômica do Miombo mediano, que se encontram em áreas de média e alta elevação topográfica de acordo com o Instituto de Desenvolvimento Florestal (IDF, 2004), contabiliza uma área de 201.913 km², cerca de 20,8% do território mapeado, o que a torna uma das classes de vegetação que mais predomina em Angola junto com a classe de vegetação de

Savanas e Florestas Tropófitas que apresentam juntas uma área de 338.876 km², cerca de 31,7% de ocupação territorial, enquanto que as Dunas arenosas possuem 81.451 km² de extensão e representam apenas 2,2% de ocupação entre as classes no nível N1 (**Tabela 07**).

Tabela 07 – Informações sobre as classes fitofisionômica da vegetação encontrada na classificação N1 para o território Angolano

Classes de Fitofisionomia	N1		
	Km ²	% Território	% Exatidão
Dunas arenosas	81.451	2,22	99,67
Floresta úmida, guineense-periguineense	198.631	14,05	93,89
Floresta úmida, planáltica e sub-montanha	144.867	10,17	87,87
Formações estepóides sublitorais, arbustivos e herbosas	161.694	11,32	90,84
Miombo mediano	201.913	20,84	96,91
Mosaico de floresta densa, periguineense, zambeziaco-guineense	113.214	9,65	89,31
Mosaico de savana e floresta tropófitas	338.876	31,75	81,04
Total das Classes	1.240.646	100,00	-----
Exatidão Global	-----	-----	91,40
Índice Kappa	-----	-----	0,87

Das sete classes fitofisionômica da vegetação identificadas no nível N1 de classificação (**Figura 07**), duas delas (Mosaico de savana e floresta tropófitas e Miombo mediano) se somadas são mais da metade de todo o território, enquanto quatro classes (Mosaico de floresta densa, periguineense, zambeziaco-guineense, Floresta úmida, planáltica e sub-montanha, Formações estepóides sublitorais, arbustivos e herbosas e Floresta úmida, guineense-periguineense) se somadas formam 45% do restante do território angolano coberto por espécies vegetais.

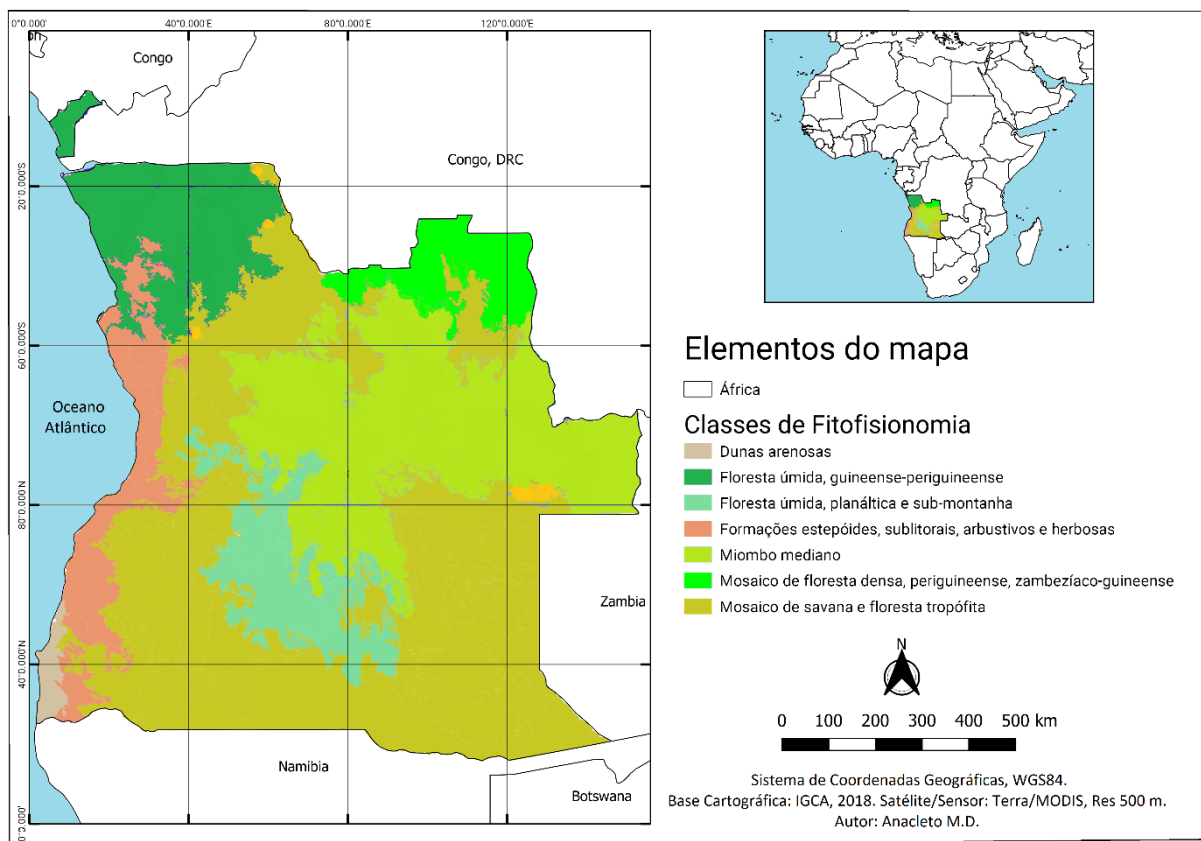


Figura 07 – Classificação fitofisionômica da vegetação de Angola em nível N1. Fonte: Elaborado pelos autores.

As duas classes fitofisionômica da vegetação de maior extensão no nível N1, Mosaico de savana e floresta tropófito e Miombo mediano, são aquelas encontradas mais frequentemente em estudos de levantamento de espécie de vegetação de Angola, concordando com vários outros trabalhos desenvolvidos na região (IDF, 2004).

A partir dos polígonos gerados da classificação fitofisionômica da vegetação do nível N1 e de imagens do satélite LANDSAT 8, foi possível elaborar a matriz de confusão, com resultados de 0,87% de índice Kappa e Exatidão Global de 91,40%, como demonstrado na **Tabela 07**. Os resultados mostraram ser ligeiramente diferentes aos de Cabral (2008) que apresentaram o índice Kappa de 0,77 e margens de erros relativamente altos, mas aceitável, de 20.3% e 22.1% em uma das análises do seu trabalho de cartografia de cobertura do solo em Angola, utilizando imagens do sensor MODIS e classificadores em árvores simples, considerando dezessete classes de uso.

3.2.2. Classificação da vegetação de acordo com a classe de uso e cobertura da terra de Angola em nível N2

De acordo com o mapeamento de cobertura e uso da terra a classe de vegetação de Savana Herbácea com árvores esparsas e arbustos mostra-se como a classe mais predominante com uma área de 581.948 km² representando mais da metade de todo o território Angolano. (**Tabela 08**). A maior extensão de classe de vegetação, se estende em área de alto relevo com 906 a 1209 m de altitude, no sul, passando pelo oeste, norte e leste da região em estudo. Contudo, essa medida pode estar superestimada, pois essas regiões são divididas em alguns setores distintos, interligados por pequenas áreas de matas ciliares.

Tabela 08 - Informações sobre as classes da vegetação de acordo com o uso e cobertura da terra encontrada na classificação N2 para o território Angolano

Classes de Cobertura e Uso da Terra	N2		
	Km ²	% Território	% Exatidão
Agricultura	73	0,03	73,61
Arbustos de folha caduca	110.857	9,97	79,48
Bosque caducifólio aberto	71.392	6,64	91,71
Bosque caducifólio fechado	44.392	3,99	88,10
Deserto	81.000	0,31	100,00
Floresta	101.867	10,97	100,00
Floresta-Vegetação natural	24.153	2,11	95,97
Savana Herbácea com árvores esparsas e arbustos	581.948	53,54	88,78
Solo exposto	164.840	12,21	96,88
Corpos d'água	61.869	0.23	100
Total das Classes	1.242.391	100,00	-----
Exatidão Global	-----	-----	91,45
Índice Kappa	-----	-----	0,85

As classes de Solo exposto, Floresta e Arbustos de folha caduca também apresentam áreas significativas e somadas chegam a mais de 33% de todo o território Angolano. A identificação das dimensões dessas classes é fator importante, pois extensões maiores de vegetação e com mais corredores de conexão têm maior capacidade de suporte à vida selvagem, uma vez que provêm mais segurança e alimentos aos animais.

Esta classificação em uso e cobertura da terra (**Figura 08**) também permitiu perceber

que a vegetação com a menor área é a de Agricultura que contém 0,03% de cobertura. Em seguida aparecem o Deserto com 0,31% e a classe floresta vegetação natural com 2,11% de ocupação de cobertura da terra. As áreas de corpos aquosos apresentaram um total de 0.23% de extensão e constituem-se dos canais de drenagem, lagos, lagoas e rios.

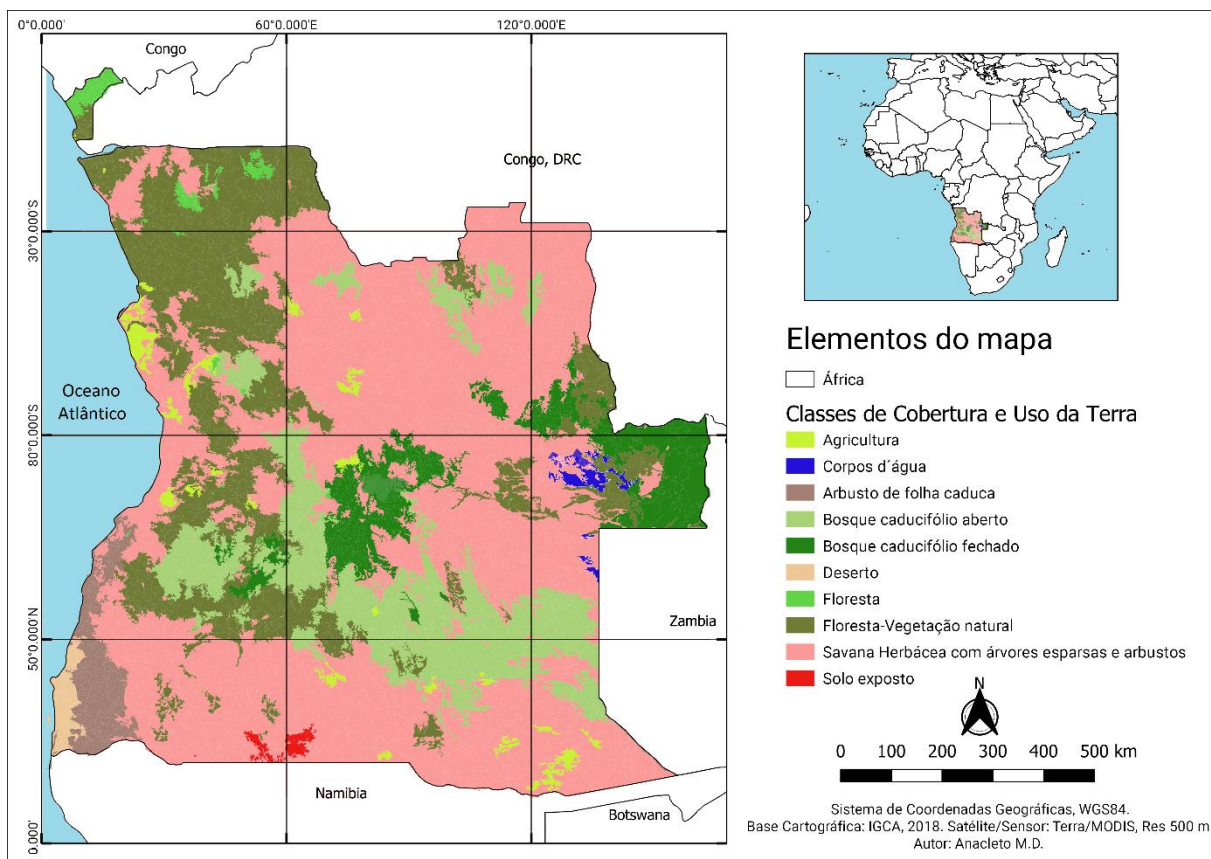


Figura 08 – Classificação da vegetação de acordo com a classe de uso e cobertura da terra de Angola em nível N2. Fonte: Elaborado pelos autores.

Os valores de exatidão observados no nível N2, foram relativamente semelhantes aos do nível N1, com 0,85% de índice Kappa e a Exatidão Global de 91,45% para o nível N2 como demonstrado na (**Tabela 08**). Sendo as classes com valores de exatidão mais baixas a Agricultura e Arbustos de folha caduca, com 73,61% e 79,48%, respectivamente. Por outro lado, os valores mais altos encontraram-se nas classes de Deserto, Floresta e Corpos aquosos todos com 100% de exatidão. Com esses resultados Landis e Koch (1977), permitem considerar que os níveis do índice Kappa são substancialmente a quase perfeita (próxima a 100%).

4.2. Análise dos períodos chuvosos

A estação chuvosa ocorre mais cedo no extremo sul de Angola, mais para o oeste e no noroeste, nos meses de Outubro-Novembro e Novembro-Dezembro como pode ser observado

na **Figura 15a**. Do sudoeste atravessando todo o corredor central até ao leste, o SOS de precipitação ocorre nos meses de Dezembro - Janeiro. E em toda a região central até ao nordeste e algumas manchas de precipitação isolada ocorrem nos meses de Janeiro-Fevereiro, Fevereiro-Março e Março-Abril.

O fim da estação chuvosa, ocorre em quase 80% do território angolano nos meses de Julho-Agosto e Agosto-Setembro, enquanto que algumas concentrações da precipitação EOS na mais ao norte ocorre nos meses de Maio-Junho e Junho-Maio como pode ser observado na **Figura 15b**.

Em relação ao comprimento da estação chuvosa, percebe-se na **Figura 15c** que na região extremo sudeste que faz um corredor se estendendo até ao noroeste apresentam comprimento da estação chuvosa de 3 a 4 meses. Em quase 50% da região o comprimento da estação chuvosa perdura entre 5 a 9 meses. Um corredor se estende do sudoeste até ao extremo norte da região com valores baixos de precipitação com comprimento de 1 a 2 meses.

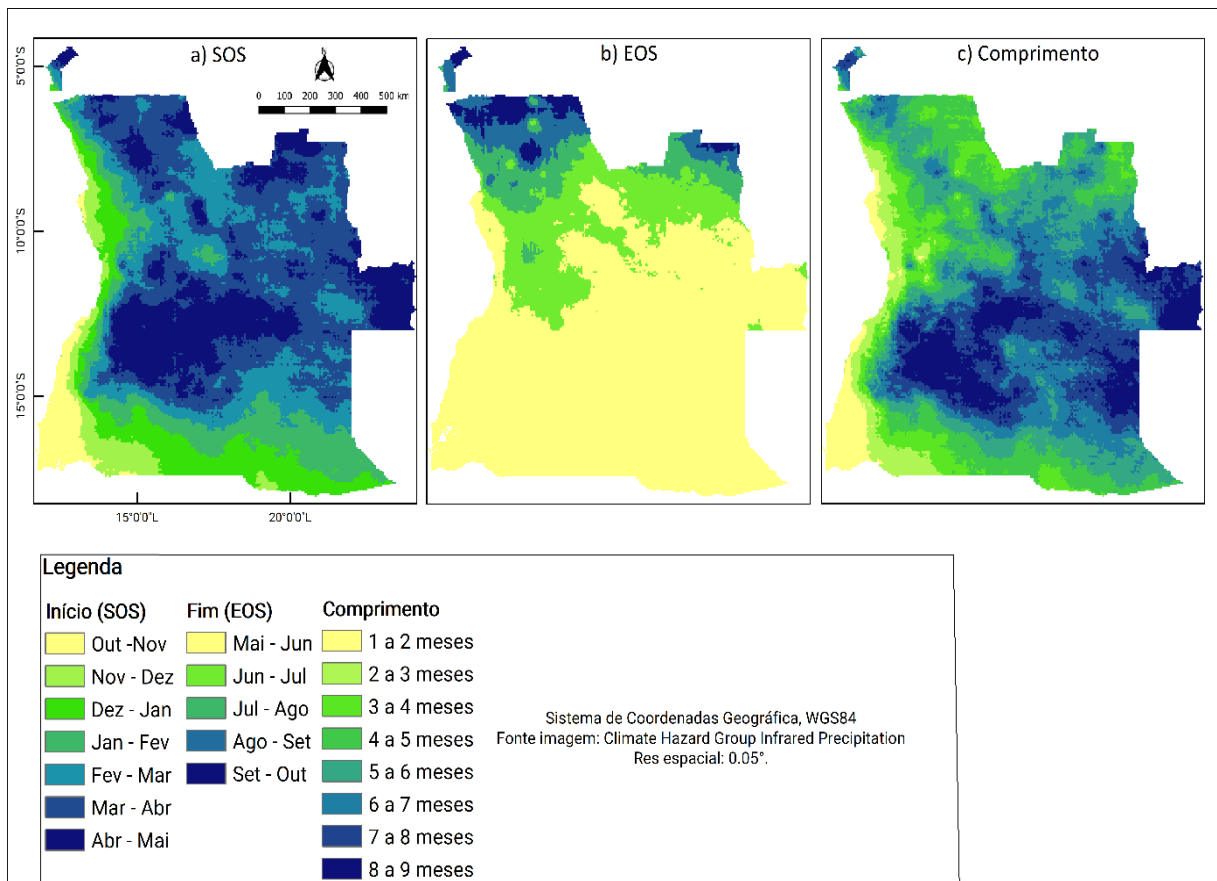


Figura 15 - Precipitação obtida pelos dados do CHIRPS. a) início da estação chuvosa (SOS), b) fim da estação chuvosa (EOS), c) comprimento da estação chuvosa

4.3. Análise da evapotranspiração

O início da estação de aumento da evapotranspiração assemelha-se à resposta da

precipitação, apresentando uma duração de cerca de um mês. A estação da ETn ocorre mais cedo nos meses de verão na região sul de Angola, se estendendo de sudoeste para sudeste mais para o oeste e no leste, nos meses de Outubro-Novembro e Novembro-Dezembro, como pode ser observado na **Figura 16a**. E em toda a região central e norte, com algumas manchas que se estendem até ao sul de Angola, o início da ETn ocorrem nos meses de Janeiro-Fevereiro, Fevereiro-Março e Março-Abril.

O final da estação de ETn, ocorrem predominantemente nos meses de Maio-Junho e Junho-Julho nas regiões centro-leste e sudeste e também em algumas áreas mais ao noroeste, enquanto que em algumas partes do eixo nordeste e sudoeste são verificados a ocorrência dos meses finais da Etn entre Julho-Agosto e Agosto-Setembro com a predominância na região sudoeste como pode ser observado na **Figura 16b**.

Quando se analisa o comprimento da estação de ETn, observa-se na **Figura 16c**, que as regiões norte e em algumas partes do oeste e até ao sudoeste de Angola apresentam comprimento da ETn de 1 a 2 meses. Em toda parte nordeste, centro, extremo leste e algumas porções no sudeste são verificados estações de ETn que perduram de 5 a 9 meses, estando intercalados em intervalos de um mês, do qual os valores da ETn são mais elevados.

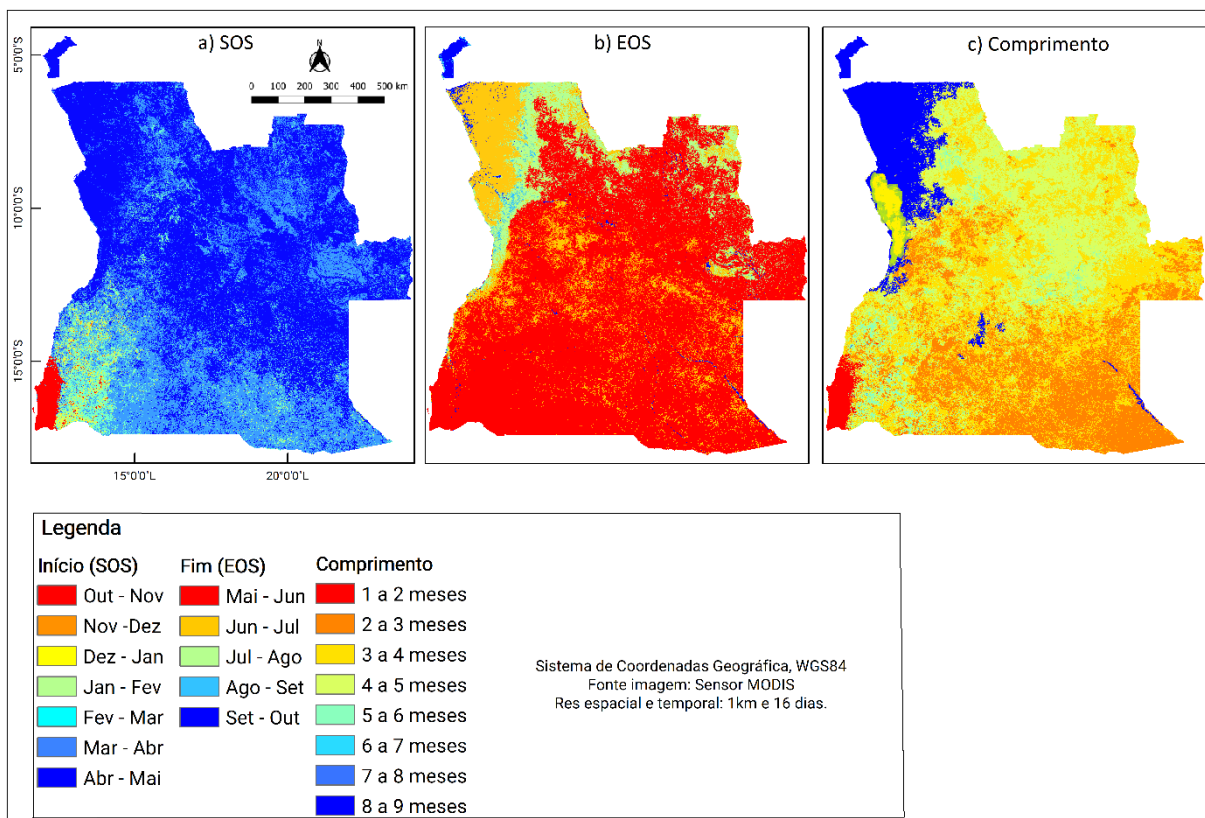


Figura 16 - Estimativa da evapotranspiração (Etn) obtida pelos dados do sensor MODIS. a)

início da estação do aumento da ETn (SOS), b) fim da estação do decréscimo da ETn (EOS),
c) comprimento da estação da ETn

4.4. Análise das métrica fenológicas

A resposta do início do crescimento dos dados do EVI aproxima-se das respostas do início das estações chuvosas e da ETn, apresentando um período de duração de cerca de um mês. Nas regiões leste e um corredor que se estende do sudoeste até ao oeste de Angola, o início do crescimento da vegetação variou entre meses de Novembro-Dezembro, Dezembro-Janeiro e Janeiro-Fevereiro, coincidindo com as estações chuvosas e de ETn como pode ser observado na **Figura 17a**. Este é o período de duração da estação chuvosa de verão, quando as folhas apresentam picos plenos da capacidade fotossintética (LUO et al., 2017). As manchas mais claras em tons de verde nas regiões norte e centro de Angola em geral correspondem à vegetação naviva.

Este mesmo comportamento pode ser observado ao analisar o fim da estação de crescimento que ocorre do centro até noroeste nos meses de Maio-Junho e Junho-Julho. O fim é mais tardio no extremo noroeste e em toda região centro-sul de Angola, em Julho-Agosto, até Setembro-Outubro.

Para a maior parte de Angola, o fim da estação de crescimento da vegetação ocorre nos meses supracitados, sendo que o fim das chuvas ocorre predominantemente nos meses de Maio-Junho, com um tempo de atraso de 1 mês como pode ser notado na **Figura 17b**. O maior tempo de atraso entre o fim da estação chuvosa e a redução da resposta fotossintética da vegetação se deve ao armazenamento de água no solo, possibilitando a realização da atividade fotossintética mesmo após o início da estação seca.

Percebe-se também, que o fim da estação de crescimento apresenta maior homogeneidade espacial, com pequenas variações ao longo de toda região, ou seja, em Angola a senescência é um processo mais complexo, que depende menos das chuvas do que a rebrota e a sua resposta está condicionada a outros fatores. Os valores de mínimo mais elevados estão associados às formações savânicas, esta formação, mesmo durante a seca, apresenta alguma atividade fotossintética, pois algumas das classes que integram estas fitofisionomias e classes de cobertura e uso não perdem totalmente as folhas e outras estão sempre verdes (LENZA e KLINK, 2006).

Com relação ao comprimento da estação de crescimento, há uma menor duração do período de crescimento da vegetação na região sul de Angola e um corredor que se estende do leste passando pelo sul até ao oeste, variando de 1 a 4 meses como demonstrado na **Figura 17c**.

Ao longo de toda Angola, há diversas manchas verde e amarela, indicando maiores comprimentos da estação de 5 a 6 meses até 8 a 9 meses, o que corresponde, em alguns casos, a grandes áreas do miombo mediano, floresta densa e úmida periguinnense-guinnense e vegetação natural. Considerando a região central e norte como um todo, a maior parte deste tem comprimento da estação de crescimento de 5 a 9 meses. Tal fato deve-se à maior capacidade adaptativa das classes de vegetação identificadas em N1 e N2 às características da sazonalidade climática da área de estudo.

A compreensão dos ciclos fenológicos da vegetação perpassa pela análise das suas características, que de acordo à Becerra et al. (2009), a mesma passa por etapa de produção de novas folhas e aceleração dos processos metabólicos na estação chuvosa. Tal alternância está relacionada com a disponibilidade hídrica e ao fotoperíodo, em que as plantas atingem o maior pico de fotossíntese ou estágio de verdor, independentemente do tipo de formação vegetal (PEREIRA et al., 2008; DUGARSUREN & LIN, 2016).

As imagens apresentadas nas **Figuras 17, 18a e 18b** sintetizam as curvas espectro-temporais de EVI da área de estudo, as quais apresentam variabilidades inter e intra-anuais. Estas curvas permitiram analisar, respectivamente, os estágios de sucessão e fenologia das plantas (SANTANA et al., 2010).

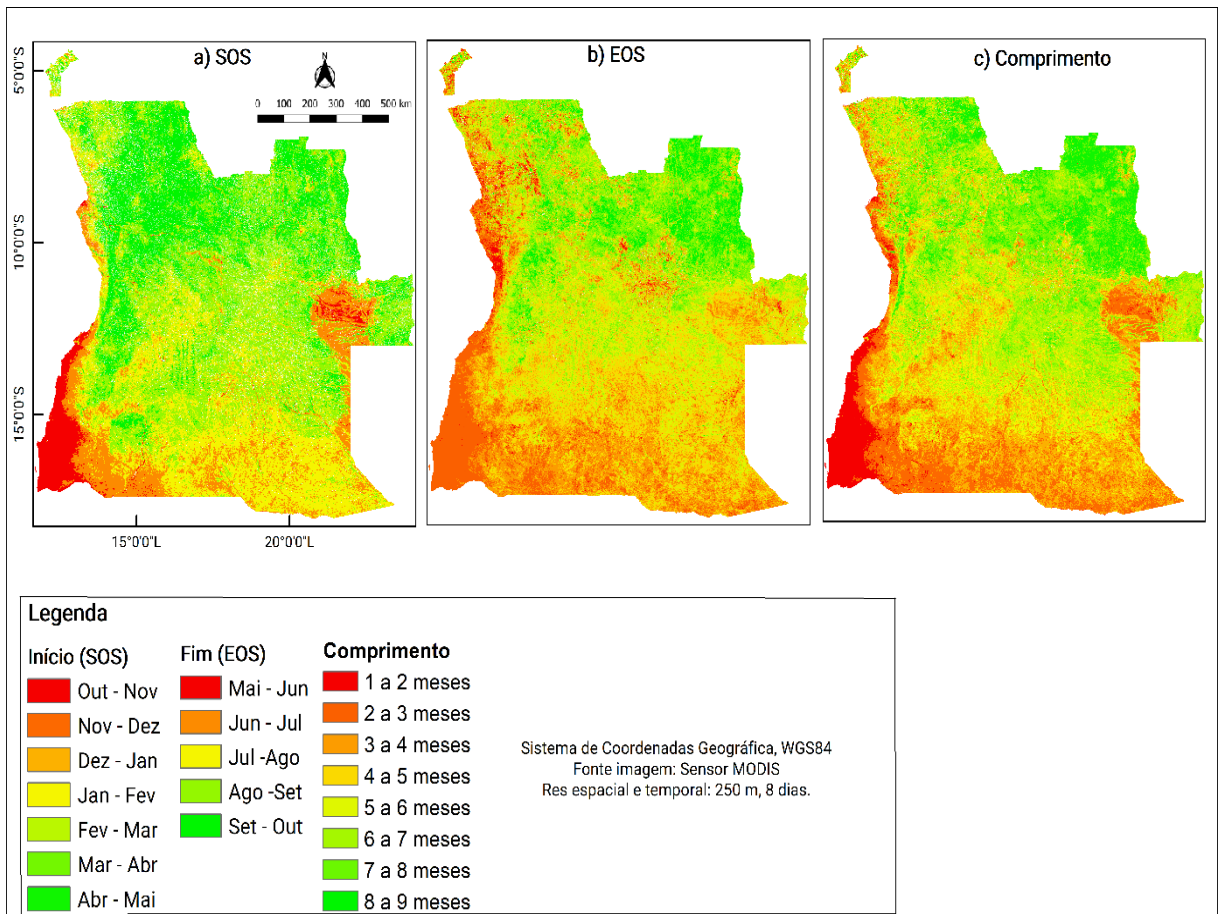


Figura 17 - Dados de EVI obtida pelo sensor MODIS. a) início da estação do aumento de EVI (SOS), b) fim da estação do decréscimo do EVI (EOS), c) comprimento da estação de crescimento da vegetação

4.4.1. Taxa de Rebrotas e Senescência

Na **Figura 18a** pode ser observada a intensidade com que o EVI cresce do início da estação até seu valor máximo, que na área de estudo variou de 0 até 0,5.

O solo exposto, dunas arenosas e deserto do Namibe no extremo sudoeste de Angola apresentam-se marcadas pelo contraste entre os menores valores, devido à ausência de água e ocorrências de secas (mais no sudeste do sul de Angola) para a vegetação na estação de inverno em alguns pontos como no norte e leste, enquanto que na região sul (Cunene, Namibe, Huíla e Cuando Cubango) a escassez de água é constante, devido à seca meteorológica que predomina na região. Na estação não chuvosa, a vegetação é mais seca, enquanto a taxa de rebrotas com a volta das chuvas é mais intensa que nas áreas onde a vegetação já está verde. Onde o índice de precipitação é menor, a rebrotas é mais rápida, por causa da adaptação destes tipos de vegetação a essa característica climática restritiva, o que corresponde a uma estratégia adaptativa da vegetação para otimizar os processos fenológicos (vegetativos e reprodutivos) em ambientes tipicamente sazonais, como afirma Oliveira (2008) em seu estudo no cerrado brasileiro, que apresenta características climatológicas ao do sul de Angola. Os valores mais altos são maiores nas manchas de verdor, que apresentam picos máximos.

Esses valores são oriundos da estação chuvosa, quando as áreas consideráveis da região ficam alagadas, gerando uma falsa impressão de alto crescimento da vegetação com a descida da água e o aumento do EVI em função da vegetação natural que recobre a superfície. As amostras de vegetação natural em geral, tiveram os maiores intervalos entre 0,4 a 0,5, seguido pela floresta e savanas com intervalos de 0,2 a 0,3. Os valores baixos próximos a zero trata-se de uma vegetação que pouco ou nunca atingem os altos índices de verdor, já os valores baixos estão ligados a pequenas regiões com influência fluvial ou climas mais úmidos e fatores de altitude.

A taxa de senescência mede a variação com a qual a vegetação perde verdor, ou seja, a intensidade com que a vegetação seca, sua imagem média está apresentada na **Figura 18b**. Na região em estudo essa taxa variou de 0 a 0,6.

Os aspectos da vegetação apresentam-se bem marcados nessa métrica como um contraste entre as baixas taxas na área imediatamente a leste, sul sudeste do sul de Angola,

oriundas de uma vegetação que muito sofre por ocorrências de secas severas (mais no sul de Angola), por se tratar de uma região com clima predominantemente seco e pelos solos não terem características de armazenamento de águas superficiais, contrastando com as baixas taxas nessas regiões.

Os valores mais altos estão distribuídos pelas regiões central e norte. Na região norte esses valores são gerados principalmente pelas poucas áreas desmatadas, que quando inundadas fazem o EVI cair acentuadamente, aumentando artificialmente seu valor de taxa de senescência. Na região central esses altos índices podem ser gerados por regiões antropizadas, mas também são geradas por regiões nas quais a vegetação está sujeita a escassez de água drásticas por ter um solo muito permeável. As amostras de vegetação nativa em geral, tiveram os maiores intervalos entre 0,5 a 0,6, seguido pela floresta e savanas com intervalos de 0,3 a 0,4.

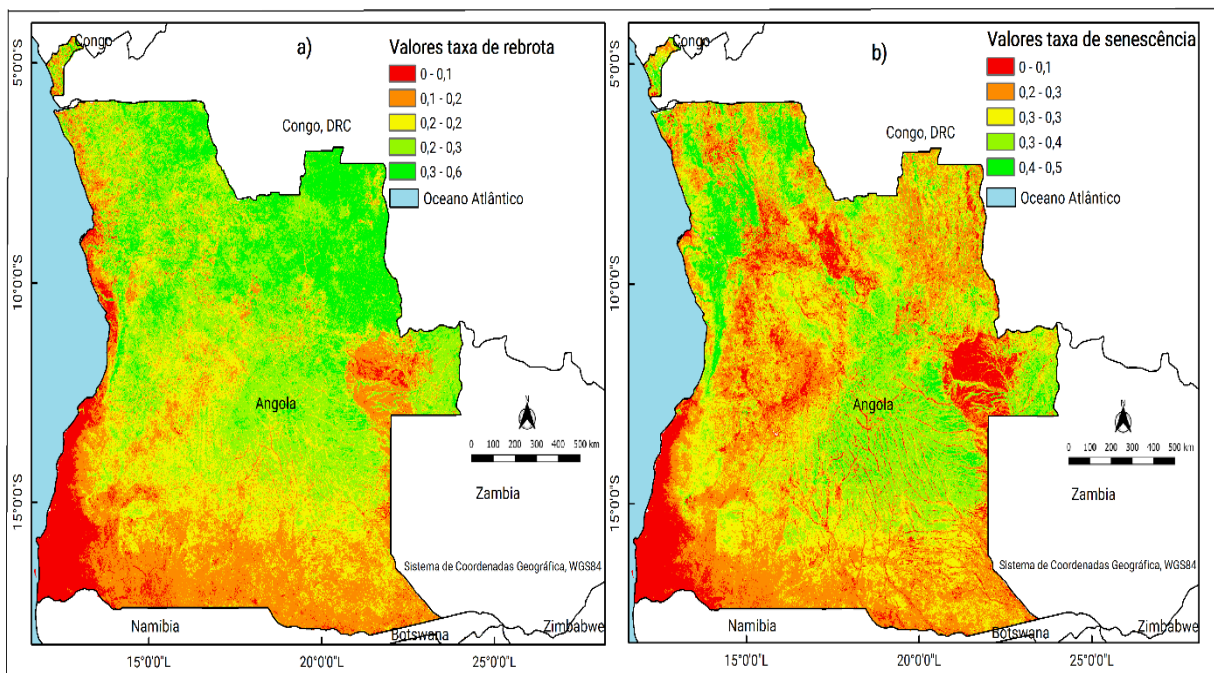


Figura 18 - Valores médios da a) taxa de rebrota e b) senescência

Os valores baixos próximos a zero trata-se de uma vegetação que pouco ou nunca atingem os altos índices de verdor, já os valores baixos estão ligados a pequenas regiões com influência fluvial ou climas mais úmidos e fatores de altitude. Desta forma, a vegetação que pouco seca pela influência fluvial, clima e altitude, pois sempre há uma maior resposta da clorofila. A senescência gradual, também é indicada pelo baixo declive da derivada a direita do EVI, que está relacionada à diferentes respostas das classes ao stress hídrico. Algumas mantêm a transpiração no início da estação seca, devido ao acesso à água nas camadas profundas do solo (GARCIA-MONTEIL et al., 2008).

3.6. Análise estatística do relevo, precipitação, ETn e EVI para as classes fitofisionômica da vegetação do nível N1

3.6.1. Análise dos parâmetros estatísticos do relevo

As características do relevo como a altitude e a declividade foram correlacionadas espacialmente com as sete classes fitofisionômica da vegetação identificadas no nível N1 para todo o território de Angola. Algumas das informações estatísticas obtidas foram os valores Máximo (MAX), Mínimo (MIN), Média (MEAN), Variância (VARIANCE), Desvio Padrão (STD) e Amplitude (RANGE) (**Figura 13**). Algumas classes de vegetação apresentaram grandes valores de variância em relação a altitude como as Formações estepóides sublitorais, arbustivos e herbosas e a Floresta úmida, guineense-periguiense, isso demonstra que essas classes apresentaram valores mais distantes da média, ou seja, esses valores indicam o quão longe se encontram do valor esperado, em detrimento as demais classes.

Todas as classes de vegetação apresentaram altos valores dos parâmetros estatísticos MAX (736-2617 m), RANGE (665-2616 m) e MEAN (212,66-1456,15 m) para a altitude. A declividade, teve o mesmo comportamento das variações da altitude, tendo variações de MAX (64,81-82,46%), RANGE igual a MAX e MEAN (2,96-6,31%) (**Figura 12**).

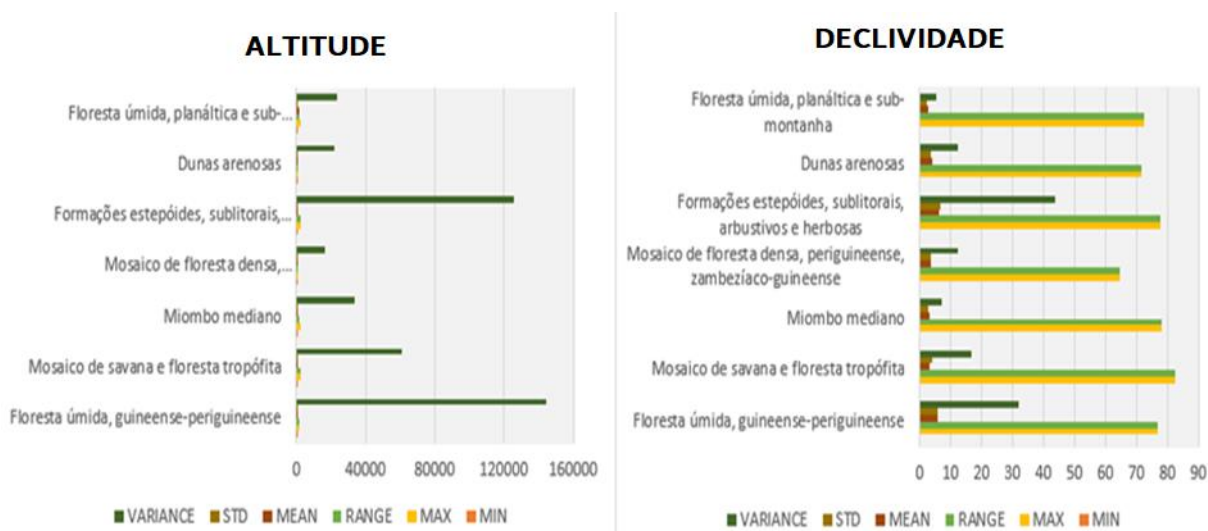


Figura 13 - Análise estatística para os elementos do relevo: a) altitude e b) declividade correlacionados com as classes fitofisionômica da vegetação no nível N1. Fonte: Elaborado pelos autores.

As análises das classes fitofisionômicas podem ser separadas com base nas condições topográficas do terreno. Essas variáveis morfométricas indicaram distinções entre os parâmetros estatísticos dos tipos vegetacionais com relação a altitude e a declividade. O desvio padrão, com valores variando entre 128,40 a 379,66 em todas as classes da altitude. E 2,35-6,60

para declividade. Os valores mais altos de desvio padrão se encontram em todas as classes de vegetação, exceto as classes de Dunas arenosas, como no nível N1, apresentou valores baixos tanto na altitude quanto na declividade. Os valores da variância para a altitude e (33.670,9 a 144.143,60) e declividade (5,52-43,61), em que as baixas variâncias também corresponderam as classes de Dunas arenosas, e valores altos para o restante das classes que vão de acordo com as classes das métricas de vegetação EVI. Foi possível identificar diferenças entre as classes de fitofisionomia com a altitude e a declividade com base nos parâmetros estatísticos apresentados. Estudos envolvendo a relação de unidades fitofisionômicas com a topografia foram abordados por Mandalal e Mariano (2014) que realizaram um estudo da dinâmica espacial da ocupação do solo em regiões de Moçambique e Zâmbia. Esses autores verificaram que existe uma disparidade entre as variáveis topográficas com as decorrentes de ações antrópicas (solo exposto/agricultura) e a de vegetação nativa (Miombos).

3.6.2. Análise dos parâmetros estatísticos da precipitação

Nas estações de chuva (máximo, mínimo e amplitude) para as sete classes (**Figura 14**), são verificados altos valores nos parâmetros estatísticos zonais RANGE, MAX e MEAN, enquanto que o MIN mostrou valores baixos em todas as classes das três estações de chuva. Todas as classes nas três estações de chuva apresentaram altos valores dos parâmetros estatísticos (0-234,33 mm), com exceção as classes Dunas arenosas (com valor de 0 em todos os parâmetros zonal e em todas as estações de chuva).

O desvio padrão (0-27,49) em todas as classes das estações de chuva, os valores são mais altos, ou seja, os locais onde os valores são mais diferentes da média nas classes (intervalo de desvio padrão alto está localizado nas classes de vegetação. As Dunas arenosas apresentam intervalos baixos). A variação (0 a 2333,9) com baixos valores nas também nas classes de Dunas arenosas, e alto no restante das classes de vegetação. Este comportamento se manteve em todas as estações de chuva.

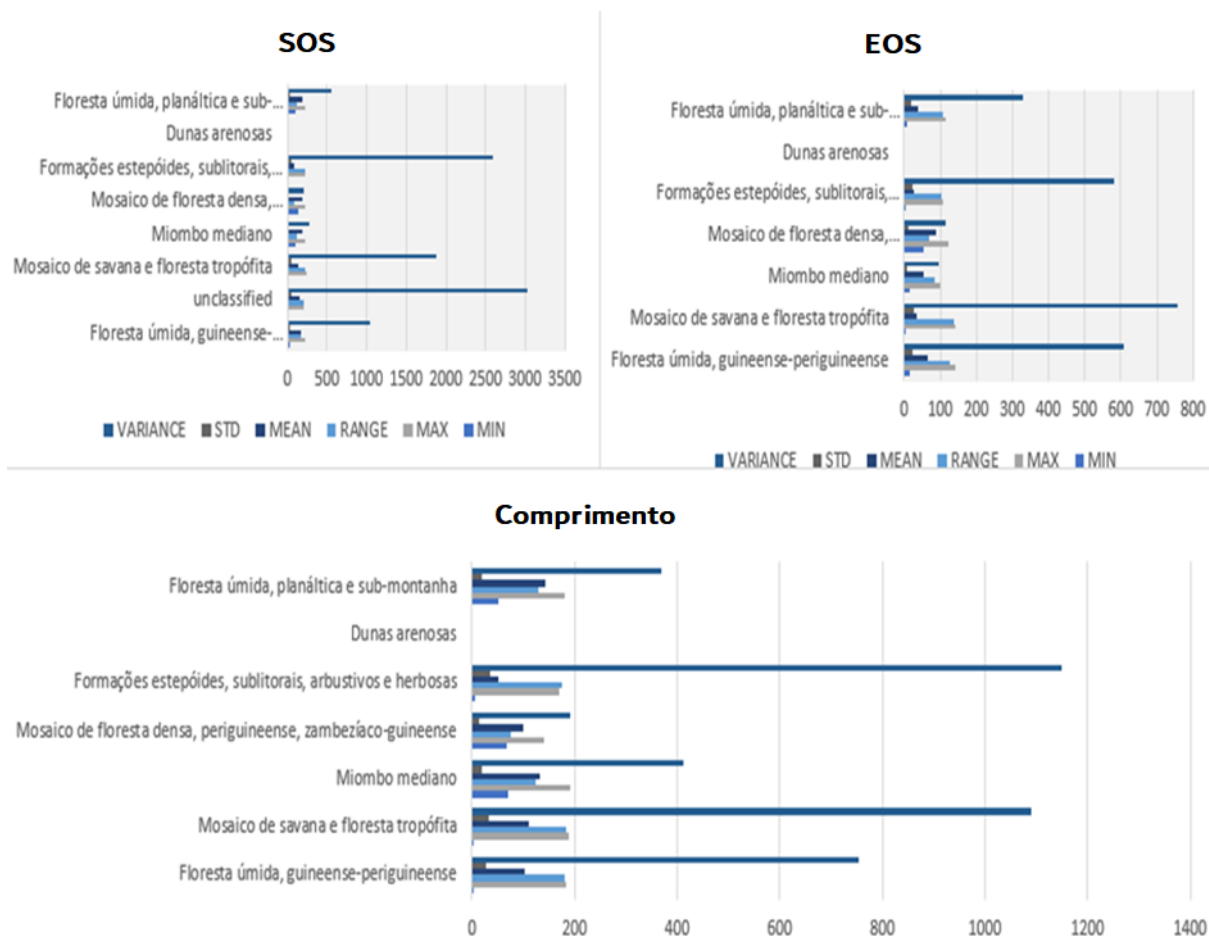


Figura 14 - Análise estatística da precipitação correlacionada com as classes fitofisionômica da vegetação no nível N1. Fonte: Elaborado pelos autores.

3.6.3. Análise dos parâmetros estatísticos da ETn

Nas estações da ETn (SOS, EOS e Comprimento) para as sete classes (**Figura 15**), apresentou comportamento similar aos perfis das estações de chuvas e das métricas do EVI. Tal situação ocorre devido ao aumento e diminuição da ET que regulamentam basicamente as condições hídricas locais e da vegetação. Sendo assim, a diminuição do valor do EVI deve-se ao estresse hídrico pela redução da evapotranspiração, isto porque a maior parte das plantações na região são conduzidas em condições não irrigadas, apresentando alta variabilidade interanual na cobertura vegetal. Já na vegetação, que é o maior objetivo do índice, quanto mais alto o valor do pixel, maior será a densidade da vegetação ou sua atividade fotossintética (SIMONNEAUX et al., 2008). Quando a cobertura vegetal é máxima e não há restrição hídrica, o fluxo de calor latente pode representar até 70% do saldo de radiação, refrigerando o dossel da vegetação (ALLEN et al., 1998).

Em épocas de estiagem, devido às baixas precipitações e umidade que acabam promovendo

grandes perdas por evapotranspiração temos os mais baixos valores de EVI, resultando em menores valores de biomassa. Nessas épocas do ano as perdas são mais elevadas que a capacidade de absorver H₂O pelas raízes e pela condução nos caules, os tecidos fotossintetizantes se desidratam e os estômatos se fecham, desse modo as perdas de água são reduzidas juntamente com a entrada de CO₂ e a produção de biomassa. Já nas épocas chuvosas, por consequência das maiores precipitações e umidade, temos maior absorção de H₂O e ganhos na entrada de CO₂ e na produção de biomassa, da mesma forma tem-se os maiores valores de EVI, ou seja, a vegetação é sadia, resultando em maior refletância no infravermelho próximo (MENEZES et al., 2000).

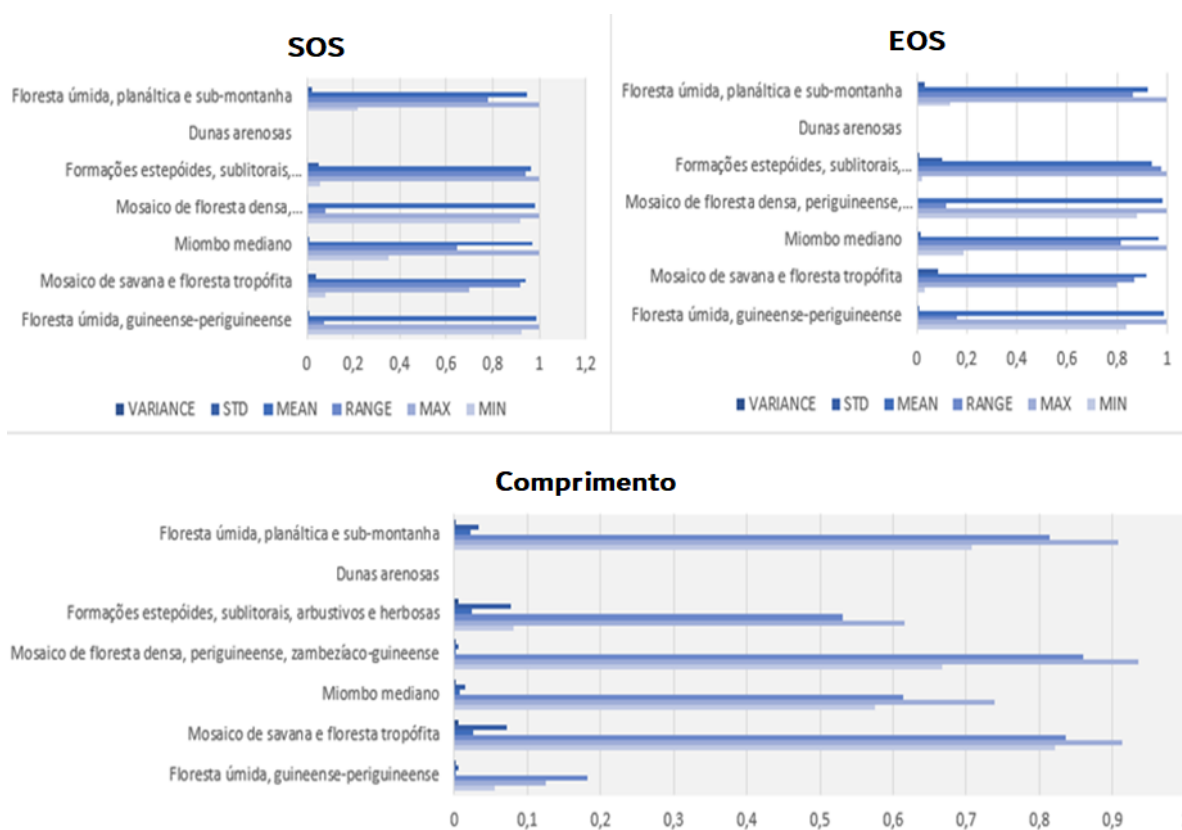


Figura 15 - Análise estatística da ETn correlacionada com as classes fitofisionômica da vegetação no nível N1. Fonte: Elaborado pelos autores.

3.6.4. Análise dos parâmetros estatísticos do EVI

Os valores de SOS, EOS e Comprimento, assim como a Taxa de Rebrotas e Senescência obtidos através do EVI foram correlacionados espacialmente com as sete classes fitofisionômica da vegetação identificadas no nível de classificação N1 para todo o território de Angola. Algumas das informações estatísticas obtidas foram os valores Máximo (MAX), Mínimo (MIN), Média

(MEAN), Variância (VARIANCE), Desvio Padrão (STD) e Amplitude (RANGE) (**Figura 16**).

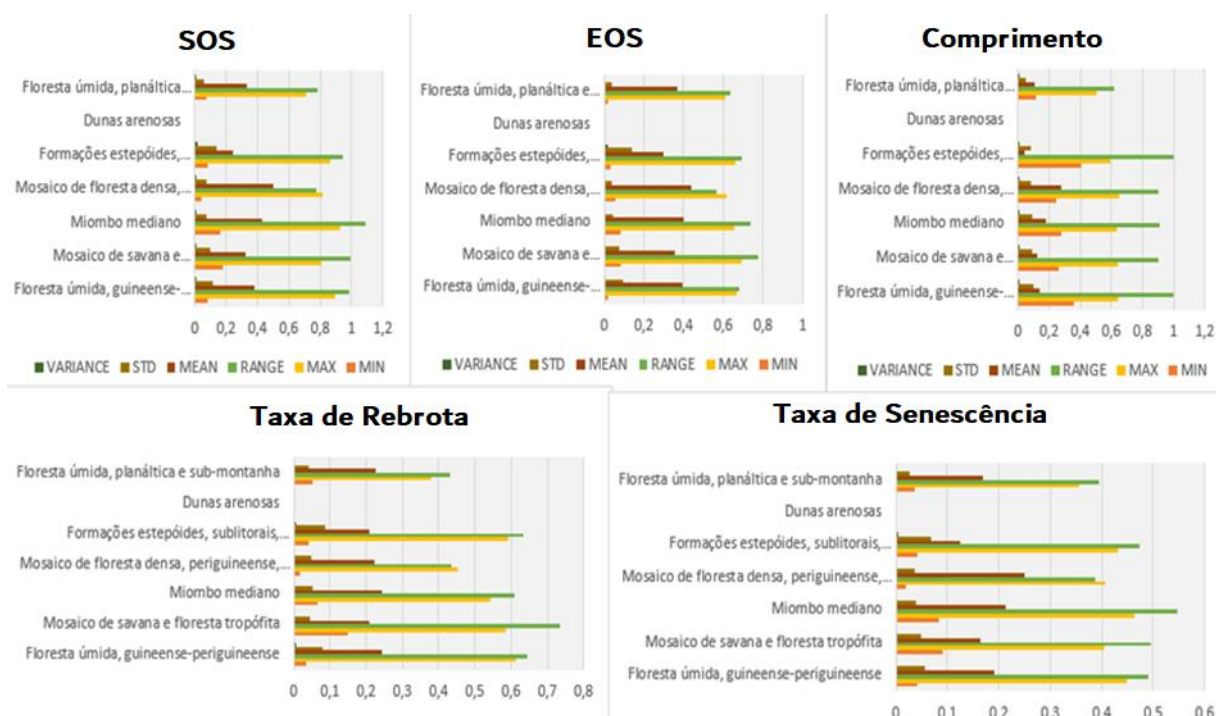


Figura 16 - Análise estatística para as métricas obtidas através do EVI correlacionadas com as classes fitofisionômica da vegetação no nível N1 para: a) início da estação (SOS), b) fim da estação (EOS), c) comprimento da estação, d) taxa de rebrota, e e) taxa de senescência. Fonte: Elaborado pelos autores.

Primeiramente, pode-se perceber que nas cinco métricas obtidas pelo uso do EVI os valores máximo e mínimo para as classes fitofisionômicas da vegetação apontaram valores relativamente altos entre (0,6 e 0,9) com exceção para a classe de dunas arenosas, o que era esperado visto que a vegetação nesta classe é escassa e apresenta valores baixos de EVI. Os valores de desvio padrão variaram de 0 a 0,14 em todas as métricas de vegetação.

O parâmetro variância apresentou baixos valores na classe Dunas arenosas, igualmente como nos outros parâmetros estatísticos. E uma alta variância no restante das classes de vegetação. Este comportamento padronizado manteve-se em todas as métricas de vegetação EVI do nível N1. As demais classes apresentaram valores dos parâmetros estatísticos semelhantes em todas as métricas de fenologia analisadas. Kuenzer et al. (2015) em seu trabalho sobre séries temporais de sensoriamento remoto revelando a dinâmica da superfície terrestre, observou também valores semelhantes nos parâmetros estatísticos dos polígonos de cada espécie de vegetação analisados.

3.7. Análise estatística do relevo, precipitação, ETn e EVI para as classes de uso e cobertura do nível N2

3.7.1. Análise dos parâmetros estatísticos do relevo

Os dados de relevo de altitude e declividade representam os valores de elevação e declividade para cada polígono das dez classes identificadas no nível N2 (**Figura 17**), são também verificados nos parâmetros estatísticos zonais RANGE, MAX e MEAN, sendo que no MIN da declividade o perfil apresentou valores zerados em todas as classes, enquanto que na altitude foram na maioria das classes. Todas as classes de vegetação apresentaram altos valores dos parâmetros estatísticos MAX (1.126-2.548 m), RANGE (70-2548 m) e MEAN (189,82-1306,80 m) para a altitude. E a declividade, seguiu o perfil das variações da altitude, tendo a declividade variando: MAX (15,23-82,46%), RANGE igual a MAX e MEAN (1,58-8,12%). Estes valores de altitude e declividade significam os polígonos das classes com maiores altitudes e declividades são diretamente proporcionais aos polígonos de classe das métricas de vegetação EVI.

O parâmetro estatístico desvio padrão, com valores variando entre 11,38 a 519,79 em todas as classes da altitude e 0,92-7,41 para declividade. Os valores mais altos de desvio padrão se encontram em todas as classes de vegetação, exceto as classes de Deserto, Água e Solo exposto que apresentaram valores baixos. Este comportamento é verificado tanto para a altitude quanto para a declividade. Os valores da variância para a altitude (129,53 a 96.001,31) e (0,83-54,99), em que as baixas variâncias também corresponderam as classes de Deserto, Água e Solo exposto, e valores altos para a maioria das classes que vão de acordo as classes das métricas de vegetação EVI.

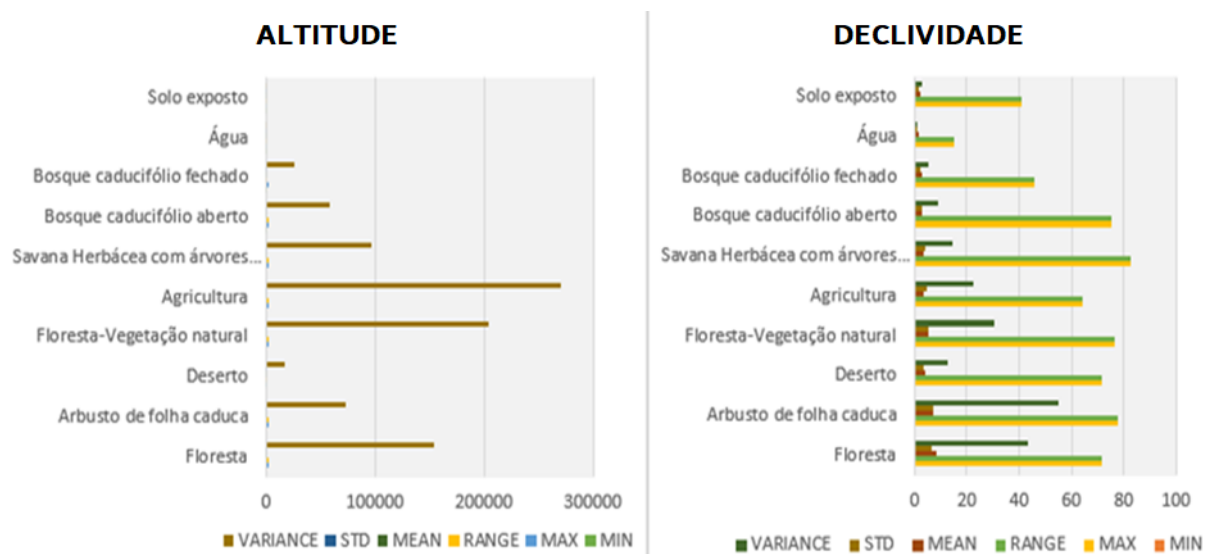


Figura 17 - Parâmetros estatísticos zonal da altitude e declividade das classes de interesse do

nível de classificação N2. Fonte: Elaborado pelos autores.

3.7.2. Análise dos parâmetros estatísticos da precipitação

Nas estações de chuva (SOS, EOS e Comprimento) para as dez classes (**Figura 18**), são verificados altos valores nos parâmetros estatísticos zonais RANGE, MAX e MEAN, enquanto que o MIN mostrou valores baixos em todas as classes das três estações de chuva. Este comportamento é também encontrado no trabalho de Guimarães et al (2018), onde aplicou o mesmo método para análise das estatísticas zonais de precipitação. Todas as classes de vegetação nas três estações de chuva apresentaram altos valores dos parâmetros estatísticos (0-234,33 mm), com exceção as classes Deserto (com valor de 0 em todos os parâmetros zonal e em todas as estações de chuva), Solo exposto (6-101,33). Isto ocorre porque as chuvas em Angola são influenciadas por duas causas de natureza físico-climática gerais, uma planetária (latitudinal) e outra local: a primeira provoca diminuição das chuvas conforme afasta-se do equador, isto é, aproxima-se do anticiclone tropical; e, a segunda, provoca elevada humidade atmosférica e elevada ausência de chuvas (junto ao mar), características essas atenuando-se para o interior, ocasionando uma alta variabilidade climática e conseqüentemente na distribuição local das chuvas e na vegetação (MUA, 2006).

O desvio padrão, com valores variando entre 0 a 48,31 em todas as classes das estações de chuva, os valores mais altos de desvio padrão, ou seja, os locais onde os valores são mais diferentes da média nas classes (intervalo de desvio padrão alto está localizado nas classes de vegetação. Solo exposto e deserto apresentam intervalos baixos). Nessas classes (regiões poligonais) as variações estacionais e monomodais de precipitação são bem mais definidas. A variação (0 a 2.333,9) com baixos valores nas classes solo exposto e deserto, e alto no restante das classes de vegetação. Desta forma, se manteve este comportamento padronizado em todas as estações de chuva.

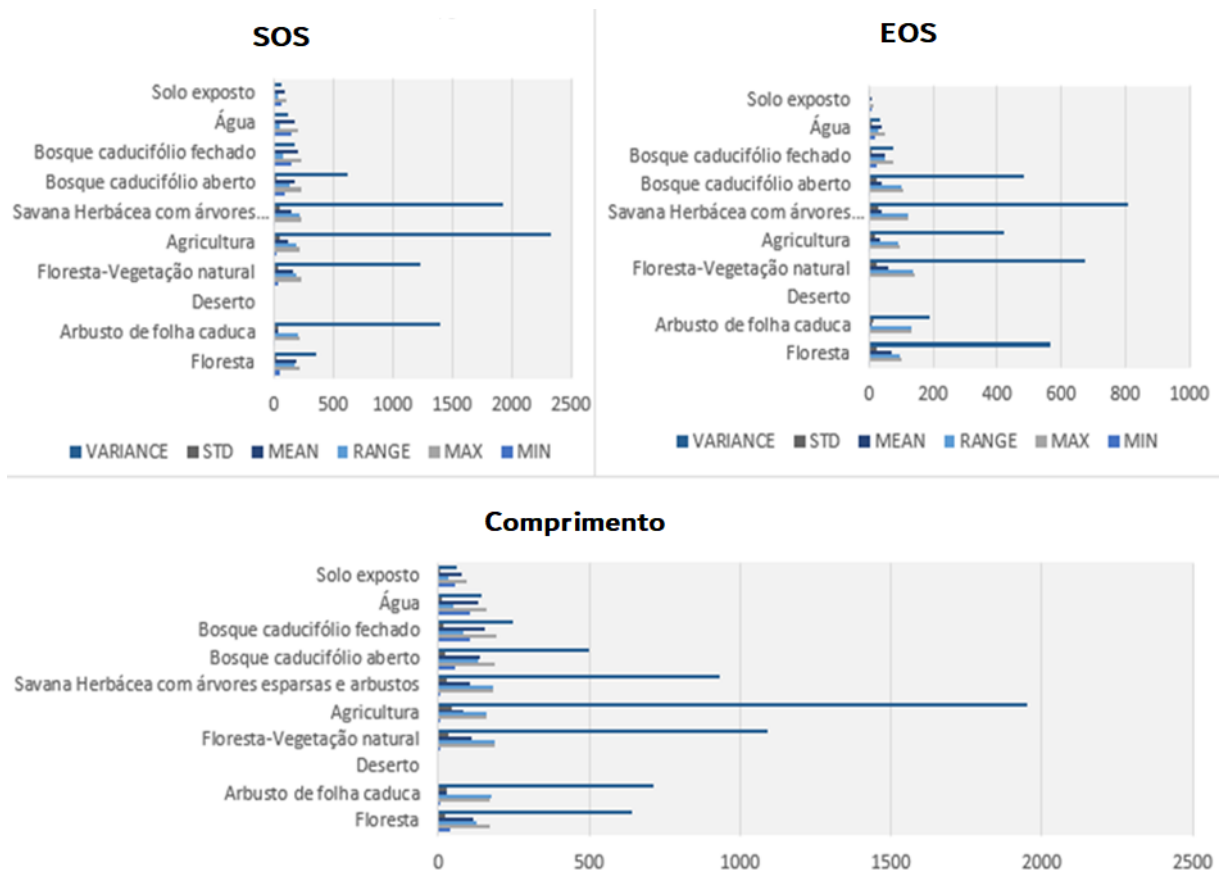


Figura 18 - Parâmetros estatísticos zonal da precipitação das classes de interesse do nível de classificação N2. Fonte: Elaborado pelos autores.

3.7.3. Análise dos parâmetros estatísticos da ETn

As estações da ETn (SOS, EOS e Comprimento) para as dez classes (**Figura 19**), apresentou comportamento similar aos perfis das estações de chuvas e das métricas do EVI, como ocorreu no nível N1. Conforme discutido no nível N1, tal situação ocorre devido ao aumento e diminuição da ET que regulamentam basicamente as condições hídricas locais e da vegetação. Sendo assim, toda a discussão é válida para a análise dos parâmetros da ETn no nível N2.

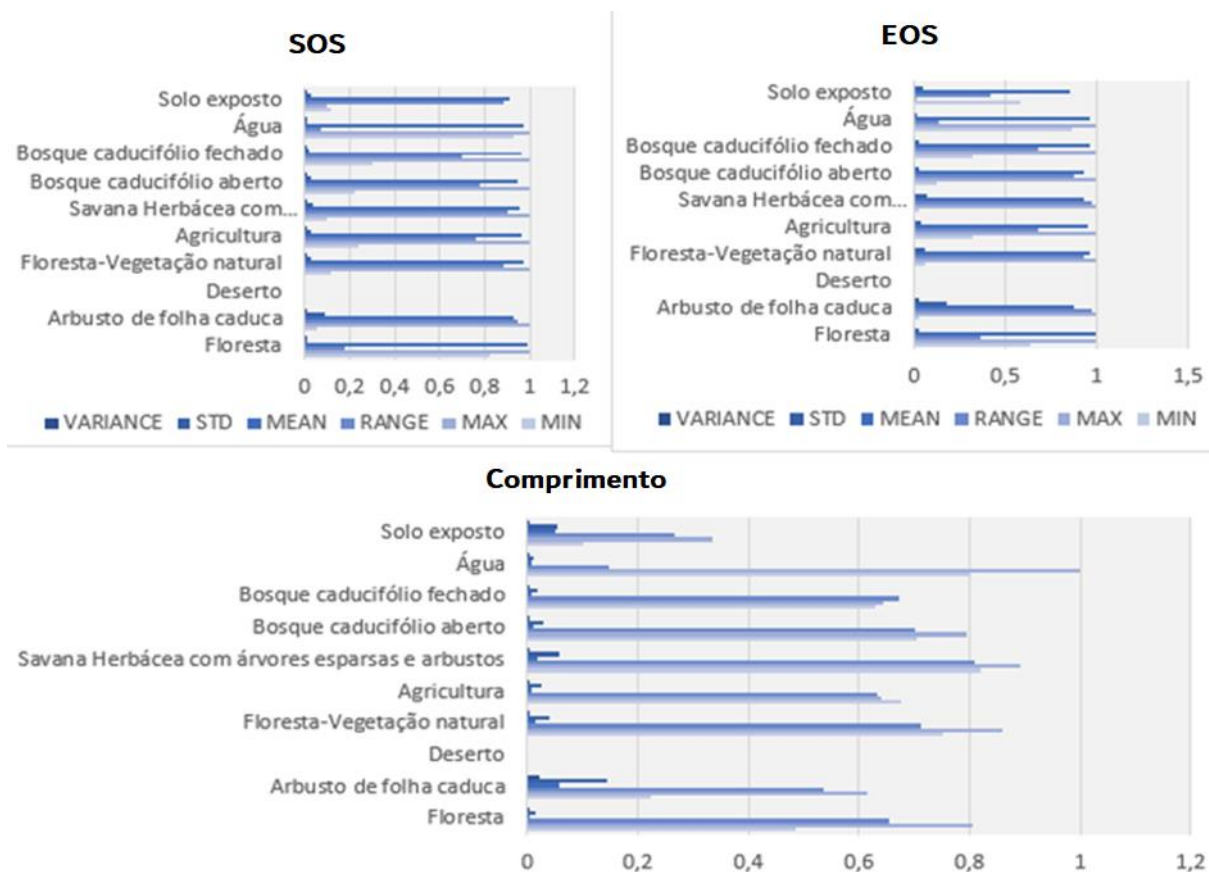


Figura 19 - Parâmetros estatísticos zonal da ETn das classes de interesse do nível de classificação N2. Fonte: Elaborado pelos autores.

3.7.4. Análise dos parâmetros estatísticos do EVI

Em um grande período das séries temporais, devido à quantidade de dados, uma das formas de analisar e resumir o comportamento temporal é através da sumula estatística das variáveis estudadas no tempo. De acordo com Kuenzer et al. (2015), os cálculos de parâmetros estatísticos por polígonos em séries temporais mostram variações e tendências. Através da série temporal completa de EVI, com 414 imagens durante 18 anos, filtradas com a função Gaussiana/Logística e juntamente com os valores médios de precipitação, ETn e altitude e declividade, foi realizado o cálculo de parâmetros estatísticos para cada polígono de classe que também foi aplicado por outros autores, como Melos et al. (2015) e Ferreira et al. (2020).

Os valores mais altos do EVI para as dez classes identificadas no nível N2 demonstrado na (Figura 20), são verificados nos parâmetros estatísticos zonais RANGE (amplitude ou diferença entre máximo e mínimo), MAX (máximo) e MEAN (média), enquanto que o MIN (mínimo) apresentou valores muito baixos em todas as classes das cinco métricas de vegetação EVI estudadas. Para os parâmetros estatísticos, não existe moda e nem a mediana para o

conjunto de dados, que segundo Melos (2015), indica a inexistência de um ponto de concentração do conjunto. Todas as classes de vegetação apresentaram altos valores dos parâmetros estatísticos (0,4-0,9), com exceção as classes Deserto (com valor de 0 em todos os parâmetros), Solo exposto (0-0,4) e os corpos d'água (com valores abaixo de zero em todas as métricas). Estes resultados corroboram com os estudos do MUA (2006) e Cabral (2008) que por meio de seus estudos auxiliaram no entendimento da cobertura dos biomas presentes em Angola.

Já no parâmetro estatístico desvio-padrão, que mede a dispersão dos dados em torno da média do EVI, com valores variando entre 0 a 0,10 em todas as classes das métricas de vegetação EVI. Os valores mais altos de desvio padrão, ou seja, os locais onde os valores são mais diferentes da média nas classes (intervalo de desvio padrão alto) está localizado nas classes de vegetação. Já solo exposto, água e deserto apresentam intervalos baixos). Isso ocorre porque nessas classes (regiões poligonais) as variações estacionais e monomodais de EVI são bem mais definidas, devido a dependência do verdor com o regime de chuvas, igualmente visto no estudo de Filho et al. (2018), em que diagnosticou o EVI e o regime de precipitação no nordeste brasileiro, do qual apresenta características climatológicas semelhantes ao do sul de Angola.

Outra importante medida de dispersão dos valores de verdor é a variância. Trata-se da expectativa do desvio quadrático de uma variável aleatória e sua média. Dessa forma a variância quantifica a variabilidade do verdor para com sua média. Este parâmetro da estatística zonal, mostra uma variação (0 a 0,001) entre baixa variância nas classes solo exposto, água e deserto, alta variância no restante das classes de vegetação, e se manteve este comportamento padronizado em todas as métricas de vegetação EVI do nível N1, o que significa, segundo Pires (2011) que pode gerar facilidades quanto a estimativa. Este comportamento, deve-se ao fato de que a vegetação varia sazonalmente de acordo com o período de chuvas.

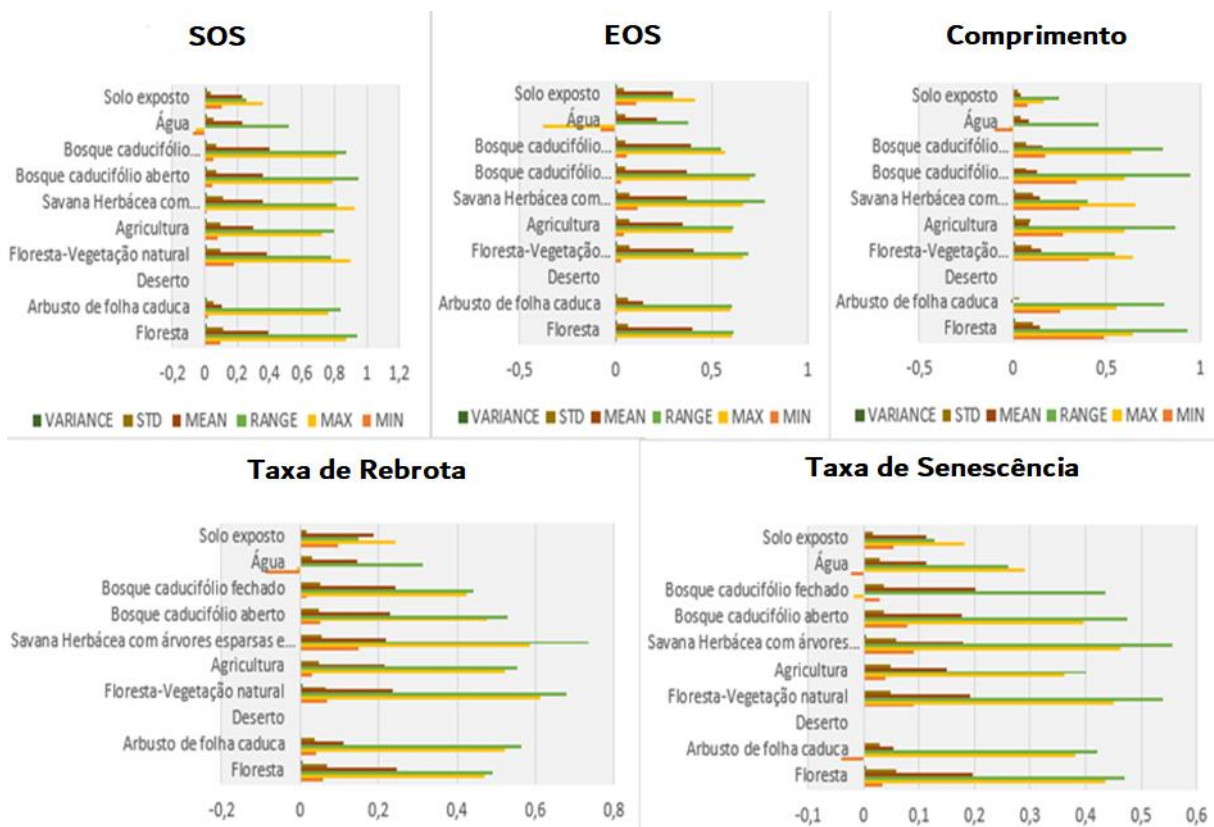


Figura 20 - Análise estatística para as métricas de vegetação obtidas através do EVI correlacionadas com as classes de vegetação N2 para: a) início da estação (SOS), b) fim da estação (EOS), c) comprimento da estação, d) taxa de rebrotas, e e) taxa de senescência. Fonte: Elaborado pelos autores.

CONCLUSÃO

As características físicas do meio ambiente como o relevo, precipitação, evapotranspiração juntamente com as métricas fenológicas de vegetação obtidas por dados de sensoriamento remoto permitiram caracterizar as formações vegetais nativas e antropizadas em Angola. As áreas representadas majoritariamente por vegetação nativa, tais como, florestas, savanas e formações de estepes, apresentaram maiores porções de áreas, contrários as restantes classes como solo exposto, água e deserto quando analisamos a classificação no nível de cobertura e uso da terra N2. No entanto, nível fitofisionômica da vegetação no mapeamento N1 o comportamento foi similar, tendo apenas a classe Dunas arenosas com a menor porção de área. Nestes dois níveis de classificação a distribuição da fenologia de vegetação foi semelhante, mesmo sendo que em N2 obteve-se maior quantidade de classes, o que significou uma convergência ao analisar nos dois níveis.

Na vegetação EVI, as métricas indicaram início, fim e duração nos períodos e tempo de atraso

esperados, sendo que o tempo de atraso para se dar o início do crescimento da vegetação em Angola, foi variado na maioria das regiões. Este comportamento verificou-se em todas as classes de N1 e N2.

A precipitação e evapotranspiração, indicaram influência na duração da estação do crescimento da vegetação, por apresentarem uma alta variabilidade temporal e espacial. Há também diferenças oriundas das características de cada tipo de vegetação e solo. As classes de vegetação nativa mostraram uma resposta do início do aumento no verdor mais rápido após o início das chuvas, quando comparadas com a agricultura. Entretanto, a altitude e a declividade do local acabam influenciando direta ou indiretamente no crescimento rápido ou lento da vegetação para essas localidades.

E por fim, com esse estudo proporcionou-se uma análise sinóptica acerca da distribuição espacial da vegetação em Angola, potencializando a expansão de estudos de fenologia feitos de forma pontual ou envolvendo uma ou poucas espécies vegetais para regiões geográficas maiores, com o intuito de se conhecer melhor a dinâmica fenológica das suas fitofisionomias.

6. BIBLIOGRAFIA

AGUIAR, F. Q. B.; DINIZ, A. C. Carta de Vegetação do Planalto Ocidental da Ceta: Estudo Interpretativo. **Serie Cientifica, Instituto de Investigacao Agronómica de Angola**, Huambo, 1972.

ALCANTARA, C; KUEMMERLE, T; PRISHCHEPOV, AV; RADELOFF, VC. Mapping abandoned agriculture with multi-temporal MODIS satellite data. **Remote Sensing Environment**, Querétaro, México, v.124, p.334-347, 2012.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage Paper**, FAO, Roma, v.56, 1998.

ARANTES, A.E. **Fenologia da vegetação e a sua relação com a água e o carbono em ambientes de cerrado no brasil: influências do uso e cobertura da terra no passado, presente e futuro**. Dissertação de Mestrado, UFG, Goiânia, Brasil, 2015.

ASRAR, G.; FUCHS, M.; KANEMASU, E. T.; HATFIELD, J. L. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. **Agronomy Journal**, v.76, p.300-306, 1984.

BALLESTEROS, J. F.; ORTEGA, D.; HERNÁNDEZ, e M.; MORENO, M. Characterization of vitis vinifera Canopy using unmanned aerial vehicle-based remote sensing and photogrammetry techniques. **American Journal of Enology and Viticulture**, vol. 66, no. 2, p. 120–129, 2015.

BARBOSA, L.A.G. Carta fitogeográfica de Angola. **Instituto de Investigação Científica de Angola**, Luanda. 1970.

BARICHIVICH, J.; BRIFFA, K.R.; OSBORN, T.J.; MELVIN, T.M.; CAESAR, J. Thermal growing season and timing of biospheric carbon uptake across the Northern Hemisphere. **Glob Biogeochem Cycles**, v. 26, p. 4015, 2012.

BATTEN, G.D. Plant analysis using near infrared reflectance spectroscopy: the potential and the limitations. **Australian Journal of Experimental Agriculture**. v. 38, p. 697-706, 1998.

BECERRA, J.; SHIMABUKURU, Y.; ALVALA, R. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de Cerrado da Amazônia legal, usando índices espectral de vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p.126, 2009.

BECK, P.S.A.; JONSSON, P.; HOGDA, K.A.; KARLSEN, S.R.; EKLUNDH, L.; SKIDMORE, A.K.A. Ground-validated NDVI dataset for monitoring vegetation dynamics and mapping phenology in Fennoscandia and the Kola peninsula. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, p. 4311-4330, 2007.

BORGES, E. F.; SANO, E. E. Caracterização fenológica da cobertura vegetal do oeste da Bahia a partir de séries temporais de EVI do sensor MODIS. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 6, p.1265-1280, 2014.

BOUKADOUM, B.A.; BENZAOU, A.; NEDJARI, H.D. Comparative study of the effect of two type of ribs on thermal performance of solar air heaters. **Transactions on Mechanical Engineering**. v. 24, n. 5, p. 2418-2428, 2017.

BOYD, D.S.; ALMOND, S; DASH, J.; CURRAN, P.J.; HILL, R.A. Phenology of vegetation in Southern England from Envisat MERIS terrestrial chlorophyll index (MTCI) data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, p. 8421–8447, 2011.

BUMA, B.; PUGH, E.T.; WESSMAN, C.A. Effect of the current major insect outbreaks on decadal phenological and LAI trends in southern Rocky Mountain forests. **International Journal of Remote Sensing**, v. 34, p. 7249–7274, 2013.

BURNS, D.A.; CIURCZAK, E.W. **Handbook of near-infrared analysis**. New York, USA, 3 ed, 2007.

CABRAL, A. Cartografia de coberto do solo para o território Angolano utilizando imagens de satélite MODIS. **Revista Portuguesa de Estudos Regionais**, n.15, 2008.

CARDOSO, J.; DUARTE, M.; COSTA, E. Comunidades vegetais da Serra da Leba. **Agricultura, Recursos Naturais e Desenvolvimento**, p. 205-223, 2006.

CHANG, S.; PENG, SEN.; LIU, SHI-RONG. A review of plant spectral reflectance response to water physiological changes. **Chinese Journal of Plant Ecology**, vol. 40, no. 1, p. 80–91, 2016.

CHEN, X.; PAN, W. Relationships among phenological growing season, time-integrated normalized difference vegetation index and climate forcing in the temperate region of eastern China. **International Journal of Climatology**, v. 22, n. 14, p. 1781-1792, 2002.

CIHLAR, J; LY, H.; LI, Z.; CHEN, J.; POKRANT, H.; HUANG, F. Multitemporal, multichannel AVHRR data sets for land biosphere studies—Artifacts and corrections, **Remote Sensing of Environment**, v.60, p.35-57, 1997.

CLARK, M.L.; AIDE, T.M.; GRAU, H.R; RINER, G. A scalable approach to mapping annual land cover at 250 m using MODIS time series data: a case study in the dry Chaco ecoregion of South America. **Remote Sensing Environment**, v. 114, p. 2816–2832, 2010.

CLELAND, E. E.; CHUINE, I.; MENZEL, A.; MOONEY, H. A.; SCHWARTZ, M.D. Shifting plant phenology in response to global change. **Trends in Ecology Evolution**, v. 22, p. 357–365, 2007.

CRIST, E. P.; CICONE, R. C. A physically based transformation of Thematic Mapper data - The TM Tasseled Cap. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.22, p.256-263, 1984.

DASH, J.; MATHUR, A.; FOODY, G.M.; CURRAN, P.J.; CHIPMAN, J.W.; LILLESAND, T. M. Land cover classification using multi-temporal MERIS vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v.28, n.6, p.1137-1159, 2007.

DEFRIES, R.S.; TOWNSHEND, J.R.G. NDVI-derived land cover classifications at a global scale. **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, p. 3567–3586. 1994.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. **Estudos de Irrigação e Drenagem**. Campina Grande: UFPB, v.33, 1994.

DUGARSUREN, N.; LIN, C. Temporal variations in phenological events of forests, grasslands and desert steppe ecosystems in Mongolia: a remote sensing approach. **Annals of Forest Research**, p. 175-190, 2016.

DUCHEMIN, B.; GOUBIER, J.; COURRIER, G. Monitoring phenological key stages and cycle duration of temperate deciduous forest ecosystems with noaa/avhrr data. **Remote Sensing of Environment**, v.67, p.68-82, 1999.

EKLUNDH, L.; OLSSON, L. Vegetation index trends for the African Sahel 1982-1999. **Geophysical Research Letters**, v.30, p.1430-1433, 2003.

EKLUNDH, L.; JONSSON, P. TIMESAT: A Software Package for Time-Series Processing and Assessment of Vegetation Dynamics. **Springer International Publishing**, v.22, p.141-158, 2015.

EKLUNDH, L.; JOHANSSON, T.; SOLBERG, S. Mapping insect defoliation in Scots pine with MODIS time-series data. **Remote Sensing of Environment**, v.113, p.1566-1573, 2009.

FERREIRA A.B.R.; FONSECA M.; PEREIRA G. Compartimentação do relevo baseada em parâmetros morfométricos: uma análise da região do extremo oeste da Bahia. **Caderno de Geografia**, v.30, n.60, p.236-251, 2020.

FILHO, W.L.F.C.; DOS SANTOS, T.V.; DIOGO, A. M; DE AMORIM, R.F.C. Diagnóstico da Precipitação e EVI em Dois Eventos de Seca no Nordeste do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 35, p. 102–112, 2018.

FITZGERALD, R.W.; LEES, B.G. Assessing the classification accuracy of multisource remote sensing data. **Remote Sensing of Environment**, v.47, p.362-368, 1994

FLORENCHIE, P.; LUTJEHARMS, J.R.; REASON, C. J.C.; MASSON, S.; ROUAULT, M. The source of Benguela Niños in the south Atlantic Ocean. **Geophysical Research Letters**, v.30, n.10, 2003.

FLORENZANO, T.G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3 ed, São Paulo, 2011.

FOLEY, W.J.; MCILWEE, A.; ARAGONES, I.L.L.; WOOLNOUGH, A.P.; BERDING, N. Ecological applications of near infrared reflectance spectroscopy a tool for rapid, cost-effective prediction of the composition of plant and animal tissues and aspects of animal performance. **Oecologia**. v.116, p.293-305, 1998.

FONSECA, B.R.; XAVIER, J.A. Reconstrucción de la precipitación en Angola en el periodo de Guerra. **Física de la Tierra**, v.21, p.191-205, 2009.

FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of**

Environment, v.80, p.185-201, 2002.

FUNK, C.; PETE P.; MARTIN, L.; DIEGO, P.; JAMES, V.; SHRADDHANAND, S.; GREGORY, H.; JAMES, R.; LAURA, H.; ANDREW, H.; JOEL, M. The climate hazards infrared precipitation with stations a new environmental record for monitoring extremes, California - USA. **Scientific Data**, v.2, p.0-66, 2015.

GAGO, J.; DOUTHE, C.; COOPMAN, R.E. UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. **Agricultural Water Management**, vol. 153, p. 9-19, 2015.

GAO, X.; HUETE, A. R.; NI, W.; MIURA, T. Optical - biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. **Remote Sensing of Environment**, v.74, p.609 - 620, 2000.

GAMON, J.A.; FIELD, C.B.; GOULDEN, M.L.; GRIFFIN, K.L.; HARTLEY, A.E.; JOEL, G. Relationships between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in three Californian vegetation types. **Ecological Applications**, v.5, p.28-41, 1995.

GARCIA-MONTIEL, D.C.; COE, M.T.; CRUZ, M.P.; FERREIRA, J.N.; SILVA, E. M.Estimating Seasonal Changes in Volumetric Soil Water Content at Landscape Scales in a Savanna Ecosystem Using Two-Dimensional Resistivity Profiling. **Earth Interactions**, v.12, n.2, p.1-25, 2008.

GOETZ, A.F.H.; VANE, G.; SOLOMON, J.E.; ROCK, B.N. Imaging Spectrometry for Earth Remote Sensing. **Science**, v.228, p.1147-1153. 1985.

GONÇALVES, A.K.; DA SILVEIRA, G.R.P.; DE BARROS, Z.X.; CAMPOS, S. Métodos de classificação supervisionada de imagens de satélite aplicadas no mapeamento do uso do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio, São Manuel/SP. **GEOSABERES: Revista de Estudos Geoeeducacionais**, v.6, n.1, p.52-62, 2015.

GOWARD, S.N.; MARKHAM, B.; DYE, D.C.; DULANEY, W.; YANG, J. Derivation of quantitative NDVI measurements from AVHRR observations. **Remote Sensing of**

Environment, v.35 , p.257 - 277, 1991.

GRACE, J.; NICHOL, C.; DISNEY, M.; LEWIS, P.; QUAIFFE, T.; BOWYER, P. Can we measure terrestrial photosynthesis from space directly, using spectral reflectance and fluorescence? **Global Change Biology**, v. 13, n. 7, p. 1484-1497, 2007.

GRAETZ, R. D. Remote sensing of terrestrial ecosystem structure: an ecologist's pragmatic view. **Remote sensing of biosphere functioning**, v.79, p.5-30, 1990.

GU, Y.; BROWN, J.; MIURA, T.; LEEUWREN, W. J.; REED, B. Phenological Classification of the United States: A Geographic Framework for Extending Multi-Sensor Time-Series Data. **Remote Sensing**, v. 2, n.2, p. 526-544, 2010.

GUIMARÃES D.P.; LANDAU E.C.; SANTOS M.C.B.; MENDES S.H.G. DA S. Caracterização das chuvas no Pantanal Mato-grossense. **Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, p. 555-562, Jardim, MS, 2018.

HATFIELD, J.; PRUEGER, J.H. Effect on plant growth and development. **Anal Bioanal Chem.** v. 10, n. 393 p. 1387–1389, 2015.

HEUMANN, B. W.; SEAQUIST, J. W.; EKLUNDH, L.; JONSSON, P. Avhrr derived phenological change in the sahel and soudan, africa, 1982-2005. **Remote Sensing of Environment.** v.108, p.385–392, 2007.

HAN, Q.; LUO, G.; LI, C. Remote sensing-based quantification of spatial variation in canopy phenology of four dominant tree species in Europe. **Journal of Applied Remote Sensing**, v.7, p.073-485, 2013.

HICKLER, T.; EKLUNDH, L.; SEAQUIST, J.; SMITH, B.; ARDO, J.; OLSSON, L.; SYKES, M; SJOSTROM, M. Precipitation controls Sahel greening trend. **Geophysical Resource Letters**, v.32, 2005.

HIRD, J.; MCDERMID, G.J. Noise reduction of NDVI time series: An empirical comparison

of selected techniques. **Remote Sensing of Environment**, v.113, n.1, p.248-258, 2009.

HMIMINA, G.; DUFRÊNE, E.; PNTAILLER, J.Y.; DELPIERRE, N.; AUBINET, M.; CAQUET, B.; GRANDCOURT, A.DE.; BURBAN, B.; FLECHARD, C.; GRANIER, A.; GROSS, P.; HEINESCH, B.; LONGDOZ, B.; MOUREAUX, C.; OURCIVAL, J.M.; RAMBAL, S.; SAINT A.L.; SOUDANI, K. Evaluation of the potential of modis satellite data to predict vegetation phenology in different biomes: An investigation using ground-based ndvi measurements. **Remote Sensing of Environment**, v. 132, p. 145–158, 2013.

HOFFMANN, H.; NIETO, H.; JENSEN, R.; GUZINSKI, R.; ZARCO-TEJADA, P.J.; FRIBORG, T. Estimating evapotranspiration with thermal UAV data and two source energy balance models. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, vol.12, n.8, p.7469-7502, 2015.

HONKAVAARA, E.; SAARI, H.; KAIVOSOJA, J.; POLONEN, I.; HAKALA, T.; LITKEY, P.; MAKYNEN, J.; PESONEN, L. Processing and assessment of spectrometric, stereoscopic imagery collected using a lightweight UAV spectral camera for precision agriculture. **Remote Sensing**, vol.5, n. 0, p.5006-5039, 2013.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.195-213, 2002.

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25, p.295-309, 1988.

HUETE, A.R.; JUSTICE, C.; LIU, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. **Remote Sensing of Environment**, v.49, p.224-234, 1994.

HUETE, A.R., LIU.; H.Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W.J.D. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v.59, p.440-451, 1997.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL - IDF. Estimativa por área do Bioma e cobertura vegetal de Angola. Disponível em: <https://www.ciencia.ao/artigos/divulgacao-cientifica>. Acesso em 16/08/2018.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA - INE. Recenseamento Geral da População e Habitação. Disponível em: <http://censo.ine.gov.ao/xportal/xmain?xpid=censo2014>. Acesso em 16/08/2018.

JONSSON A.M.; EKLUNDH, L.; HELLSTRÖM, M.; BÄRRING, L.; JONSSON, P. Annual changes in MODIS vegetation indices of Swedish coniferous forests in relation to snow dynamics and tree phenology. **Remote Sensing Environment**, v.114, p. 719-2730, 2010.

JONSSON, P.; EKLUNDH, L. Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.40, p.1824-1832, 2002.

JONSSON, P.; EKLUNDH, L. TIMESAT - a program for analyzing time-series of satellite sensor data. **Computers and Geosciences**, v.30, p.833-845, 2004.

JURY, M.; PATHACK, B.; SOHN. Spatial structure and interannual variability of summer convection over southern Africa and the SW Indian Ocean. **South African Journal of Science**, v.88, p.275-280, 1992.

JUSTICE C.O, TOWNSHEND J.R.G, HOLBEN B.N, TUCKER C.J. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. **International Journal Remote Sensing**, v. 6, p. 1271–1318. 1985.

KARLSEN, S.R.; TOLVANEN, A.; KUBIN, E.; POIKOLAINEN, J.; HØGDA, K.A.; JOHANSEN, B.; DANKS, F.S.; ASPHOLM, PAUL.; WIELGOLASKI, F.E.; MAKAROVA, O. MODIS-NDVI-based mapping of the length of the growing season in northern Fennoscandia, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.10, p.53-266, 2008.

KARNIELI, A.N.; AGAM, R.T.; PINKER, M.; ANDERSON, M.L.; IMHOFF, G.G.; GUTMAN, N.; PANOV.; GOLDBERG, A. Use of NDVI and Land Surface Temperature for Drought Assessment: Merits and Limitations. **Journal of Climate**. v. 23, p. 618–633, 2010.

KAUFMAN, Y. J.; TANRE', D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS - MODIS. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.30, p.261-270, 1992.

KEENAN, T.F.; GRAY, J.; FRIEDL, M.A.; TOOMEY, M.; BOHRER, G.; HOLLINGER, D.Y.; MUNGER, J.W.; O'KEEFE, J.; SCHMID, H.P.; WING, I.S.; YANG, B.; RICHARDSON, A.D. Net carbon uptake has increased through warming-induced changes in temperate forest phenology. **Natural Climate Change**, v.4, p.598-604, 2014.

KUENZER, C.; DECH, S.; WAGNER, W. Remote sensing time series revealing land surface dynamics: status quo and the pathway ahead. **Remote Sensing Time Series**. v.22. p.458, 2015.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p.159-174, 1977.

LEINENKUGEL, P.; KUENZER, C.; OPPELT, N.; DECH S. Characterisation of land surface phenology and land cover based on moderate resolution satellite data in cloud prone areas - A novel product for the Mekong Basin. **Remote Sensing of Environment**, v.136, p.180-198, 2013.

LENZA, E.; KLINK, C.A. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um Cerrado sentido restrito de Brasília, DF. **Revista Brasileira de Botânica**. v.29, n.4, p.627-638, 2006.

LE PAGE, Y.; OOM, D.; SILVA, J.M.N.; JONSSON, P.; PEREIRA, J.M.C. Seasonality of vegetation fires as modified by human action: observing the deviation from eco-climatic fire regimes. **Global Ecology Biogeography**, v.19, p.575-588, 2010.

LI, Z.L.; TANG, R.; WAN, Z.; BI, Y.; ZHOU, C.; TANG, B.; YAN, G.; ZHANG, X. A Review of Current Methodologies for Regional Evapotranspiration from Remotely Sensed Data. **Sensors**, v.9, p.3801-3853, 2009.

LOARIE, S.R.; DUFFY, P.B.; HAMILTON, H.; ASNER, G.P.; FIELD, C.B.; ACKERLY, D.D. The velocity of climate change. **Nature**, n.462, p.1051-1055, 2009.

LUO, Z.; GUAN, H.; ZHANG, X.; LIU, NA. Photosynthetic capacity of senescent leaves for a subtropical broadleaf deciduous tree species *Liquidambar formosana* Hance. **Scientific Report**, v.7, n.6323, p.1-9 2017.

MELOS, N. D.; AIMON, J.G. S.; FACCO, D.S.; AMARAL, L. P.; SEBEM, E. Análise através da geoestatística aplicada em dados obtidos por ndvi de um fragmento da floresta ombrófila mista. **IV Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias**, p. 2236-2118, Botucatu, São Paulo, Brasil, 2015.

MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B. Agricultura sustentável no semiárido nordestino. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.20-46, 2000.

MINISTÉRIO DO URBANISMO E AMBIENTE - MUA. **Relatório do Estado Geral do Ambiente em Angola**. Luanda. Angola, 2006.

MIURA, T.; HUETE, A.R.; VAN LEEUWEN, W.J.D.; DIDAN, K. Vegetation detection through smoke-filled AVIRIS images: an assessment using MODIS band passes. **Journal of Geophysical Research**, v.103, p.32001-32011, 1998.

MIURA, T.; HUETE, A.R.; YOSHIOKA, H.; HOLBEN, B.N. An error and sensitivity analysis of atmospheric resistant vegetation indices derived from dark target-based atmospheric correction. **Remote Sensing of Environment**, v.78, p.284-298, 2001.

MONTEITH, J.L. Evaporation and environment. In: B.D. Fogg, (Ed.), *The State and Movement of Water in Living Organism*, **Symposium of the society of experimental biology**, n.19, Cambridge University Press, Cambridge, p. 205–234, 1965.

MONTEITH, J. Radiation and Crops. **Experimental Agriculture**, v.4, p.241-251, 1965.

MORETTIN, P.A.; TOLOI, C. **Análise de Séries Temporais**. Blucher, ed1, 2004.

MOULIN, S.; KERGOAT, L.; VIOVY, N.; DEDIEU, G. Global-scale assessment of vegetation phenology using noaa/avhrr satellite measurements. **Journal of Climate**, v.10, p. 1154-1170, 1997.

MU, Q.; HEINSCH, F.A.; LIU, M.; LIU.; TIAN, H.; RUNNING, S.W. Evaluating water stress controls on primary production in biogeochemical and remote sensing based models. **Journal of Geophysical Research**, 2007b.

MU, Q.; HEINSCH, F.A.; ZHAO, M.; RUNNING, S.W. Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. **Remote Sensing of Environment**, v.111, p.519-536, 2007a.

MU, Q.; JONES, L.A.; KIMBALL, J.S.; MCDONALD, K.C.; RUNNING, S.W. Satellite assessment of land surface evapotranspiration for the pan-Arctic domain. **Water Resources Research**, n.45, 2009.

MU, Q.; ZHAO, M.; RUNNING, S.W. Improvements to a MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration Algorithm. **Remote Sensing of Environment**, v.13, p.167-198, 2011.

MULLA, D.J. Twenty Five Years of Remote Sensing in Precision Agriculture: Key Advances and Remaining Knowledge Gaps. **Biosystems Engineering**, v.114, p.358-371, 2013.

MYNENI, R.B. KEELING, C. D.; TUCKER, C. J.; ASRAR, G.; NEMANI, R. R. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. **Nature**, n. 386, p. 698-702, 1997.

NHONGO, E.J.S.; FONTANA, D.C.; GUASSELLI, L.A.; ESQUERDO, J.C.D.M. Caracterização fenológica da cobertura vegetal com base em série temporal ndvi/modis na reserva do niassa - Moçambique. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.69, n.6, 2017.

O'CONNOR, B.; DWYER, E.; CAWKWELL, F.; EKLUNDH, L. Spatio-temporal patterns in vegetation start of season across the island of Ireland using the MERIS Global Vegetation Index. **ISPRS Journal Photogramm Remote Sensing**, v.68, p.79-94, 2012.

OLIVEIRA, P.E.; SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. Fenologia e biologia reprodutiva das espécies de Cerrado **Cerrado: Ecologia e Flora**. BRASÍLIA: Embrapa Informação Tecnológica, v.1, p.273-287, 2008.

OLMSTEAD, A.L.; RHODE, P.W. Adapting north american wheat production to climatic challenges, 1839–2009. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, v.108, p. 480–485, 2011.

OLSSON, L.; EKLUNDH, L.; ARDO, J. A recent greening of the Sahel_97trends, patterns and potential causes. **Journal Arid of Environment**, v. 63, p. 556–566, 2005.

OLSSON, P.O.; JONSSON, A.M.; EKLUNDH, L. A new invasive insect in Sweden - *Physokermes inopinatus* – tracing forest damage with satellite based remote sensing. **Forest Ecology and Management**, v. 285, p. 29–37, 2012.

OREN, R.; PHILLIPS, N.; EWERS, B.E.; PATAKI, D.E.; MEGONIGAL, J.P. Sap-flux-scaled transpiration responses to light, vapor pressure 84rea84it, and leaf 84rea reduction in a flooded *Taxodium distichum* forest. **TREE PHYSIOLOGY**, v.19, p.337-347, 1999.

PEREIRA, T.S.; COSTA, M.L.M.N.; MORAES, L.F.D.; LUCHIARI, C. Fenologia de espécies arbóreas em Floresta Atlântica da Reserva Biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. **Série Botanica**, v. 63, n. 2, p. 329-339, 2008.

PETERSON, D.L.; ABER, J. D.; MATSON, P.A.; CARD, D.H. SWANBERG, N.; WESSMAN, C.; SPANNER, M. Remote sensing of forest canopy and leaf biochemical contents. **Remote Sensing of Environment**, v.24, p.85-108, 1988.

PIAO, S.L.; FANG, J.Y.; ZHOU, L.M.; CIAIS, P.; ZHU, B. Variations in satellite-derived phenology in china's temperate vegetation. **Global Change Biology**, v.12, p.672-685, 2006.

PIAZZA, G.A.; VIBRANS, A.C. Classificação orientada a objetos para mapear florestas secundárias em Santa Catarina, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de

Janeiro, n.66, p.993-1005, 2014.

PIRES, C.A.F. **Geoestatística: caderno técnico**. Departamento de Geociências. CCNE Série Naturais e Exatas UFSM. Santa Maria, p.184, 2011.

POLO, I.B; RODRÍGUEZ, T.F; LOSADA, J.; GARCÍA, S. Tropical Atlantic Variability Modes (1979–2002). Part I: Time-Evolving SST Modes Related to West African Rainfall. **Journal of Climate**, v.21, n24, p.6457-6475, 2008

POTTER, C.S.; KLOOSTER, S.A.; BROOKS, V. Interannual variability in terrestrial net primary production: exploration of trends and controls on regional to global scales. **Ecosystems**, v.2, p.36-48, 1999.

REED, B. C.; BROWN, J. F.; VANDERZEE, D. Measuring phenological variability from satellite imagery. **Journal of Vegetation Science**, v.5, p.703-714, 1994.

RICHARDSON, A.D.; KEENAN, T. F.; MIGLIAVACCA, M.; RYU, Y.; SONNENTAG, O.; TOOMEY, M. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks, to the climate system. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.169, p.156-173, 2013.

RICHARDSON, A.J.; WIEGAND, C.L. Distinguishing vegetation from soil background information. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.43, p.1541-1552, 1977.

RODERICK, M.; SMITH, R.; LODWICK, G. Calibrating long-term AVHRR-derived NDVI imagery. **Remote Sensing of Environment**, v.58, p.1-12, 1996.

ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v.115, p.1606-1626, 1987.

ROUSE, J.W.; HASS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **Earth Resources Technology Satellite Symposium**, p.309-317, Washington, NASA, 1974.

RUHOFF, A. L. **Sensoriamento Remoto Aplicado à estimativa da evapotranspiração em biomas tropicais**. Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

RUNNING, S.W; LOVELAND, T.R.; PIERCE, L.L. A vegetation classification logic based on remote sensing for use in global biogeochemical models. **Ambio**. v.23, p.77-1, 1994.

RUNNING, S.W.; ZHAO, M.; KIMBALL, J. S.; GLASSY, J. Improving continuity of MODIS terrestrial photosynthesis products using an interpolation scheme for cloudy pixels, **International Journal of Remote Sensing**, v.26, n.8, p.1659-1676, 2005.

SANTANA, O.A.; CARVALHO Jr., O.A.; PIMENTEL, C.M.M.; GOMES, R.A.T.; OLIVEIRA, S.N. Modelagem de espectros temporais NDVI-Modis, no período de 2000 a 2008, na bacia do rio Paracatu, Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.28, n.1, p.47-60, 2010.

SANTOS, S.A. **Análise do controle ambiental nas trocas de energia, vapor d'água e co2 em área de caatinga**. Dissertação de Mestrado, UFCG, Campina Grande, Brasil, 2011.

SEAQUIST, J.W.; HICKLER, T.; EKLUNDH, L.; ARDO, J.; HEUMANNB. Disentangling the effects of climate and people on sahel vegetation dynamics. **Biogeosciences**, v.6, p.469-477, 2009.

SELLERS, P.C. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. **International Journal of Remote Sensing**, v.6, p.1335-1372, 1985.

SILVA, L.C.; DO N.; BACANI, V.M. Classificação orientada a objeto (GEOBIA) aplicada à análise das alterações do uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Rio da Prata em Jardim e Bonito - MS. **Geografia (Londrina)**, v.26. n.1. p 05-18, 2017.

SIMONNEAUX, V.; DUCHEMIN, B.; HELSON, D.; ER-RAKI, S.; OLIOSO, A.; CHEHBOUNI, A. G. The use of high-resolution image time series for crop classification and evapotranspiration estimate over an irrigated area in central Morocco, **International Journal of Remote Sensing**, v.29, n.1, p.95-116, 2008.

SONNENTAG, O.; HUFKENS, K.; TESHARA-STERNE, C.; YOUNG, A.M.; FRIEDL, MARK.; BRASWELL, B.H.; MILLIMAN, T.; O'KEEFE, J.; RICHARDSON, A.D. Digital repeat photography for phenological research in forest ecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.152, p.159-177, 2012.

STANHILL, G.; COHEN, S. Solar Radiation Changes in the United States during the Twentieth Century: Evidence from Sunshine Duration Measurements. **Journal of Climate**, v. 18, p. 1503–1512, 2005.

STEPHENSON, N.L. Climatic control of vegetation distribution - the role of the water-balance. **The American Naturalist**, v.135, p.649-670, 1990.

SUZUKI, R.; NOMAKI, T.; YASUNARI, T. West-east contrast of phenology and climate in northern asia revealed using a remotely sensed vegetation index. **International Journal of Biometeorology**, v 47, p.126-138 2003.

STISEN, S.; SANDHOLT, I.; NORGAARD, A.; FENSHOLT, R.; EKLUNDH, L. Estimation of diurnal air temperature using MSG SEVIRI data in West Africa. **Remote Sensing Environment**, v.110, p.262-274, 2007.

TANG, H.; LI, Z.; ZHU, Z.; CHEN, B.; ZHANG, B.; XIN, X. Variability and climate change trend in vegetation phenology of recent decades in the greater khingan mountain area, northeastern china. **Remote Sensing**, v.7, p.11914-11932, 2015.

THORNTHWAITE, C.W. Report of the comitee on transpiration and evaporation. **Transactions American Geophysical Union**. v.5, p.1-687, 1944.

TOTTRUP, C.; SCHULTZ, R.M.; EKLUNDH, L.; JONSSON, P. Mapping fractional forest cover across the highlands of mainland Southeast Asia using MODIS data and regression tree modelling. **International Journal of Remote Sensing**, v.28, p.23-46, 2007.

TOWNSHEND J.R.G.; JUSTICE C.O. Analysis of the dynamics of African vegetation using

the normalized difference vegetation index. **International Journal of Remote Sensing**, v.7, p.1435-1445. 1986.

TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v.8, p.127-150, 1979.

TUCKER, C.J.; TOWNSHEND, J.R.G.; GOFF, T.E. African land cover classification using satellite data , **Science** , v.223, p.369-375, 1985.

VAN LEEUWEN, W.J.D.; DAVISON, J.E.; CASADY, G.M.; MARSH, S.E. Phenological characterization of desert sky island vegetation communities with remotely sensed and climate time series data. **Remote Sensing**, v.2 p.388-415, 2010.

VAN LEEUWEN, W.J.D; HARTFIELD, K.; MIRANDA, M.; MEZA, F.J. Trends and ENSO/AAO driven variability in NDVI derived productivity and Phenology alongside the Andes mountains. **Remote Sensing**, v. 5, p. 1177–1203, 2013.

VAN LEEUWEN, W.J.D.; HUETE, A.R.; LAING, T.W. MODIS vegetation index compositing approach: a prototype with AVHRR data. **Remote Sensing of Environment**, v.69, p.264-280, 1999.

VERAVERBEKE, S; LHERMITTE, S; VERSTRAETEN, W.W; GOOSSENS, R. The temporal dimension of differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) fire/burn severity studies: the case of the large 2007 Peloponnese wildfires in Greece. **Remote Sensing Environment**, v. 114, p.2548–2563, 2010.

VERBESSELT, J.; JONSSON, P.; LHERMITTE, S.; VAN AARDT, J.; COPPIN, P. Evaluating satellite and climate data-derived indices as fire risk indicators in Savannah ecosystems. **IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing**, v.44, p.1622-1632, 2006.

VERMOTE, E.; EL SALEOUS, N.; JUSTICE, C. Atmospheric correction of the MODIS data in the visible to middle infrared: First results. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.97-111, 2002.

VERSTRAETE, M.M.; PINTY, B. Designing optimal spectral indexes for remote sensing applications. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.34, p.1254-1265, 1996.

VINTROU, E.; ANNIE, D.; AGNÈS, B.; SIBIRY, T.; CHRISTIAN, B.; DANNY, L.S. Crop area mapping in West Africa using landscape stratification of MODIS time series and comparison with existing global land products, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.14, p.83-93, 2012.

XAVIER, J.A. **Reconstrucción de la variabilidad pluviométrica en Angola en el periodo 1979-2003**. Tese de Doutorado, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Espanha, 2013.

XIA, T.; KUSTAS, W.P.; ANDERSON, M.C.; ALFIERI, J.G.; GAO, F.; MCKEE, L.; PRUGER, J.H.; GELI, H.M.E.; NEALE, C.M.U.; SANCHEZ, L.; ALSINA, M.M.; WANG, Z. Mapping evapotranspiration with high-resolution aircraft imagery over vineyards using one-and two-source modeling schemes. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.20, n.4, p.1523-1545, 2016.

WANG, Z. The relationship of vegetation phenology and climate change in the north-south transect of eastern china. **International Conference on Material Science and Environmental Engineering**, p.53-56, 2012.

WEISS, M.; HURK, B.; HAARSMA, R.; HAZELEGER, W. Impact of vegetation variability on potential predictability and skill of EC-Earth simulations. **Climate Dynamic**, v.39, p.2733-2746, 2012.

WESSELS, K.; STEENKAMP, K.; VON MALTITZ, G.; ARCHIBALD, S. Remotely sensed vegetation phenology for describing and predicting the biomes of South Africa. **Applied Vegetation Science**, v.14, p.49-66, 2011.

WHITE, M.A.; THORNTON, P.E.; RUNNING, S.W. A continental phenology model for

monitoring vegetation responses to interannual climatic variability. **Global Biogeochemical Cycles**, v.11, p.217-234, 1997.

WU, C.Y.; GONSAMO, A.; GOUGH, C.M.; CHEN, J.M.; XU, S.G. Modeling growing season phenology in north american forests using seasonal mean vegetation indices from modis. **Remote Sensing of Environment**, v.147, p.79-88, 2014.

YU, X.F.; ZHUANG, D.F. Monitoring forest phenophases of northeast china based on modis ndvi data. **Remote Sensing of Environment**, v.136, p.146-162, 2006.

ZEBIAK, S.E. Air-sea interaction in the equatorial Atlantic region, **Journal of Climate**, v.6, p.1567-158, 1993.

ZENG, F.W.; COLLATZ, G.J.; PINZON, J.E.; IVANOFF, A. Evaluating and Quantifying the Climate-Driven Interannual Variability in Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI3g) at Global Scales. **Remote Sensing**, v.5, p.3918-3950, 2013.

ZHANG, X.; FRIEDL, M.A.; SCHAAF, C.B.; STRAHLER, A.H.; HODGES, J.C.F.; GAO, F.; REED, B.C.; HUETE, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v.84, p.471-475, 2003.

ZHANG, M.Q.; GUO, H.Q.; XIE, X.; ZHANG, T.T.; OUYANG, Z.T.; ZHAO, B. Identification of land-cover characteristics using MODIS time series data: an application in the Yangtze River Estuary. **PLOS ONE**, v.8, p.1-12, 2013.

ZHANG, X.; FRIEDL, M.A.; TAN, B.; GOLDBERG, M.D.; YU, Y. Long-Term Detection of Global Vegetation Phenology from Satellite Instruments. **Phenology and Climate Change**, v.57, p.327-351, 2012.

ZHAO, M.; ESCOBEDO, F.J.; WANG, R.; ZHOU, Q.; LIN, W.; GAO J. Woody Vegetation Composition and Structure in Peri-urban Chongming Island, China. **Environmental Management**, v.51, p.999–1011, 2013.

ZHAO, M.; HEINSCH, F.A.; NEMANI, R.; RUNNING, S.W. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. **Remote Sensing of Environment**, v.95, p.164-176, 2005.

ZHU Z.; WOODCOCK C.E.; OLOFSSON, P. Continuous monitoring of forest disturbance using all available Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v.122, p.75-91. 2012.

ZU, J.X.; YANG, J. Temporal variation of vegetation phenology in northeastern china. **Acta Ecologica Sinica**, v.36, p.2015-2023, 2016.