

Vol XIII, Núm 1, jan-jun, 2021, pág. 307-325.

## O POTENCIAL DAS IMAGENS DE SATÉLITE NO MONITORAMENTO E MAPEAMENTO DE SECAS EM MOÇAMBIQUE

## THE POTENTIAL OF SATELLITE IMAGES IN MONITORING AND MAPPING DROUGHTS IN MOZAMBIQUE

Luck Injage  
Filipe Lúcio  
Julião Cumbane

### Resumo

Este trabalho, procura investigar a aplicabilidade das técnicas de detecção remota e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), buscando respostas para o monitoramento e mapeamento de secas, fundamentado, sobretudo, na utilização dos princípios físicos das ondas electromagnéticas, através de sensores remotos de satélites de observações ambientais. Estas imagens, quando combinadas com técnicas de Sistemas de Informação Geográfica (GIS), tem potencial para servir de instrumento poderoso para detecção e monitoramento de processos que podem resultar em desastres naturais, tais como a seca. Porém, a utilização desse instrumento requer o conhecimento da relação empírica entre a precipitação e as condições da vegetação. Para o estudo do estado da vegetação, usou-se o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Foi possível determinar o intervalo significativo para situações de ocorrências de secas em Moçambique, que oscila entre 0.23 a 0.37, para a magnitude do tipo severa a fraca.

**Palavras chave:** SIG, mapeamento de secas, NDVI.

### Abstract

This work seeks to investigate the applicability of remote sensing techniques and Geographic Information Systems (GIS), seeking answers for the monitoring and mapping of droughts, based mainly on the use of the physical principles of electromagnetic waves, through remote sensors from satellites environmental observations. The intention is to reinforce basic knowledge about the geographic extent and magnitude of droughts in Mozambique, to allow the development of drought information and monitoring systems, using satellite images combined with GIS. These images, when combined with Geographic Information Systems (GIS) techniques, have the potential to serve as a powerful instrument for detecting and monitoring processes that can result in natural disasters, such as drought. However, the use of this instrument requires knowledge of the empirical relationship between precipitation and vegetation conditions. For the study of the vegetation status, the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) was used. It was possible to determine the significant range for situations of drought occurrences in Mozambique, which ranges from 0.23 to 0.37, for the magnitude of the severe to weak type.

**Keywords:** GIS, drought mapping, NDVI.

## Introdução

A seca é um dos fenômenos responsáveis por grandes prejuízos causados à humanidade por forças naturais. A conscientização desses prejuízos cresceu e os estudos sobre mudanças globais e seus impactos têm sido destacados no campo das ciências da natureza. Na maior parte do sudeste de África, as secas que ocorrem estão associadas ao fenômeno ENSO (*El Niño* e Oscilação Sul) que afecta o regime normal de precipitação dos trópicos. Portanto, considera-se a seca como um fenômeno meteorológico bem definido, mas os conceitos agrícolas e hidrológicos são diferentes.

Recentemente, atenção considerável tem sido dada aos índices de vegetação tais como o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), obtido pela razão entre a diferença e a soma das reflectâncias do infravermelho próximo e do vermelho, nos canais 2 e 1 respectivamente, e calculados a partir do sensor da série Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) – National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Esses índices têm sido amplamente usados para o monitoramento regional ou global da cobertura vegetal. Assim, este trabalho procura investigar a aplicabilidade das técnicas de detecção remota e Sistemas de Informações Geográficas (GIS ou SIG), buscando respostas para o monitoramento e mapeamento de secas, fundamentado, sobretudo, na utilização dos princípios físicos das ondas electromagnéticas, através de sensores remotos de satélites de observações ambientais. Como também reforçar o conhecimento básico sobre a extensão geográfica e magnitude das secas em Moçambique, para permitir o desenvolvimento de sistemas de informação e monitoramento de secas, usando imagens de satélite combinadas com o GIS. Cada vez mais instrumentos de precisão, desse tipo estão sendo utilizados na análise dos ambientes físicos, em especial, no controle e monitoramento de recursos naturais, as variabilidades climáticas, como as secas, a avaliação de impactos ambientais e possíveis mudanças climáticas.

## 1 Metodologia do trabalho

A seguir é descrita a metodologia adoptada para a realização deste estudo, que tem como área de estudo Moçambique. Usa como ferramenta de estudo, dados do NDVI e a precipitação total mensal (mm) nas épocas de verão chuvoso, compreendida entre Outubro à Março para o período 1981-2001.

### 1.1 Equipamentos e programas

- Sistemas de Informação Geográfica: WINDISP5.1, ArcView3.2 e ArcView8.1 ou ArcMap para Windows;
- Base de dados do DINAGECA, disponível no GISLab (Dep.<sup>to</sup> de Geografia - UEM).

### 1.2 Organização e fontes de dados

A realização deste trabalho compreendeu as seguintes etapas principais: A primeira etapa consistiu na colecta de dados de precipitação e o NDVI, em toda a extensão do território moçambicano, no período compreendido entre 1981 à 2001; A segunda etapa consistiu na análise das séries temporais da precipitação e do NDVI, para investigar a relação entre as duas variáveis. E finalmente, usou-se o NDVI para definir um intervalo do índice de seca a partir dos valores da reflectância.

O estudo baseou-se nos dados das seguintes estações:

- Região Sul (Maputo Observatório, Chibuto, Vilanculos, Maniquenique, Umbeluzi, Marracuene, Massingir, Panda, Inharrime, Xai-Xai e Inhambane);
- Região Centro (Beira Observatório, Quelimane, Chimoio, Tete e Pebane);
- Região Norte (Nampula, Pemba, Lichinga, Montepuez, Mocimboa da Praia e Angoche).

Os dados das imagens do NDVI usados neste trabalho, foram disponibilizados pela FEWS-NET (Famine Early Warning System Network) em parceria com a USGS ([United States Geological Survey](#)) com sede nos EUA. Estas imagens tem uma resolução espacial de 8 x 8 km/pixel em formato binário de 8 bits e uma resolução temporal mensal definidas em décadas a partir de Outubro à Março de 1981-2001.

### 1.3 Análises de correlação

A análise de correlação linear é usada neste estudo como forma de avaliar o grau de associação entre duas variáveis. Tal como todas as técnicas estatísticas, as análises de correlação não implicam qualquer ligação causa-efeito entre as variáveis e, por isso, não há explicações sobre os mecanismos físicos que sustentam esta relação.

Para uma análise complementar da correlação é necessário o conhecimento da regressão linear simples para se descrever a relação entre a precipitação (variável independente ou variável preditora) e NDVI (variável dependente ou variável resposta). A equação típica de regressão assemelha-se a equação de uma recta ( $y = mx + b$ ) é expressa na forma  $\hat{y} = b_1x + b_0$ , onde  $b_0$  é o intercepto  $y$  e  $b_1$  é o coeficiente angular. Para se dar mais relevância ao estudo da regressão foi preciso estudar a análise da correlação linear entre as variáveis, cujo coeficiente é dada pela expressão:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1.1)$$

Onde o “ $r$ ” é denominado de coeficiente de correlação de Pearson, uma vez que envolve termos não lineares. Em geral, quanto menor for a variabilidade das variáveis, menor é “ $r$ ” sendo o restante igual (MINIUM, 1970). RAMAGE (1983), afirma que o “ $r$ ” pode ser influenciado pelas características duma determinada amostra. É importante salientar, que a estabilidade de “ $r$ ” depende do número de casos. Quanto maior for a amostra, mais estável é o “ $r$ ”. Para a análise da correlação usou-se um nível de significância de 5%.

## 2. Enquadramento geográfico de Moçambique

Moçambique é um país da África Austral que se situa entre os paralelos  $10^\circ 27'$  e  $26^\circ 56'$  de latitude Sul e os meridianos  $30^\circ 12'$  e  $40^\circ 51'$  de longitude Este (figura 1). Ocupa uma área de cerca de  $799.380 \text{ km}^2$ , e possui uma costa de  $2\,470 \text{ km}$  de extensão (CONDES, 2002).



**Figura 1.** O mapa ilustra o enquadramento geográfico de Moçambique ([Fonte: http://www.sergiosakall.com.br/africano/mocambique.html](http://www.sergiosakall.com.br/africano/mocambique.html))

## 2.1 Clima

A precipitação é mais abundante no Norte do País, onde a média anual varia entre os 800 a 1200 mm atingindo os 1500 mm no planalto Zambeziano e de Lichinga. Exceção é a província de Tete que recebe uma precipitação inferior a 600 mm/ano. A região Sul, é em geral mais seca com a média inferior a 800 mm descendo para 300 mm na região do Pafúri. O Centro e toda a linha Costeira recebem uma precipitação que vai de 800 a 1000 mm. Na formação montanhosa de Gorongosa a precipitação excede os 1500 mm.

## 2.2 Vegetação

Segundo SAKET *et al.* (1995), as florestas e outras formações vegetais nativas distribuem-se por cerca de 80 milhões de hectares, ou seja, 78 % da superfície total do território nacional. Dos cerca de 80 milhões de hectares, 8.7 % equivalem a florestas com alta a média produtividade, 26 % de florestas de média a baixa produtividade e o resto da percentagem a savanas pouco densas e de baixo valor comercial.

Na província de Sofala situam-se aproximadamente 2/3 das florestas altas (> 15 m), cabendo as províncias da Zambézia, Manica, Nampula e Cabo Delgado a ocorrência de florestas densas, com altura variável entre os 9 e 15 metros, estimando-se nestas províncias a existência de um potencial de produção sustentável de cerca de 1 000 000 m<sup>3</sup>/ano.

## 3. Fundamentação teórica

### 3.1 Estudo da situação de secas em Moçambique

Moçambique é um país vulnerável à calamidades. Certas calamidades associam-se a excesso ou deficiência de precipitação, dando origem dentre outras calamidades, a ocorrência de secas. VAZ (1993) aborda metodologias relacionadas com a caracterização e monitorização de secas, em algumas regiões de Moçambique, focando questões tais como seca pontual e seca regional (baseando-se na série de precipitação ponderada e definição de área crítica).

Contudo, DANUNE (1987), no seu estudo sobre as secas em Moçambique, reporta que para determinadas zonas do nosso país os valores da precipitação média não excediam

os 627 e 779 mm por ano, e que os climas semi-áridos fustigavam uma grande parte do noroeste do nosso país concretamente na província de Tete, a parte Norte da província de Gaza (Mapulanguene e Pafúri-Chicualacuala), sendo nestas zonas onde a evapotranspiração potencial (ETP) excede os valores da precipitação normal (300-400 mm). O interior da província de Inhambane é outro ponto do país em que a precipitação não ultrapassa os 600 mm por ano ( p. ex. Mabote).

Segundo ROJAS e AMADE (1996), nos seus estudos agroclimáticos de precipitação em Moçambique, evidenciam que as maiores probabilidades de ocorrência de seca se apresentavam nas províncias do Sul (Inhambane, Gaza e Maputo) e no sul de Tete.

A seguir é apresentada a tabela 1 onde pode-se observar as últimas ocorrências de secas no nosso país desde 1980 à 2002.

**Tabela 1.** Principais ocorrências de secas em Moçambique a partir de 1980

Principais ocorrências de secas em Moçambique a partir de 1980	
Anos	Detalhes
2010-2012	89 mil afectados no Sul de Moçambique
2003-2009	Sul, Centro e Norte de Moçambique, 4.35 milhão de pessoas afectadas, 51 mil danos de culturas diversas e 22 mil cabeças de gado perdidas.
2002	43 distritos afectados nas províncias do Sul e Centro de Moçambique.
1999	100 000 pessoas afectadas.
1994-95	Sul e Centro de Moçambique, 1.5 milhão de pessoas afectadas. Escassez da água potável e aparecimento de surto de cólera.
1991-93	Todo o país afectado, 1.32 milhão de pessoas afectadas. Grande fracasso agrícola; escassez de água potável.
1987	Inhambane 8 000 pessoas afectadas.
1983-84	Maior parte do país foi afectada. Eclosão da epidemia de cólera, muitos morreram de seca e guerra.
1981-83	Sul e Centro de Moçambique afectados, 2.46 milhões de pessoas afectadas.
1980	Sul e Centro afectados, 60 000 pessoas afectados.

**Fonte:** Atlas para Preparação e Resposta Contra Desastres na Bacia do Limpopo (INGC *et. al.*, 2003) & *Disaster Information System*.

### 3.2 Relação entre a seca na região da África Austral e as anomalias na Circulação Geral

Os fenómenos que a seguir são descritos têm forte influência nas secas na nossa região, concretamente Moçambique. O fenómeno atmosférico denominado Oscilação Sul, correspondente a uma variação da pressão atmosférica no Oceano Pacífico, a qual se apresenta em intervalos de 3 a 10 anos. As fases desta oscilação são indicadas pelo Índice de Oscilação Sul (IOS ou SOI) que é a diferença estandardizada de pressões ao nível médio do mar (NMM) entre Tahiti no Pacífico Oeste e Darwin na Austrália.

Quanto ao fenómeno oceânico conhecido como *El Niño*, este é o aquecimento anormal das águas do Pacífico Este Equatorial, ao largo do Perú e do Equador, e é uma

manifestação local da “Oscilação Austral”, como consequência dos índices negativos da Oscilação Sul. Devido a estreita relação entre o *El Niño* e a Oscilação Sul estes são conhecidos de forma conjunta como episódios “*El Niño* – Oscilação Sul” ou ENSO (ROJAS e AMADE, 1996).

DANUNE (1987), reporta que, em 1982-1983, o fenómeno ENSO foi mais intenso do que tinha sido há quase um século, quer para o aquecimento considerável das águas superficiais assim como para a sua extensão geográfica, e o seu impacto sócio-económico.

Ainda de acordo com DANUNE (1987), as precipitações no sudeste de África concretamente entre Moçambique e Zimbabwe dependem muito dos fenómenos ENSO: em 28 manifestações deste fenómeno, 22 coincidem com uma diminuição da precipitação nesta zona do globo. O fenómeno ENSO está associado a mudanças geográficas maciças no regime normal de precipitação dos trópicos e afecta claramente a maior parte do Sul de África. A sua relação com o sudeste de África é particularmente grande.

Existem outros factores que influenciam a variação climática na região, para além, das temperaturas da superfície do mar (TSM), variação da pressão atmosférica que são responsáveis pela ocorrência dos fenómenos *El Niño e La Niña*. Pode-se ainda, incluir factores tais como a dinâmica interna da atmosfera, condições da superfície terrestre e o facto da região poder ser dividida em várias regiões de precipitação homogênea, cujas correlações com o ENSO diferem uma da outra. Geralmente, o fenómeno ENSO é responsável por cerca de 30% da variabilidade do comportamento da precipitação, por esta razão, estes factores devem ser tomados em consideração no processo de previsão climática.

### 3.3 Índice de Diferença de Vegetação Normalizada (NDVI)

Os índices de vegetação representam uma técnica amplamente utilizada, na área do sensoramento remoto, por indicarem a presença e condição da vegetação monitorada. O êxito da utilização destes índices de vegetação se fundamenta no facto de que a produção primária de uma comunidade vegetal ter estreita relação com a energia solar absorvida, o que define o crescimento e o desenvolvimento dessa comunidade.

Segundo ZUCULE (2003), a energia electromagnética radiante ao incidir sobre uma superfície pode ser expressa por três propriedades de interacção: Absortância (*Abs.*), Reflectância (*Ref.*) e

Transmitância (*Trans.*) e que pelo princípio da conservação de energia, esta interação energia incidente e suas frações pode ser expressa pela equação:

$$Abs. + Re f. + Trans. = 1 \quad (3.1)$$

As medidas de índice de vegetação têm, em geral, associação directa com a quantidade de biomassa, o índice de área foliar, a cobertura do solo, a interceptação da radiação e o rendimento agrícola (SHIMABUKURO *et al.*, 1998).

O objectivo desta técnica é reduzir o total de dados espectrais, e realçar a contribuição espectral da vegetação verde, bem como minimizar a contribuição do solo, o ângulo solar, a vegetação senescente e a atmosfera. Os índices de vegetação são baseados em combinações lineares, razões ou transformações ortogonais de várias bandas espectrais.

A vegetação é caracterizada por uma intensa absorção devido à clorofila na região do vermelho (0,4 - 0,7  $\mu\text{m}$ ) e por uma intensa reflexão na faixa do infravermelho próximo (0,725 - 1,10  $\mu\text{m}$ ) causada pela estrutura celular das folhas. Uma cobertura vegetal com défice tende a absorver menos radiação solar (aumenta sua reflectância no visível) e absorve mais no NIR (“Near Infra-red” ou Infravermelho próximo). Deste modo a diferença de reflectâncias ou sinais entre canais 1 e 2, tende a decrescer quando a cobertura está mais seca (ZUCULE, 2003).

Várias transformações matemáticas dos dados das bandas 1 e 2 do AVHRR mostraram-se indicadores sensitivos à presença da vegetação verde e são referidos como índices de vegetação nestas bandas. A diferença dos valores dos dados das bandas 1 e 2 são proporcionais à reflectância da cena vista, sendo a medida do grau de vegetação verde na imagem captada pelo sensor. Assim sendo, o NDVI, é universalmente definido como (KASSA, 1999):

$$NDVI = \frac{CH2 - CH1}{CH2 + CH1} \quad (3.2)$$

Onde: CH2 = é a energia reflectida na região do infravermelho próximo do espectro electromagnético pelo canal 2;

CH1 = é a energia reflectida na região do visível (banda do vermelho) do espectro electromagnético pelo canal 1.

A validação directa do NDVI/NOAA é difícil devido a extensão de cobertura da área por cada “pixel”, e foi mostrado que:



$APAR = f[LAI, ISR, Canopy\ Geometry]$  (3.3) Onde:

APAR = Radiação Activa Absorvida Fotossinteticamente (Absorbed Photosynthetically Active Radiation)

LAI = Índice de Área Foliar (Leaf Area Index)

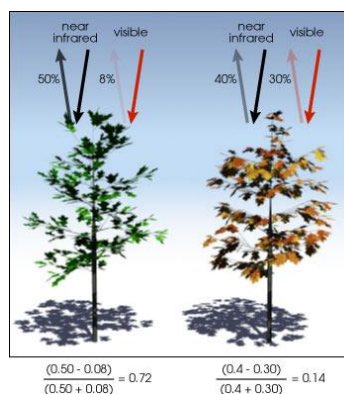
ISR = Radiação de Onda Curta Emergente (Incoming Short Wave Radiation).

Também pode-se escrever ou afirmar (KASSA, 1999) que:

$$NDVI = f[APAR] = f[LAI] \quad (3.4)$$

O NDVI é preferido para monitoramento da vegetação global porque compensa parcialmente a variação nas condições de iluminação, inclinação da superfície terrestre e aspectos das observações do sensor em função da ampla largura da órbita (2.700 km) e os seus valores teoricamente podem variar de +1 à -1.

Nuvens, água e neve têm reflectâncias maiores no visível do que no infravermelho, sendo que, nestas condições o NDVI tem valores negativos. Rochas e solos expostos têm reflectâncias similares nestas duas bandas e o resultado no índice de vegetação é aproximadamente zero. Em paisagens com vegetação o NDVI varia de 0,1 à 0,6, onde os valores mais altos são associados com maior vigor e densidade da cobertura vegetal. Efeitos atmosféricos como o espalhamento por poeira, aerossóis e nuvens de tamanho dos subpixels agem para aumentar a reflectância na banda 1 em relação à banda 2 e reduzir o valor do índice da vegetação. Como ilustra a figura 3, as plantas saudáveis absorvem a maior parte da radiação incidente que as atinge no visível e reflecte uma grande porção no NIR, enquanto que, plantas não saudáveis ou vegetação escassa reflectem mais no visível e menos no NIR.



**Figura 2.** Ilustra a percentagem de energia reflectida por uma planta fotossinteticamente activa, (a direita), e com stress hídrico, (a esquerda), nas bandas 1 (visível) e 2 (NIR) que são usadas para calcular o NDVI.

**Fonte:** [http://earthobservatory.nasa.gov/Library/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_2.html](http://earthobservatory.nasa.gov/Library/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.html) (WEIER and HERRING).

### 3.4 Descrição do algoritmo para obtenção da fração evaporativa da superfície como indicador de seca

O sistema Terra-Atmosfera como um sistema fechado permite a transferência de energia, excluindo matéria, dentro e fora do sistema. A radiação solar absorvida pela superfície é emitida em forma de calor radiante bem como em calor latente e sensível (VOGT *et al.*, 2000). O modelo de balanço de energia é baseado na equação geral do balanço de energia:

$$R_{net} = \lambda ET + H + G \quad (3.5)$$

Onde:  $R_{net}$  = é a densidade do fluxo da radiação líquida;

$\lambda ET$  = é a densidade do fluxo de calor latente transferido;

$H$  = é a densidade do fluxo de calor sensível transferido por condução, convecção e advecção;

$G$  = é o termo de transferência da densidade do fluxo de calor da superfície (solo).

Inicialmente, a avaliação instantânea da energia ( $R_{net} - G$ )<sub>i</sub> e do fluxo de calor sensível ( $H$ )<sub>i</sub> são obtidos independentemente. O fluxo de calor latente transferido ( $\lambda ET$ ) é também obtido num segundo processo como resíduo da equação da taxa de energia ( $w/m^2$ ):

$$\lambda ET_i = (R_{net} - G)_i - H_i \quad (3.6)$$

As componentes da radiação líquida ( $R_{net}$ ) são obtidas como se segue ( $w/m^2$ ):

$$R_{net} = R_G * (1 - \alpha) + L \downarrow - L \uparrow \quad (3.7)$$

Para certos países, a radiação global ( $R_G$ ) estimada para certos modelos agrometeorológicos operacionais (VOGT *et al.*, 2000), e o albedo da superfície ( $\alpha$ ) é obtido da reflectância das ondas curtas medidas pelo sensor AVHRR. As componentes de ondas longas são estimadas a partir da temperatura do ar, humidade e emitância de ondas longas medidas pelo sensor AVHRR. O fluxo instantâneo de calor do solo ( $G_i$ ) é aproximado a fração da radiação líquida como uma função do NDVI.

O fluxo de calor sensível ( $H_i$ ) é estimado através da diferença entre a temperatura da superfície radiométrica ( $T_s$ ), a temperatura do ar medida na superfície ( $T_a$ ) e a capacidade de resistência aerodinâmica ( $r_a$ ) ( $w/m^2$ ):

$$H_i = \frac{c_p \cdot \rho_{air} \cdot (T_s - T_a)}{r_a} \quad (3.8)$$

onde:

$c_p$  = é o calor específico do ar e

$\rho_{air}$  = é a densidade do ar

A diferença entre a temperatura da superfície radiométrica conhecida e a temperatura da superfície aerodinâmica não conhecida, que teoricamente pode ser aplicada, é quantificada na expressão dada por  $r_a$ . Esta é acompanhada através da definição de diferentes áreas de superfície para o calor ( $Z_{oh}$ ) e para o momento ( $Z_{om}$ ) (S/m):

$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{Z_m - d}{Z_{om}}\right) \cdot \ln\left(\frac{Z_h - d}{Z_{oh}}\right)}{k^2 \cdot U(Z_m)} \quad (3.9)$$

onde:

$d$  = é a altura de mudança

$K$  = é a constante de *Von Karman*

$Z_m$  = é a altura observada

$U$  = é a velocidade do vento na altura  $Z_m$ .

Finalmente, a fracção evaporativa (EF) é obtida de acordo com a equação:

$$EF = \frac{\lambda ET_i}{(R_{net} - G)_i} \quad (3.10)$$

## 4. Resultados e discussão

### 4.1 Análise da relação existente entre a precipitação e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

A análise da relação entre os parâmetros NDVI x Precipitação, é feita com objectivo de encontrar uma relação directa entre ambos.

A evolução do NDVI mensal cumulativo (época de verão chuvoso) observada no período em estudo, apresenta uma tendência de crescimento da refletância do verde. No verão observa-se abundância do verde com valores do NDVI e precipitação muito altos. A ocorrência do NDVI e precipitação com valores muito baixos manifestam os valores limiares do estado da vegetação (veja tabela 3).

Para situações de ocorrência de secas, considera-se que para os valores  $\leq 0.23$  (NDVI) e  $\leq 50$  mm (precipitação) indicam as probabilidades de início de seca severa, e os valores  $\leq 0.37$  (NDVI) e  $\leq 100$  mm (precipitação) indicam as probabilidades de início de seca moderada (veja tabela 3).

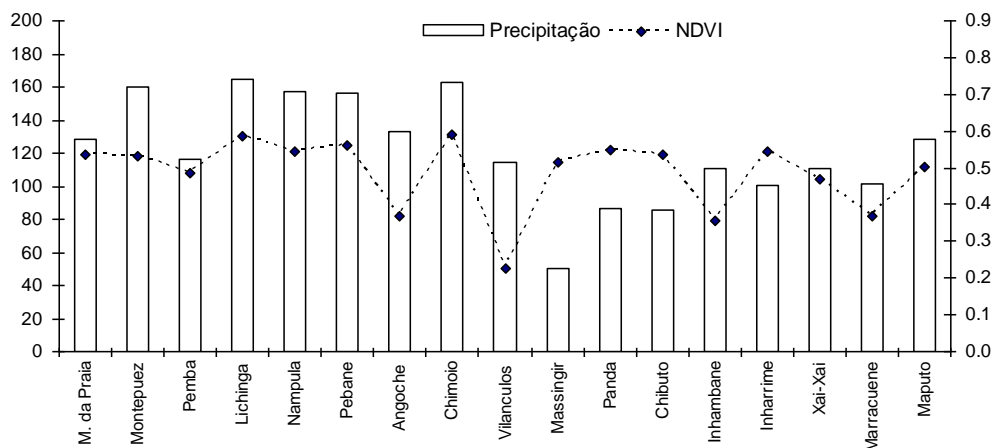
A figura (3) ilustra o comportamento da vegetação em relação a precipitação, evidenciando uma relação directa, isto é, o aumento dum parâmetro implica o aumento do outro e vice-versa. Nos distritos de Massingir, Panda, Chibuto e Inharrime a vegetação não acompanha a diminuição ou

aumento da precipitação, portanto, associa-se a este comportamento a influência do efeito das brisas marítimas que possibilitam manter uma certa humidade, evitando assim uma queda acentuada da folhagem (CUNHA, 1972).

Um dos factores de realce para o estudo do comportamento da NDVI x Precipitação, é a classificação dos solos das regiões seleccionadas para o estudo, pois o excesso/défice de nutrientes está intimamente relacionado ao grau de fertilidade em que se encontra o solo, isto é, a falta de elementos essenciais requeridos para desenvolvimento vegetativo.

Generalizando, segundo o INIA (1997), os solos em Moçambique possuem uma fertilidade baixa a média, excepto os solos aluvionares (*Fluvisols*) que se encontram nos vales dos rios, tais como Zambeze, Limpopo e Incomati. Os distritos do norte do país, nas zonas com altitudes intermédias predominam os *Lixisols* e *Luvisols*. Estes solos apresentam camadas superficiais leves sobre um subsolo mais pesado com uma fertilidade baixa a média.

A mesma fonte refere que os solos das zonas elevadas com maior pluviosidade, são ácidos, pesados, com uma baixa fertilidade e alta capacidade de fixar fósforo, mas com boas características físicas (*Ferralsols* e *Acrisols*). Uma grande parte do país é caracterizada por solos (*Arenosols*), especialmente no Sul, com uma fertilidade e retenção de água muito baixa. Os *Arenosols* (28%), *Lixisols* (23%), *Leptosols* (9%), *Acrisols* (8%), *Ferralsols* (7%), *Fluvisols* (6%), *Luvisols* (5%) são os solos principais em 86% da área de Moçambique.



**Figura 3.** O comportamento da precipitação em relação ao NDVI no período e época em estudo.

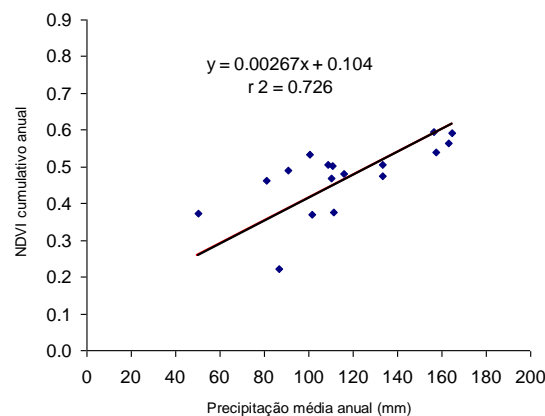
**Nota:** A linha a tracejado usada para o NDVI é somente para o propósito de visualização, e não implica dados contínuos do NDVI.

Os gráficos a seguir representam a relação entre o NDVI e a precipitação no período compreendido entre Outubro a Março (1981-2001). Para a análise destes selecionou-se os distritos com índices elevado de ocorrência de secas (severa, moderada e fraca). A seguir vamos considerar primeiro o distrito de Vilanculos, da figura 3 conclui-se que houve muito pouca queda de precipitação de 1981 à 1996. Nos anos de 1983, 1988 registaram-se quedas na ordem dos 70 mm e de 1992 e 1995 os valores da queda decresceram até  $\leq 50$  mm. O NDVI segue o mesmo comportamento da precipitação, registrando pequenos valores nos mesmos períodos em que a precipitação decresceu. A estas anomalias da precipitação, assim como, da vegetação estão associadas aos fortes fenómenos ENSO que se fizeram sentir nos respectivos anos.

#### 4.2 Correlação entre o NDVI e a precipitação

Com ajuda do pacote EXCEL, analisou-se a correlação entre as duas variáveis em estudo, e conclui-se que existe uma forte correlação entre ambos (veja a figura 4), com o valor do coeficiente de correlação  $R = 0.852$  e a equação de estimativa dada por  $y = 0.00267x + 0.104$  onde  $y$  corresponde ao NDVI e  $x$  a precipitação.

As equações de estimativa são úteis quando usadas para estimar o valor de uma variável, dado um valor determinado da outra variável. Se a recta de regressão se ajusta bem aos dados, então faz sentido utilizar sua equação para fazer estimativas, desde que não ultrapassemos os limites dos valores disponíveis (veja o tabela 2). Só devemos utilizar a equação de predição se  $r$  indica a existência de uma correlação linear significativa (TRIOLA, 1999).



**Figura 4.** Gráfico da correlação entre o NDVI e a precipitação no período e época em estudo. (nível de significância  $\alpha = 5\%$ )

Usando a equação de estimativa  $y = 0.00267x + 0.104$ , podemos prever os valores do NDVI para uma situação de seca. Mas é preciso frisar que, a base de uma estimativa deve

ser encarada como subjectiva, contudo, há um certo optimismo quanto a possibilidade de se conseguir um “método” predictivo modesto e temporário sob algumas condições usando técnicas empírico-estatísticas.

A seguir é mostrado uma tabela com os valores do NDVI e a precipitação correspondente.

**Tabela 2.** Valores da correlação entre a precipitação e o NDVI obtidos a partir da equação de predição.

Precipitação (mm)	NDVI Equivalente	Precipitação (mm)	NDVI Equivalente
0	0.10	190	0.61
10	0.13	200	0.64
20	0.16		
30	0.18		
40	0.21		
<b>50</b>	<b>0.23</b>		
60	0.27		
70	0.29		
80	0.32		
90	0.35		
<b>100</b>	<b>0.37</b>		
110	0.40		
120	0.43		
130	0.45		
140	0.48		
150	0.51		
160	0.53		
170	0.56		
180	0.59		

Comparando os valores da precipitação, segundo o estudo conjunto do INGC, UEM e FEWS-NET ( 2003), em “Atlas para Preparação e Resposta Contra Desastres na Bacia do Limpopo”, estabeleceram que valores de precipitação  $\leq 100$  mm evidenciavam probabilidade de ocorrência de secas. Portanto, partindo deste pressuposto e olhando para os valores (da tabela 3), verifica-se que para valores  $\leq 100$  mm de precipitação correspondente ao NDVI  $\leq 0.37$  significa o valor limiar da ocorrência de seca nos distritos selecionados para o estudo. Já um estudo recente (WFP, 2018) que teve como base apenas a precipitação relacionada com o NDVI, definiu o período de seca como sendo o número de dias com pluviosidade inferior a 2mm, destacando-se a semelhança do referenciado na figura 3 as províncias de Gaza e Inhambane as zonas com períodos de seca mais longos (20-25 dias) sobretudo nos meses de Dezembro a Fevereiro (DJF).

### 4.3 Determinação do intervalo do NDVI significativo para o monitoramento de secas em Moçambique

Para a determinação do intervalo do NDVI significativo para a seca, baseou-se na média geral das imagens de satélite e interpolação dos dados da precipitação no intervalo de tempo em estudo (1981-2001).

Dividiu-se os dados em cinco classes, então, de acordo com o vigor do NDVI, atribuiu-se os respectivos nomes e valores de acordo com os valores correspondentes a cada classe. Portanto, segundo a descrição adoptada para este trabalho, optou-se por classificar a seca de acordo com os valores correspondentes de NDVI: Seca muito severa (0.090 - 0.12), severa (0.12 – 0.22), moderada (0.22 – 0.37) e fraca (0.37 – 0.59).

A variável muito fraca (0.59 – 0.90) é considerada não muito relevante do ponto de vista de seca, por se tratar de situações com um alto valor de refletância do verde. A tabela 3 resumo é apresentado a seguir como resultado do ponto (4.1):

**Tabela 3.** A classificação de seca

Classificação de Secas	Intervalo do NDVI	Porcentagem de ocorrência (%)
Deserto <sup>(*)</sup>	0 – 0.090	0 – 9
Muito Severa	0.090 – 0.12	9 – 12
Severa	0.12 – 0.22	12 – 22
Moderada	0.22 – 0.37	22 – 37
Fraca	0.37 – 0.59	37 – 59
Muito Fraca <sup>(**)</sup>	0.59 – 0.90	59 - 90

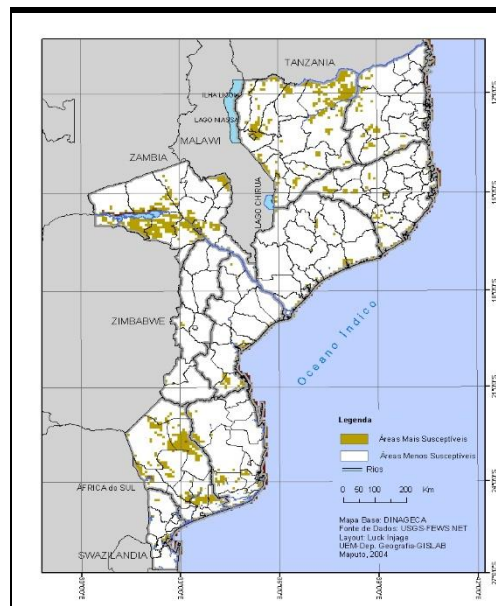
A classificação é válida somente para os distritos selecionados.

(\*) É uma situação que não ocorre no nosso país.

(\*\*) Vegetação densa

### 4.4 Identificação de zonas propensas a secas com o auxílio de imagens de satélite

A figura 5 mostra o resultado da identificação de zonas propensas a secas com o auxílio de imagens de satélite. Este basou-se no uso da média geral das imagens dos períodos de ocorrência deste fenómeno (veja a tabela 2) no intervalo em estudo (1981-2001) e processadas em ArcView8.1. Estas zonas foram identificadas, usando-se o NDVI cumulativo mensal (Outubro à Março) que é um índice muito usado no estudo de mapeamento e monitoramento de secas para esta região do globo.



**Figura 5.** Mapa ilustrativo das principais zonas propensas a secas (obtido a partir da média das imagens em estudo).

Vê-se que as zonas mais propensas a secas são às que ostentam o nível de cinza (tonalidade da reflectância de um objecto) acastanhado e as menos propensas as de branco (figura 5).

## 6. Conclusões

Dado a natureza dos dados em estudo, recorreu-se a análise da correlação para mostrar a relação directa existente entre o NDVI x Precipitação, obtendo-se um coeficiente de correlação  $R = 0.852$  (correlação perfeita positiva). Com o auxílio da equação de estimativa  $y = 0.00267x + 0.104$  foi possível estimar que para os valores  $\leq 0.23$  (NDVI) e  $\leq 50$  mm (precipitação) indicavam as probabilidades de início de seca severa, e os valores  $\leq 0.37$  (NDVI) e  $\leq 100$  mm (precipitação) indicavam as probabilidades de início de seca moderada.

Foi necessário recorrer a classificação dos solos de Moçambique, porque estes constituem factores importantes no desenvolvimento da vegetação numa determinada região.

A classificação de seca usada neste estudo baseando-se no NDVI, consistiu na divisão em classes de cinco e a atribuição dos valores correspondentes, portanto, para a seca muito severa (0.090-0.12), seca severa (0.12-0.22), seca moderada (0.22-0.37) e seca fraca (0.37-0.59) e finalmente seca muito fraca (vegetação densa) (0.59-0.90). Contudo, a análise mostrou que o NDVI é um indicador complexo e de difícil interpretação.



## Referências bibliográficas

1. Conselho Nacional De Desenvolvimento Sustentável (CONDES). (2002). *Relatório Nacional de Moçambique – Cimeira Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável*. MS Graphics. Maputo – Moçambique.
2. Cunha, F.R., (1972). *Meteorologia Tropical e Agrícola*. Universidade Lourenço Marques-Faculdade de Agronomia e Silvicultura. Lourenço Marques-Moçambique.
3. Danune, J. B., (1987). *As Secas em Moçambique num Contexto Global e Regional*. Dissertação (Agrometeorologia). Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica. Lisboa.
4. Instituto Nacional De Gestão Às Calamidades (INGC); Universidade Eduardo Mondlane (UEM) e FEWS NET. (2003). *Atlas para Preparação e Resposta Contra Desastres na Bacia do Limpopo*. Cidade do Cabo-África do Sul.
5. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGAÇÃO AGRONÓMICA (INIA). (1997). *Recomendações de adubação azotada e fosfórica para as culturas anuais alimentares e algodão em Moçambique*. Departamento de Terra e Água, Comunicação N° 88, Maputo-Moçambique.
6. KASSA, A..(1999). *Drought Risk Monitoring for the Sudan Using NDVI (1982 - 1993)*. Dissertação (Grau: Mestre em Ciências de Sistemas de Informação Geográfica). [online] Disponível em: <[www2.soas.ac.uk/geography/waterissues/ocasionalpapers/acrobatfiles/occ25.pdf](http://www2.soas.ac.uk/geography/waterissues/ocasionalpapers/acrobatfiles/occ25.pdf)>. [Acedido em 20 de Agosto de 2017].
7. MINIMUM, E.W. (1970). *Statistical reasoning in psychology & education*. John Wiley & Sons, inc., New York-London-Sydney. 465 pp.
8. RAMAGE, C.S. (1983). *Teleconnections and the siege of time*. In: Journal of Climatology, Royal Meteorological Society. pp 223-231.
9. ROJAS, O. E AMADE, J., (1996). *Estudo Agroclimático da Precipitação em Moçambique*. Ministério de Agricultura e Pesca-Sistema Nacional de Aviso Prévio para a Segurança Alimentar. Maputo-Moçambique. 26p.
10. SAKET, M.; TAQUIDIR, M.A. and BANZE, C.J.A.. (1995). *Methodology and Results the Forestry Vegetation Mapping at 1:250 000*. Ministry of Agriculture and Fisheries - National Directorate of Forests and Wildlife. Maputo - Mozambique.
11. SHIMABUKURO, Y.E.; RUDORFF, B.F.T.; PONZONI, F.J.. (1998). *A Cobertura Vegetal Vista do Espaço: Uma Ferramenta para a Preservação*.

- Vol.5. S.P. p. 195-198. [online] Disponível em  
<<http://geocities.yahoo.com.br/floramrural/0195.pdf>>. [Acedido em 19 de Outubro de 2017].
12. TRIOLA, M. F.(1999) ; *Introdução à Estatística*. 7ª Edição, Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A (LTC); Rio de Janeiro.
13. VAZ, A.C. (1993). *Uma Metodologia para a Caracterização e Monitorização de Secas*. Instituto Superior Técnico. Laboratório Nacional de Engenharia Cívil. Lisboa-Portugal.
14. VOGT, J.V.; NIEMEYER, S.; SOMMA, F.; BEAUDIN, I. e VIAU, A.A. (2000). *Drought Monitoring from Space*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. [online] Disponível em: <<http://agrienv.jrc.it/publications/pdfs/drought00.pdf>>. [Acedido em 27 de Agosto de 2019].
15. WORLD FOOD PROGRAMME [WFP]. (2018). *Climate Analysis for Mozambique (Portuguese version)*. [online] Disponível em: <[https://fscluster.org/sites/default/files/documents/mozclimateanalysisl\\_pt.pdf](https://fscluster.org/sites/default/files/documents/mozclimateanalysisl_pt.pdf)>. [Acedido em 15 de Julho de 2020].
16. ZUCULE, J.N. (2003). *Quantificação de Queimadas e Incêndios Florestais em Moçambique usando Imagens de Satélite*. Trabalho para obtenção do Grau de Licenciatura. UEM – Departamento de Física. Maputo – Moçambique.

**Recebido: 4/9/2020.**

**Aceito: 27/11/2020.**

**Autores:**

**Luck Injage** - Departamento de Ciências da Terra e Ambiente, Universidade Licungo/Moçambique.

E-mail: [injage@hotmail.com](mailto:injage@hotmail.com); [linjage@up.ac.mz](mailto:linjage@up.ac.mz)

**Filipe Lúcio** - Instituto Nacional de Meteorologia / Moçambique.

E-mail: [flucio@inam.gov.mz](mailto:flucio@inam.gov.mz)

**Julião Cumbane** - Departamento de Física, Faculdade de Ciências, Universidade Eduardo Mondlane/Moçambique.

E-mail: [cumbane@zebra.uem.mz](mailto:cumbane@zebra.uem.mz)