

## Aplicação de índices das condições de vegetação no monitoramento em tempo quase real da seca em Moçambique usando NOAA\_AVHRR- NDVI

Paulo Alberto Covele\*

### Resumo

Este artigo tem por objetivo aplicar diferentes índices das condições de vegetação e avaliar suas diferenças e aptidão no monitoramento da distribuição espacial e temporal da seca em Moçambique com base em imagens NDVI da NOAA- AVHRR. Para tanto, avalia as diferenças de aptidão dos índices das condições de vegetação especialmente o Índice das Condições de Vegetação (*Vegetation Condition Index- VCI*), Índice Padronizado de Vegetação (*Standardized Vegetation Index- SVI*) e o Indicador de Productividade da Vegetação (*Vegetation Productivity Indicator- VPI*) no monitoramento da seca em Moçambique. Estes índices são derivados a partir de imagens da Diferença Normalizada do Índice da Vegetação (*Normalized Difference Vegetation Index- NDVI*) de 1981 a 2005, produzidas a partir dos canais 1 e 2 do sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)* a bordo dos satélites da *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*.

**Palavras-chave:** seca, índice de vegetação, monitoramento, imagens de satélite, Moçambique.

### Abstract

This article aims to apply different levels of vegetation conditions and assess their differences and skill in monitoring spatial and temporal distribution of drought in Mozambique based on images from NOAA-AVHRR NDVI. In this sense, we evaluate the differing levels of aptitude of index of vegetation conditions, especially *Vegetation Condition Index-IVC*, *Standardized Vegetation Index - SVI* and *Vegetation Productivity Indicator - VPI* in drought monitoring in Mozambique. These indices are derived from images of *Normalized Difference Vegetation Index - NDVI* from 1981 to 2005, produced from channels 1 and 2 of the sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)* on board of satellites *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*.

**Keywords:** drought, 'vegetation index, monitoring, satellite imagery, Mozambique.

## I Introdução

### 1.1 Contexto

A incorporação de dados de satélites de cobertura global e alta resolução temporal no monitoramento de fenômenos naturais, como a seca, ciclones e cheias, tem se tornado melhor alternativa aos escassos, dispersos e indisponíveis dados meteorológico da região. Isto é verdade

para Moçambique em que muitas estações foram destruídas durante a guerra e durante as cheias.

A seca em Moçambique tem se tornado um fenômeno frequente. As mais severas ocorreram nos anos 1981-1983; 1991-1993 e 1994-1995, em que mais de e meio milhão de pessoas foram afetadas (UEM, 2003). No ano de 2005, o mesmo número de afetados se repetiu<sup>1</sup>

O monitoramento e aviso prévio deste processo é importante na redução do seu impacto e definição das estratégias de mitigação. Este artigo avalia as diferenças e aptidão dos índices das condições de vegetação especialmente o Índice das Condições de Vegetação (*Vegetation Condition Index- VCI*), Índice Padronizado de Vegetação (*Standardized Vegetation Index- SVI*) e o Indicador de Productividade da Vegetação (*Vegetation Productivity Indicator- VPI*) no monitoramento da seca em Moçambique. Estes índices são derivados a partir de imagens da Diferença Normalizada do Índice da Vegetação (*Normalized Difference Vegetation Index- NDVI*) de 1981 a 2005, produzida a partir dos canais 1 e 2 do sensor *Advanced Very Higher Resolution Radiometer (AVHRR)* a bordo nos satélites da *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*.

A seca tem sido definida em geral<sup>2</sup> como a falta de água para atender necessidades básicas (Ambenje, 2000); Tucker e Choudhry (1987) citados por Ungai e Kogan, 1998 definem a seca como um período de redução do crescimento da vegetação em relação à média histórica devido à redução da precipitação.

Ao registar a energia electromagnética refletida pelos objetos na superfície terrestre, a teledeteção tem sido usada no monitoramento da vegetação. Vegetação saudável absorve mais a radiação azul (B) e vermelha (R) e reflete mais o infravermelho próximo (NIR). Quando em stress ela aumenta a reflectância no R e reduz no NIR. A relação R e NIR tem sido usada para produzir diferentes índices de vegetação. O mais importante deles é o NDVI desenvolvido por Rouse *et al* (1974) resultante da região entre a diferença NIR e R com a sua soma

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$
. Muitos sistemas de aviso prévio como a FEWS Net tem usado o NDVI como indicador das condições de vegetação e das culturas.

Liu e Kogan (1996) usaram NDVI no monitoramento da seca e concluíram que ele é

efetivo apenas na identificação da variabilidade climática, tipos de vegetação e uso da terra. Por outro lado, Kogan (1987) e Sannier *et al* (1998) notaram que em áreas não homogêneas, diferentes níveis de NDVI podem resultar de diferenças nas condições ecológicas (clima, solo, tipos de vegetação) e não nas condições de vegetação. Assim para um efetivo uso do NDVI como indicador das condições de vegetação, a componente ecológica deve ser separada da componente do tempo (Singh *et al.* 2003).

NDVI é também afetado por outros fatores como cor do solo e conteúdo de umidade e condições da atmosfera (Jessen, 2000). A correção de um desses fatores resulta no aumento do efeito do outro (Flasse, 2004). Assim, melhor saída é comparar o NDVI de um local com registos históricos de NDVI do mesmo local (Flasse, 2004). Índices derivados nesta linha incluem: Simples diferenças, simples índices relativos, índices que assumem distribuição normal e indicador de produtividade da vegetação. Este artigo segue esta linha de análise e separa as componentes ecológica e do tempo dentro do NDVI, para avaliação da seca em Moçambique.

## 1.2 Objectivos

### Geral

Aplicar diferentes índices das condições de vegetação (VCI, SVI e VPI) e avaliar suas diferenças e aptidão no monitoramento da distribuição espacial e temporal da seca em Moçambique, com base em imagens NDVI da NOAA- AVHRR.

### Específicos

- Produzir mapas e gráficos da intensidade e distribuição espácio-temporal da seca em Moçambique;
- Identificar as áreas de prevalência da seca durante os anos secos;
- Investigar as diferenças e aptidão dos índices das condições de vegetação na identificação em tempo quase-real na detecção da presença extensão e evolução da seca durante o período de crescimento das culturas.

## 2- Área de estudo

O projecto foi realizado em Moçambique (Figura 1), um país tropical localizado no Sul

do equador, na região da África Austral com uma superfície de 789 700 km<sup>2</sup>. Em termos astronómicos situa-se entre 10 28' 19'' S e 26 51 59 S e 30 12' 43E e 40 50' 26'' E.

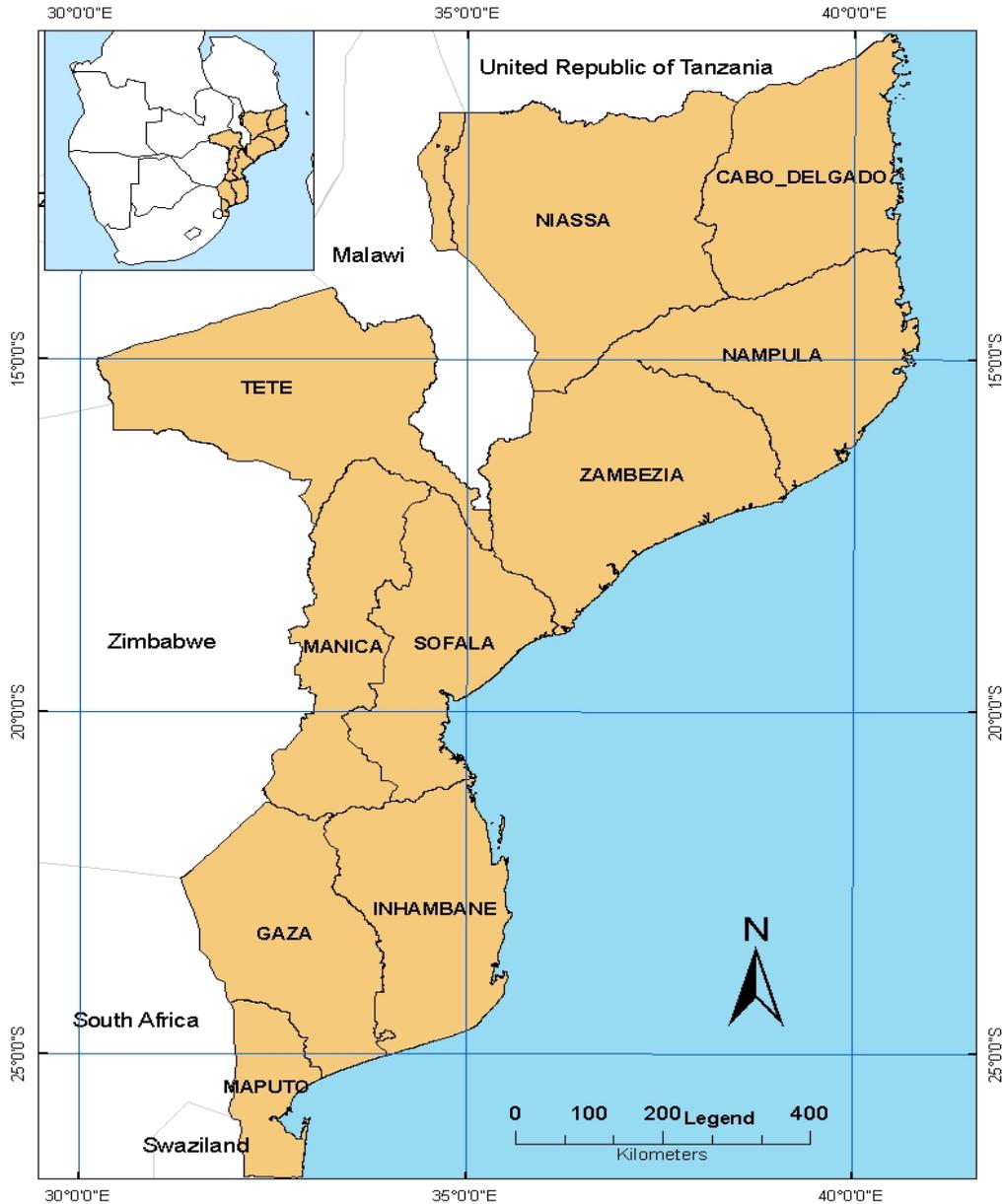


Figura 1: Área de estudo

### 3- Fonte de dados

Os dados mais importantes consistem em imagens NDVI da África Austral de Julho de 1981 a 2005 com 8 km de resolução espacial, descarregados do *web site* da *African Data Dissemination Service* (ADDS) (<http://igskmncnwb015.cr.usgs.gov/adds/>) um *web site* de acesso livre desenvolvido pelo governo americano para auxílio no aviso prévio da fome em África. Cada imagem representa uma síntese do valor máximo registado num período de dez dias (dekad). Outros dados incluem divisão administrativa de Moçambique criado pela Direcção Nacional de Geografia e Cadastro (DINAGECA) e dados de precipitação normal da FAO.

### 4- Metodologias

#### Preparação dos dados

Depois de descarregadas, as imagens foram importadas para o ERDAS 8.7 agrupadas em dekads, resultando em 36 imagens (36 décadas do ano) e cada imagem com 24 imagens (24 anos de estudo). Usando uma máscara de Moçambique as imagens da área de estudo foram separadas do resto da África Austral. As imagens com nuvens foram separadas e corrigidas.

#### Separação da componente ecológica e do tempo no NDVI

Para a separação das duas componentes do NDVI, a área de estudo foi estratificada em sete áreas com características homogêneas em termos dos valores de NDVI. Com base nas 36 imagens foi possível criar uma imagem de mínimo NDVI e outra de máximo NDVI para cada dekad, resultando em 36 imagens de mínimo NDVI e 36 de máximo NDVI. Oito pontos foram escolhidos dentro de 6 áreas<sup>3</sup> (com excepção da área 1 que representa água) e o valor mínimo e máximo de NDVI de cada ponto foi extraído para as 36 dekads do ano. Os valores foram usados para criar gráficos da variação anual da mínima e máxima NDVI ao longo da série temporal.

Produção de imagens dos índices das condições de vegetação

Os índices foram produzidos a partir de modelos criados em GIS (ERDAS e ARCGIS).

O Índice das Condições de Vegetação (VCI) desenvolvido por Kogan (1990) representa a percentagem de NDVI em relação a sua máxima

amplitude em cada local e é calculada a partir da diferença entre o máximo e mínimo NDVI registados desde 1981 a 2005. A seguinte fórmula é usada:

$$VCI = \frac{(NDVI - MinNDVI)}{(MaxNDVI - MinNDVI)} * 100$$

Onde, NDVI, MaxNDVI e MinNDVI correspondem aos valores correntes de NDVI e máximo e mínimo NDVI na série temporal. O resultado foi apresentado em 5 classes: Muito baixo (0-20%), Baixo (20-40%), Médio (40-60%), Bom (60-80%) e Muito bom (80-100%).

O Índice Padronizado de Vegetação (SVI) foi desenvolvido por PETERS (2002) e estima a probabilidade de ocorrência das condições de vegetação corrente. O índice ajusta o NDVI a uma distribuição normal com base no cálculo de *Z scores*, que são os desvios em relação à média em unidades de desvio padrão, calculados a partir dos valores de NDVI para cada pixel, em cada dekad e em cada ano. A seguinte fórmula é usada:

$$Z_{ijk} = \frac{NDVI_{ijk} - \overline{NDVI}_j}{\sigma_j} \quad \text{onde } Z_{ijk} \text{ é o valor de } Z$$

no pixel *i* durante a dekad *j* para o ano *k*;  $\overline{NDVI}_j$  é a média de NDVI para o pixel *i* durante a dekad

*j* em *n* anos e  $\sigma_j$  é o desvio padrão do pixel *i* durante a dekad *j* em *n* anos. A probabilidade de *Z* representa o SVI e é calculada em tabelas de distribuição normal. Cinco classes foram usadas: Muito pobre (<0.2), Pobre (0.2-0.4); Médio (0.4-0.6), Bom (0.6-0.8) e Muito bom (>0.8).

O Indicador de Produtividade da vegetação VPI, desenvolvido por Sannier *et al.* (1998) estima a distribuição do NDVI empiricamente a partir dos dados disponíveis, com base na fórmula:

$$P = \frac{m}{n+1}$$

onde *m* é a posição do NDVI da dekad corrente em relação à série temporal da mesma dekad e *n* o número de anos

usados. O resultado foi dividido em 5 classes: Muito baixo (<0.2), BAixo (0.2-0.4); Médio (0.4-0.6), Alto (0.6-0.8) e Muito Alto (>0.8).

## **5- Resultados e discussão**

### **- Separação da componente ecológica e do tempo no NDVI**

A figura 2 representa os valores mínimo e máximo de NDVI por dekad registados ao longo dos 24 anos, em cada um dos pontos seleccionados. A área entre as duas curvas representa o impacto do tempo sobre o NDVI. Quanto maior a curva do NDVI mínimo maior a componente ecológica e vice-versa, e quanto maior a área entre o mínimo e o máximo NDVI maior o impacto da componente do tempo sobre a vegetação.

Os gráficos mostram que a componente ecológica é maior em Marromeu (área 7) e é menor em Eduardo Mondlane e Chinthole (área 2) e a componente do tempo é maior em E. Mondlane e menor em Marromeu. Em geral o Sul do país tem maior componente do tempo que o Norte. Isto indica uma grande influência das condições do tempo na determinação das condições de vegetação no Sul do país. Em Marromeu outros fatores, como a planície de inundação da bacia do Zambeze, explicam as condições de vegetação.

Os resultados indicam que sem separar a componente ecológica da componente do tempo resultados errôneos podem se obter, porque mesmo valor de NDVI pode representar diferentes condições de vegetação dependendo das condições ecológicas da área. Por exemplo, na primeira dekad de Agosto, 0.47 representa máximo valor de NDVI para E. Mondlane e abaixo do mínimo para Marromeu.

Traçando a curva do NDVI corrente dentro da curva máxima e mínima de NDVI pode se ver o desvio da vegetação corrente em relação aos valores máximos e mínimos atingidos ao longo da série temporal. Observando os gráficos da figura 3 nota-se que no ano de 2005, em E. Mondlane, o NDVI está próximo do valor mínimo indicando condições de stress, enquanto que em Nairoto (Norte) boas condições se registam.

### **NDVI para o monitoramento da seca**

Como foi indicado, NDVI contém dentro dele a componente ecológica que deve ser separada antes do seu uso como indicador das condições de vegetação. Outro problema do NDVI é mostrado na figura 4 pela comparação do resultado de simples diferenças entre a segunda e primeira dekads de Janeiro 2005 (esquerda) com o VPI da segunda dekad do mesmo ano (direita). Pode se notar a grande diferença nas duas imagens, especialmente no Sul onde simples diferença indica um melhoramento. A simples diferença depende das condições anteriores na definição do estado actual do NDVI. Isto pode criar erros de interpretação em 2 casos: 1) Áreas com boas condições de vegetação mas com NDVI corrente menor que o anterior serão apresentadas como se estivessem em pobres condições; e 2) Áreas em stress mas com incremento do NDVI em relação às condições anteriores serão apresentadas como se estivessem em boas condições. Isto é verdade analisado as duas imagens em concordância com os relatórios da FAO/PMA de 2005. O Sul de Moçambique teve um incremento na vegetação da primeira à segunda semana de Janeiro de 2005, mas a magnitude deste incremento, que não é mostrada pelas simples diferenças (Flasse, 2004) não foi suficiente para superar o stress na vegetação, continuando a área em pobres condições (VPI).

### **VCI, SVI e VPI no monitoramento da seca em Moçambique**

A figura 5 apresenta os resultados dos três índices para a terceira dekad de Janeiro de três anos secos (1983, 1992 e 2005). As imagens mostram que a seca de 1992 foi a que ocupou maior extensão do país, cobrindo uma área de 467 328 km<sup>2</sup> (59%)<sup>4</sup> de acordo com VPI. Em termos de distribuição espacial, todos os índices indicam prevalência da seca em todo o Sul de Moçambique (Maputo, Gaza e Inhambane), Sul e Leste de Tete e Norte e Sul de Sofala. As descrições da seca em cada ano coincidem com os relatórios apresentados pela FAO/PMA e FEWS Net.

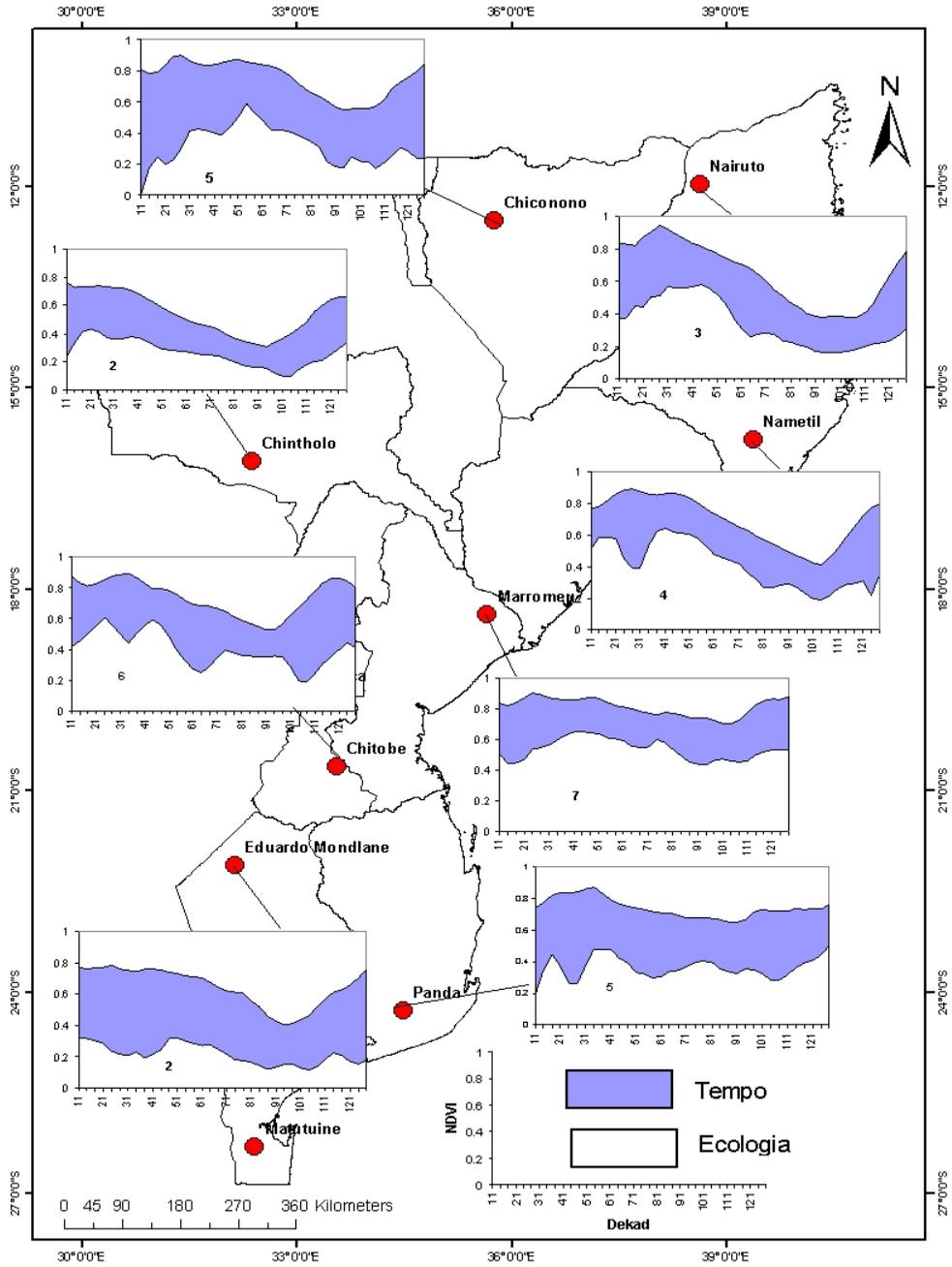


Figura 2 Componente ecológica e de tempo no NDVI

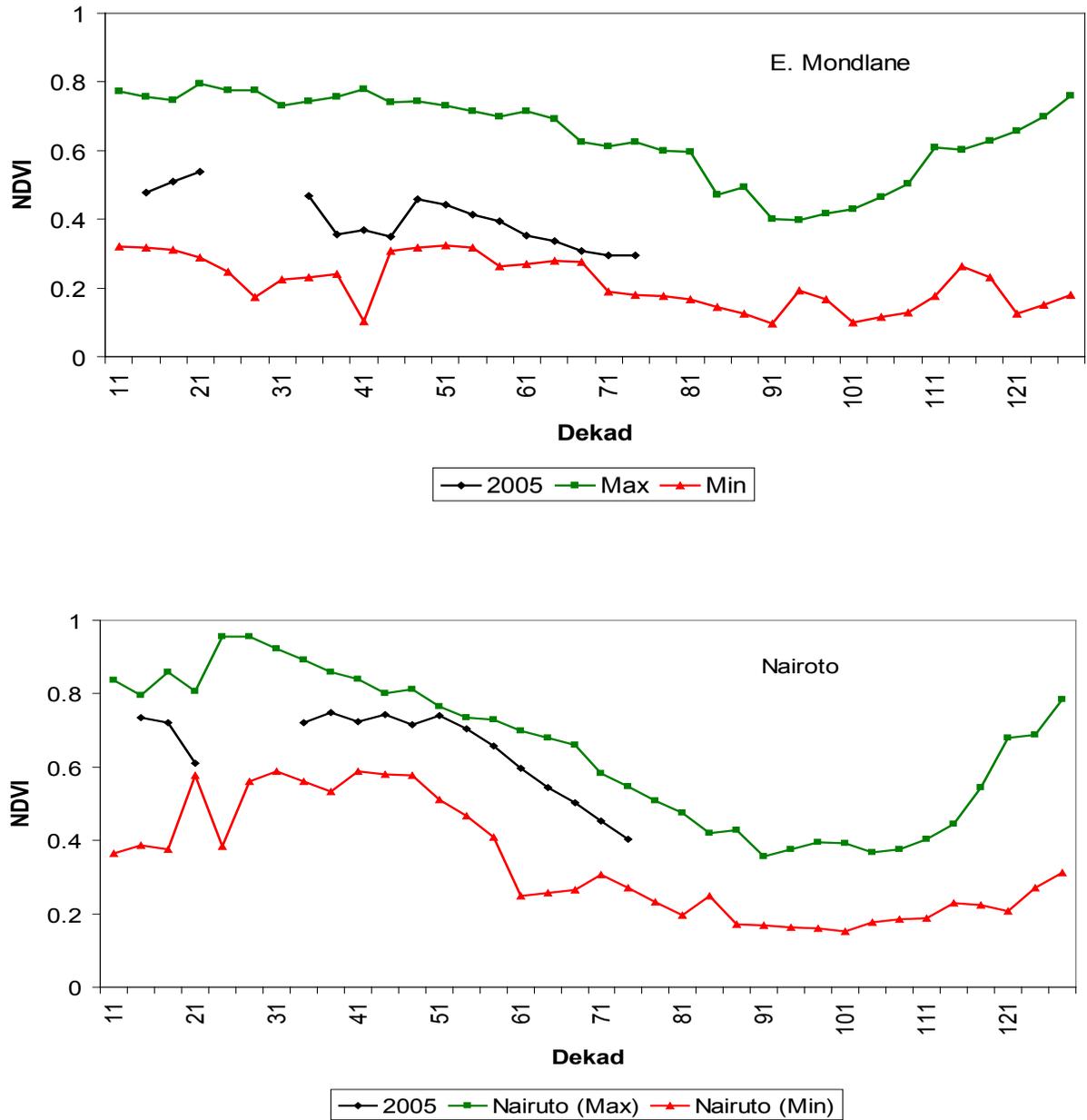


Figura 3 Variação do NDVI corrente (2005) em relação aos valores máximo e mínimo da serie temporal

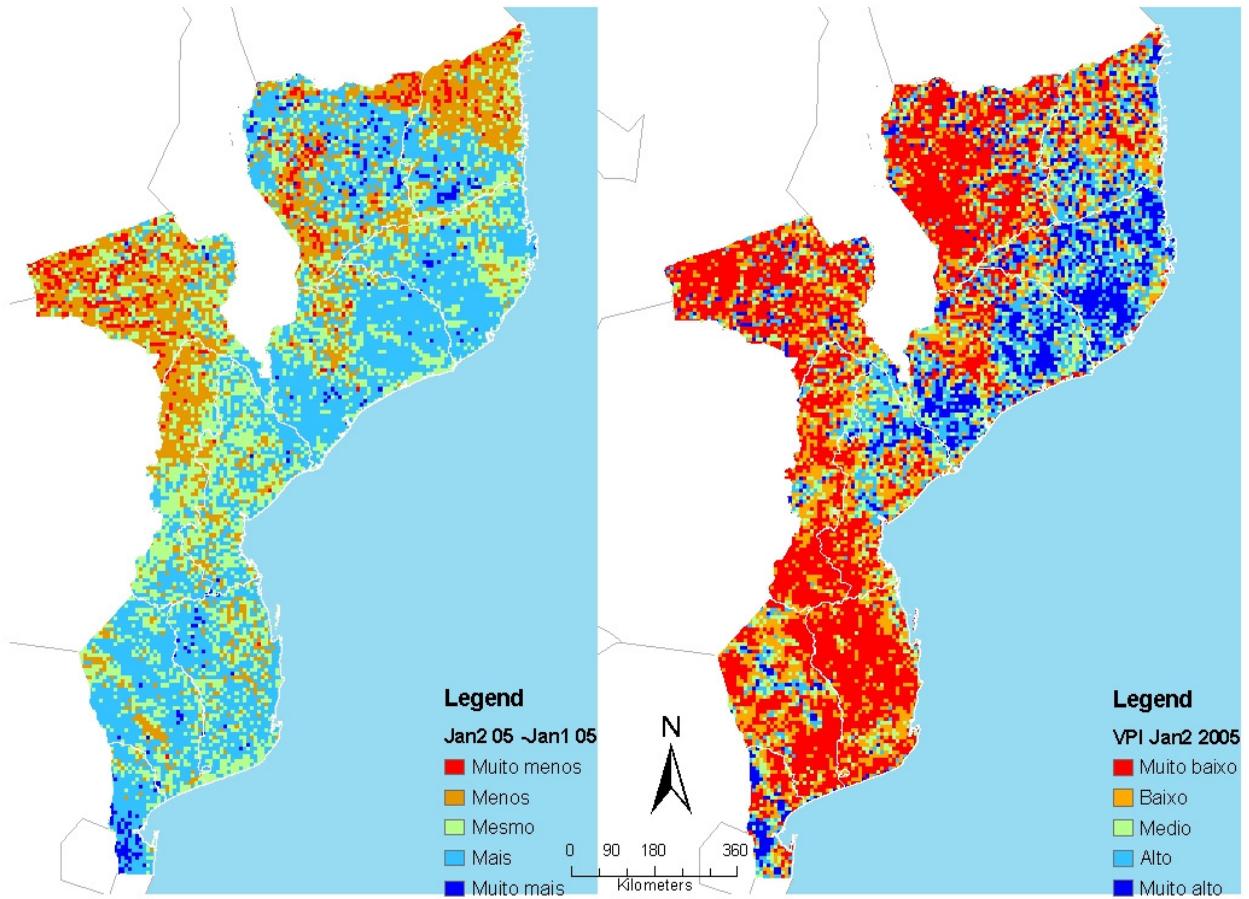


Figura 4 Comparação entre simple diferenças e VPI

Melhor coerência foi encontrada também comparando as imagens dos índices do ano de maior produção (2002) com o de menor produção (1992). Comparando os três índices, VCI mostra

tendência de subestimar as pobres condições e superestimar as melhores condições, enquanto que VPI e SVI estão mais próximos dos resultados.

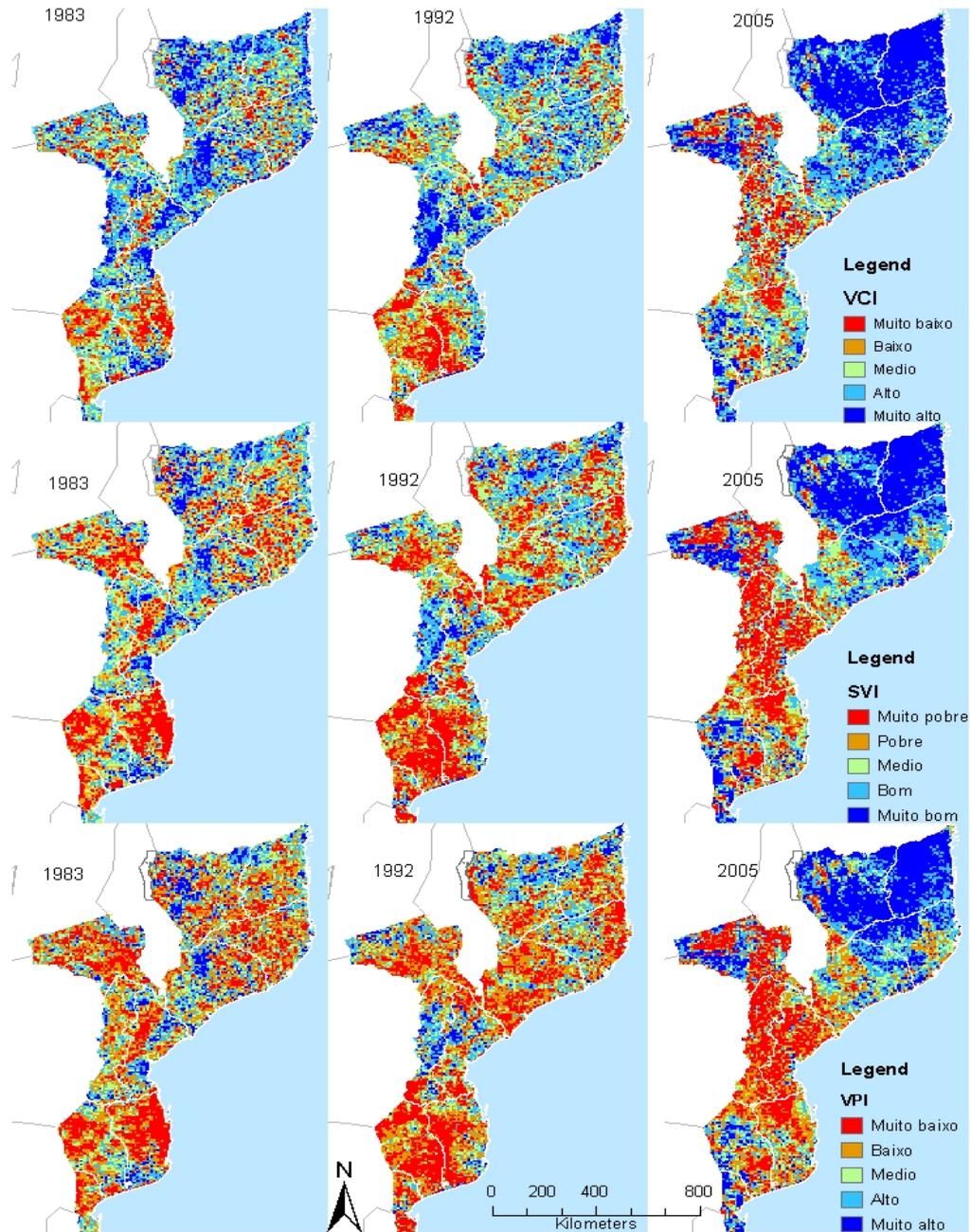


Figura 5 Condições de vegetação durante os anos secos, para a terceira dekada de Janeiro usando VCI, SVI e VPI.

A figura 6, representa a mediana global dos índices das condições de vegetação e do NDVI de 1982 a 2005. Pode se notar que a um certo valor de NDVI, VPI será menor que SVI e este menor que VCI. Isto é ilustrado claramente observando a tabela 1. Por exemplo, o mesmo valor

de NDVI de 0.448 representa condições médias de vegetação para VCI, pobre para SVI e muito pobre para VPI. Isto mostra que mesmo valor de NDVI poderá corresponder a diferentes condições de vegetação quando diferentes índices são usados.

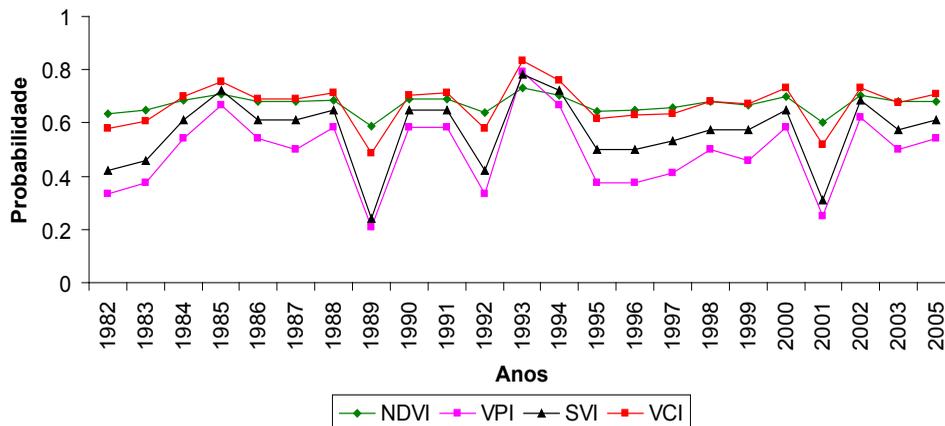


Figura 6 Variação do VCI, SVI e NDVI na terceira década de Janeiro durante 1982 a 2005

Year	NDVI	VCI	SVI	VPI
1982	0.480	0.564	0.345	0.333
1983	0.324	0.271	0.045	0.083
1984	0.400	0.414	0.136	0.125
1985	0.656	0.895	0.839	0.875
1986	0.608	0.805	0.722	0.708
1987	0.600	0.789	0.688	0.542
1988	0.552	0.699	0.535	0.375
1989	0.448	0.504	0.242	0.167
1990	0.564	0.722	0.575	0.417
1991	0.608	0.805	0.722	0.708
1992	0.180	0.000	0.012	0.042
1993	0.684	0.947	0.883	0.917
1994	0.712	1.000	0.918	0.958
1995	0.576	0.744	0.614	0.500
1996	0.472	0.549	0.309	0.292
1997	0.600	0.789	0.688	0.542
1998	0.604	0.797	0.722	0.625
1999	0.644	0.872	0.813	0.792
2000	0.648	0.880	0.813	0.833
2001	0.468	0.541	0.309	0.250
2002	0.604	0.797	0.722	0.625
2003	0.448	0.504	0.242	0.167
2005	0.572	0.737	0.614	0.458

Tabela 1 relação entre VCI, SVI e NDVI na terceira década de Janeiro durante 1982 a 2005

Qual dos índices apresenta melhor resultado? Embora trabalho de campo seja necessário, especialmente para comparação com dados de precipitação, certas conclusões podem se tirar analisando os pressupostos estatísticos de cada um dos índices.

Valores de VCI abaixo de 35% (Liu e Kogan 1996) tem sido considerados como indicadores de áreas secas. Contudo, Ungai e Kogan (1998), mostram valores abaixo de 60% como indicador de pobres condições de vegetação. De acordo com Kogan (1995) VCI dará bons resultados apenas quando combinado com TCI (*Temperature Condition Index*) um outro índice desenvolvido por ele, que avalia as condições de temperatura da vegetação para indicar o seu estado de stress. Sanier et al (1998) notou que os valores extremos de NDVI são contaminados pela reflectância do solo e outros fatores. SVI ajusta o NDVI a uma distribuição normal por calcular probabilidade de esverdeamento (*greenness*) para cada pixel em relação à série temporal. Este método dá mais vantagens que o uso de valores extremos. Contudo o teste de normalidade do NDVI usando o teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov mostrou que é improvável que o NDVI obedeça uma distribuição normal. Com esta análise pode-se concluir que

VPI que usa distribuição empírica do NDVI pode estar mais próximo da realidade em relação aos outros dois.

### Conclusões e recomendações

- Separando as componentes ecológicas e do tempo no NDVI, é possível avaliar o impacto das condições do tempo na vegetação e permite também o uso do NDVI na avaliação das condições da vegetação corrente.
- O uso de simples diferenças de NDVI na avaliação das condições presentes de vegetação, não mostra a severidade dos desvios em relação às condições anteriores ou normais o que torna difícil a avaliação do estado real das condições de vegetação.
- Cobrindo 59% do país, a seca de 1992 foi a pior na história do registo do sensor. O Sul de Moçambique (Inhambane, Maputo and Gaza), Sul e Este de Tete e Norte e Sul de Manica e Sofala, no centro, são as áreas com maior prevalência de seca no país. Este resultado foi apresentado por todos os índices, embora com diferenças na extensão (área). VCI sub-estimou as pobres condições, SVI e VPI estavam mais próximos com VPI mais preciso.
- Para melhor validação dos índices será necessário a incorporação dos índices (VPI e SVI), no sistema local de monitoramento da seca.

### Notas

1. Dados disponíveis em <<http://www.zambeze.co.mz/zambeze> acessado em 01/06/2005>
2. A definição da seca varia. Existe seca meteorológica, agrícola, hidrográfica e socioeconômica (UEM, 2003).
3. Dois pontos foram selecionados para áreas com representação Norte Sul.
4. A área foi calculada no ArcGIS 9 com base na extensão de cada classe.

### Bibliografia

- African Data Dissemination Service/ADDS. Disponível em: <<http://igskmncnwb15.cr.usgs.gov/adds/>>. Acesso em 08 jul. 2005.
- FLASSE, S. Identification of potential software and algorithms to be adapted do Meteosat Second Generation (MSG) data in support to MTAP. UK: Flasse Consulting, 2004, Tást2.
- JENSEN, J. R. Remote sensing of the environment: an earth resource perspective. Prince Hill: University of South Carolina, 2000.
- LIU, W. T.; KOGAN, E. N. "Monitoring drought using vegetation condition index". International Journal of Remote Sensing, 17(14), 1996, pp. 2761-2782.
- PETER *et al.* "Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 68, 2002, pp.

71-75.

SINGH *et al.* "Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India". *International Journal of Remote Sensing*, 24(22), 2003, pp. 4393-4402.

SANNIER, C. A. D. "Real-time vegetation monitoring with NOAA-AVHRR in southern Africa for wildlife

management and food security assessment". *International Journal of Remote Sensing*, 19(4), 1998, pp. 621-639.

UNGANAI, L. S.; KOGAN, E. N. "Drought monitoring and corn yield estimation in southern Africa from AVHRR data". *Remote Sensing of Environment*, 63 (3), 1998, pp. 219-233.