

## **Dinâmica temporal dos índices de aridez e padronizado de vegetação na bacia hidrográfica do rio Pajeú, estado de Pernambuco.**

Michelle Adelino Cerqueira<sup>1</sup>  
Flavia Mazzer Rodrigues<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE/UAST  
CEP: 56909-535 – Serra Talhada - PE, Brasil  
acadelino@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG/ICA.  
CEP. 39404-547 - Montes Claros-MG, Brasil  
flamazzer@hotmail.com

**Abstract.** Aridity is the characteristic of the climate that relates insufficient precipitation adequate to maintain a vegetation, where the degree of aridity of a certain region depends on the amount of water coming from the precipitation and the maximum possible loss of water through evaporation and transpiration, or evapotranspiration. The dryness index is widely used in the studies for the determination of dry areas and especially in the studies of the desertification process. The objective of this study was to obtain a representation of the spatial distribution of the aridity index and to quantify the anomalies as a standard deviation in relation to the mean in the Pajeú River watershed, one of the largest hydrographic basins in the territorial range of the state of Pernambuco, correlating with the standardized vegetation index (SVI), for the period from 2000 to 2015, aiming to have information that will help identify areas that are more susceptible to the occurrence of desertification, using a Geographic Information System. From the analysis of the period 2000 to 2015, critical periods were identified in the years 2012, 2013 and 2015, which presented the largest areas with negative anomalies, indicating low vegetation vigor and, consequently, severe droughts, impacting negatively.

**Palavras-Chave:** remote sensing, caatinga, vegetation index, sensoriamento remoto, caatinga, índices de vegetação.

## 1. Introdução

O clima é formado por vários elementos como radiação solar, precipitação pluviométrica, temperatura do ar, umidade do ar, vento, pressão atmosférica, evaporação entre outros, onde é importante analisar a ação desses no ambiente. A variabilidade é um dos elementos mais conhecidos da dinâmica climática, e o impacto produzido por essa variabilidade, mesmo dentro do esperado pode ter reflexos significativos nas atividades humanas (OLIVEIRA et al., 2014).

Contudo, as informações das condições climáticas de uma determinada região são necessárias para que se possam instituir estratégias, que visem o manejo mais adequado dos recursos naturais, planejando dessa forma, a busca por um desenvolvimento sustentável e implementação das práticas agrícolas viáveis e seguras para o meio ambiente e a produtividade agropecuária (FRANCISCO et al., 2015) principalmente em áreas consideradas suscetíveis à desertificação.

As áreas semiáridas do Brasil, com 980.711 km<sup>2</sup> e a aproximadamente 60% da região Nordeste, estão mais susceptíveis as consequências da elevação da temperatura. Segundo a ONU, são as áreas mais susceptíveis para desertificação e em termos de Estados, pode-se listar o do Ceará, do Piauí, do Rio Grande do Norte, da Paraíba, de Pernambuco, de Alagoas, de Sergipe, da Bahia e de Minas Gerais (DOMINGUES et al., 2008).

No estado de Pernambuco, mais de 80% do seu território encontra-se em climas do tipo semiárido e subúmido seco, cujas contingências climáticas mais elementares e representativas dizem respeito à irregularidade das precipitações ano após ano (PERNAMBUCO, 2009). Estudos do IPCC de 2007 apontam a região como uma das mais vulneráveis às mudanças climáticas, ocasionando, dessa forma, impactos, como por exemplo, déficit hídrico, aumento de ondas de calor, impactos diretos na agricultura e consequentemente a desertificação, verificando uma acentua escassez de recursos naturais vitais para a sobrevivência humana, tais como água potável, solo agrícola e vegetação (SILVA et al., 2009).

A aceitação da definição de aridez para fins de aplicação no Plano de Ação de Combate à Desertificação das Nações Unidas ocorreu em 1977 com a utilização do Índice de Aridez (IA), elaborado por Thornthwaite (1941) e ajustado posteriormente por Penman (1953), onde se calcula a diferença entre a quantidade de chuva e a perda de água do sistema, a evapotranspiração (MATALLO JÚNIOR, 2003; FREITAS, 2005).

Apesar da relação direta entre o índice de aridez e a desertificação, deve-se ressaltar que a determinação da susceptibilidade ou não a este processo não pode ser apontada apenas pelo índice de aridez, uma vez que vários outros fatores estão envolvidos nesta temática (PACHÊCO, 2006). Porém, o índice de aridez é considerado de grande precisão na determinação das áreas vulneráveis à desertificação, já que é o único que utiliza variáveis quantitativas para tal análise (SAMPAIO e SAMPAIO, 2002) e a susceptibilidade a este processo está diretamente associada ao nível de aridez do local (FREITAS, 2005; MATALLO JÚNIOR, 2003).

Contudo, utilização do sensoriamento remoto nos estudos da susceptibilidade à desertificação tem sido cada vez maior haja vista que tal técnica possibilita uma análise espacial e temporal deste processo (CARVALHO, 2007).

Neste contexto, é estratégico utilizar um sistema de indicadores como uma ferramenta que possibilita identificar sistemas ambientais e comunidades vulneráveis à desertificação, assim como o desenvolvimento de ações adequadas para avaliar e monitorar as políticas públicas implementadas (SANTOS, 2011).

Deste modo, informações sobre a aridez são imprescindíveis para elucidar as características da paisagem e possibilitar à determinação de medidas políticas e de gestão indispensáveis a utilização racional dos recursos hídricos em muitas regiões, principalmente na semiárida.

Diante do exposto, na Bacia Hidrográfica do rio Pajeú, uma das maiores bacias hidrográficas, em abrangência territorial, do sertão de Pernambuco, o objetivo deste trabalho foi obter com a utilização de um Sistema de Informação Geográfica uma distribuição espacial do índice de aridez e correlacionar com o índice de vegetação padronizado (SVI), para o período de 2000 a 2015 visando ter informações que irão auxiliar na identificação de áreas que apresentam uma maior susceptibilidade à ocorrência da desertificação.

## 2. Metodologia de Trabalho

A Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú está localizada no estado de Pernambuco e está inserida geograficamente entre as latitudes 07° 16' 20" e 08° 56' 01" de latitude sul, e 36°59' 00" e 38°57' 45" de longitude oeste, (Figura 1). A área de estudo está localizada na microrregião do Sertão do Pajeú, parte das microrregiões do Sertão do Moxotó, do Salgueiro e de Itaparica compoendo a Unidade de Planejamento Hídrico 9 (UP9), (APAC, 2016).

A Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú é a maior bacia do Estado de Pernambuco, com uma área de 16.685,63 km<sup>2</sup>, correspondendo a 16,97% da área do Estado. A sua rede de drenagem abrange as sedes municipais de Carnaíba, Carnaubeira da Penha, Floresta, Iguaraci, Itacuruba, Mirandiba e São José do Belmonte, já os municípios de Afogados da Ingazeira, Betânia, Brejinho, Calumbi, Flores, Ingazeira, Itapetim, Quixabá, Santa Cruz da Baixa Verde, Santa Terezinha, São José do Egito, Serra Talhada, Solidão, Tabira, Triunfo e Tuparetama estão totalmente inseridos e Belém do São Francisco, Custódia, Ibimirim e Salgueiro estão parcialmente incluídos, totalizando 27 municípios com uma população em torno de 630 mil habitantes (PERNAMBUCO, 2012; IBGE, 2014).

O rio Pajeú nasce no município de Brejinho e percorre uma extensão de aproximadamente 353 km. Inicialmente apresenta sentido nordeste-sudoeste, até desaguar no lago de Itaparica, no rio São Francisco. (APAC, 2016).

A formação vegetal sobre a superfície estudada é a Caatinga hiperxerófila, característica de áreas mais secas do Sertão. Fortemente influenciadas, principalmente, pelas condições climáticas e pedológicas, essa formação apresenta três tipos fisionômicos: arbórea, arbóreo-arbustiva e arbustiva, (FEITOSA, 2012).

O relevo do baixo Pajeú apresenta altitudes que variam entre 500 e 800 metros, sendo onde ocorre o domínio da Depressão Sertaneja, a mais rebaixada (296 a 539 metros). Já no alto Pajeú, o relevo é mais colinoso e serrano, conseqüentemente, a região com as mais elevadas altitudes (540 a 840 metros) com ponto culminante no Pico do Papagaio a 1.185 metros acima do nível médio dos mares, município de Triunfo, (CPRM, 2005; IBGE, 2015).

Na metodologia utilizaram-se os dados pluviométricos adquiridos juntos a APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima) abrangem o período entre 2000 a 2015, sendo os valores médios de precipitação calculados com base na pluviometria dos anos dos dados disponíveis para cada município. Para os anos que apresentaram falhas foi utilizado o método da ponderação regional, conforme listado em ANA (2012).

A utilização dos dados foi procedida de uma análise no tocante à sua consistência, homogeneização e no preenchimento de falhas em cada série (município a município). Assim, para cada localidade foi considerado o início em 2000. Foi elaborada uma planilha eletrônica com os dados obtidos e em seguida calculada as médias anuais. Para o cálculo da pluviosidade média foi utilizada uma planilha eletrônica e os dados dos totais mensais de precipitações obtidos nos postos pluviométricos onde se obteve as médias anuais.

O índice de aridez representa o quanto uma região é árida. Para um estudo da intensificação ou não deste índice, é preciso que se faça uma análise temporal do comportamento do mesmo. Para tanto, a determinação do índice de aridez foi desenvolvida para a Bacia Hidrográfica do rio Pajeú, onde foram avaliados os 27 municípios pertencentes a bacia. O índice de aridez é dado pela Equação 1.

$$IA = \frac{Pr}{ET_0} \quad (01)$$

Em que: Pr é a precipitação média anual, dada em milímetros, e  $ET_0$  é a evapotranspiração de referência média anual, calculada pelo método de Penman-Monteith/FAO descrito em Allen et al. (1998), também em milímetros.

Os dados meteorológicos diários utilizados para a obtenção da evapotranspiração de referência diária foram: temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento e insolação. Para o cálculo da evapotranspiração e verificação das possíveis ausências de alguns elementos climáticos na evapotranspiração, utilizou-se da equação de Penman-Monteith (FAO) para intervalo de tempo de 24 horas.

A evapotranspiração de referência foi calculada para oito estações convencionais situadas no estado de Pernambuco: Arcoverde, Cabrobó, Garanhuns, Ouricuri, Petrolina, Recife, Surubim e Triunfo, pelo programa Ref-ET (Allen, R.G). Esse programa fornece cálculos padronizados de evapotranspiração de referência para quinze dos métodos e equações mais comuns que estão atualmente em uso. Os cálculos baseiam-se nas medições de dados de tempo que são disponibilizados pelo usuário. Os dados das estações foram fornecidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

A evapotranspiração de referência para os demais municípios foi calculada pelo método da interpolação, utilizando o algoritmo IDW (*Inverse Distance Weighting*), disponível no Sistema de Informações Geográficas (SIG) QGIS 2.8.9 extensão *Spatial Analysis*.

A Tabela 1 apresenta a classificação climática para o índice de aridez, conforme critérios estabelecidos por Thornthwaite (1941) ajustado por Penman (1953).

**Tabela 1.** Classes de clima de acordo com o Índice de Aridez.

Classe	Índice
Hiperárido	< 0,05
Árido	0,05 < 20
Semiárido	21 < 50
Subúmido Seco	51 < 65
Subúmido Úmido	>65

Fonte: MATALLO, 2003.

Para a elaboração da distribuição espacial do índice de aridez total para a Bacia Hidrográfica do rio Pajeú foi utilizado o programa QGIS 2.8.9 extensão *Vector Data*, responsável por representar características do vetor, que consistem em informações numéricas que descrevem os recursos analisados, neste caso Índice de Aridez.

Para obtenção do Índice de Vegetação Padronizado (SVI) foram utilizadas 360 imagens do sensor MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer), correspondente ao Índice de Vegetação Melhorado (Enhanced Vegetation Index – EVI), produto MOD13Q1, disponibilizadas pela Embrapa, ([www.modis.cnptia.embrapa.br](http://www.modis.cnptia.embrapa.br)), no período de abril de 2000 a 2015.

ESPIG et al. (2011) mostram que o EVI é mais adequado ao estudo da Caatinga por minimizar os efeitos atmosféricos e do solo, representando melhor resposta espectral da vegetação quando comparado com o NDVI. O EVI responde melhor às variações estruturais do dossel, incluindo índice de área foliar, tipos e arquitetura de dosséis e fisionomia das plantas, garantindo a sensibilidade em diferentes tipos de paisagens, sejam desertos ou florestas densas (GAO et al., 2000).

O produto MOD13Q1 do sensor MODIS é o produto específico para aquisição de informações do NDVI, estão disponibilizados com resolução espacial de 250 m, a cada 16 dias.. O MOD13Q1 se baseia em dados gerados pela reflectância de superfície do produto MODIS da série MOD09. O mosaico que gera o produto MOD13Q1 é realizado para minimizar a presença de nuvens e para obter os índices na melhor resolução espacial possível, padronizar geometria de aquisição e iluminação dos dados, assegurar qualidade e eficiência aos dados, entre outros benefícios (LATORRE et al., 2007).

As imagens foram agrupadas por ano e posteriormente, foram obtidas as anomalias da cobertura vegetal em relação ao padrão histórico para o período analisado, ou seja, o quanto o vigor vegetativo ficou acima ou abaixo da média para o período referido. O Índice de Vegetação Padronizado (SVI) foi obtido conforme a Equação 1 categorizados de acordo com a Tabela 2.

$$SVI = \frac{\overline{NDVI} - NDVI_{Ref}}{\sigma_{NDVI}} \quad (2)$$

Em que:  $\overline{NDVI}$  média para determinado período do ano;  $NDVI_{Ref}$  média de referência para o período, para este estudo o período foi de janeiro de 2000 a dezembro de 2015 e,  $\sigma_{NDVI}$  desvio padrão de referência para o período do ano analisado, de janeiro de 2000 a dezembro de 2015.

**Tabela 1.** Intervalos de classes dos valores do Índice de Vegetação Padronizado (SVI).

Níveis de Estiagem	Índice SVI
Estiagem de Média Intesidade	-2,00 < -1,50
Estiagem de Baixa Intesidade	-1,50 < -1,00
Normal	-1,00 < 1,00
Vegetação com Verdor Baixo	1,00 < 1,50
Vegetação com Verdor Médio	1,50 < 2,00
Vegetação com Verdor Alto	>2,00

A produção das cartas temáticas foi com base em imagens orbitais projetadas no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS-2000) e recortadas para a área de estudo.

### 3. Resultados e Discussão

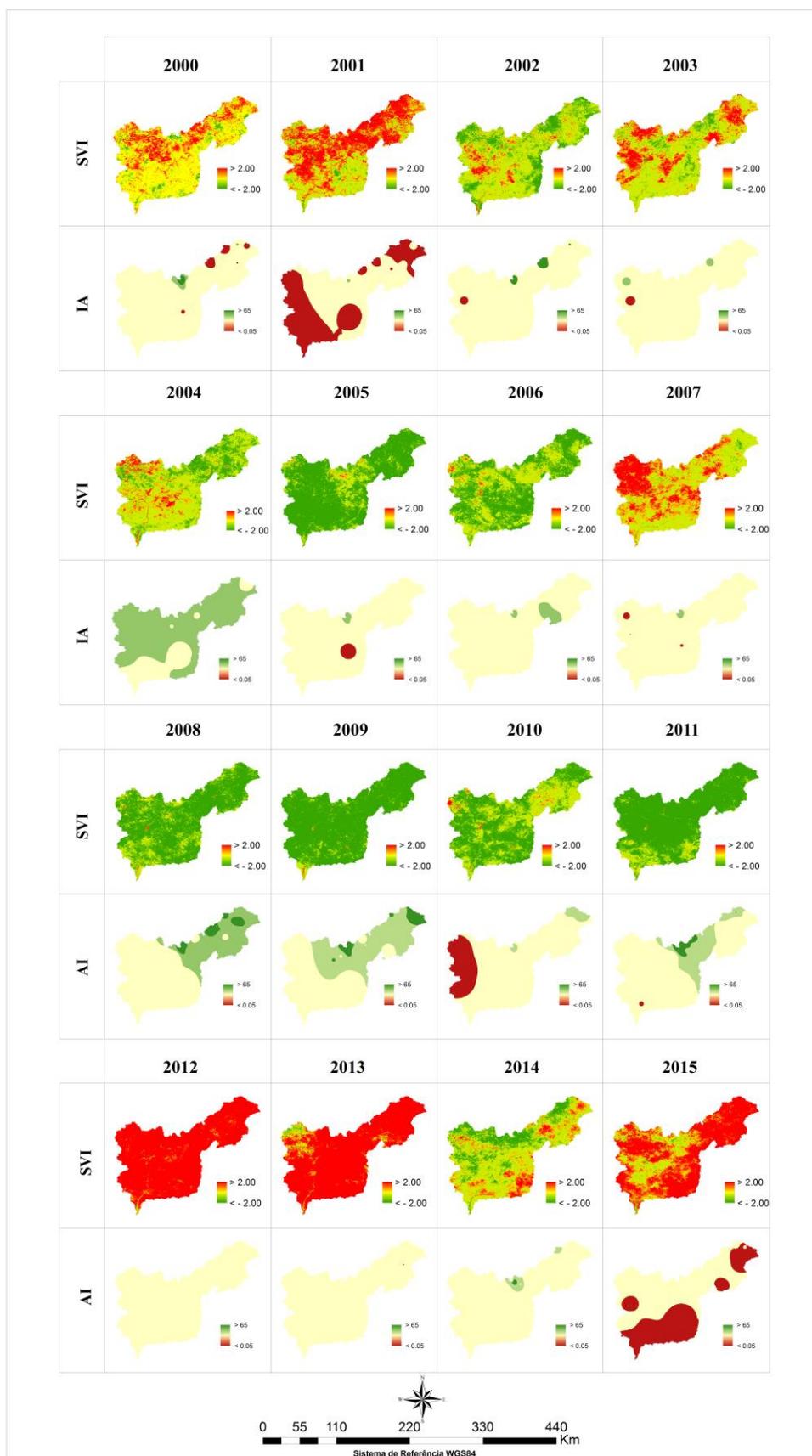
Na Figura 2, são apresentados a distribuição espacial do Índice Padronizado de Vegetação (*Standarize Vegetation Index* - SVI) e Índice de Aridez – IA, para o período de 2000 a 2015, na Bacia Hidrográfica do rio Pajeú, Estado de Pernambuco.

Observa-se que o Índice de Aridez variou entre semiárido e hiperárido no período de 2000 a 2003 em quase a totalidade da área de estudo.

Entre os anos de 2012, 2013 e 2015 verifica-se que nas áreas áridas e semiáridas, regiões predominantemente secas, com base no índice SVI as condições de vegetação são relativamente pobres, com valores < 2, indicando alto grau de estiagem, indicando uma alta intensificação da seca e regiões mais suscetíveis à desertificação se considerado as questões climáticas entendidas como favoráveis ao surgimento desse problema. Contudo, a possibilidade do processo de desertificação não pode ser considerada apenas pelos critérios climáticos, mas também as formas de uso e ocupação nessas áreas da bacia.

Já para os anos de 2004, 2008 e 2009 ocorreram mudanças quanto a classificação climática da região, onde maior parte da Bacia do Pajeú registrou valores de IA entre 50 a 65, indicando uma região subúmida seca, corroborando com os valores registrados para o índice SVI, que registraram valores  $> 2$ , indicado alto verdor da vegetação, devido a precipitação adequada.

A partir da análise do período 2000 a 2015, foram identificados os períodos críticos nos anos 2012, 2013 e 2015, os quais apresentaram as maiores áreas com anomalias negativas, indicando baixo vigor da vegetação e, conseqüentemente fortes estiagens, impactando de forma negativa. Os resultados comprovam o potencial do SVI para o monitoramento indicativo de estiagens, auxiliando na tomada de decisão em termos de políticas públicas.



**Figura 2.** Distribuição espacial do índice de aridez e padronizado de vegetação, no período de 2000 a 2015.

#### 4. Conclusões

Diante do exposto, os dados gerados demonstraram ser muito úteis em termos de observação aos efeitos da seca e mudanças climáticas sobre o vigor da vegetação. Conclui-se também que o índice SVI é uma ferramenta útil em fornecer indicadores da intensidade e duração do estresse da vegetação, quando usado juntamente com outros índices. tradicionais de indicadores de seca pode contribuir para o desenvolvimento operacional auxiliando na tomada de decisão apropriada para o gerenciamento da seca.

#### 5. Referências Bibliográficas

- Andrade, M. C. **Pernambuco e o trópico**. Revista do IEB, n. 45, p. 11-20. 2007.
- Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC) - **Dados Pluviométricos para o Estado de Pernambuco**. Disponível em: [www.apac.pe.gov.br/meteorologia](http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia).
- Domingues, E. P.; Magalhães, A. S., Ricardoruíz, R. M. **Cenários de mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos na região Nordeste**. Belo Horizonte: CEDEPLAR-UFMG, Texto para discussão 340, 2008.
- Espig, S. A., Soares, J. V., Santos, J. R. **Variações sazonais do EVI e NDVI em áreas do semiárido brasileiro**. VII Seminário em Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados a Engenharia Florestal. Curitiba, Paraná, 2006.
- Feitosa, A. **Zoneamento de pequenas bacia hidrográficas e caracterização de várzeas na Bacia hidrográfica do Pajeú, Pernambuco**. Tese de Doutorado – UFPE/PPGEO. Recife, 2012.
- Francisco, P. R. M.; Medeiros, R.M.; Matos, R.M.; Bandeira, M.M.; Santos, D.. **Análise e Mapeamento dos Índices de Umidade, Hídrico e Aridez Através do BHC para o Estado da Paraíba**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 8, n. 4, p. 1093-1108, 2016.
- Freitas, M. A. S. **Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semi-Áridas**. Revista Tecnologia (UNIFOR), Fortaleza, v. Suplem, p. 84-95, 2005.
- Gao, X.; Heute, AR.; NI, W.; Miura, T.; **Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination**. In: Remote Sensing of environment, Vol 74, p. 609- 620. 2000.
- Latorre, ML.; Shimabuko, YE.; Anderson, LO. Produtos para ecossistemas terrestres - MODLAND. In: Rudorff, BFT.; Shimabuko, YE.; Ceballos, JC. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed., 2007. p. 23 – 35.
- Matallo JÚNIOR, H e Schenkel, C. S. (Org). **Desertificação**. Brasília: UNESCO, 2003.
- Oliveira, R.C.S.; Medeiros, R.M. DE; Costa Neto, F. DE A.; Gomes Filho, M.F.. **Estudo das oscilações da temperatura máxima do ar e precipitação em Lagoa Seca-PB visando mudanças climáticas**. In: VI Workshop de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco e III Workshop Internacional sobre Mudanças Climáticas e Biodiversidade, Recife. 2014.
- Pachêco, A.P.; Freire, N. C. F.; Borges, U. N. **A transdisciplinaridade da Desertificação**. Geografia (Londrina). v. 15, n. 1. p. 40-54. 2006.
- Penman, H.L. **The physical bases of irrigation control**. Hort. Congr., 2, London, Royal Horticultural Society, 1953, p.913-924. 11p.
- Pernambuco. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente Programa de Ação Estadual de Pernambuco para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAE-PE. Recife, 2009.
- Ribeiro, E. P.. **Mudanças climáticas e desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajeú**. 178f. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade Federal de Pernambuco, 2016.